

БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

№ 1 (84)

2015

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в октябре 1967 г.

Учредитель и издатель

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Периодичность издания — 2 раза в год

СОДЕРЖАНИЕ

СТРУКТУРНАЯ, ПРИКЛАДНАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛИНГВИСТИКА

Широков В.А. Лингвистика и системный подход. Часть 1	3
--	---

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Гороховатский В.А., Куликов Ю.А., Берестовский А.Е. Построение и применение функции принадлежности для результативного структурного анализа изображений	13
Богучарский С.И., Каграманян А.Г., Машталир С.В. Модификация метода J-средних в задачах фрагментной сегментации изображений	19
Михаль О.Ф. Модифицированный парадокс Монти Холла. Моделирование на сетях Петри	23
Довбиш А.С., Берест О.Б., Приходченко Р.С. Інформаційно-екстремальний алгоритм навчання керованого голосом маніпулятора	30
Москаленко В.В. Информационно-экстремальное машинное обучение по несбалансированным данным большого размера	34
Семенец В.В., Наталуха Ю.В., Тарануха О.А., Токарев В.В. Об одном подходе применения атомарных функций при обработке изображений кровеносных сосудов сетчатки зрительного анализатора человека	39

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Скопа О.О., Волков С.Л., Грабовський О.В. Мультихромосомна генетична модель показників якості інформаційно-вимірювальних систем	43
Кириченко Л.О., Кобицкая Ю.А., Дёмина Н.А. Анализ и распознавание реализаций сигналов, обладающих фрактальными свойствами.....	49
Казакова Н.Ф., Соклакова Т.І. Удосконалення методу моніторингу рівня інформаційної безпеки у спеціальних сегментах національної інформаційної інфраструктури	56
Литвин О.О., Хурдей Є.Л. Одна теорема про інтерполяційно-проекційні поліноми від двох змінних n-го степеня з відомими проекціями вздовж заданої системи перетинних прямих	65
Повзун О.І., Кононіхін С.В., Лещинський В.О. Математичне моделювання системи «дъюготь-полістирол» на інтелектуальному рівні	69
Кухаренко Д.В. Побудова моделі нейронної мережі комп'ютерної системи для прогнозування результату оперативних втручань на окорухових м'язах людини	75

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Дикова Ю.Л., Федоров Е.Е. Разработка нейросетевого способа диагностики шахтного оборудования	80
Чеботарева И.Б., Кулишова Н.Е. Формирование нечеткой оценки светлоты цифровых оригиналов.....	85
Ляхно В.А., Пойманов М.М. Вибір методів захисту інформації в системах документообігу залізничного транспорту	91
Лаврик В.В. Применение моментной схемы конечных элементов для решения задач механики эластомеров	96
Прасол І.В., Мустецова О.В. Можливості діагностики комп'ютерної залежності студентів.....	100
Об авторах	106
Правила оформлення рукописів для авторів науково-технічного журналу «Біоніка інтелекту».....	108
Instructions for authors of manuscripts of the scientific journal «Bionics of intelligence»	109



В.А. Широков

Украинский языково-информационный фонд НАН Украины, г. Киев, Украина

ЛИНГВИСТИКА И СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД. ЧАСТЬ 1

На основе феноменологического анализа свойств языка формулируются принципы системного подхода, основанного на рассмотрении отношений внутри триады «структура — субстанция — субъект». Подчеркивается системообразующий характер отмеченной триады. Излагается сущность лексикографического эффекта в информационных системах. Приведен ряд примеров из лингвистики, иллюстрирующих авторскую системологическую концепцию.

ЛЕКСИКОГРАФИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД, ТЕОРИЯ СЛОЖНОСТИ, СТРУКТУРА, СУБСТАНЦИЯ, СУБЪЕКТ

Введение

Предлагаемый вниманию читателя текст является результатом авторских рефлексий, возникших в процессе исследования свойств словарей, в первую очередь — больших многотомных лексиконов, в которых, как отмечают их создатели, эксплицирована «система» языка. Данное исследование в 90-е годы прошлого столетия привело к определенным обобщениям, результатом которых стало построение теории лексикографических систем¹ — достаточно универсальной информационной конструкции, которая сочетает в себе черты таких формализованных объектов как модели данных и знаний, логико-лингвистические исчисления и тому подобное. Характерно, что в структуре лексикографических систем эксплицированы именно «системообразующие» свойства естественного языка, хотя концептуальный масштаб теории лексикографических систем и возможности ее применения намного превышают то, что сосредоточено в собственном феноменологическом кругу естественного языка.

Отметим, что теория лексикографических систем изначально строилась на определенных системных началах, и среди них прежде всего — на системных свойствах естественного языка. Отмеченная системность языка, который является одним из символов веры современной лингвистики, утверждает такое ее понимание, при котором учитываются не только свойства отдельных элементов языка, но и связей (отношений) между ними, а также и свойства самих этих отношений. Именно указанное обстоятельство, по мнению большинства лингвистов, и сообщает языку свойство системности.

В принципе, далее отмеченной констатации (весьма, впрочем, полезной на практике) языкознание, как правило, не распространяется. Таким образом, свойство системности по существу сводится к понятию структуры, ибо структура объекта, как известно, и определяется набором его элементов и связей (отношений, операций ...) между ними.

¹ В.А. Широков. Інформаційна теорія лексикографічних систем. — К.: Довіра, 1998, 331 с.

Относительно возможных других, дополнительных свойств, которые могут и должны быть положены в основу определения² понятия системы, в свое время также высказывались разные мнения — как собственно в области лингвистики, так и вне ее.

В частности, обсуждалась и возможность учета субстанциальных свойств в определении понятия системы, правда, в смысле скорее отрицательном. Как отмечал Г.П. Мельников в своей известной работе «Системный подход в лингвистике»³: «В работах по системно-структурной методологии и в чисто структуралистских трудах проблема «субстанции», «материальности», «субстрата» или вообще не обсуждается, или упоминается только в связи с тем, чтобы показать, что она не имеет сущностного значения при исследовании объекта как системы. Известный тезис Ф. де Соссюра «язык есть форма, а не субстанция» полностью совпадает с утверждением У. Росса Эшби о том, чем должна заниматься общая теория систем: «Нужно исключить из рассмотрения два фактора, не относящихся к делу. Первым из них является «материальность» — идея о том, что машина должна быть сделана из реальных материалов ... Точно так же не относится к делу любая ссылка на энергию ...». Сейчас, по прошествии значительного времени с момента публикации такого рода взглядов уже стало почти очевидным, что они являются идеализациями, методологическими упрощениями, не вполне адекватно отражающими реальность.

И в самом деле, возьмем, например, понятие информации и ее реальные воплощения в вычислительных системах. Долгое время считалось, что принципиальные свойства вычислительных систем не зависят от «субстанции», из которой составлены преобразователи информации — будь то радиолампы, полупроводники или микроэлектронные чипы. Считалось, что от этой субстанции

² Автор вполне осознает, что точного определения понятия системы быть не может, поэтому здесь слово «определение» употребляется в несколько «пиквикском» смысле.

³ Г.П. Мельников. Системный подход в лингвистике. // Системные исследования. Ежегодник 1972. — М.: Наука, 1973, с. 183–204.

зависят разве что количественные параметры вычислителей — память и быстродействие. Однако ситуация кардинально изменилась с открытием квантовой информации, причем не в смысле банального «перехода количества в качество», а в связи с тем, что квантовая информация обладает свойствами, принципиально отличными от классической (речь идет о квантовой суперпозиции и квантовой запутанности⁴), так что вычислительные системы, создаваемые на основе такой «субстанции», будут иметь и принципиально отличные от классических вычислителей именно системные свойства. Приведенный пример является всего лишь одной из иллюстраций субстанциальной определенности систем.

Г.П. Мельников еще более 40 лет назад предложил расширить определение понятия системы, включив в него субстанциальные свойства⁵. Таким образом, структура и субстанция по Мельникову являются «системообразующими» концептами самого понятия «система», внутренними имманентами его определения.

Автор, солидаризируясь с Г.П. Мельниковым в части реабилитации субстанции, как неотъемлемой концептуальной составляющей определения понятия системы, считает такое расширение все же недостаточным и предлагает дополнить его за счет еще одной концептуальной компоненты.

Имеется в виду следующее.

Начнем с некоторых простых примеров, относящихся как к области языка, так и находящихся вне ее.

Рассмотрим такой относительно простой и хорошо формально определенный объект как система линейных уравнений. В каком смысле и при каких условиях мы можем рассматривать ее именно как «систему» в понимании системного подхода? В стандартных обозначениях система линейных уравнений n -го порядка имеет следующий вид:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i,$$

где $i, j = 1, 2, \dots, n$; $a_{ij} \in Q$; $x_j \in Q$; $b_j \in Q$. Структура данного объекта сводится к структуре линейных комбинаций и отношений равенства. Уже на этом

первом шаге мы сталкиваемся с невозможностью полного формального определения системы без информации о «субстанции» величин, составляющих эти линейные комбинации. Действительно, в приведенной формуле фигурируют операции сложения и умножения, которые по-разному определяются для различных алгебраических объектов (можно сказать, разных алгебраических субстанций). То же касается и равенства — операции (или отношения) сравнения. Зафиксировав, например, элементы из этой формулы, как принадлежащие к полю рациональных чисел, мы получаем систему, свойства которой отличаются от той, как если бы в данной формуле фигурировали объекты иной алгебраической природы. Следовательно, даже в этом простейшем случае свойство системности предполагает определение субстанциальных свойств элементов структуры системы. Таким образом, «субстанциальная» инициатива Г.П. Мельникова обретает здесь вполне естественную иллюстрацию.

Но этого, как мы полагаем, еще недостаточно. Ведь объект, определенный этой формулой, приобретает свойства системы тогда и только тогда, когда все его образующие элементы и отношения получают некую достаточно определенную интерпретацию. А для этого необходимо иметь внятный механизм или инструмент, способный «распознавать» эти элементы и отношения, идентифицировать их как элементы определенных совокупностей, выполнить с ними какие-то разрешенные для этих совокупностей действия согласно определенным правилам (алгоритмам) и, наконец, получить совокупность решений «системы» или убеждение, что таковых не существует. Именно эта идентификационно-интерпретационно-алгоритмическая компонента, действующая как своего рода *субъект* — «аналитическое» и «активное» начало и образует последний член триады «структура — субстанция — субъект», которая, как мы считаем, является системообразующей для определения понятия системы.

Таким образом, определение понятия системы можно изобразить в виде символического равенства: $C = C + C + C$, где «C» левой части обозначает понятие «система», а правая часть демонстрирует наличие и взаимодействие основных образующих компонент этого понятия, а именно «структуру», «субстанцию» и «субъект»⁶.

Сделаем некоторые уточнения и разъяснения касательно этого последнего члена системной триады. Во-первых, выясним, является ли свойство субъектности внутренним свойством системы или оно есть результат действия какой-то причины, внешней по отношению к самой системе.

⁶ Автор также осознает те трудности, которые встретятся на пути определения понятий структуры, субстанции и субъекта. Поэтому данным вопросом, которому, впрочем, посвящена колоссальная библиография, в настоящей работе мы заниматься не будем, апеллируя к интуиции читателя.

⁴ Прескилл Дж. Квантовая информация и квантовые вычисления. Том 1. — М.—Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2008. — 464 с. К. А. Валиев. Квантовая информатика. Компьютеры, связь и криптография. Вестник РАН, том 70, № 8, с. 688–695 (2000). С.И. Чивилихин. Квантовая информатика. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 2007. С. Eric S. Piotrowski, Toward a Quantum Linguistics: Possibilities for Change in the Delta Zone, 2000. Stapp, Henry P. “Quantum Nonlocality and the Description of Nature,” in James T. Cushing and Ernan McMullin, eds., Philosophical Consequences of Quantum Theory (Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1989). Strehle, Susan. Fiction in the Quantum Universe. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1992.

⁵ Отметим также его работу «Системная лингвистика и ее отношение к структурной» // Проблемы языкознания: Докл. и сообщ. советских ученых на X Международном конгрессе лингвистов. — М.: Наука, 1967, с. 98–102.

1. Информационное введение в понятие лексикографического эффекта в информационных системах

1.1. Начальные представления о лексикографическом эффекте в информационных системах

Некоторые свойства субъектности, как третьего члена триады «структура — субстанция — субъект», можно прояснить, анализируя механизмы лексикографического эффекта в информационных системах, сформулированного нами в 90-х годах прошлого века⁷. Для этого нам понадобится понятие лексикографического описания систем, чему и будет посвящен данный раздел, изложение которого в основном следует работам⁸. При этом под лексикографическим описанием мы понимаем гораздо более общий тип описания систем, чем принятый в классической лингвистической лексикографии и трактующий вопросы составления словарей. Коротко говоря, лексикографическое описание изучаемого объекта состоит в:

а) выделении в нём дискретных спектров неких единиц, относящихся к его онтологической природе, а именно, таких дискретных, относительно устойчивых сущностей, которые, комбинируясь, эксплицируют феноменальные проявления исследуемого объекта;

б) построении интерпретаций упомянутых спектров как со стороны форм их проявления, так и со стороны внутреннего содержания, связанного с данными формами и в них проявляющегося.

Базовые принципы лексикографического описания в нашем понимании основываются на информационной теории систем⁹, благодаря чему данное описание, построенное на информационной интерпретации, приобретает намного более общие черты, чем относящееся непосредственно к языковой системе, и, фактически, касается любых объектов, где происходят информационные процессы с системными признаками, лишь в некоторой степени подобными соответствующим признакам языковой субстанции. По своей типологии принятый нами подход мы характеризуем как феноменологический, поскольку он базируется на общих информационных проявлениях систем и не является специфическим следствием их конкретного строения. Одновременно подчеркнем наше сознательное стремление при рассмотрении информационных аспектов реальности быть максимально приближенным к тому кругу феноменов, которые близки к естественноречевым либо могут квалифицироваться как таковые.

⁷ Первое регулярное изложение теории лексикографического эффекта осуществлено в нашей книге «Інформаційна теорія лексикографічних систем» (К.: Довіра, 1998).

⁸ В.А. Широков. Феноменологія лексикографічних систем. — К.: Наукова думка, 2004. В.А. Широков. Елементи лексикографії. — К.: Довіра, 2005. В.А. Широков. Комп'ютерна лексикографія. — К.: Наукова думка, 2011.

⁹ Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушин Ф.Ф. Введение в информационную теорию систем. — М.: Радио и связь, 1985. — 278 с.

Общей чертой всех процессов информационного обмена является преобразование информации из одной формы в другую, причем современные естественнонаучные теории вполне определенно подтверждают принципиально дискретный („квантовый“) характер процессов взаимодействия и обмена и, следовательно, принципиальную дискретизацию процессов восприятия и интерпретации (описания) действительности. Отмеченная дискретизация имеет по крайней мере одну общую для всех известных процессов черту, как нам представляется, фундаментального характера. А именно: наблюдая и обобщая поведение различных систем, заключаем, что в *процессе эволюции (динамики, саморазвития...) системы любой природы в ее структуре, при ее взаимодействии (наблюдении) с неким субъектом проявляется подсистема относительно устойчивых дискретных сущностей* („подсистема порядка“), которые играют роль ее *элементарных информационных единиц*, так что все другие феномены системы представляют собой определенным образом организованные комбинации этих элементарных информационных единиц.

Отмеченная подсистема обладает свойствами, некоторым образом родственными свойствам лексической системы естественного языка: она „генерирует“ в своей структуре нечто наподобие тезауруса и грамматики с присущими этим конструкциям свойствам знаковости, значения, содержания, полиморфности и т. д.; она является носителем как „плана выражения“, так и „плана содержания“. Данное обстоятельство поясняет употребление нами термина «лексикографический эффект».

Совокупностям элементарных информационных единиц присуще свойство „субстанциальности“, как и другим агрегациям, обусловленным объективными процессами, вследствие чего отмеченные совокупности, как правило, обладают относительной устойчивостью своих характеристик, обеспечивающей их локализацию в соответствующих областях системных параметров. Точно также мы заключаем, что любой лексикографический эффект развивается в среде отношений «субъект — объект», причем проявления субъектности варьируют в чрезвычайно широких границах, начиная с универсального свойства отражения, присущего всем вещам, и заканчивая психическими и когнитивными реакциями и отправлениями интеллектуальных сущностей.

Описанная совокупность явлений составляет содержание лексикографического эффекта. Можно утверждать, что при изучении любых предметных областей специалисты фактически исследуют лексикографические эффекты, происходящие в данных областях. Таким образом, лексикографический эффект обладает не только феноменологической составляющей, но и методологической, поскольку он имеет определенный „потенциал

операциональности”, стимулируя в процессе моделирования тех или иных систем устанавливать и определять соответствующие комплексы элементарных информационных единиц, учитывая, конкретизируя и репрезентируя их свойства. В этой ипостаси концепция лексикографического эффекта выступает как метод абстрагирования данных.

Поскольку лексикографический эффект выражается в представлении некоего, в сущности, континуального универсума через посредство дискретных множеств, появляется привлекательная возможность его формализации, используя известную в теории моделей теорему Лёвенгейма-Сколема¹⁰. Последняя состоит в том, что при определенных ограничениях можно установить некий изоморфизм между несчетным и счетным множествами; в некотором смысле, потенциальная бесконечность может иметь конечную интерпретацию, по сути, строится финитная модель бесконечности. Теорема Лёвенгейма-Сколема утверждает, что любая непротиворечивая теория первого порядка, имеющая несчетную модель, имеет также и счетную модель. Это означает, что если некое структурированное множество задано счетным множеством правил, то существует счетное множество (то есть собственное подмножество множества натуральных чисел), на котором можно построить точную модель этого структурированного множества, где будут выполняться все исходные аксиомы. Следовательно, имеет место такое представление бесконечного описания объекта через конечное, которое содержит в себе всю информацию о бесконечном объекте. Таким образом, можно утверждать, что теорема Левенгейма-Сколема на самом деле выступает в роли формального коррелята лексикографического эффекта¹¹.

В дальнейшем комплекс элементарных информационных единиц системы D , индуцированный вследствие развития лексикографического эффекта Q , обозначим через $I^Q(D)$ или просто $I(D)$, если ссылка на тип лексикографического несущественна. Система элементарных информационных единиц обладает определенной структурой. В частности, в ней можно выделить ядро — некую собственную подсистему $I_0^Q(D) \subset I^Q(D)$ и определить порождающую процедуру π :

$$\pi: I_0^Q(D) \rightarrow I^Q(D). \quad (1)$$

Тройку $(I^Q(D), I_0^Q(D), \pi)$ будем также отождествлять с системой элементарных информационных единиц и использовать наряду с $I^Q(D)$, $I(D)$, $I_0^Q(D)$, $I_0(D)$ как эквиваленты, полагая, что порождающая процедура определена, известна и понятна из контекста.

Подытоживая содержание данной феноменологии, констатируем, что процессы, аналогичные описанным, происходят во всех достаточно сложно устроенных естественных и социотехнических системах и вообще в системах любой природы, в которых действуют источники, преобразователи и потребители информации и, значит, происходят аналоги перцептивно-сенсорных актов и интеллектуальных процессов, реализующихся в среде отношений системной триады «структура — субстанция — субъект». Сказанное сообщает дополнительное основание для справедливости вывода о существовании и универсальности лексикографического эффекта в информационных системах с характеристиками *знаковости, значения, содержания и полиморфности*, роднящего его с естественным языком, которому также присущи указанные свойства¹². Отмеченные факторы усиливают тенденцию построения как можно более формально определенных структур, являющихся представителями лексикографических эффектов, и их применения к описанию феноменов любой природы, в частности, естественных языковых.

Многочисленные подтверждения изложенного мы наблюдаем в целом ряде природных явлений. Несмотря на то, что по современным представлениям всё мироздание помещено в четырёхмерный пространственно-временной континуум, наблюдаемые величины зависят от небольшого числа так называемых «мировых констант» (скорости света, заряда и массы электрона, постоянной Планка и т.п.), которые вместе со множеством целых чисел составляют своеобразный «алфавит» физики, в котором выражаются все содержательные утверждения о поведении физических систем (значения наблюдаемых величин). Аналогичная ситуация и с научным описанием иных системы: все химические вещества являются некими «словами» в алфавите химических элементов, а их взаимопревращения — «предложениями» этого языка; белки в основном состоят из 20 аминокислот, молекулы ДНК строятся на основе четырех типов нуклеотидов и т.д. Сами химические элементы являются элементарными информационными единицами относительно лексикографического эффекта, определяемого принципом Паули, который допускает нахождение в одном квантовом состоянии не более одного электрона, регламентируя таким образом порядок заполнения электронных орбит атомов и, следовательно, определяя возможный набор химических элементов. Примеры такого рода можно приводить десятками. Показательно, что данное поведение характерно не только для, так сказать, реальных объектов мира — природных и технических, но и для образований концептуального уровня, оперирующих идеальными объектами, абстракциями и ментальными конструкциями.

¹² Соломоник А. Семиотика и лингвистика. — М.: Молодая гвардия, 1995. — 352 с.: ил.

¹⁰ Бруно Пуаза. Курс теории моделей., Алматы, 2001. — 460 с. (электронная книга в PDF).

¹¹ Г.Г. Головкин, В.А. Широков. Теорема Левенгейма-Сколема как формальный коррелят лексикографического эффекта в информационных системах. MegaLing'2006. Горизонти прикладної лінгвістики та лінгвістичних технологій// Доповіді Другої Міжнародної наукової конференції, 20-27 вересня, 2006, Україна, Крим, Партеніт. ISBN: 966-8180-44-5. С. 201-202.

1.2. Информационная сущность отношения «форма — содержание»

Для проведения анализа деталей разворачивания отношения „форма — содержание” (ОФС) рассмотрим диаграмму, символически изображающую процесс восприятия некоего объекта неким субъектом:

$$S: D \longrightarrow V(D). \quad (2)$$

Здесь буквой D обозначено “нечто” из реального (или воображаемого) мира, выступающее в качестве объекта процесса восприятия (наблюдения, изучения, внимания, переживания ...) со стороны некоего S , которое мы считаем субъектом данного процесса; через $V(D)$ обозначим результат этого процесса. Отметим, что в роли S может выступать человек или сконструированный человеком прибор, или человекомашина, или что-либо другое, наделенное свойствами восприятия и ощущения (“отображения”); S может быть и “коллективным субъектом” — группой людей, социальным сообществом, этносом, нацией, народом, совокупностью народов или даже человечеством в целом.

Здесь мы не детализируем принципы и способы устройства субъекта S , за исключением одного: S имеет два определяющих свойства: а) восприятие и ощущение внешних сигналов (“перцептивно-сенсорный” аппарат) и б) способность к их внутренней обработке (осознанию и интерпретации). Таким образом, в результате физической, психической, интеллектуальной и другой ограниченности субъекта S вся совокупность свойств объекта D для его восприятия делится на две, не очень четкие, неоднозначные, меняющиеся и нечетко отделяемые части. К первой из них относим те свойства D , которые более непосредственно воспринимаются “перцептивно-сенсорным” аппаратом S — обозначим эту часть через $F(D)$ и трактуем ее как совокупность свойств D , соотношенных к его форме с точки зрения субъекта S , воспринимающего D . Ко второй части относим свойства D , непосредственно не воспринимаемые перцептивно-сенсорным аппаратом S , но отражающиеся в нем опосредованно через средства внутренней обработки. Обозначим эту часть через $C(D)$ и будем рассматривать ее как совокупность содержательных свойств D — опять-таки с точки зрения восприятия субъекта S . Таким образом, формула (2) приобретает следующий вид:

$$D \xrightarrow{S_F} F(D) \xrightarrow{H} C(D) \quad (3)$$

где символом S_F обозначено действие “перцептивно-сенсорного” аппарата субъекта S , результатом которой является совокупность формальных (с точки зрения S) свойств D ; символом H обозначен механизм, осуществляющий интерпретацию (связь между формой и содержанием) и обеспечивающий целостность восприятия объекта D субъектом S (если ему действительно удастся обеспечить указанную целостность). В то же время, предположив существование механизма, который позволяет

переход от D к $C(D)$ — обозначим этот механизм через S_C , — получаем следующую трансформацию диаграммы (3):

$$\begin{array}{ccc} & S_F & \\ D & \nearrow & F(D) \\ S_C & \searrow & \\ & C(D) & \end{array} \quad (4)$$

где, как видим, произошла “декомпозиция” субъекта S на его “составляющие” S_F и S_C , отвечающие за реконструкцию формальных и содержательных свойств D соответственно. Итак, в приведенной декомпозиции субъект выступает имеющим дуалистическую природу: он обладает механизмом для непосредственного («перцептивно-сенсорного» — учитывая форму вещей) восприятия объективной действительности D , а также наделен аппаратом для «интеллектуальной» обработки полученной информации путем толкования ее «содержания». Кроме того, он снабжен и определенным «интерфейсом» между этими двумя способами обработки информации, который в схеме представлен элементом H .

Мы не склонны абсолютизировать описанную схему. Между $F(D)$ и $C(D)$ нет четкой границы, как ее вообще нет между формой и содержанием. Также почти никак не детализировались свойства S , хотя из общих соображений и была осуществлена его декомпозиция на S_F и S_C . Следовательно, этот подход действительно может квалифицироваться как феноменологический, поскольку он не опирается на предположение о возможной “конструкции” S и механизмов его функционирования. Из этих соображений можно утверждать, что изложенная схема является достаточно общей — в нее не заложено никаких специфических “анзатцев”. Единственным, характерным для языка, мы считаем предположение, что $F(D)$ должен иметь линейный характер, то есть изображаться линейными последовательностями дискретных объектов, источником которых выступает некое конечное множество. Учитывая сказанное, даже сама возможность существования такого явления как язык выступает следствием фундаментального свойства S “быть субъектом”, то есть таким, для которого любой объект, представляется имеющим свою внешнюю сторону (форму) и внутреннюю (содержание). Отношение между этими различными аспектами восприятия, символически изображенные величинами S_F , S_C , H , отличаются большим разнообразием, источником которого является фундаментально присущие (то есть такие, от которых в принципе нельзя избавиться) свойства воспринимающего субъекта S : изменчивость, нерегулярность, разнообразие, ограниченность, нечеткость и тому подобное.

Отметим еще одну черту процесса разворачивания ОФС. Современная культурология склонна трактовать ее как символ постмодернизма, а именно — влияние субъекта на объект, то есть возмож-

ность изменения состояния объекта D в процессе его восприятия (наблюдения, исследования ...) субъектом S . Дело в том, что для того, чтобы произошел процесс, символически изображенный диаграммами (2) – (4), во многих случаях необходимо “активизировать” объект D , чтобы он “проявил” свои свойства, которыми “интересуется” S . В классической научной парадигме считалось, что такое возбуждение объекта можно сделать сколько угодно малым и пренебречь им, считая что оно существенно не меняет состояния объекта. Однако развитие науки обнаружило, что на самом деле это, вообще говоря, не так. Исторически первой научной дисциплиной, учитывающей влияние субъекта (прибора) на объект исследования, оказалась квантовая механика.

То, что было изложено выше, оказывается созвучным с совсем другими явлениями и их формальными моделями, которые были построены независимо, по другому поводу и для других целей. Речь идет об определении информации А.Н. Колмогоровым¹³.

Введение колмогоровской информационной меры, как известно, имеет целью уточнение понятия информации, во-первых, без привлечения вероятностного подхода, характерного для информационной меры К. Шеннона, а во-вторых, предоставление возможности применения этой меры к индивидуальным объектам.

Основная идея колмогоровского подхода заключается в том, что информация об объекте считается полученной, когда возможно воспроизвести (реконструировать) этот объект (модель объекта) по определенному его конечному описанию (набору признаков). Построение меры Колмогорова базируется на таких фундаментальных понятиях, как алгоритм, машина Тьюринга, рекурсивная функция, и восходит к идеям теории сложности вычислений (сложности алгоритмов), которая, собственно, и является источником интерпретации информации как степени сложности, неоднородности, нерегулярности и структурированности объектов, а также уверенности в универсальности такой характеристики как сложность, поскольку любой объект, независимо от его природы, характеризуется определенной сложностью, неоднородностью и имеет определенную структуру, хотя бы и тривиальную.

Соответствующая, не перегруженная деталями математическая конструкция, которую мы здесь приводим, следуя указанным трудам А. Н. Колмогорова, формулируется следующим образом.

Рассмотрим определенное счетное множество $X = \{x\}$. Будем считать, что существует взаимно-однозначное соответствие между X и множеством D двоичных слов, начинающихся с единицы – то есть, пусть задано биективное отображение:

$$n: X \rightarrow D, \quad (5)$$

такое, что каждому $x \in X$ однозначно отвечает некоторый $d = n(x)$, $d \in D$, и наоборот. Будем считать, что:

1. $n(x)$ – общерекурсивная функция на D . Обозначим через $l(d)$ длину двоичного слова $d \in D$, то есть число нулей и единиц, в нем содержащихся. Тогда $l(n(x)) = l(x) + C$, где C – некая константа.

2. существует однозначное отображение $\chi: X^2 = X \times X \rightarrow X$ такое, что для $\forall x \in X, y \in X \exists z \in X$, что $z = \chi(x, y) \equiv (x, y)$ и $n(z) = n(x, y)$ – общерекурсивная функция от $n(x)$ и $n(y)$, причем: $l(x, y) \leq C_x + l(y)$, где константа C_x зависит лишь от x .

Полагаем изоморфизм (5) установленным, так что множество X также рассматриваем как множество двоичных слов. Допустим, что существует частично рекурсивная функция $\phi(p, x)$, ставящая в соответствие двоичному слову x двоичное слово y , причем $p \in D$, интерпретируется как алгоритм (или программа), „перерабатывающая” x в y :

$$p: x \rightarrow y, \quad (6)$$

а ϕ представляет при этом метод (язык) программирования. Без утраты общности полагаем, что p для данного x задается неким двоичным словом.

Обозначим:

$$K_\phi(y|x) = \begin{cases} \min_p l(p), & \text{если } \phi(p, x) = y, \\ \infty, & \text{если не существует конечного } p \\ & \text{такого, что } \phi(p, x) = y. \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, $K_\phi(y|x)$ является длиной минимальной программы p , перерабатывающей x в y при заданном методе программирования ϕ . Эта величина называется сложностью y относительно x при данном ϕ . На интуитивном уровне понятно, что «сложность y относительно x при данном ϕ » связана с определенной неоднородностью объектов x и y , то есть с тем, насколько нерегулярно размещены нули и единицы в них, насколько это распределение является неоднородным, таким, которое не может быть существенно упрощено и, следовательно, не допускает более короткого описания. Разумеется, зависимость величины сложности от ϕ – недостаток описанного метода, но существует теорема¹⁴, утверждающая существование „наилучшего” метода программирования A такого, что для любой частично рекурсивной функции ϕ справедливо неравенство:

$$K_A(y|x) \leq K_\phi(y|x) + C_\phi, \quad (8)$$

где постоянная C_ϕ зависит только от ϕ и не зависит от x и y .

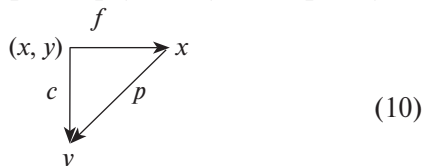
Величину $K_A(y) \equiv K_A(y|1)$, „отнормированную” относительно единичного элемента $x = 1$, естественно считать сложностью элемента y . При этом количество информации в объекте x относительно объекта y определяется как разность:

$$I_A(x|y) = K_A(y) - K_A(y|x). \quad (9)$$

¹³ Колмогоров А.Н. Три подхода к определению понятия „количество информации”. В кн. Теория информации и теория алгоритмов. – М., Наука, 1987. – С. 213–223.

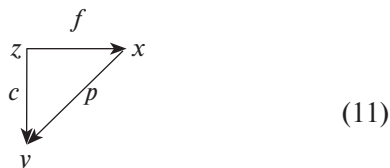
¹⁴ А.Н. Колмогоров. Три подхода к определению понятия количества информации. В кн. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987. – С. 220.

Последняя формула и определяет меру информации — так называемую алгоритмическую меру информации Колмогорова. Формула (9) и весь описанный подход определения информации через алгоритмическую сложность могут быть проинтерпретированы несколько иным способом. С этой целью построим треугольную диаграмму:



где x и $y \in X$; элемент $(x, y) \in X^2$, причем благодаря существованию отображения $\chi: X^2 \rightarrow X$, $\chi(x, y) = z$, $z \in X$. В диаграмме (10) отображения f и c реализуют проекции элемента (x, y) на первый и второй сомножители, соответственно, причем справедливыми остаются формулы (6) — (9) и интерпретация сложности и информационной меры. Диаграмму (10) полагаем коммутативной: композиция отображений f и p равняется c : $p \circ f = c$.

Предположим теперь, что объект z , который до этого представлял образ декартова произведения (x, y) при отображении χ , на самом деле является самостоятельным, в известной степени независимым от x и y объектом внешнего мира. Это предположение позволяет построить такую коммутативную диаграмму:



где $z \in Z$, Z — множество-источник объектов z , $x \in X$, $y \in Y$. Тогда отображения f и c определяют различные интерпретации объекта z , и, кроме того, отображение p интерпретирует x через y ; $p \circ f = c$. Естественно предположить, что объект x отражает “формальные” свойства объекта z , а y — его “содержательные” свойства, причем связь между “формой” и “содержанием” берет на себя p . Требование минимальности p здесь вполне понятно, ведь “толкование” формы (а его результат — это и есть содержание) не должно содержать “лишних”, случайных относительно x (а также и z) элементов. Построенная таким образом конструкция, основанная на тройке объектов (z, x, y) и тройке отображений (f, c, p) , формирующих диаграмму (11), допускает естественную интерпретацию как комплекс, который является носителем отношения “форма-содержание”.

Итак видим, что ОФС таким своеобразным способом оказывается “зашифрованным” в алгоритмической теории сложности и информации, а значит, это отношение (равно как и отношение «субъект — объект») тесно связано с информационными процессами; даже больше — оно является их системообразующим отношением. Между тем, оно также является одним из основных системообразующих отношений естественного языка, что настойчиво утверждает лингвистическая теория.

Очевидное сходство, «сродство» диаграммы (4) с определением информации по Колмогорову, а также дальнейшие рассуждения, которые привели к построению диаграммы (11), наводят на мысль о том, что в основе и того и другого лежат одинаковые закономерности. Сама форма представления информационной меры свидетельствует об определенном процессе, результатом которого стала генерация “алфавита” — знаковой системы представления объекта. Развертывание отображений (f, c, p) в диаграммах (10) — (11), которым сопоставляются элементы ОФС из диаграммы (4), побуждает к сопоставлению последних с составляющими информационных процессов, которые в теории Колмогорова сводятся к математическим отношениям (алгоритмам, рекурсивным функциям, ...), определенным на дискретных множествах.

Таким образом, лексикографический эффект можно рассматривать в качестве феноменологического основания теории сложности и соответствующей теории информации, а также наоборот: теорию сложности, колмогоровскую информацию и теорему Лёвенгейма-Сколема естественно рассматривать в качестве формальных коррелятов лексикографического эффекта в информационных системах.

2. Субъект в структуре лексикографического эффекта

Из формул (2) — (4) и конструкции информационной меры Колмогорова следует, что субъекту присуща дуалистическая природа: он обладает механизмом для непосредственного («перцептивно-сенсорного», отображающего форму вещей) восприятия объективной действительности D , а также наделен аппаратом для «интеллектуальной» обработки полученной информации путем толкования ее «содержания». Кроме того, он наделен и неким «интерфейсом» между этими двумя способами обработки информации, который в схеме представлен элементом H .

Как было показано, содержание формул (5) — (9) и диаграмм (10) — (11) невозможно понять без введения субъективного начала, которое абстрагируется из фундаментальных, имманентных свойств материи. В формулах (2) — (4) указанная констатация изначально вводится как нечто, само собой разумеющееся. При этом необходимо подчеркнуть, что несмотря на то, что информационные характеристики (свойства, связанные со сложностью объекта) проявляются (актуализируются, эксплицируются ...) в процессе взаимодействия «субъект — объект», это может произойти только тогда, когда эти свойства в «свернутом» виде скрыты в структурах как субъекта, так и объекта.

Таким образом, «субъектность» выступает не только внешней по отношению к объекту чертой, но и, по сути, внутренней способностью объекта к «отражению», его имманентным свойством. Изложенное понимание системности имеет тес-

ную связь с квантовыми принципами описания реальности, согласно которым фундаментальной характеристикой объекта является его состояние, которое в теории, то есть в процессе научного описания приобретает черты основного концептуального объекта. В этой связи приведем некоторые общенаучные соображения относительно концепции состояний системы. Это понятие, которое используется во многих естественных, социогуманитарных и технических дисциплинах, по нашему мнению, наиболее глубоко теоретически и практически разработано именно в квантовой механике, где оно является основополагающим.

Согласно канонической доктрине квантовой механики, каждая система в определенный момент времени находится в определенном состоянии. Состояние системы формализуется как решение уравнения Шредингера для данной системы. Поскольку уравнение Шредингера является определенного типа дифференциальным уравнением в частных производных, множество его решений, которые отождествляются с состояниями рассматриваемой системы, образует бесконечномерное гильбертово пространство. Следовательно, число состояний квантовомеханической системы теоретически бесконечно.

Состояние системы представляет максимально полное ее описание в теории и определяет вероятностную интерпретацию, но само оно, вообще говоря, не является непосредственно наблюдаемой величиной. Наблюдаемые величины представляются в квантовой механике эрмитовыми операторами, которые действуют в гильбертовом пространстве состояний, а возможные значения наблюдаемых величин вычисляются как матричные элементы этих операторов в пространстве состояний. Однако в некоторых других теориях состояния системы являются наблюдаемыми величинами. Скажем, в классической механике состояние материальной точки задается парой координата-импульс в определенный момент времени: $(x(t), p(t))$, которые являются наблюдаемыми — как отдельно, так и вместе. В квантовой же механике существует фундаментальное ограничение на одновременное измерение координат и импульсов, которое определяется принципом неопределенности Гейзенберга.

Следовательно, понятие и статус наблюдаемой величины неинвариантны и по-разному определяются в разных естественнонаучных (и других) теориях. Это придает определенную пикантность использованию понятия состояния в теории исчислений, которая в ее нынешнем виде явление наблюдаемости, по нашему мнению, вообще игнорирует.

Можно было бы потребовать для теории оперировать только наблюдаемыми величинами, но данный вопрос не прост. Он широко дискутировался во времена возникновения квантовой теории и не потерял актуальности в наше время. До-

стижения этой области теоретического знания на самом деле содержат настолько общие методологические уроки и установки, что они с пользой могут и должны быть усвоены любой наукой, которая имеет амбиции касательно теоретического осознания природы изучаемых ею вещей.

Первым и самым важным из них является, пожалуй, то, что для характеристики состояний объектов действительно используются как наблюдаемые, так и непосредственно не наблюдаемые величины. Причем, по убеждению большинства ученых, строить теорию только из одних наблюдаемых величин невозможно. Но, в то же время понятно, что без наблюдаемых величин никакая научная теория и вообще наука немислимы в принципе. Наблюдаемые и непосредственно не наблюдаемые величины должны иметь разный логический и онтологический статус, однако, насколько нам известно, общая теория этого вопроса до сих пор в деталях не разработана.

В свете изложенного напрашивается такая интерпретация взаимоотношений между наблюдаемыми и непосредственно не наблюдаемыми величинами теории: *они представляют, соответственно, “формальную” и “содержательную” стороны исследуемого объекта и, следовательно, могут быть формализованы как реестровая и интерпретационная части некоторой гипотетической лексикографической системы.*

В применении к объектам языка такая интерпретация может быть детализирована в том смысле, что состояние любой языковой единицы допускает разложение на формальную часть (достижимую для непосредственного восприятия субъектом — будь то звук или графическое изображение), а содержательная представляется совокупностью “всех контекстов”, в которых может функционировать данная языковая единица — это обстоятельство, собственно, и делает непосредственно не наблюдаемой указанную часть состояния

В научной дискуссии о логических и психологических основах феномена наблюдаемости стоит упомянуть о такой философской установке как принцип Маха¹⁵, согласно которому чувственные впечатления упорядочиваются в мышлении человека способом, который предусматривает максимально экономную компоновку этих впечатлений в устойчивые комплексы. Характерно, что А. Эйнштейн¹⁶, считая этот принцип слишком банальным для того, чтобы он был способен сыграть роль универсального гносеологического закона, отмечал особую роль языка в онтолого-логико-психологическом развертывании процесса познания. Языковые конструкции он считает не только способом фиксации чувственных комплексов, но и отражением того, что существует (или даже только может существовать) вне этих комплексов и

¹⁵ Принцип Маха — принцип «экономии мышления».

¹⁶ Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. Пер. с нем. — М.: Наука, 1989. — С.191–196.

без связи с ними. По нашему мнению, замечания Эйнштейна (а он был очень чувствителен к вопросам философии познания) о роли языка является неслучайными — они подчеркивают наш тезис об универсальности культурно-информационных процессов на всех уровнях реальности. Вспомним в этой связи сформулированный выше вывод, что даже сама возможность существования такого феномена как язык является следствием свойства „быть субъектом”.

Следующие замечания касаются обсуждения критерия простоты научной теории — его совсем необязательно связывать с принципом Маха. Простота научной теории приобретает для большинства исследователей эстетическую окраску — простота и красота математической схемы, подсказанной природой, имеет для них большую убеждающую силу.

Заметим, что во времена построения квантовой теории понятие простоты (и антонимического, и следовательно — родственного с ним понятия сложности) были общеязыковыми; тогда еще не была сформулирована теория сложности — она, как известно, появилась только в пятидесятых годах прошлого века. Не была также выяснена и связь такой характеристики как сложность объектов и их описаний (а следовательно — и их простота!) с информацией, и не были известны количественные меры для оценки этих величин и их связей. То, о чем говорилось в отношении разработанного А.Н. Колмогоровым и другими учеными понятия сложности, его связи с информационными аспектами описания действительности и собственно с понятием информации и ее количественной меры, имеет глубокую связь с критерием простоты и красоты научной теории. Минимальность описания изучаемого объекта, которая по А.Н. Колмогорову является объективной мерой количества информации об этом объекте, побуждает ученых (хотя бы на уровне подсознательной установки) к нахождению описаний именно такого типа, хотя и не указывает путей и не дает рецептов, поскольку, вообще говоря, относится к классу алгоритмически неразрешимых проблем. Однако отсутствие путей и рецептов не отрицает объективности существования минимального описания — оно является лишь свидетельством того, что не существует формулы или алгоритма для получения новых научных истин. И когда такое описание найдено, то оно, очевидно, должно выглядеть как самое простое — таким оно, по сути, есть. Следовательно, критерий простоты (или красоты) научной теории, по нашему убеждению, является не столько следствием принципа экономии мышления (который Эйнштейн квалифицирует как „подозрительно коммерческий” и который, собственно, имеет лишь очень опосредованное отношение к сути дела, поскольку здесь, скорее, говорится о фундаментальном информационном свойстве объективно существующих вещей, чем о черте мышления как

субъективного процесса), сколько вытекает из общей природы информации и корреспондируется с формальным определением меры ее количества по А.Н. Колмогорову.

Действительно, когда получено описание изучаемого объекта (процесса, системы и т.п.), которое наиболее адекватно соответствует его сущности, то это описание обязано быть минимальным, поскольку оно представляет только существенную информацию об исследуемом объекте и не содержит описания случайных, несущественных деталей, которые „загромождают” существенное „лишними” элементами. Ученый, так сказать, инстинктивно стремится получить именно такое описание исследуемого объекта, которое согласуется с определением информационной меры А.Н. Колмогорова, базирующейся на минимальности описания — этим, по нашему мнению, объясняется и та психологическая уверенность, которую исследователь чувствует, когда ему удается получить простую (красивую!) формулу, уравнение, вывод и т.п.

Формализм теории сложности является одновременно и прозрачным, и глубоким, его следует воспринимать онтологически, как объективное свойство вещей. Одним из нетривиальных проявлений отмеченной черты является то, что сложность составного образования, вообще говоря, не равна сумме сложностей формирующих его сущностей. Выражаясь точнее, сложность не является аддитивной функцией системы. Иными словами, если имеется некая система, состоящая из других, „меньших” подсистем, являющихся ее конституентами, т.е. если:

$$D = \bigcup_i D_i; D_i \cap D_j = \emptyset, i \neq j,$$

где символом D обозначена рассматриваемая система, а D_i — ее составляющие, то:

$$K(D) \neq \sum_i K(D_i), \quad (12)$$

где $K(D)$ — количественная мера сложности системы D , а $K(D_i)$, соответственно, — количественные меры сложности ее конституентов D_i (обычно $K(D) < \sum_i K(D_i)$). Данные представления, разумеется, распространяются и на отдельные $K(D_i)$, а также на их составляющие.

В процессе образования, функционирования и взаимодействия составных систем происходит такое явление, которое мы квалифицируем как „самокомпенсацию сложности”. Содержание этого феномена сводится к следующему. Характер взаимодействия конституентов, образующих некое единство (целостность), идентифицируемое как составной объект, является таким, что они проявляют в „связанном” состоянии лишь определенную часть их полной, „имманентной” сложности. Необходимость такого поведения можно трактовать как свойство, обеспечивающее принципиальную возможность познания „проявленного”

бытия, а может даже и его существования. В противном случае сложность любого объекта была бы актуально бесконечной (потенциально она такой и есть), а так — сложности отдельных компонентов как бы “самокомпенсируются” в процессе формирования целого. Так что можно утверждать, что потенциально сложность любой вещи бесконечна, поскольку сегодня мы не видим границ делимости материи и каждый нижестоящий структурный уровень имеет свою ненулевую сложность. Но “одномоментно” все разновидности сложности компонентов не “проявляются” в целом, они выявляются лишь “поуровнево”. Поэтому, сложность в каждом случае подлежит “перенормировке”, если идти от аналогии с квантовой электродинамикой, где для устранения расходимостей также приходится применять процедуру “вычитания бесконечностей”. Наглядный пример самокомпенсации сложности нам предоставляет язык. Так, например, мерой сложности конкретного слова можно считать длину соответствующей словарной статьи толкового словаря, где учтены эффекты грамматической и лексической семантики, в том числе, множественность грамматических значений, лексическая полисемия, фразеологическая структура лексемы и т. д. Между тем, слово в предложении (конкретном контексте) функционирует только в определенном значении — одном или своеобразной “смеси” из нескольких возможных значений для полисемических лексем и, следовательно, мера его сложности в конкретном контексте определяется лишь частью словарной статьи, причем в отдельных случаях она может составлять лишь десятки, а то и сотые доли от полной сложности лексемы. Таким образом, сложность целого предложения может оказаться меньшей, чем полная сложность отдельного слова, которое является его составной частью.

Конструкция бытия оказывается парадоксальной! Феноменологический подход подсказывает: сложные вещи в действительности состоят из еще сложнее. В этом смысле “большее” является меньшим, чем “меньшее”. Нетривиальным, на наш взгляд, подтверждением этого тезиса является известный эффект, который имеет как онтологическое, так и гносеологическое и даже психологическое измерение — он касается сложности научных теорий: теория атомов, например, не выглядит проще, чем теория молекул, теория ядер не кажется проще теории атомов, теория элементарных частиц не проще теории ядра и так далее. В лингвистике, например, теория слова (“лексикология”) также не выглядит проще теории предложения (“синтаксис”). В свете сказанного принцип редукционизма, по которому сложные вещи должны состоять из более простых, выглядит не только не очевидным, но даже сомнительным, что побуждает к ревизии основ стандартного системного анализа, предпринятой нами в данной статье. На этом уров-

не мы предлагаем учитывать эффекты, описываемые теорией сложности, так что последняя приобретает черты и статус естественно- и общенаучной, а не только чисто математической доктрины.

Выводы

Автор развивает понимание системного подхода, основываясь на рассмотрении отношений триады «структура — субстанция — субъект», которая полагается системообразующей. Именно выделение структурных, субстанциальных и субъектных свойств, а также отношений между ними сообщает анализируемой реальности свойство «быть системой». Исходя из данных предположений и общих теоретико-информационных представлений вводится понятие лексикографического эффекта в информационных системах. Проведен анализ системной триады «структура — субстанция — субъект», а также информационной сущности отношения «форма — содержание» в системной среде лексикографического эффекта. Выявлено, что «субъектность» выступает не только внешней по отношению к объекту чертой, но и его внутренней способностью к «отражению». Рассмотрены приложения понятий колмогоровской сложности к анализу свойств научной теории; отмечены условия, при которых теория сложности приобретает черты и статус естественно- и общенаучной доктрины.

Некоторые лингвистические эффекты, интерпретируемые в духе сформулированной системной доктрины, будут изложены во второй части работы.

Поступила в редколлегию 14.01.2015

УДК 658.012.011.56

Лінгвістика та системний підхід. Частина 1 / В. А. Широков // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 3–12.

Проведено аналіз системного підходу до дослідження природної мови. Визначено поняття лексикографічного ефекту в інформаційних системах, а також проаналізовано роль суб'єкта в його структурі. Авторський системологічний підхід в комплексі з ідеями теорії складності застосовано до аналізу концептуальних підвалин наукової теорії.

Бібліогр.: 16 найм.

UDC 658.012.011.56

Linguistics and systematic approach. Part 1/ V.A. Shirokov // Bionics of intelligence: Sci. mag. — 2015. — № 1 (84). — P. 3–12.

Analysis of systematic approach to researching of language has been done. The concept of lexicographical effect in information systems has been defined and also the role of subject in structure of lexicographical effect has been analyzed. Author's systemological approach in conjunction with the ideas of complexity theory has been applied to the analysis of the basis of scientific theory.

Ref.: 16 items.

В.А. Гороховатский¹, Ю.А. Куликов², А.Е. Берестовский²¹ХИБД УБД НБУ, г. Харьков, Украина, e-mail: gorohovatsky@gmail.com²ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, e-mail: toxab@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Обсуждается построение функции принадлежности для системы структурного распознавания изображений на основе голосования. Детализация свойств признаков позволяет осуществить компрессию или редукцию описаний для сокращения вычислительных затрат. Приведены результаты экспериментов по анализу и классификации в базах изображений.

РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ, ОТНОШЕНИЕ БЛИЗОСТИ ПРИЗНАКОВ, ФУНКЦИЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ, УНИКАЛЬНЫЙ ПРИЗНАК, СЖАТИЕ ОПИСАНИЯ, БАЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ, КЛАССИФИКАЦИЯ

Введение

В структурных методах распознавания изображений в качестве описания, по которому принимается решение о классе объекта, употребляют множество числовых векторов (дескрипторов) [1]. Дескрипторы — это характерные признаки (ХП) изображения, которые вычисляются путем применения соответствующих методов (например, SURF [2]) и содержат инвариантную к геометрическим преобразованиям информацию о функции яркости фрагментов объекта. Структурное описание $Z \subset R^n$ представляют как конечное мультимножество. Метод SURF формирует описание $Z \subset R_1^n$, $R_1^n = \{z \in R^n, \|z\| \approx 1\}$, $R_1^n \subset R^n$, R_1^n — подмножество n -мерных вещественных векторов с евклидовой нормой, близкой к единице: $\|z\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n z_i^2} \approx 1$.

Основа структурного распознавания — процедура голосования структурных элементов (ХП), в результате чего определяется эталон, которому отдано наибольшее число голосов признаков анализируемого объекта [3].

Пути повышения эффективности подхода связаны с такими направлениями, как редукция (сокращение числа структурных признаков путем фильтрации), трансформация признакового пространства к векторному описанию, комбинирование элементов описания и их пространственных характеристик, усовершенствование процедур голосования, групповое принятие решения и др. [1, 4]. В конечном итоге, эффективность распознавания определяется предметом анализа (база изображений), выбранным методом и соответствующей системой признаков.

Исходя из сути структурного распознавания путем голосования, можно сказать, что его результат определяется тем, за какой из эталонов проголосовал состав ХП объекта, т.е. каким образом сгруппировались голоса пакета векторов объекта за тот или иной класс.

Стержневым моментом, всецело влияющим на результат и качество распознавания, есть

схожесть значений ХП как внутри описания, так и между описаниями эталонов. Как правило, она оценивается значением евклидового расстояния $\rho(z_i, z_k) = \sqrt{\sum_v [z_i(v) - z_k(v)]^2}$ между векторами z_i, z_k ХП. Степень близости признаков в рамках описания или базы описаний можно оценить на основе построения отношений на множествах ХП [1]. Внедрение аппарата отношений близости сулит новые возможности по усовершенствованию распознавания за счет учета индивидуальных свойств признаков.

Целью настоящей работы есть построение метода распознавания на основе анализа отношения близости структурных признаков в базе изображений, где наряду со значением признака используется вычисленная характеристика степени его принадлежности к эталонному классу. Учет показателя принадлежности позволяет детализировать влияние элементов описания на конечный результат, а также осуществить компрессию описаний для сокращения вычислительных затрат.

Задачи исследования: формализация процедуры для вычисления меры принадлежности элемента описания эталону, редукция признаков и модификация структурных моделей распознавания с применением функции принадлежности, проведение компьютерного моделирования для подтверждения результативности предложенного подхода.

1. Построение и анализ отношений на множестве элементов структурного описания

Пусть $Z = \{z_i\}$ — конечное множество элементов, образующих описание, $z_i, z_k \in Z$. Зададим порог $\delta > 0$ и функцию расстояния $\rho(z_i, z_k)$ для пары $z_i, z_k \in Z$. Рассмотрим на множестве Z бинарное отношение $\Theta \subseteq Z \times Z$:

$$\Theta = \{(z_i, z_k); z_i, z_k \in Z | \rho(z_i, z_k) \leq \delta\}, \quad (1)$$

которое определяет близость элементов $z_i, z_k \in Z$ с точностью δ . На основе анализа всех расстояний для элементов Z можно выделить кластеры

«одинаковых» элементов [1]. Условие $\rho(z_i, z_k) \leq \delta$ (замкнутый шар радиуса δ с центром в z_i или z_k) в (1) определяет бинарное отношение подобия Θ . Отношение (1) для произвольного элемента задает его окрестность в R_1^n , которой принадлежат эквивалентные ему элементы.

Можно увидеть, что отношение (1) обладает свойствами рефлексивности, т.к. $\forall z_i$ выполнено $\rho(z_i, z_i) \leq \delta$, и симметричности: $\rho(z_i, z_k) = \rho(z_k, z_i) \leq \delta$. В то же время, это условие не задает разбиение Z , т.к. из $\rho(z_i, z_k) \leq \delta$ и $\rho(z_i, z_*) \leq \delta$ не следует выполнение $\rho(z_*, z_k) \leq \delta$ (отсутствует транзитивность). Из условий $z_i \Theta z_k$ и $z_i \Theta z_*$ не следует $z_* \Theta z_k$, т.е. отношение Θ в строгом математическом смысле не является эквивалентностью.

Отношения, обладающие рефлексивностью и симметричностью, но не транзитивностью, получили название толерантности [6]. Два элемента толерантны, если существует подмножество (класс), содержащее эти элементы. Система классов толерантности образует покрытие множества. Эквивалентность — частный случай отношения толерантности. Когда толерантность оказывается транзитивной, т.е. превращается в свой частный случай — эквивалентность, то классы толерантности становятся классами эквивалентности. Структура, обусловленная двуместной функцией принадлежности для четких множеств, определяет транзитивное отношение между парами точек следующим образом: из высказываний « x принадлежит тому же кластеру, что и y » и « y принадлежит тому же кластеру, что и z » следует « x принадлежит тому же кластеру, что и z » [5].

Наряду с (1) для каждого $z_i \in Z$ рассмотрим также унарное нечеткое отношение A принадлежности множеству [5], которое характеризуется значением функции принадлежности $a = A(z_i) \in [0, 1]$. Одноместное отношение A при фиксированном $A(z_i)$ определяет четкое подмножество $A \subseteq Z$.

Представляется целесообразным развитие методов распознавания на основе использования значений функции принадлежности признака эталону, которая учитывает индивидуальные особенности признака. Для учета влияния на результат распознавания логично построить функцию принадлежности $A(z_i)$, основываясь на свойстве подобия элементов в рамках бинарного отношения толерантности (1).

2. Вычисление степени принадлежности признака эталону из базы описаний

Пусть $Z = \{z_k\}_{k=1}^s$ — конечное множество s элементов, образующих описание. Для каждого $z_k \in Z$ в соответствии с аппаратом нечетких множеств рассмотрим величину $A(z_k) = a_k, a_k \in [0, 1]$, которая характеризует степень принадлежности z_k множеству Z , т.е. нечеткое подмножество A

множества Z . Как правило, степень принадлежности — некоторая субъективная оценка, определяющая нечеткое множество.

Если провести индексацию элементов A по правилу $A(z_i) \geq A(z_j)$ при $i > j$, то полученному нечеткому множеству на основе фиксированного $a \in [0, 1]$ можно поставить в соответствие кортеж A_α четких подмножеств из Z , называемых уровнями множествами нечеткого множества A [5]. Подмножество $A_\alpha \subseteq Z$ α -уровня определяется как

$$A_\alpha = \{z \in Z \mid A(z) \geq \alpha\}. \quad (2)$$

Другими словами, A_α — это четкое подмножество Z , которое содержит элементы, степень принадлежности которых выше α . Каждое нечеткое множество может быть составлено из его уровней множеств [5]. В частном случае $A_\alpha = \emptyset$. Конструкция (2) может послужить основой для осуществления редукции Z , если в значение α вкладывать, например, смысл уровня «важности» признака. За счет построения (2) может быть отобрано подмножество значимых признаков с высоким уровнем α .

Обсудим процедуру построения множества A на основе множества ХП для базы изображений, т.е. прямой способ вычисления значения a_k функции принадлежности. Для элемента $z_k \in Z$ и заданного δ_z определим число c_k его «повторений» [7]:

$$c_k = \sum_{v=1, s} 1(\rho(z_k, z_v) \leq \delta_z), \quad (3)$$

где $\rho(z_k, z_v)$ — метрика для $z_k, z_v \in Z$;

$$1(\rho(z_k, z_v) \leq \delta_z) = \begin{cases} 1, & \rho(z_k, z_v) \leq \delta_z \\ 0, & \rho(z_k, z_v) > \delta_z \end{cases}.$$

Таким образом, $c_k \in C_+$ — это число элементов Z , эквивалентных $z_k \in Z$ с точностью δ_z в соответствии с предикатом $1(\rho(z_k, z_v) \leq \delta_z)$, C_+ — множество целых неотрицательных чисел. Параметр δ_z определяет порог эквивалентности элементов.

Рассмотрим базу изображений из J эталонов и множество $\{Z^i\}_{i=1}^J$ эталонных описаний. Для каждого из элементов $z_{ik} \in Z^i$ подсчитаем, сколько раз он встречается в эталоне Z^i , а также в полной базе из J эталонов. В результате вычислим параметр β_{ik} :

$$\beta_{ik} = c_{ik} / c_{ik}^J; \beta_{ik} \in [0, 1], \quad (4)$$

где c_{ik} — число (3) эквивалентных z_{ik} элементов в i -м эталоне Z^i , c_{ik}^J — значение (3) для элемента z_{ik} в полной базе $\{Z^i\}_{i=1}^J$.

Значение (4) есть доля элементов, подобных элементу z_{ik} в i -том эталоне среди общего числа таких элементов всей базы. Этапом процесса вычислений является определение значения (3) для отдельных эталонов, поэтому величина (4) может быть получена и проанализирована для каждого из

эталонов Z^i базы в отдельности. В частности, это можно использовать для выявления двух наиболее схожих эталонов.

Величина β_{ik} , судя по (4), изменяется на отрезке $[0,1]$, при $\beta_{ik} \rightarrow 1$ степень уникальности z_{ik} в базе наибольшая, при $\beta_{ik} \rightarrow 0$ элемент z_{ik} теряет уникальность и фактически становится непригодным для распознавания. Например, если элемент встречается исключительно в «своем» эталоне, то $\beta_{ik} = 1$. Если в базе все элементы равны, то $\beta_{ik} = s_i / s$, где s_i, s — мощности Z^i, Z . Величины (3), (4) полностью определены параметром δ_z .

Отметим, что коэффициенты β_{ik} , кроме вычисления по формуле (4), могут также устанавливаться экспертом в интерактивном режиме, исходя из принципа их визуальной значимости для распознавания. В таком варианте анализ обсуждаемых моделей наиболее адекватен нечеткому представлению.

Процедуру вычисления функции принадлежности для компонентов базы эталонов формулируем как последовательность шагов:

- 1) формирование множества $\{Z^i\}_{i=1}^J$ элементов описаний базы объектов;
- 2) вычисление для каждого элемента значения
- (3) при заданном δ_z ;
- 3) определение значений функции принадлежности (4) для каждого признака.

3. Редукция признаков и распознавание на основе меры β_{ik}

По результатам вычислений получено расширенное описание эталона Z^i в виде $Z^i(\beta) = \{z_{ik}, \beta_{ik}\}$, где каждый элемент рассматривается вместе с параметром, отражающим степень его принадлежности эталону. При изменении содержания базы $\{Z^i\}_{i=1}^J$ коэффициенты β_{ik} необходимо пересчитать, т.к. они полностью обусловлены базой описаний.

Множество коэффициентов $\{\beta_{ik}\}$ может послужить основой для системного анализа или трансформации описаний базы в целях улучшения результативности распознавания. Понятно, например, что элементы с низким значением β_{ik} можно без ущерба исключить из описаний (редукция), ибо их значимость для распознавания невелика из-за значительного числа подобных элементов в составе других эталонов.

На основе применения синтезированного критерия осуществим редукцию $\Psi: Z^i \rightarrow Z^{i*}$ эталонных описаний в виде

$$Z^{i*} = \{z_{ik} \in Z^i \mid \beta_{ik} \geq \delta_\beta\}, \quad (5)$$

где δ_β — априорный порог уровня значимости, $\delta_\beta \in [0,1]$, Z^{i*} — редуцированное (сжатое) описание, $\text{card}(Z^{i*})$, $\text{card}(Z^i)$, $\text{card}(Z^i)$ — мощность множества.

Еще одним вариантом отсечения Ψ незначимых признаков есть применение к Z^i индексации (упорядочивания) $\text{Ind}_u(Z^i, \beta_{ik}, u)$ по значению β_{ik} . В результате формируем подмножество из u элементов с наибольшими β_{ik} , т.е.

$$Z^i = \{z_{ik} \in Z^i \mid \text{Ind}_u(Z^i, \beta_{ik}, u)\}. \quad (6)$$

Эффективность редукции (5) в плане быстройдействия распознавания зависит от числа s_i^* сформированных элементов сжатого описания Z^{i*} . Отметим, что δ_β здесь выступает параметром при оптимизации качества распознавания. Эффективность редукции (6) определяется отношением s_i / u .

Сумма значений β_{ik} в пределах базы равна 1, хотя β_{ik} могут быть вычислены на основе иных принципов. Теоретически после осуществления редукции для определения значимости новой системы признаков показатель (4) должен быть пересчитан.

По результатам вычислений (4) и редукции (5), (6) можно получить интегральные характеристики для исходного и преобразованного описаний

$$\beta_i = \sum_k \beta_{ik}. \quad (7)$$

Чем ближе значение суммы (7) к числу s_i элементов i -го эталона, тем выше степень различения этого эталона в базе. Этот вывод обусловлен соотношениями $\beta_{ik} \geq 0$ и $\max \beta_{ik} = s_i$.

Редукция множества признаков — это способ компрессии данных в целях снижения затрат на распознавание. На материале базы описаний путем вычисления β_{ik} фактически осуществляется обучение. Здесь можно говорить об оптимизации, где редукция признаков оптимизирует критерий вида (7), отражающий интегральные свойства системы признаков на основе функции принадлежности или отклонения этого значения от желаемого.

Отметим, что вычисления характеристик принадлежности и трансформация пространства признаков осуществляются на предварительном этапе формирования описаний базы и в конечном итоге никак не влияют на быстроедействие распознавания. В то же время за счет редукции признаков существенно снижаются вычислительные затраты и, как результат, повышается быстроедействие процедур принятия решений о классе объекта [1].

Процедура распознавания может быть построена с учетом степени принадлежности β_{ik} , что обеспечивает углубленный индивидуальный анализ значений и важности признаков, а это в целом благоприятствует повышению достоверности классификации.

Для распознаваемого объекта построить нечеткое описание предложенным способом трудно из-за помех и неточностей, поэтому классификация на основе прямого вычисления подобия двух

нечетких описаний усложнена. В таком случае распознавание традиционно строим на установлении оптимального подобия анализируемых и эталонных элементов. Вместо подсчета числа голосов в модифицированном методе суммируем значения β_{ik} для эталонных признаков, которым соответствует наибольшее подобие. В результате визуальный объект относим к классу j в соответствии с правилом

$$j = \arg \max_{i=1, \dots, J} \sum_k \beta_{ik} . \quad (8)$$

На основе отношения (1) имеется возможность построить разбиение множества $\{Z^i\}_{i=1}^J$ на классы эквивалентных элементов. Вариантом может быть кластеризация на множестве $\{Z^i\}_{i=1}^J$. Другим вариантом может быть формирование нечетких классов ХП.

На основе процедуры группировки формируем из базы описаний r кластеров. Переходим от описаний эталонов-множеств к векторному представлению [4]:

$$R: Z^i \rightarrow h , \quad (9)$$

где $h = (h_1, \dots, h_r), h_k \in C_+$ – вектор размерности r .

Преобразование (9) значительно упрощает сопоставление, т.к. вычисление меры для множеств трансформируется к определению меры векторов, за счет чего вычислительные затраты на распознавание снижаются в десятки раз [4]. Конструкция преобразования базы представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема преобразования описаний

4. Результаты компьютерного моделирования

Наши предыдущие исследования показали [4], что для разных баз изображений наиболее приемлемые для прикладного применения есть значения порога δ из отрезка $[0,64; 0,8]$. На рис. 2 приведены изображения 180×180 пикселей из базы гербов европейских государств, которая содержит 54 изображения. Количество ХП в описаниях SURF для изображений рис. 2 составило 84, 116, 82, 60.

На рис. 3 показаны множества сформированных ХП, а также подмножества из 10 ХП с наибольшими значениями β_{ik} в базе. Конкретно, для изображения 3, $г$ десять наименьших значений β_{ik} равны: 0.159, 0.164, 0.167, 0.173, 0.174, 0.178, 0.184, 0.186, 0.187, 0.188, а 10 наибольших значений β_{ik}

равны: 0.254, 0.242, 0.239, 0.232, 0.225, 0.224, 0.219, 0.211, 0.208, 0.206. Такие значения говорят о том, что для изображения 3, $г$ наблюдается незначительный уровень схожести ХП в данной базе, а значит, степень распознаваемости этого изображения в построенном пространстве признаков достаточно высока.



Рис. 2. Примеры из базы изображений гербов европейских государств

Рисунок 4 содержит гистограммы значений β_{ik} для изображений 2, $а$ (84 признака) и 2, $г$ (60 признаков). По горизонтальной оси – порядковые номера ХП. Огибающая гистограммы рис. 4 справа и слева проходит примерно на одном уровне. Лишь отдельные признаки для изображения 2, $а$ существенно отклоняются от среднего значения 0,2. Поэтому делаем вывод, что в целом различие признаков изображений 2, $а$ и 2, $г$ примерно одинаково.



Рис. 3. Примеры изображений 2, $а$ (а) и 2, $г$ (в) с множеством ХП и 10-тью ХП с наибольшими значениями β_{ik} (б, г)

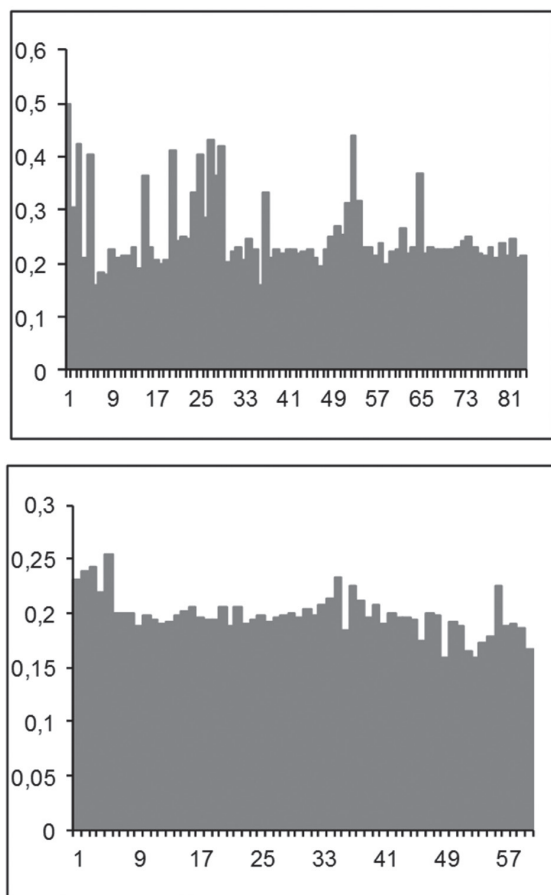


Рис. 4. Гистограммы значений β_{ik} для изображений 2, а и 2, г

Прямые подсчеты показывают: если число признаков для изображения 2, г сократить до 10, то объем данных сократится в 6 раз (с 60 изначальных ХП), а выигрыш в быстродействии распознавания составит примерно 2,5 раза.

Моделирование показало, что для полной базы гербов при редукции описаний эталонов до 10 признаков с наименьшими значениями β_{ik} в соответствии с предложенным методом сохраняется безошибочное распознавание.

Проведено также моделирование метода классификации в условиях искажения входных изображений аддитивным шумом с нормальным распределением (нулевое мат. ожидание). Рисунок 5 демонстрирует изображения с разным уровнем шума и множество выделенных ХП.

Таблица 1 содержит сравнительные результаты моделирования в условиях аддитивных помех на основе 10 наиболее уникальных признаков эталонов для разработанного и традиционного метода.

Результаты табл. 1 показывают, что распознавание по 10 уникальным признакам обладает примерно такой же помехозащищенностью, как и традиционный метод, при этом быстродействие распознавания возросло более чем в 2,5 раза, а объем хранимой информации для данной базы изображений уменьшился в 9 раз.

Таблица 1

Вероятность правильного распознавания

Метод	СКО шума		
	70	100	150
10 уникальных ХП	1.0	0.9	0.5
Традиционный метод	1.0	1.0	0.6

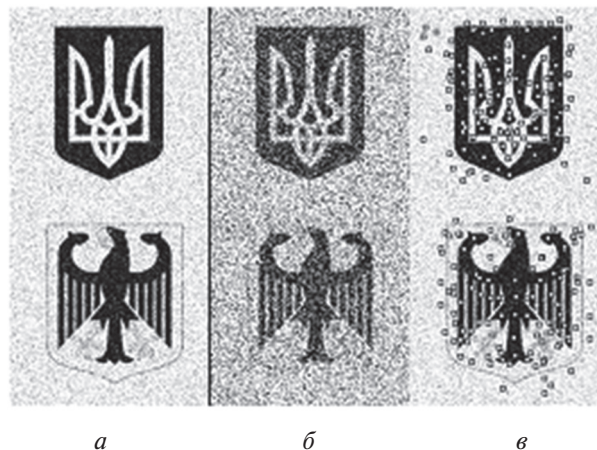


Рис. 5. Пример изображений 2, а и 2, г, искажённых аддитивным шумом (а – СКО = 50; б – СКО = 150), результаты выделения ХП при шуме с СКО = 50 (в)

Выводы

Индивидуальный учет влияния признаков в виде весовых коэффициентов в структурном распознавании на основе голосования позволяет сосредоточиться на подмножестве ключевых признаков, что улучшает достоверность распознавания и позволяет осуществить редукцию признаковой системы в целях сокращения вычислительных затрат. Для компрессированной системы признаков сохраняется высокий уровень качества, оцениваемый значением вероятности правильного распознавания. Предложенную в статье процедуру можно характеризовать как элемент обучения и более глубокого анализа процесса распознавания для базы изображений.

Весовые коэффициенты признаков вычисляем в соответствии с процедурой, учитывающей степень их подобия на множестве эталонов базы описаний. Другим способом может быть экспертное оценивание за результатом визуального анализа расположения признака относительно других и установления его важности в задаче распознавания.

Научная новизна проведенного исследования состоит в построении и эффективном применении функции принадлежности для системы структурного распознавания изображений на основе голосования. Это позволяет перейти к редуцированному описанию базы эталонов, и как результат, к увеличению быстродействия распознавания.

Практическая ценность — получение оценок эффективности применения значений функции

принадлежности для конкретных прикладных примеров баз изображений. Проведенные эксперименты подтверждают результативность предложенных модификаций.

Перспективой исследования есть построение иерархических систем, где с повышением уровня последовательно сжимается пространство структурных признаков и сокращаются вычислительные затраты. На новом высшем уровне представления необходимо осуществить пересчет значений функции принадлежности. Критерием останковки функционирования такой конструкции можно считать достижение функцией принадлежности некоторого минимума, при котором признаки разных эталонов станут неразличимы между собой.

Список литературы: 1. *Гороховатский В.А.* Структурный анализ и интеллектуальная обработка данных в компьютерном зрении: монография / В.А. Гороховатский. — Х.: Компания СМИТ, 2014. — 316 с. 2. *Bay H.* Surf: Speeded up robust features / H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool // European Conference on Computer Vision. — 2006. — P. 404–417. 3. *Gorokhovatsky V.A.* Image Likelihood Measures of the Basis of the Set of Conformities / V.A. Gorokhovatsky, Ye. P. Putyatin // Telecommunications and Radio Engineering. — 2009, 68 (9). — P. 763–778. 4. *Гороховатский В.А.* Формализм мультимножеств в задачах структурного распознавания и поиска в базах видеоданных / В.А. Гороховатский, Ю.А. Куликов // Искусственный интеллект. — 2012. — №1. — С. 76–85. 5. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения [под ред. Р. Ягера]; пер. с англ. —

М.: Радио и связь, 1986. — 408 с. 6. *Шрейдер Ю.А.* Равенство, сходство, порядок / Ю.А. Шрейдер. — М.: Наука, 1971. — 256 с. 7. *Гороховатский В.А.* Грануляция значений признаков объектов как способ повышения результативности методов структурного распознавания / В.А. Гороховатский, Ю.А. Куликов // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2014. — Т. 16, № 3. — С. 67–78.

Поступила в редколлегию 20.01.2015

УДК 004.932.2:004.93'1

Побудова та застосування функції належності для результативного структурного аналізу зображень / В.О. Гороховатський, Ю.А. Куліков, А.Є. Берестовський // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 13–18.

В роботі запропоноване застосування функції належності для системи структурного розпізнавання зображень на основі голосування. Представлені результати експериментів по аналізу та класифікації об'єктів в базах зображень.

Іл. 5. Табл. 1. Бібліогр.: 7 найм.

UDC 004.932.2:004.93'1

Construction and Application of membership functions for efficient structural analysis of images / V.A. Gorokhovatsky, U.A. Kulikov, A.E. Berestovskyi // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — № 1 (84). — P. 13–18.

This paper provides the use of membership functions for the system structure of image recognition based on voting. The results of experiments on the analysis and classification of images in databases of images were shown.

Fig. 5. Tab. 1. Ref.: 7 items.

УДК 004.932.2:004.93'1



С.И. Богучарский¹, А.Г. Каграманян², С.В. Машталир³

^{1,3} ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, mashtalir_s@kture.kharkov.ua

² ХНУ им. В.Н. Каразина, г. Харьков, Украина

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА J-СРЕДНИХ В ЗАДАЧАХ ФРАГМЕНТНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрены методы пофрагментной кластеризации изображений. Предложена матричная модификация метода J-средних, в которой вариации центров получаемых кластеров позволяют получать лучшие по сравнению с традиционными подходами локальные экстремумы в смысле минимума суммы квадратов внутрикластерных расстояний или максимума межкластерных.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ, ИЗОБРАЖЕНИЕ, ФРАГМЕНТ, ЦЕНТРОИД

Введение

Задача кластеризации массивов многомерных наблюдений является одной из основных в рамках интеллектуального анализа данных, а для ее решения на сегодня разработано множество методов [1, 2] от строго математически формализованных до основанных на использовании тех или иных эвристик, привносящих в «искусственный» интеллект элементы «естественного». В общей «неформальной» постановке задача кластеризации может быть сформулирована следующим образом: пусть имеется неклассифицированная выборка, состоящая из N объектов, описываемых r -мерными векторами признаков $x(k) \in \mathbb{R}^r$, $k = 1, 2, \dots, N$, которые необходимо разбить на $1 < p < N$ непересекающихся классов Cl_l , $l = 1, 2, \dots, p$.

Одним из наиболее популярных подходов к решению задачи кластеризации является подход, основанный на разбиении пространства признаков и сводящийся к нахождению p центроидов $C(l)$, вокруг которых группируются классифицируемые наблюдения. Здесь наибольшее распространение получили методы, связанные с минимизацией суммы квадратов внутрикластерных расстояний между наблюдениями и центроидами. Среди подобных методов наиболее известны методы H -средних (H -means), K -средних (K -means), J -средних (J -means) [2–6] и их различные модификации. С формальной точки зрения данный подход может быть описан следующим образом: обозначим множество всех возможных разбиений массива данных

$X = \{x(1), x(2), \dots, x(N)\}$, $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_r(k))^T$ как P_p . Среди этого множества необходимо найти наилучшее разбиение $P_p = \{Cl_1, Cl_2, \dots, Cl_p\}$ с p непересекающимися кластерами $Cl_l \cap Cl_q = \emptyset$; $l \neq q$; $l, q \in \{1, 2, \dots, p\}$ с центроидами $C = \{C(1), C(2), \dots, C(p)\}$, обеспечивающее минимум целевой функции

$$\min_{P_p \in P_p} E = \min_{P_p \in P_p} E(x(k), C(l)) = \min \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^p \mu(x(k), C(l)) \|x(k) - C(l)\|^2, \quad (1)$$

где $\mu = \begin{cases} 1, & \text{если } x(k) \in Cl_l, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Решение данной задачи имеет простой вид

$$C(l) = \frac{1}{N_l} \sum_{x(k) \in Cl_l} x(k) = \frac{\sum_{k=1}^N \mu(x(k), C(l)) x(k)}{\sum_{k=1}^N \mu(x(k), C(l))}. \quad (2)$$

(здесь N_l — число наблюдений, отнесенных к кластеру Cl_l) и фактически сводится к нахождению центров тяжести соответствующих кластеров.

В общем случае это NP -полная переборная задача и ее реализация существенно усложняется при больших N и p . Поэтому эффективность того или иного конкретного алгоритма определяется тем, насколько удачно реализован этот перебор.

Одной из типичных задач, решаемых с помощью рассматриваемых методов, является сегментация изображений. При этом предполагается, что обрабатываемое изображение задано в виде $(M \times N)$ — числовой матрицы, которая должна быть разбита в процессе анализа на однородные в некотором смысле классы (кластеры, сегменты). Достаточно часто используется фрагментная сегментация изображений, когда исходная матрица разбивается на блоки размерности $(m \times n)$, $m \leq M, n \leq N$, каждый из которых далее преобразуется в $(mn \times 1)$ -векторы, общее количество которых составляет $\tilde{N} = MN(mn)^{-1}$. Именно этот набор векторов подвергается процедуре кластеризации. Ясно, что чем выше размерность обрабатываемых векторов, тем более трудоемкой является решаемая задача.

Целью работы является построение метода фрагментной сегментации изображений на основе перехода алгоритма J -средних к матричной форме.

1. Матричные модификации методов K -средних и H -средних

С содержательной точки зрения более естественным представляется вместо $(mn \times 1)$ -векторов описывать исходную информацию, подлежащую кластеризации, в форме $(m \times n)$ -матриц «окон» $x(k) = \{x_{i_1 i_2}(k)\} \in \mathbb{R}^{(m \times n)}$; $i_1 = 1, 2, \dots, m$; $i_2 = 1, 2, \dots, n$;

$k = 1, 2, \dots, \tilde{N} = MN(mn)^{-1}$; при этом вместо целевой функции (1) естественно ввести ее матричную модификацию, основанную на сферической норме

$$E = E(x(k), C(l)) =$$

$$= \sum_{k=1}^{\tilde{N}} \sum_{l=1}^p \mu(x(k), C(l)) Sp(x(k) - C(l))(x(k) - C(l))^T, \quad (3)$$

при этом получаемое решение имеет форму (2) с той разницей, что центроид $C(l)$ описывается $(m \times n)$ -матрицей.

В этой ситуации метод K -средних может быть описан следующим образом. Пусть задано некоторое начальное в общем случае произвольное разбиение $P_p = \{Cl_1, Cl_1, \dots, Cl_p\}$. Пусть после расчета соответствующих центроидов $C = \{C(1), C(2), \dots, C(p)\}$ возникает ситуация, при которой некоторое наблюдение $x(k)$ $k = 1, 2, \dots, \tilde{N}$, которое попало в Cl_l , расположено ближе к $C(q)$ чем к $C(l)$, т.е.

$$Sp(x(k) - C(q))(x(k) - C(q))^T < \\ < Sp(x(k) - C(l))(x(k) - C(l))^T.$$

Это означает, что образ $x(k)$ должен быть перенесен из Cl_l в Cl_q . В этом случае центроиды кластеров должны быть откорректированы в соответствии с выражениями

$$C(l) = (N_l - 1)^{-1} (N_l C(l) - x(k)), \\ C(q) = (N_q + 1)^{-1} (N_q C(q) + x(k)).$$

Такая коррекция приводит к изменению целевой функции

$$\Delta E = \Delta E(x(k), C(l), C(q)) = \\ = \frac{N_q}{N_q + 1} Sp(AA^T) - \frac{N_l}{N_l - 1} Sp(BB^T),$$

где $Sp(\circ)$ обозначает след матрицы, $A = x(k) - C(q)$, $B = x(k) - C(l)$, $x(k) \in Cl_q$.

Такие приращения рассчитываются на каждой итерации алгоритма для всех имеющихся наблюдений всех пересчитываемых центроидов. Если на какой-то итерации выяснится, что все приращения неотрицательны, полагается, что достигнуто оптимальное решение и процесс останавливается. В противном случае процесс коррекции центроидов продолжается.

Весьма близок к данной процедуре алгоритм H -средних, работу которого удобно записать в виде последовательности шагов.

Шаг 1. Задание начального достаточно произвольного разбиения в форме набора центроидов $C(1), C(2), \dots, C(p)$.

Шаг 2. Отнесение каждого из имеющихся наблюдений $x(k)$ к кластеру Cl_q с «ближайшим» центроидом $C(q)$, т.е. $x(k) \in Cl_q$, если $\forall l = 1, 2, \dots, p$

$$Sp(x(k) - C(q))(x(k) - C(q))^T < Sp(x(k) - C(l))(x(k) - C(l))^T.$$

Шаг 3. Пересчет центроидов согласно выражению

$$C(q) = \frac{1}{N_q} \sum_{x(k) \in Cl_q} x(k).$$

Шаг 4. Возврат к шагу 2, если координаты центроидов изменяются. В противном случае — окончание алгоритма.

Несложно заметить, что на каждой итерации необходимо проводить $\tilde{N}p$ сравнений, что при больших объемах данных значительном числе кластеров требует существенных вычислительных затрат.

Кроме того, необходимо отметить и такой существенный недостаток обоих методов, как возникновение в процессе расчетов вырожденных решений, когда к некоторому из случайно выбранных центроидов не будет отнесено ни одного наблюдения. Для устранения этого недостатка был введен метод H -means+ [7], суть которого состоит в следующем. Пусть на некоторой итерации алгоритма сформировано $p - t$ «непустых» кластеров, где $t > 0$ — количество кластеров, не содержащих ни одного наблюдения $x(k)$. Далее находится t образцов из непустых кластеров, наиболее удаленных от своих центроидов, т.е. вносящих наибольший «вклад» в приращение целевой функции. Далее эти образцы-наблюдения формируют центроиды новых «непустых» кластеров, к которым приписываются наблюдения из соседних кластеров, близко расположенные к этим новым сформированным центроидам. Далее все расчеты производятся аналогично обычным H -средним.

Метод достаточно прост в численной реализации однако, подобно K -средним и обычным H -средним обладает существенным недостатком: возможностью остановки процесса поиска в локальных экстремумах. Конечно, можно было бы организовать реализацию поиска в случае его «застывания», однако это может существенно увеличить время обработки информации, особенно, если речь идет о больших базах данных. Выход из сложившейся ситуации может быть найден путем использования эвристик, используемых в задачах многоэкстремальной оптимизации.

2. Матричная модификация J -средних

Такой процедурой кластеризации, обладающей глобальными свойствами, является метод J -means введенный [4]. Суть метода состоит в том, что при «застывании» K - или H -means в локальном экстремуме, в его окрестности совершаются «скачки» выводящие процедуру из этой окрестности в области притяжения более «глубоких» экстремумов. Эти скачки по сути есть те случайные блуждания, которые производятся в алгоритмах многоэкстремального случайного поиска [8]. Для описания эвристики, связанной с J -means, вводится два основных понятия: «занятые точки» — наблюдения, совпадающие с центроидами или расположенные в их малых окрестностях, и «окрестность скачка» — область, в которой совершаются случайные движения, выводящие алгоритм кластеризации из локальных экстремумов.

Суть J -means состоит в том, что при нахождении некоторого центроида $C(l)$, в котором процедура кластеризации останавливается, организуется процесс перемещения этого центроида в незанятые точки, находящиеся в его окрестности. Такие скачки «центроид — незанятая точка» производятся до тех пор, пока не будет найден более глубокий экстремум, соответствующий меньшему значению целевой функции E .

С формальной точки зрения суть J -means состоит в следующем: пусть получено некоторое текущее разбиение $P_p = \{Cl_1, Cl_2, \dots, Cl_p\}$ с соответствующим набором центроидов $C = \{C(1), C(2), \dots, C(p)\}$. В рассмотрение вводится набор областей соседства $H_l(P_p)$, где $l \in \{1, 2, \dots, p\}$, а $H_l(P_p)$ определяет все возможные перемещения центроида $C(l)$ в точки $x(s)$, принадлежащие его окрестности, где $s \in \{1, 2, \dots, \tilde{N}\}$. Понятно, что при таких перемещениях постоянно корректируется и набор центроидов C , приобретая вид

$$C_s = \{C(1), \dots, C(l-1), x(s), C(l+1), \dots, C(p)\}.$$

Все соседства от $l=1$ до $l=p$ образуют множество соседств текущего разбиения P_p . При этом поиск не останавливается, пока не будет достигнут более глубокий экстремум в окрестности любого из текущих центроидов. При этом осуществляется минимизация не критерия (3), а целевой функции вида

$$E(x(k), C(q), x(s)) = \sum_{k=1}^{\tilde{N}} \left(\sum_{q=1}^p \mu(x(k), C(q)) S p(AA^T) - \mu(x(k), x(s)) S p(BB^T) \right), \quad (4)$$

где $A = x(k) - C(q)$, $B = x(k) - x(s)$,

$$\mu(x(k), C(q)) = \begin{cases} 1, & \text{если } x(k) \in Cl_q, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$\mu(x(k), x(s)) = \begin{cases} 1, & \text{если } x(k) \in H_l, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Работу метода J -средних удобно записать в виде последовательности шагов.

Шаг 1. Задание начального, достаточно произвольного, разбиения $P_p = \{Cl_1, Cl_2, \dots, Cl_p\}$, определение его центров $C(1), C(2), \dots, C(p)$ и расчет целевой функции $E(x(k), C(l))$, соответствующей этому разбиению.

Шаг 2. Определение всех незанятых точек, т.е. наблюдений, не совпадающих с центроидами или не находящихся в их непосредственной близости.

Шаг 3. Скачки в окрестностях центроидов, т.е. их замена незанятыми точками $x(s)$ с расчетом целевых функций $E(x(k), C(q), x(s))$ вида (4).

Шаг 4. Принятие решений об остановке или дальнейшем поиске. Если

$$E(x(k), C(q), x(s)) > E(x(k), C(q)),$$

то полагается, что оптимальное решение было найдено на предыдущих итерациях и процесс кластеризации останавливается. В противном случае вы-

бирается решение, соответствующее наименьшему значению целевой функции $E(x(k), C(q), x(s))$ для всех реализованных $x(s)$. Полученное разбиение полагается начальным и производится возврат к шагу 2.

Главная особенность J -means, отличающая его от всех методов кластеризации с непользованием центроидов, — это наличие шага 3 (скачки в окрестностях), удачная реализация которого определяет эффективность полученного решения в целом. Качество кластеризации может быть улучшено, если шаг 3 реализовать в форме последовательности подшагов.

Шаг 3а. Формирование нового центроида $C(p+1)$ в незанятой точке $x(s)$ и нахождению «наилучшего» центроида $C(l)$, дающего наибольшее значение целевой функции $E(x(k), C(q), x(s))$.

Шаг 3б. Удаление центроида $C(l)$ и замена его на $x(s)$.

Шаг 3в. Формирование нового разбиения P_p^{new} , в котором $C^{new}(l) \equiv x(s)$.

Можно отметить [4], то в ряде случаев качество получаемого решения может быть улучшено, если после шага 3 включить стандартную процедуру K или H -means. Авторы статьи [4] назвали метод J -means+.

Наибольшие проблемы, связанные с практическим использованием метода J -means, возникают при задании размеров (диаметра) окрестности скачка вокруг каждого центроида. Слишком малая окрестность может не обнаружить незанятые точки с меньшими значениями целевой функции, а слишком большие окрестности резко увеличивают вычислительную сложность алгоритма, особенно в случаях когда эти окрестности перекрываются.

В связи с этим целесообразно ввести в рассмотрение окрестности переменных размеров, при этом процесс кластеризации начинается в малых окрестностях и если в них улучшение не происходит, их размер начинает увеличиваться, захватывая новые незанятые точки. В этом случае свободным параметром алгоритма является S_{max} — число, которое определяет сколько раз окрестность может увеличиваться, «захватывая» больше незанятых точек. Работу метода J -средних с расширяющимися окрестностями можно записать в виде последовательности шагов.

Шаг 1. Задание начального разбиения $P_p = \{Cl_1, Cl_2, \dots, Cl_p\}$, определение его центроидов $C = \{C(1), C(2), \dots, C(p)\}$, расчет целевой функции $E(x(k), C(l))$, соответствующий этому разбиению, выбор условий останова и значения параметра S_{max} .

Шаг 2. Проверка условий останова. Если условия останова выполняются (в смысле значений целевой функции $E(x(k), C(l))$) — процесс кластеризации заканчивается.

Шаг 3. Расчеты в окрестности минимального диаметра. Положить $S = 1 \leq S_{max}$.

Шаг 4. Если $S > S_{\max}$, вернуться к шагу 2.

Шаг 5. Выбрать случайным образом незанятую точку $x(r)$ в окрестности заданного диаметра и провести разбиение, используя это наблюдение вместо центроида $C(l)$.

Шаг 6. Использовать J -means метод, используя в качестве начального разбиения набор центроидов $C_s = \{C(1), \dots, C(l-1), x(s), C(l+1), \dots, C(p)\}$.

Шаг 7. Если обеспечено меньшее значение целевой функции – закончить работу алгоритма. Иначе положить $S = S + 1$ и идти к шагу 4.

При работе данного алгоритма дополнительно в качестве условий останова могут быть использованы также время работы процедуры, максимальное число итераций алгоритма между улучшениями целевой функции, ограничения на число расширений окрестностей соседства.

Основной эвристикой описанных выше процедур является перемещение центроидов в незанятые точки и нахождение на этой основе разбиений с лучшими значениями целевой функции. Основной же проблемой является необходимость многократного полного перебора всех сочетаний наблюдений и рассчитанных центроидов. Понятно, что при больших $\tilde{N}$ и p подход, основанный на J -means оказывается неэффективным.

В связи с этим целесообразно ввести в рассмотрение матричную модификацию метода известного как «Быстрые J -средние» (Fast J -means) [6]. Основная цель этой модификации – уменьшение вычислительной сложности J -means алгоритма. При этом поиск производится в окрестностях не всех центроидов $C(l)$, $l = 1, 2, \dots, p$, а только в одном единственном кластере, для выбора которого может быть использовано либо минимальное внутрикластерное расстояние

$$\overline{D}^2 = \frac{1}{N_l} \sum_{x(k) \in Cl_l} Sp(x(k) - C(l))(x(k) - C(l))^T,$$

либо максимальное межкластерное расстояние

$$\overline{\overline{D}}^2 = \frac{1}{p} \sum_{x(k) \in Cl_l} Sp(C(q) - C(l))(C(q) - C(l))^T.$$

Понятно, что наиболее удаленный от других кластер максимального диаметра имеет больше других шансы содержать более глубокий экстремум. Понятно также, что Fast J -means с точки зрения вычислительной реализации в p раз проще стандартного J -means.

Выводы

Предложена матричная модификация метода J -means предназначенная для решения задач сегментации цифровых изображений. Особенностью

введенной модификации является возможность обработки фрагментов изображений без их предварительной векторизации, введение расширяющихся окрестностей поиска, а также организация этого поиска в единственной окрестности, где с наибольшей вероятностью может содержаться искомое решение. По сравнению со стандартным методом кластеризации J -means предполагаемая модификация проще с вычислительной точки зрения и требует существенно меньшие вычислительные затраты.

Список литературы: 1. Gan G., Ma C., Wu J. Data Clustering: Theory, Algorithms and Applications. – Philadelphia, Pennsylvania: SIAM, 2007. – 455 p. 2. Xu R., Wunsch D.C. Clustering. – Hoboken, New Jersey: John Wiley&Sons, Inc., 2009. – 341 p. 3. MacQueen J.B. Some methods for classification and analysis of multivariate observations // Proc. 5th Berkeley Symp. on Mathematical Statistics and Probability. 1967. – v. 2. – P. 281-297. 4. Hansen P., Mladenovic N. J-Means: a new local search heuristic for minimum sum of squares clustering // Pattern Recognition. – 2001. – 34. – P. 405-413. 5. Rodriguez-Sotelo J.L., Cuesta-Frau D., Castellanos-Dominguez G. An improved method for unsupervised analysis of ECG beats based on WT features and J-means clustering // Computers in Cardiology. – 2007. – 34. – P. 581-584. 6. Xinye Zh., Jubai A. Fast J-means algorithm: a constrained local search heuristic // Int. J. of Advancements in Computing Technology. – 2012. – 4. – P. 97-105. 7. Cooper L. Location-allocation problems // Operation Research. – 1963. – 11. – P. 331-343. 8. Расстригин Л.А. Статистические методы поиска. – М.: Наука, 1968. – 376 с.

Поступила в редколлегию 6.02.2015

УДК 004.932.2:004.93'1

Модифікація методу j-середніх в задачах сегментації зображень / С.І. Богучарський, А.Г. Каграманян, С.В. Машталір // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 1 (84). – С. 19–22.

Розглянуто методи пофрагментної кластеризації. Запропоновано матричну модифікацію методу j-середніх, в якій варіації центрів кластерів, що отримуються, дозволяють отримувати кращі в порівнянні з традиційними підходами локальні екстремуми.

Бібліогр.: 8 найм.

UDC 004.932.2:004.93'1

An induced agreement of relations in problems of information granulation / S.I. Bogucharskiy, A.G. Kagramanyan, S.V. Mashtalir // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2015. – № 1 (84). – P. 19–22.

Multi-frame clusering methods are considered. A matrix modification of J-mean in which clusters centers variations allows get better local extrema in compare to traditional approaches is offered.

Ref.: 8 items.

УДК 681.513



О.Ф. Михаль

ХНУРЕ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ПАРАДОКС МОНТИ ХОЛЛА. МОДЕЛИРОВАНИЕ НА СЕТЯХ ПЕТРИ

Парадокс Монти Холла смоделированы на сетях Петри. Модель модифицирована применительно к вероятностному аспекту. Результаты перспективны к использованию при разработке экспертных систем и систем поддержки принятия решений в сложных ответственных ситуациях, требующих минимизации человеческого фактора.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ПАРАДОКС МОНТИ ХОЛЛА, СЕТИ ПЕТРИ

Введение

Человеческий интеллект (ЧИ) представляет собой «программное обеспечение» мыслительного аппарата человека и является неизменным прототипом и единственной *креативной* моделирующей средой разработки средств *вычислительной техники* (ВТ) [1]. Вместе с тем, ЧИ существенно ограничен по своим возможностям (техническим характеристикам) и нуждается в *усилителях человеческого интеллекта* [2], которыми и являются средства ВТ, создаваемые ЧИ для решения ширящегося круга прикладных задач. В связи с этим двойственным характером, ряд особенностей работы ЧИ требует изучения в плане оценки позитивных и негативных сторон их проявления. Одна из таких особенностей – восприятие *парадоксов*. В расширенном смысле нахождение *парадоксов* – есть позитивная способность выделять из *окружающего мира* (ОМ) примечательное на фоне обыденного, неизвестное на фоне известного, с последующим подключением механизмов, реализующих познавательный процесс, для построения уточнённых моделей ОМ. Негативная сторона обнаружения *парадоксов* – возможность неправильной интерпретации логики событий ОМ и, как следствие, возникновение «логических ошибок» в процедурах принятия решений. Различные «парадоксальные аберрации» могут быть приемлемы в литературно-художественном смысле, но они совершенно недопустимы в инженерно-технических приложениях, в частности в *экспертных системах* (ЭС) и *системах поддержки принятия решений* (СППР). Основное назначение ЭС и СППР – минимизация возможного негативного влияния *человеческого фактора* (ЧФ), т.е., привычки (практики) исходить из «*здорового смысла*» (ЗС), который зачастую подводит. Показателем *парадокса Монти Холла* (ПМХ) [3], который при аналитическом рассмотрении, собственно парадоксом и не является, но демонстрирует непоследовательность и ограниченность ЧИ, как образчик влияния ЧФ. Интересен рассматриваемый далее модифицированный ПМХ, который не всегда и не во всех вариантах может быть изучен аналитически.

Цель настоящей работы – моделирование модифицированного ПМХ – разработка принципов (базовых подходов и типовых решений) формализации и воспроизведения его логической структуры средствами аппарата *сетей Петри* (СП) [4]. Представляется целесообразным, чтобы логические структуры, типа рассматриваемых далее СП-моделей, были наработаны, как типовые решения, для использования, в частности, в практике разработки ЭС и СППР.

1. Парадоксы и модельные представления

Известные словесные определения понятия «*парадокс*» могут быть резюмированы следующим образом. *Парадокс – есть обнаружившееся (ранее бывшее неизвестным) несоответствие ЗС*.

Данное определение, по существу, мало что проясняет и само является парадоксальным. Так, в этой формулировке «ранее бывшее неизвестным» значит, что парадокс, как только он становится достаточно известным (в науке, или конкретному индивиду, который его рассматривает), зачастую перестаёт быть парадоксом, а становится просто фактом – явлением ОМ. В типовом случае при этом говорится: «парадокс получил своё объяснение».

Для пояснения понятия ЗС ограничиваемся (без дальнейших комментариев) двумя высказываниями, приписываемыми А. Эйнштейну: «ЗС – это сумма предубеждений, приобретённых до восемнадцатилетнего возраста» и «ЗС говорит нам, что Земля плоская».

Таким образом, парадокс – есть ошибочность, наводящая индивида на размышления. Если парадоксы существуют, то это потенциально позволяет усомниться в логичности организации ОМ или в «разумности» ЧИ. И то, и другое – в действительности есть ограничения применимости текущей используемой модели ОМ. Ложное понимание (интерпретация) индивидом этого ограничения модели как недостатка (ущербности) ОМ или логики работы ОМ – есть ограничение ЧИ. То есть, по существу, парадоксы проявляются при *догматизации* модели ОМ, приписывании модели ОМ приоритетности по сравнению с *оригиналом* ОМ.

Наличие (наблюдаемость) этого ограничения ЧИ является *главным* парадоксом ЧИ.

Поясним последний тезис более подробно, исходя из понятия *модели*. *Модель — есть отражение объекта или явления ОМ в ЧИ или модельной среде*. При этом, модельная среда являющейся по существу продолжением (усилителем определённых функций [2]) ЧИ. Примером (вариантом) модельной среды являются, в частности, СП [4].

Модель ОМ создаётся ЧИ коллективно (как накопление и обобщение отдельных фрагментов индивидуального человеческого опыта) и помещается в индивидуальное *человеческое сознание* (ЧС) (сознание конкретного индивида) в процессе обучения. Модель ОМ представляет собой набор запретов и ограничений, выход за которые (несоответствие которым) потенциально приводит к непредсказуемым результатам (опасностям). Допустимо параллельное существование нескольких моделей, в частности по различным аспектам (прикладным направлениям) ОМ. Разные модели могут быть взаимно согласованными, либо частично противоречить друг другу. Примером сосуществования моделей является общепринятое в современной физике представление о корпускулярно-волновом дуализме. Наличие частичных противоречий является фактором научно-технического прогресса и движущей силой к разработке новых моделей. Показательно известное частное высказывание Н.В. Тимофеева-Ресовского (классика генетики) об отсутствии противоречий: «...в настоящий момент по данному вопросу имеется полная ясность, что свидетельствует о его недостаточной изученности...». То есть, имеется согласованность между моделями; следовательно, не выявлены противоречия; следовательно, развитие в данном направлении пока не предполагается.

С учётом сказанного, человеческое развитие, как процесс взаимодействия ЧИ с ОМ, предстаёт как череда последовательно сменяющихся моделей ОМ. Сам ОМ не дружелюбен по отношению к индивиду; скорее даже опасен (враждебен, агрессивен). Следует помнить, что вид *Homo sapiens* осваивал (отвоёвывал) свою экологическую нишу в серьёзной конкурентной борьбе, пока взобрался на вершину соответствующей питательной цепи [1] (стал «царём природы»). Эта борьба осуществлялась последовательным осознанием опасностей ОМ и выработкой правил по противодействию опасностям. То есть, речь идёт о создании и последовательном совершенствовании моделей ОМ, включая модели человеческого поведения по отношению к объектам ОМ. Каждая из моделей, в том числе и текущая, не вполне адекватна ОМ, но текущая модель является максимально безопасной (комфортной, наилучшим образом соответствующей), поскольку является последним (актуальным)

достижением ЧИ. Человек живёт в ОМ, руководствуясь ограничительными правилами этой модели, т.е. по существу живёт не во всём ОМ, а только в его части, охваченной (ограниченной) текущей моделью ОМ. В указанном смысле допустимо говорить о том, что человек живёт в созданной им модели ОМ, не видя (не понимая, не воспринимая) предметов и явлений ОМ, находящихся вне этой модели. В этом проявляется ограниченность ЧИ, реализующаяся в конкретном индивидуальном ЧС.

Выявление неизвестной части ОМ, отсутствующей в модели, в типовом случае проявляется как: «этого не должно быть потому, что это противоречит ЗС». То есть, контакт с неизвестной частью ОМ осуществляется посредством выявления *парадокса*. По существу, парадокс — есть осознание индивидом непонимания ситуации (объекта, явления), т.е., осознание несоответствия ситуации ЗС, т.е., текущей модели ОМ.

Но *главный* парадокс — в другом. В типичном случае индивидуальное ЧС «срослось» и «сроднилось» с текущей моделью ОМ на столько, что постулирует её непогрешимость, поскольку *обычно* (т.е. в обыденных случаях, очерченных самой моделью) модель бывает правильной, а ошибку допускает соответствующий индивид. Поэтому модель ошибочно воспринимается как нечто первичное по отношению к ОМ. Типичные примеры — постулирование наличия Бога в религиозном мировоззрении; игнорирование археологических артефактов в традиционной истории; недоверие к редким наблюдениям, стремление необоснованно объяснять всё аппаратными ошибками, в точных науках. В этой ограниченности ЧИ состоит первопричина, и *главным* парадоксом является то, что несоответствие модели выявляется, парадокс обнаруживается, но субъективно воспринимается как несоответствие ЗС и интерпретируется как недостаток (ущербность) ОМ или логики работы ОМ. Т.е. парадоксальным является сам механизм проявления парадоксов.

В связи со сказанным, представляет интерес *моделирование парадоксальности*, т.е. построение моделей, позволяющих наблюдать (исследовать) парадоксы.

Значительные возможности для этого открываются с применением СП, которые известны как математический аппарат для моделирования динамических дискретных распределённых асинхронных систем [4]. Ключевым элементом СП является двудольный ориентированный граф, состоящий из вершин двух типов — *мест* и *переходов*, соединённых между собой дугами. Двудольность, по определению, есть запрет связей *место-место* и *переход-переход*. Возможность представления СП в виде графа автоматически наделяет этот аппарат средствами

визуализации. Помимо статических (конфигурационных) характеристик, аппарату СП присущ так же динамический аспект. В *местах* могут размещаться *метки*, которые могут перемещаться по сети. Процессы, происходящие в СП, представляют собой последовательность событий — срабатываний *переходов*, при которых *метки* из входных *мест* данного *перехода* перемещаются в выходные *места* этого *перехода*. Последовательность событий (срабатываний *переходов*) интерпретируется как модельное время. Само событие (срабатывание *перехода*) — непротяжённое во времени.

При построении прикладных моделей, к конкретным предметным областям, применимы варианты (разновидности) СП, различающиеся структурными ограничениями и деталями в процедуре смены разметки. Важны, в частности, СП с фиксированной последовательностью срабатывания *переходов*. Показано [4], что этот тип СП позволяет реализовать полный набор формально-логических операций, что означает возможность реализовать *логику* моделируемых событий, или проверить «*логичность*» того, что происходит.

Рассмотрим далее стандартную версию и модификацию ПМХ, с представлением *логики* их работы средствами моделирования на СП.

2. Демонстрация стандартной версии парадокса Монти Холла

ПМХ (стандартная версия) [3], известный так же как «*парадокс козла за дверью*», сам по себе парадоксом не является. В нём не содержится противоречия, неразрешимого в текущей (актуальной) модели ОМ. Напротив, ситуация адекватно интерпретируется в рамках теоретико-вероятностных представлений. Поэтому ПМХ скорее может быть назван задачей по теории вероятности, решение которой, на первый взгляд, противоречит ЗС. Формулировка задачи — следующая. Монти Холл — *ведущий* популярного телевизионного шоу. В каждом из выпусков этого шоу, зрителям и *участнику* шоу предъявляются три закрытых двери, за которыми находятся призы. *Ведущий* поясняет, что в качестве призов, за одной из дверей находится автомобиль, за двумя другими — козлы. Задача *участника* шоу — правильно выбрать дверь и, следовательно, удачно получить приз. *Ведущий* знает, за которой дверью находится автомобиль. *Ведущий* предлагает *участнику* выбрать одну из трёх дверей. *Участник* указывает на одну из дверей. Эта дверь сразу не открывается, но *ведущий* открывает одну из оставшихся дверей, за которой, естественно, находится козёл, и предлагает *участнику* возможность изменить свой выбор двери.

Вопрос: увеличатся ли шансы *участника* выиграть автомобиль, если *участник* примет предложение *ведущего* и изменит свой выбор?

Правильный ответ: выигрышным является именно решение изменить выбор. Вероятность получения главного приза при этом повышается [5]. Данный вывод, однако, является не самоочевидным. «Самопроизвольно подключается» ЗС, согласно которому «двери вроде-бы те же» и «всё на прежних местах», так зачем же тогда менять выбор?

Однако, наличие ЧФ даже в подобной не слишком сложной логической ситуации вовсе не способствует принятию правильного решения. Корректность аналитического результата [5] может быть продемонстрирована на СП-модели. Перед началом построения модели сделаем два конкретизирующих замечания.

Первое. В самой задаче двери — не нумерованные. Точнее, множество дверей не является линейно упорядоченным. Двери — просто *разные*. В связи с этим, в создаваемой модели, без нарушения общности, можно считать, что после того как *участник* сделал первоначальный выбор двери, эта дверь «называется» 1-й. Это эквивалентно ситуации, когда двери пронумерованы, но *участник* всегда первоначально выбирает 1-ю дверь.

Второе. *Ведущий*, принимая решение о том, которую из дверей открыть, «мысленно рассматривает» только 2-ю дверь. Если за 2-й дверью козёл, *ведущий* её открывает; если же там автомобиль, *ведущий* открывает 3-ю дверь. Т. о. *ведущий* попросту минимизирует ситуацию для *участника*, сводя её к двум альтернативам.

На рис. 1 представлена разработанная с учётом приведённых замечаний, СП-модель стандартной версии ПМХ, изменённая (сокращённая) по сравнению с [3]. *Места* обозначены *a, b, c, ..., m, n*; *переходы* пронумерованы в порядке их опроса (срабатывания). Входной информацией для модели являются: решение *участника* «менять — не менять» свой выбор (*место a*) и «расстановка призов» (*места b, c, d*). *Метка* в *месте a* представляет решение менять выбор, отсутствие *метки* — следовать первоначальному выбору; *метка* в одном из *мест b, c* или *d* (и только в одном — по условиям игры) изображает автомобиль; отсутствие меток в двух остальных из указанных *мест* — изображает двух козлов. Представленные варианты расстановки *меток* в четырёх *местах a, b, c, d* — в совокупности, демонстрируют все шесть возможных альтернатив реализации игры. Так, согласно рис. 1, приз находится за 1-й дверью, но *участник* меняет свой первоначальный выбор и впоследствии (на следующем шаге работы СП) — проигрывает.

Место e изображает «активность» *ведущего* и в представленной модели всегда должно быть размечено. *Место h* — промежуточное, используемое в процессе работы модели. Наконец, *места m* и *n* — изображают исход (результат) игры: «выигрыш» и «проигрыш» *участника*, соответственно.

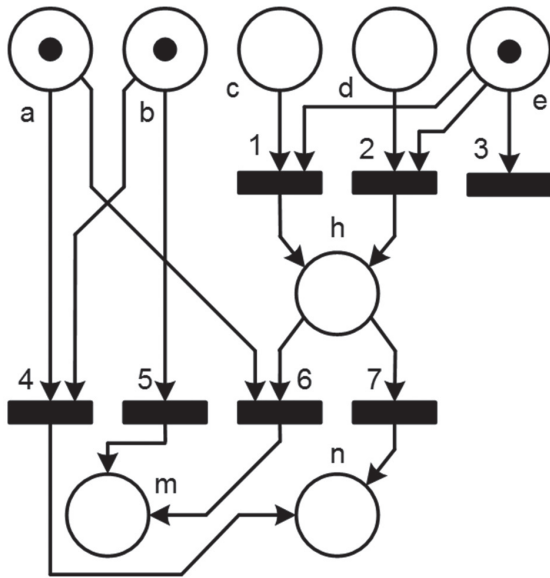


Рис. 1. Сеть Петри, демонстрирующая стандартную версию парадокса Монти Холла

Переходы срабатывают последовательно, согласно нумерации. *Переходы* 1 или 2 сбрасывает метку в место *h*, если автомобиль находится за 2-й или 3-й дверью. *Переход* 3 удаляет не использованную метку из *e*.

На момент срабатывания 3-го *перехода* выполнена первая часть игры: указана 1-я дверь, *ведущий* открыл одну из оставшихся дверей (тем самым выведя её из дальнейшего рассмотрения) и *участник* принял решение по окончательному выбору двери. Далее последовательно опрашиваются *переходы* 4 – 7. 4-й *переходы* срабатывают если автомобиль имеется за первоначально указанной дверью, но *участник* поменял выбор. Результат – метка поступает в *n* – проигрыш. 5-й и 6-й *переходы* – выигрышные. 5-й *переход* срабатывает если метка в *a* отсутствовала (ситуация – *участник* сразу указал правильную дверь и не изменил решения). При «разрядке» 5-го *перехода* метка сбрасывается в *m*, – выигрыш. При срабатывании 6-го *перехода* срабатывают два выигрышных варианта: автомобиль находится за 2-й или 3-й дверью, а *участник* изменил выбор двери. При «разрядке» 6-го *перехода* – метка поступает в *m*. Наконец 7-й *переход* даёт два проигрышных варианта: *участник* не изменил выбора. Метка из *h* (приз за 2-й или 3-й дверью) сбрасывается в *n* – проигрыш.

Ниже представлены карты смены разметки СП-модели для проигрышных (1-3) и выигрышных (4-6) вариантов игры. Разметка, иллюстрируемая рисунком 3 – 1-й вариант. Легко видеть, что выигрышных вариантов столько же, сколько и проигрышных, но *участник* имеет возможность повысить свои шансы. Из числа выигрышных вариантов, – два (4-й и 5-й) реализуются сменой выбора двери. Т.е., как и показано в [5], смена выбора двери – выигрышная стратегия.

Представленная модель, возможно, более эффективно выглядела бы при реализации на ингибиторных СП [4], в которых допустима инверсная логика с запретом срабатывания *перехода*, если во входной позиции, связанной с *переходом*, находится метка. Показано [4], что ингибиторные СП эквивалентны по возможностям СП с фиксированной последовательностью срабатывания *переходов*. В частности, они так же позволяют реализовать полный набор формально-логических операций. Однако на практике реализация ингибиторной СП в виде программы – проигрышна по расходу вычислительных ресурсов, поскольку при представлении каждой связи *место-переход* требуется выразить три альтернативы: метка отсутствует, обычная метка и инверсная метка.

	a	b	c	d	e	h	m	n
(1)	1	1	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1
(2)	0	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1
(3)	0	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1
(4)	1	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0
(5)	1	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0
(6)	0	1	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0

Для программного представления этой информации требуется 2 бита, которые расходуются с избытком (используется 3 битовые комбинации из 4). Поэтому СП-модель с фиксированным срабатыванием *переход* более востребована.

3. Модифицированный вариант парадокса Монти Холла

ПМХ [4] допускает многочисленные модификации и обобщения, не всё из которых в полной мере изучены. Это касается не только варьирования числа дверей и состава и расстановки призов, но и, что более содержательно, правил и процедур открытия дверей и частичной или полной «нечестной игры» – перемещения козлов за закрытыми дверями. Рассмотрим один из возможных вариантов модифицирования правил игры – введение не равновероятного размещения призов за дверями. В стандартной версии ПМХ молчаливо предполагается, что приз может находиться за любой из дверей с равной вероятностью. В рассматриваемом

далее модифицированном варианте — данное условие снято: вероятность нахождения приза за 1-й, 2-й, 3-й дверьми равна, соответственно, p_1, p_2, p_3 ; где $p_1 \neq p_2 \neq p_3$, причём $p_1 + p_2 + p_3 = 1$. Технически это реализуется просто. Числовое значение $x \in [0, 1]$, полученное с помощью генератора псевдослучайных чисел из нервала $[0, 1]$ с равномерным законом распределения, преобразуется в номер двери $N: \{1, 2, 3\}$, за которой предписывается расположить приз, согласно правилу:

$$N = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < p_1; \\ 2, & p_1 \leq x < (p_1 + p_2); \\ 3, & (p_1 + p_2) \leq x \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

Очевидно, что при $p_1 = p_2 = p_3 = 1/3$ ситуация сводится к рассмотренному выше (п. 2) стандартному варианту, в котором, как отмечалось, оптимальная выигрышная стратегия поведения участника — смена двери. Представляет интерес вопрос: следует ли участнику придерживаться правила смены двери в модифицированном варианте игры?

Достаточно очевидна стратегия участника, например, при $p_1 < p_2 < p_3$ или $p_1 < p_2 < p_3$. Следует выбрать сначала дверь с наименьшей вероятностью, а затем сменить дверь. Но, возможно, согласно правилам игры, ситуация не в полной мере подконтрольна участнику. Например, набор значений p_1, p_2, p_3 становится известным участнику только после выбора первой двери. Т.е. участник сначала указывает первую (начальную) дверь, потом на дверях развешивают таблички со значениями p_1, p_2, p_3 , затем ведущий открывает одну из невыбранных дверей и после этого предлагает участнику возможность изменить выбор двери.

На рис. 2 показано, каким образом СП-модель рис. 1 должна быть видоизменена, чтобы отображать модифицированную версию ПМХ. Изменение касается раздельной подачи меток из мест c и d в места m и n .

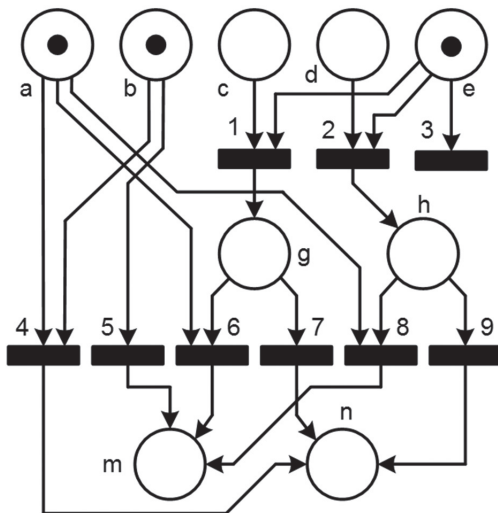


Рис. 2. Сеть Петри — модель модифицированной версии парадокса Монти Холла

В варианте рис. 1 заполнение мест c и d равновероятно; поэтому ведущий работает с ними симметрично; поэтому в модели допустимо их подключение к единому месту h . Но как только для мест c и d вероятности помещения приза становятся различными — симметрия нарушается и для полноты описания — появляется необходимость введения дополнительного места g и пары дополнительных переходов. Раздельные места и переходы $g, 6$ и 7 для c и $h, 8$ и 9 для d — позволяют, например, воспроизвести на СП-модели статистические испытания или проиграть все возможные 6 комбинаций с требуемым соблюдением пропорциональности частотности расстановки меток. Проиллюстрируем вариант процедуры исследования.

Обозначим P_{11} и P_{10} — вероятность выигрыша (первый индекс) при смене и без смены (второй индекс) двери, соответственно. Обозначения для вероятности проигрыша будут P_{01} и P_{00} ; $P_{11} + P_{01} = 1$; $P_{10} + P_{00} = 1$.

Пусть вероятности наличия приза p_1, p_2, p_3 допускают целочисленное выражение: заданы, например, в целых значениях процентов n_1, n_2, n_3 , соответственно, где $n_1 + n_2 + n_3 = 100$. В рамках комбинаторного подхода, имеется 6 возможных разметок мест (a, b, c, d): (1100), (1010), (1001), (0100), (0010), (0001). Данная ситуация может быть проиграна на модели рисунок 2. С учётом (2), для этого требуется n_1 -кратно запустить модель при (1100), затем n_2 -кратно при (1010), затем n_3 -кратно при (1001) с накоплением меток в m и n . Значения N_{m1} (число выигрышей) и N_{n1} (число проигрышей) запомнить и в модели обнулить. Затем требуется n_1 -кратно запустить модель при (0100), затем n_2 -кратно при (0010) и n_3 -кратно при (0001) с накоплением меток в m (N_{m0} — выигрыш) и n (N_{n0} — проигрыш). Значения N_{m0} (число выигрышей) и N_{n0} (число проигрышей) так же запомнить. Далее следует сопоставить, вероятности

$$P_{11} = N_{m1} / (N_{m1} + N_{n1}); \quad P_{10} = N_{m0} / (N_{m0} + N_{n0}) \quad (3)$$

выигрыша при смене двери и без смены двери, соответственно, что и является результатом моделирования — рекомендацией по оптимальной стратегии игры.

Описанная методика реализуется СП-моделью рисунок 3, содержащей ядро рисунок 2, обрамлённое «полуавтоматической» логикой. Дополнительно введены 10 мест и 9 переходов. Три однотипные группы, обозначенные ($b', b^*, n_1, 1, 4, 5$), ($c', c^*, n_2, 2, 6, 7$) и ($d', d^*, n_3, 3, 8, 9$), предназначены для автоматизации циклической смены разметки ядра модели. Место w замыкает цикл смены разметки. «Полуавтоматичность» системы состоит в том, что её нужно запускать дважды, раздельно для ситуаций со сменой и без смены дверей.

При запуске для расчёта варианта со сменой двери — место a «заряжается» $n_1 + n_2 + n_3$ метками,

изображающими смену двери в каждом из запусков ядра модели. В место **b'** помещается метка, изображающая начальное положение приза. Метка в месте **e** изображает активность *ведущего* по открытию дверей. Наконец в места, обозначенные n_1, n_2, n_3 помещаются, соответственно, по n_1, n_2, n_3 меток, изображающих кратность запуска ядра модели при соответствующем положении приза. Исходная разметка СП показана на рис. 3.

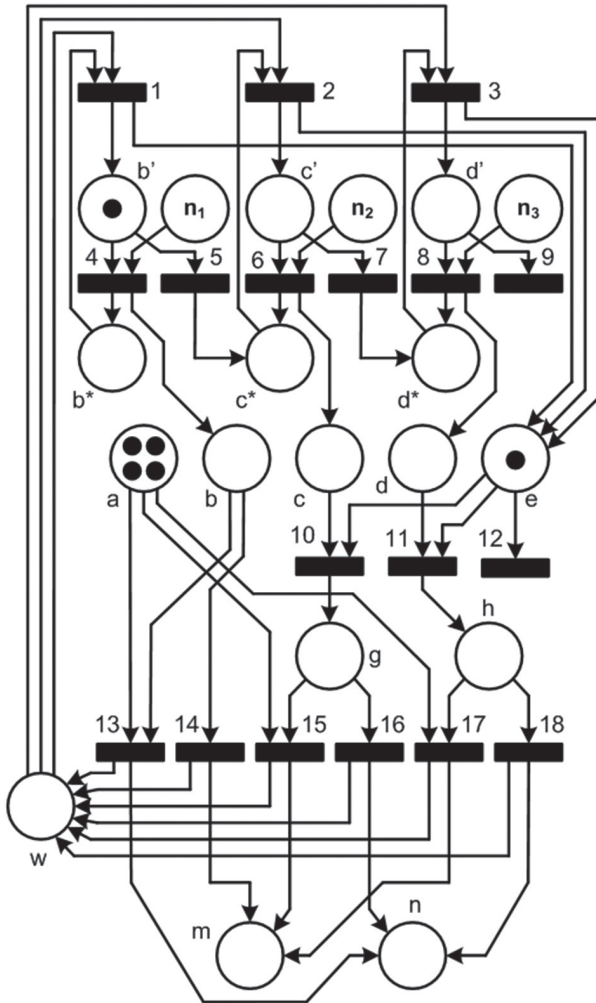


Рис. 3. СП-модель модифицированной версии парадокса Монти Холла. Ядро рисунка 2 обрамлено «полуавтоматикой» для исследования выигрыша-проигрыша методом полного перебора вариантов

При первом *цикле смены разметки* (ЦСР) срабатывает переход 4, изымается метка из **b'** и одна из меток из места, обозначенного n_1 , сбрасываются метки в **b** и **b***. Место **b*** является ёмкостью промежуточного хранения сигнальной метки до завершения работы ядра модели. Место **b** есть «штатное» место ядра модели рисунок 2, изображающее первую дверь. Т. о., дальше ситуация сводится к циклу работы СП рис. 2. «По игре» — вступает *ведущий*: срабатывает один из переходов 10, 11, 12. Затем срабатывает переход 13, куда снимается одна из меток из **a** и метка из **b**. При этом сбрасываются метки в **n** (начало накопления значения N_{n1} — проигрыш) и в

w (конец ЦСР). При следующих (n_1-1) ЦСР, метки из **b*** и **w** поступают в переход 1, далее из 1 сбрасывается по одной метке в места **b'** и **e**. Ядро модели «заряжено» для следующего ЦСР.

По прохождении n_1 ЦСР, при которых в **n** оказываются сброшенными n_1 меток, вместо 4-го, срабатывает 5-й переход и метка из **b'** поступает в **c***, перемещая тем самым приз за 2-ю дверь. Далее отыгрывается n_2 ЦСР, при которых n_2 меток сбрасываются в **m**. Затем, вместо 6-го, срабатывает 7-й переход и метка из **c'** поступает в **d***, устанавливая приз за 3-ю дверь. При этом ещё n_3 меток сбрасываются в **m**. Наконец, когда все n_3 метки будут сброшены, вместо 8-го перехода сработает 9-й, который поглотит метку из **d'**. СП завершила работу. Результат: в **m** накоплено (n_2+n_3) меток, **n** — n_1 меток.

При запуске для расчёта варианта *без смены двери* — исходная разметка такая же, как и для варианта *со сменой* двери, за исключением того, что место **a** оставлено неразмеченным, что изображает намерение участника не менять дверь. Общая логика работы СП остаётся прежней. Легко видеть, что в ходе ЦСР в **m** накоплено n_1 меток, **n** — (n_2+n_3) меток.

Далее, после подстановки в (3) значений в **m** и **n** в первом и втором запусках модели, получаем вероятности выигрыша *при смене* и *без смены* двери.

$$P_{11} = (n_2 + n_3) / (n_1 + n_2 + n_3);$$

$$P_{10} = n_1 / (n_1 + n_2 + n_3). \quad (4)$$

Расстановкой числа меток n_1, n_2, n_3 , мы комбинаторно воспроизводим в модели частотность событий, соответствующую (пропорциональную) вероятностям p_1, p_2, p_3 . Поэтому в (4) вместо n_1, n_2, n_3 могут быть подставлены p_1, p_2, p_3 , что, с учётом $p_1 + p_2 + p_3 = 1$, является аналитическим решением задачи в этой постановке:

$$P_{11} = (p_2 + p_3); \quad P_{10} = p_1. \quad (5)$$

Легко видеть так же, что поскольку в стандартном варианте ПМХ $p_1 = p_2 = p_3 = 1/3$, — получают значения вероятностей выигрыша $2/3$ *при смене* и $1/3$ *без смены* двери, что соответствует (1), и как изложено в [5]; т. е. решение не противоречит стандартному варианту.

Выводы

Возникает вопрос: стоило ли создавать СП-модели при наличии столь простого аналитического решения для игровой (как бы не слишком серьёзной) ситуации? Ответ следующий.

1. Как отмечалось, парадокс перестаёт быть парадоксом только после того, как «получает своё объяснение». До этого — он «противоречит ЗС». В рассматриваемом случае аналитическое решение приобрело ясные очертания только после (и благодаря) демонстрации с использованием представленных моделей.

2. Как отмечено во Введении, цель представленного материала — наработка типовых решений, применительно к использованию в ЭС и СППР. Моделируемая ситуация (п.3) действительно не отличается сложностью. Но сложность, превышающая чисто аналитические возможности, находится «совсем не далеко». Существуют «проклятие размерности», динамичность, неэргодичность, нестационарность, нелинейность и др. которые по одиночке или в комбинациях способны свести на нет практически любые аналитические возможности. Существует даже более простая вещь: воздействие на объект несколькими сложным образом взаимосвязанных случайных факторов с разными аналитически известными (!) функциями распределения. Тем не менее, получение и исследование аналитических решений при этом (в типичном случае) может быть связано с существенными трудностями. Поэтому ценность изложенного не столько в конкретных представленных СП-моделях, сколько в демонстрации принципов и подходов, которыми возникающие многоисходные и многопараметрические вероятностные ситуации могут быть реализованы в СП-моделях и вероятностно оценены.

3. Простота и игровой характер не являются мерой критичности для изучения объектов и ситуаций. Следует помнить, что теория вероятностей и комбинаторика зародились в XVII веке в связи с популярностью азартных игр, примерами из которых традиционно и по сей день пестрит соответствующая математическая литература. С другой стороны, разумеется, ПМХ «про козла за дверью» рассмотрен вовсе не в аспекте развития шоу-бизнеса. Более серьёзной прикладной областью является, например, дистанционное обеспечение надёжности бортовых технических систем. На текущий момент уже не относятся к сфере science fiction автономные саморемонтирующиеся и самовосстанавливающиеся системы, находящиеся на удалённых не обслуживаемых объектах. Таковыми являются, например, космические аппараты. Дистанционная техническая поддержка подобных систем может быть осложнена (ограничена) задержкой во времени, информационным каналом, ограниченным ресурсом и др. В случае возникновения неисправностей, дистанционное обслуживание (человеческое интеллектуальное сопровождение) преимущественно может включать вероятностный анализ ситуаций, консультирование, реконфигурацию подсистем и др. Прямое

(ручное) управление оказывается малоэффективным по причине временной задержки и ограниченной надёжности связи. Легко видеть, что в основных чертах это соответствует ПМХ. Таким образом, с рядом оговорок, представленное выше СП-моделирование может рассматриваться в качестве элементарного (дальнего) прототипа в решении подобных сложных задач.

Список литературы: 1. *Михаль О.Ф.* Информационный аспект организации индивидуальной творческой человеческой деятельности. // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Третьей Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 24-26 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 2 — Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2013. — С.81-88. 2. *Михаль О.Ф.* Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники // Бионика интеллекта: научн. техн. журнал. — 2014. — 1 (82). — С. 55-62. 3. *Михаль О.Ф.* Демонстрация парадокса Монти Холла на сетях Петри // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Четвёртой Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 23-25 апреля 2014 г. В 2-х томах. Том 1. — Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2014. — С. 132-137. 4. *Котов В.Е.* Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с. 5. *S. Gnedin.* The Mondee Gills Game. // The Mathematical Intelligencer, Volume 34, Number 1, 2012, p. 34-41.

Поступила в редколлегию 10.03.2015

УДК 681.513

Модифікований парадокс Монті Холла. Моделювання на мережах Петрі / О.П. Міхаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 23–29.

Парадокс Монті Холла смодельовано на мережах Петрі. Модель модифіковано стосовно аспекту ймовірності. Отримані результати перспективні щодо використання при розробці експертних систем та систем підтримки прийняття рішень в складних відповідальних ситуаціях, які потребують мінімізації людського фактору.

Лл. 3. Бібліогр.: 5 найм.

UDK 681.513

The Mondee Gills paradox modification. Petri nets modeling / O.Ph. Mikhal // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 23–29.

The Mondee Gills paradox is modeled on Petri nets. The model is modified in probabilistic aspect. The results are perspective for use at development of the expert systems and decision support systems in complex responsible situation, where minimization of the human factor is required.

Fig. 5. Ref.: 5 items.

УДК 681.518:004.93'.1



А.С. Довбиш¹, О.Б. Берест², Р.С. Приходченко³

¹СумДУ, м. Суми, Україна, kras@id.sumdu.edu.ua

²СумДУ, м. Суми, Україна, Berest_Oleg@mail.ru

³СумДУ, м. Суми, Україна, hiro-pr@yandex.ru

ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ НАВЧАННЯ КЕРОВАНОГО ГОЛОСОМ МАНІПУЛЯТОРА

Запропоновано модель інтелектуальної руки-маніпулятора, яка здатна розрізняти голосові команди. Розпізнавання голосових команд здійснюється в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології, яка базується на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її навчання. Для заданого алфавіту голосових команд сформовано вхідний математичний опис руки-маніпулятора та реалізовано інформаційно-екстремальний алгоритм її навчання. За результатами фізичного моделювання підтверджено працездатність розробленого інформаційного та програмного забезпечення.

МАНІПУЛЯТОР, ГОЛОСОВА КОМАНДА, ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ, КЛАС РОЗПІЗНАВАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНИЙ КРИТЕРІЙ, ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОЗНАКА РОЗПІЗНАВАННЯ

Вступ

Використання інтелектуальних маніпуляторів дозволяє розширити функціональні можливості робототехнічних комплексів різного призначення, серед яких важливого соціального значення набуває їх використання при протезуванні з метою підвищення точності імітації роботи кінцівок людини. Відомі принципи дії таких приладів базуються на використанні надчутливих нейросенсорів, що призводить до надзвичайно великої ціни протезів і, як наслідок, неможливості їх широкого застосування. Одним із перспективних підходів до розширення функціональних можливостей і підвищення точності й оперативності виконання команд є застосування голосового керування роботами-маніпуляторами [1-8]. Але існуючі технології голосового керування через довільні початкові умови керованого процесу характеризуються або наявністю помилкового виконання команд, або невисокою оперативністю. Як перспективний напрям підвищення функціональної ефективності керованої голосом руки-маніпулятора є застосування ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) аналізу і синтезу здатних навчатися систем керування, що ґрунтуються на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її навчання [9-11].

В статті розглядається інформаційно-екстремальний алгоритм самонавчання інтелектуальної руки-маніпулятора, здатної виконувати певні дії на основі розпізнавання.

1. Основна частина

Система керування за голосом маніпулятора складається з двох основних частин: системи розпізнавання голосових команд і виконавчого пристрою. Розглянемо формалізовану постановку задачі машинного навчання системи розпізнавання голосових команд. Нехай задано нечіткий у

загальному випадку алфавіт класів розпізнавання $\{X_m^o | m = \overline{1, M}\}$, який характеризує скінчену множину голосових команд, і структурований вектор параметрів функціонування системи керування $g = \langle g_1, \dots, g_\xi, \dots, g_\Xi \rangle$ з відповідними на них обмеженнями.

В процесі навчання системи керування необхідно сформувати для заданого алфавіту $\{X_m^o\}$ навчальну матрицю типу «об'єкт-властивість» $\|y_{m,i}^{(j)}\|, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}$, де N — кількість ознак розпізнавання і n — кількість реалізацій образу, і оптимізувати координати вектора g за умови забезпечення глобального максимуму усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) навчання системи в робочій (допустимій) області визначення його функції

$$\bar{E}^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M E_m^* \quad (1)$$

де E_m^* — максимальне значення КФЕ навчання системи розпізнавати реалізації класу X_m^o .

На етапі екзамону, тобто безпосередньо в робочому режимі маніпулятора, необхідно прийняти рішення про належність голосової команди до одного із класів алфавіту $\{X_m^o\}$.

Як відомо навчання системи керування в рамках ІЕІ-технології полягає в цілеспрямованій трансформації апріорного у загальному випадку нечіткого розбиття простору ознак в чітке розбиття класів розпізнавання. При цьому на кожному кроці навчання відбувається відновлення побудованих у радіальному базисі простору ознак оптимальних контейнерів, геометричні параметри яких визначають вирішальні правила, що застосовуються в режимі екзамону.

Основними етапами реалізації інформаційно-екстремального алгоритму машинного навчання системи розпізнавання голосових команд є:

- 1) формування вхідного математичного опису;
- 2) перетворення вхідної навчальної матриці при заданій системі контрольних допусків на ознаки розпізнавання в робочу бінарну навчальну матрицю, над якою в процесі навчання здійснюються допустимі перетворення;
- 3) визначення шляхом статистичного усереднення бінарної навчальної матриці для кожного класу розпізнавання еталонного двійкового вектора-реалізації, вершина якого визначає геометричний центр контейнера відповідного класу;
- 4) визначення для кожного класу розпізнавання із заданого алфавіту найближчого сусіда шляхом знаходження в матриці кодових відстаней найменшої кодової відстані між їх еталонними векторами;
- 5) зміна на кожному кроці навчання радіусів контейнерів класів розпізнавання за умови, що вони не перевищують міжцентрову відстань для найближчих сусідів;
- 6) обчислення на кожному кроці навчання інформаційного КФЕ (1);
- 7) пошук глобального максимуму критерію (1) в робочій області визначення його функції;
- 8) визначення оптимального параметра навчання, яке забезпечує максимальне значення критерію (1) в робочій (допустимій) області визначення його функції;
- 9) формування за результатами навчання системи розпізнавання чітких вирішальних правил, які для класифікатора з гіперсферичною формою контейнерів класів можна представити у вигляді функції належності двійкового вектора-реалізації, що розпізнається, наприклад класу X_m^o

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_m \oplus x_e)}{d_m^*}, \quad (2)$$

де $d(x_m \oplus x_e)$ – кодова відстань від вершини еталонного двійкового вектора-реалізації класу X_m^o і вектором x_e , що розпізнається; d_m^* – оптимальний радіус контейнера класу X_m^o , що визначено в процесі машинного навчання.

Розглянемо детальніше реалізацію кожного з цих етапів.

Формування вхідного математичного опису системи розпізнавання команд здійснювалося за методом статистичного розподілу мел-кепстральних коефіцієнтів (MFCC) [12], що дозволило перетворити вхідну фонограму на структурований вектор коефіцієнтів, який розглядається як вхідна реалізація команди. Оскільки вхідні вектори-реалізації навіть для однакової команди можуть мати різну довжину, то для їх нормалізації було застосовано метод, запропонований в праці [13].

Подальше формування навчальної матриці полягало в записі акустичних сигналів команд для заданого алфавіту класів розпізнавання. Акустичні сигнали створювалися за допомогою додатка

Audacity [14] в моно-режимі з частотою дискретизації 16000 та зберігались в WAVE форматі. Для побудови векторів-реалізацій була використана модифікована бібліотека SPro 5.0, написана на об'єктно-орієнтованій мові C++.

Навчання маніпулятора здійснювалося за інформаційно-екстремальним алгоритмом, описаним в працях [9-11, 15-16]. Як інформаційний КФЕ навчання системи розпізнавати реалізації класу X_m^o розглядалася модифікована інформаційна міра Кульбака [15]

$$E_m^{(k)} = \log_2 \left(\frac{2 - (\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d))}{\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \right) * [1 - (\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d))], \quad (3)$$

де $\alpha_m^{(k)}(d)$ – помилка першого роду при прийнятті рішень на k -му кроці навчання; $\beta_m^{(k)}(d)$ – помилка другого роду; d – дистанційна міра, що визначає радіуси гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання.

Таким чином, алгоритм навчання системи полягає в реалізації процедури знаходження інформаційного критерію в робочій області його визначення з метою побудови безпомилкових за навчальною матрицею вирішальних правил.

Функціональна схема керування здатного навчатися маніпулятора показана на рис. 1.



Рис. 1. Функціональна схема керування здатного навчатися маніпулятора

Наведена на рис. 1. структура дозволяє функціонувати маніпулятору у режимах машинного навчання і екзамену, тобто безпосереднього розпізнавання голосових команд в робочому режимі. Звуковий сигнал від оператора потрапляє в блок первинної обробки інформації (БПОІ), який його нормалізує і перетворює до вигляду, зручного для подальшого оброблення ЕОМ. З виходу БПОІ нормалізований сигнал поступає в блок формування векторів розпізнавання, де формуються бінарні вектори-реалізації образів шляхом порівняння поточних ознак розпізнавання з їх відповідними контрольними допусками. Таким чином на виході

блоку формування векторів розпізнавання формується структурований бінарний вектор-реалізація голосової команди, кожна координата якого є одномісним предикатом, що приймає значення «1», якщо значення ознаки знаходиться в полі контрольних допусків, і «0», якщо – не знаходиться. В цьому блоці при послідовному багатократному надходженні векторів-реалізацій голосових команд формується бінарна навчальна матриця, яка поступає в блок «Навчання», де за наведеним вище інформаційно-екстремальним алгоритмом відбувається оптимізація геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання.

З виходу блоку «Навчання» у базу знань поступають оптимальні параметри функціонування системи, які забезпечують максимальну функціональну ефективність навчання системи розпізнавання.

В режимі екзамєну у блок «Екзамєн» поступають значення параметрів еталонних векторів і визначені на етапі навчання оптимальні значення геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання, які формують вирішальні правила – функції належності (2). Прийняття рішень на екзамєні про належність вектора-реалізації, що розпізнається, одному із класів із заданого алфавіту здійснювалося в рамках ІЕІ-технології за максимальним значенням функції належності

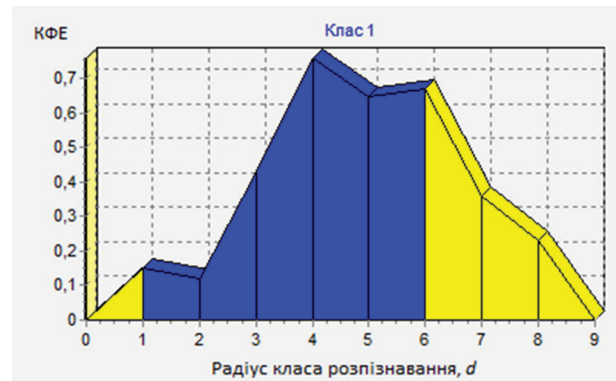
Результат екзамєну передається на блок кінцевої обробки інформації (БКОІ) для формування вихідних відповідних керуючих сигналів, які поступають безпосередньо на виконавчі органи маніпулятора, визначаючи алгоритм його роботи.

Реалізація алгоритму навчання маніпулятора розглядалася на прикладі розпізнавання двох команд «ТАКЕ» та «ПУТ» Навчальна матриця складалася з 30 векторів реалізацій кожного класу, а вектори-реалізації мали по 20 ознак розпізнавання.

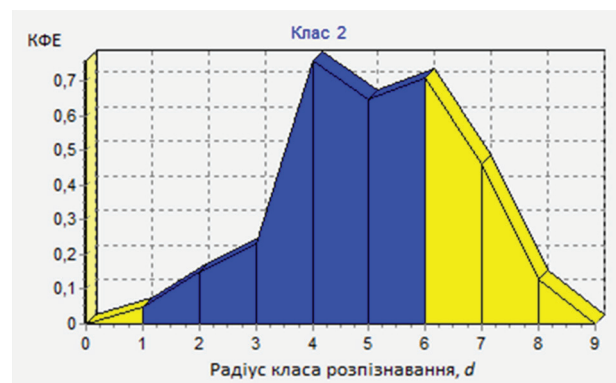
З метою аналізу інформаційно-екстремального алгоритму навчання маніпулятора розпізнавати реалізації двох класів: «ТАКЕ» – клас X_1^o і «ПУТ» – клас X_2^o досліджувалася показана на рис. 2 динаміка зміни усередненого інформаційного критерію (3) від радіусів контейнерів, що відновлювалися.

На рис. 2 темні ділянки графіків позначають робочі (допустимі) області визначення функції критерію (3), в яких значення першої та другої достовірностей більше помилок першого і другого роду відповідно. Аналіз графіків на рис. 2 показує, що при значенні параметра поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, яке при формуванні вхідної бінарної матриці становить $\delta_K = 45$ (у відсотках від номінального значення ознаки розпізнавання), оптимальні радіуси контейнерів дорівнюють у кодових одиницях відповідно $d_1^* = 4$ і $d_2^* = 4$. При цьому глобальний максимум інформаційного КФЕ в робочій області визначення функції (3) дорівнює $E^* = 0,72$, що свідчить про достатньо високі

асимптотичні характеристики системи керування маніпулятором, які визначаються функціональною ефективністю навчання системи.



а



б

Рис. 2. Графіки залежності усередненого КФЕ від радіусів класів: а – клас X_1^o ; б – клас X_2^o

За одержаними в процесі навчання геометричними параметрами контейнерів класів розпізнавання було побудовано вирішальні правила, які застосовувалися при виконанні рукою-маніпулятором операцій «Взяти» та «ПОКЛАСТИ». Рішення про належність реалізації, що розпізнавалася, до відповідного класу приймалося за максимальним значенням функції (2). При цьому, якщо реалізація не належала відповідному класу розпізнавання, то значення функції належності (2) для нього було від'ємним. Якщо команда була невідомою, тобто функції належності до кожного з класів були від'ємні, маніпулятор не виконував жодної дії.

Висновки

Розроблене інформаційне і програмне забезпечення інформаційно-екстремальної системи керування маніпулятором дозволило шляхом машинного навчання надати йому властивість адаптивності за умови апріорної невизначеності, обумовленої довільними початковими умовами керованого процесу та впливом неконтрольованих факторів.

Побудовані в процесі машинного навчання маніпулятора за розглянутим алгоритмом вирішальні

правила не є безпомилковими за навчальною матрицею, оскільки застосована система контрольних допусків на ознаки розпізнавання апіорно є неоптимальною. З метою побудови безпомилкових за навчальною матрицею вирішальних правил згідно з принципом відкладених рішень необхідно здійснювати оптимізацію інших параметрів функціонування, які впливають на функціональну ефективність навчання СППР. Такими параметрами можуть бути, наприклад, параметри поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, словника ознак тощо.

Список літератури: 1. Орловський І. А. Лабораторний стенд керування маніпулятором М10П від SCADA системи TRACE MODE / І. А. Орловський, О. І. Крат, П. П. Зав'язун, Ю. С. Бірюков // Електротехніка та електроенергетика. — 2013. — № 2. — С. 54-61. 2. Конох І. С. Багатоконтрольний пристрій керування роботом-маніпулятором з електричними сервоприводами постійного струму та інкрементальними енкодерами / І. С. Конох, М. Ю. Базишин // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. — 2013. — № 2. — С. 92-105. 3. Невлюдов І. Ш. Голосовое формирование управляющих команд робота в САПР технологических процессов / И. Ш. Невлюдов, А. М. Цымбал, С. С. Милютин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2008. — Т. 2, № 2 (32). — С. 12-14. 4. Furtună F., Using Discriminant Analysis in Speech Recognition / F. Furtună, M. Dărdală // The Proceedings Of The Fourth National Conference Human Computer Interaction RoChi 2007, Universitatea Ovidius Constanța, 2007, MatrixRom, Bucharest, 2007. 5. Divenyi P. Speech Separation by Humans and Machines. / P. Divenyi // Kluwer Academic Publishers, 2005 — 319 p. 6. Губочкин И. В. Разработка алгоритмов анализа и распознавания речи на основе адаптивной кластерной модели и критерия минимального информационного рассогласования [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.17 / И. В. Губочкин. — Нижний Новгород, 2011. — 22 с. 7. Гребнов С. В. Аналитический обзор методов распознавания речи в системах голосового управления / С. В. Гребнов // Вестник ИГЭУ — 2009. — № 3. — С. 83-85. 8. Цымбал А. М. Транслятор команд голосового управления роботом [Текст] : тезисы докл. / А. М. Цымбал, С. С. Милютин // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2008»: 4-я Международная молодежная научно-техническая конф. — Севастополь, 2008. — С. 258. 9. Dovbysh A. S. Information-Extreme Algorithm for Optimizing Parameters of Hyperellipsoidal Containers of Recognition Classes / A. S. Dovbysh, N. N. Budnyk, V. V. Moskalenko // Journal of automation and information sciences. — New York: Begell House Inc. — v44.i10. — 2012. — P. 35-44. 10. Берест О. Б. Інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи керування вирощуванням скінтіляційних монокристалів. / О. Б. Берест, А. С. Довбиш, Ю. С. Козьмін

// Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». Харків: НТУ «ХПІ». — 2012. — № 30. — 128 с. (с. 54-60). 11. Довбиш А. С. Информационно-экстремальный алгоритм обучения системы диагностирования патологических процессов / А. С. Довбиш, С. А. С. М. Джулгам, А. А. Стадник // Сборник статей «Инновации в науке». — Новосибирск: НП «СибАК». — 2013. — № 23. — С. 45-54. 12. Sahidullah Md. Design, analysis and experimental evaluation of block based transformation in MFCC computation for speaker recognition / Md. Sahidullah; G. Saha // Speech Communication. — May 2012 — 54 (4). — pp. 543-565 13. Простой алгоритм распознавания речи по короткому словарю на основе MFCC [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/150251/> — 05.11.2014 г. — Загл. с экрана. 14. Audacity® is free, open source, cross-platform software for recording and editing sounds. [Electronic resource]. — Access mode: <http://audacity.sourceforge.net/?lang=ru> — 11.10.2014 г. — Screen title. 15. Довбиш А. С. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник. / А. С. Довбиш //— Суми: Вид-во СумДУ, 2009. — 171 с. 16. Берест О. Б. Оценка функциональной эффективности обучения автоматизированной системы управления технологическим процессом / О. Б. Берест, А. С. Довбиш // Вестник СумГУ. Серия технических наук. — 2012. — № 2. — С. 39-47.

Надійшла до редколегії 11.02.2014

УДК 681.518:004.93'.1

Информационно-экстремальный алгоритм обучения управляемого голосом манипулятора / А. С. Довбиш, О. Б. Берест, Р. С. Приходченко // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 30-33.

Предложена модель интеллектуальной руки-манипулятора, которая способна различать голосовые команды. Распознавание звуковых инструкций происходит в рамках интеллектуальной экстремально-информационной технологии, основанной на максимизации информационной способности системы. Были сформированы обучающие матрицы и реализован базовый алгоритм обучения. В результате проведенных экспериментов удалось получить удовлетворительный показатель функционирования интеллектуальной системы.

Ил. 2. Библиогр.: 16 назв.

UDK 681.518:004.93'.1

Information-extreme learning algorithm of voice-controlled manipulator / A. S. Dovbysh, O. B. Berest, R. S. Pryhodchenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — № 1 (84). — P. 30-33.

A model of intelligent robotic arm able to recognize the voice commands is proposed. Recognition of sound instruction is within intellectual extreme-information technology based on the maximizing of the information capacity of the system. Learning matrices were formed and basic learning algorithm was successfully implemented. As a result positive index of intellectual system functionality was obtained.

Fig. 2. Ref.: 16 items.

УДК 681.518:004.93.1'



В.В. Москаленко

Сумской государственной университет, г. Сумы, Украина

ИНФОРМАЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ПО НЕСБАЛАНСИРОВАННЫМ ДАННЫМ БОЛЬШОГО РАЗМЕРА

Предлагается алгоритм информационно-экстремального машинного обучения с итерационным сбором обучающей выборки, позволяющий производить обучение классификатора на исходных данных большого объема без их дополнительной предобработки (нормализации, балансировки, фильтрации). В качестве примера рассмотрено реализацию предложенного алгоритма для обучения классификатора по большим несбалансированным наборам архивных данных мониторинга сетевого трафика и технологического процесса выращивания скнтиляционных монокристаллов.

НЕСБАЛАНСИРОВАННЫЕ ВЫБОРКИ, ИНФОРМАЦИОННЫЙ КРИТЕРИЙ, РЕЦЕПТИВНЫЕ ПОЛЯ ПРИЗНАКОВ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАТОР

Введение

В практических условиях мониторинга управляемых процессов часто накапливаются большие объемы архивной истории со значительной несбалансированностью набора реализаций классов распознавания, что усложняет применение традиционных методов машинного обучения [1, 2]. Одной из простых техник учета несбалансированности является увеличение “премий” за правильную и увеличение “штрафов” за ошибочную классификации реализаций миноритарных классов [1]. Это увеличивает чувствительность к редким событиям (например: редкие болезни, сетевые атаки, аномальные состояния технологического процесса и т.п.), распознавание которых имеет большую ценность, однако одновременно уменьшается суммарная точность распознавания. В связи с этим в последнее время большую популярность приобрели методы сэмплирования *under-sampling* и *oversampling* [3]. Применение *undersampling* позволяет сбалансировать число реализаций различных классов случайной выборкой из мажоритарного класса, однако это может привести к потере важной информации. Методы *oversampling* искусственно увеличивают количество реализаций миноритарного класса путем дублирования или путем их генерирования с помощью малых отклонений от реальных реализаций миноритарного класса. При этом в обоих случаях могут быть искажены вероятностное распределение и другие закономерности. Для повышения точности классификации реализаций несбалансированных классов распознавания также применяют итерационный сбор сбалансированной обучающей выборки (*bootstrap*) или методы последовательной (*boosting*) либо параллельной (*bagging*) композиции ансамбля классификаторов, обученных на различных подвыборках. Эти подходы подразумевают многократное формирование подвыборок и вызова процедуры обучения и могут быть реализованы в распределенной вычислительной среде. При этом в случае ансамбля

классификаторов получается большая модель комбинированного классификатора, а в случае итерационного сбора сложность модели определяется используемым алгоритмом машинного обучения.

В условиях “экстремальной” несбалансированности обучающих данных (объем мажоритарного класса превышает объем миноритарного больше чем в сотни раз) и ограниченного времени анализа большого объема входных данных предпочтительнее использовать вычислительно эффективные классификаторы с большой обобщающей способностью. Как было показано в работах [4, 5], наибольшим быстродействием обладают классификаторы с грубым кодированием признаков на основе рецептивных полей, поскольку позволяют трансформировать пространство признаков с помощью простых операций сравнения. При этом гарантированную точность классификации при малых размерах обучающей выборки миноритарного класса могут обеспечить информационно-экстремальные алгоритмы благодаря “сглаживающему” эффекту логарифмических информационных мер [5, 6].

В статье предложено алгоритм информационно-экстремального машинного обучения и модификацию алгоритма итерационного сбора обучающей выборки, что позволяет обучать классификатор по исходным данным большого объема без их дополнительной предобработки (нормализации, балансировки, фильтрации) и получать простые решающие правила, использующие минимум памяти и вычислительных ресурсов.

1. Постановка задачи

Рассмотрим систему поддержки принятия решений, в состав которой входит обучающийся классификатор. Пусть архивная база данных имеет большой объем классифицированных наблюдений за управляемым процессом $\{u_{m,i}^{(t)} \mid i = \overline{1, N}; t = \overline{1, T_m}; m = \overline{1, M}\}$, где N — количество признаков распознавания; T_m — количество наблюдений функционального состояния,

соответствующего m -му классу распознавания; M — мощность алфавита классов распознавания $\{X_m^o | m = \overline{1, M}\}$. Кроме этого, известен структурированный вектор параметров обучения классификатора $g = \langle \delta_i, d_m \rangle$, где δ_i — параметр, определяющий полуширину симметрического рецептивного поля для i -го признака распознавания относительно среднего значения i -го признака в базовом классе распознавания X_1^o ; d_m — радиус гиперсферического (вписанного в единичный гиперпараллелепипед) контейнера класса X_m^o , восстанавливаемого в процессе обучения в радиальном базисе бинарного пространства признаков Ω_B . При этом заданы ограничения на параметры обучения: $d_m \in [1; d(x_m \oplus x_c) - 1]$, где $d(x_m \oplus x_c)$ — кодовое расстояние от эталонного вектора x_m класса X_m^o к эталонному вектору x_c ближайшего (соседнего) класса $X_c^o \in \{X_m^o\}$; $\delta_i \in [0; 0.5 \cdot \delta_{H,i}]$, где $\delta_{H,i}$ — максимально допустимая ширина рецептивного поля для i -го признака распознавания.

Необходимо сформировать репрезентативную обучающую выборку $\{y_{m,i}^{(j)} | j = \overline{1, n_m^*}\} \subset \{u_{m,i}^{(k)}\}$ и в процессе (до)обучения классификатора найти оптимальные значения координат вектора параметров g^* , обеспечивающих максимальное значение усреднённого по алфавиту классов распознавания информационного критерия функциональной эффективности (КФЭ)

$$\bar{E}^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{\{k\}} E_m, \quad (1)$$

где E_m — информационный КФЭ обучения классификатора распознавать реализации класса X_m^o ; $\{k\}$ — упорядоченное множество шагов обучения.

При функционировании классификатора в режиме скользящего контроля необходимо найти неверно распознанные реализации на полном наборе априорно классифицированных данных $\{u_{m,i}^{(k)}\}$ для формирования дообучающего набора данных.

При функционировании классификатора в рабочем режиме (экзамена) необходимо определить принадлежность распознаваемой реализации одному из классов сформированного на этапе обучения алфавита $\{X_m^o\}$.

2. Алгоритм обучения классификатора

Процедура грубого кодирования признаков в рамках информационно-экстремального обучения начинается с вычисления левой и правой границы рецептивных полей соответственно:

$$A_{Л,i} = \bar{y}_{1,i} - \delta_i; A_{П,i} = y_{1,i} + \delta_i,$$

где $\bar{y}_{1,i}$ — выборочное среднее значение i -го признака распознавания по реализациях базового класса X_1^o .

Квазиоптимизация параметра $\delta = \delta_i, i = \overline{1, N}$ рецептивного поля предназначена для определения стартовых значений, которые соответствуют

рабочей области определения функции информационного КФЭ, и осуществляется по итерационной процедуре

$$\delta^* = \arg \max_{G_\delta} \left\{ \frac{1}{M} \sum_{s=1}^M \left[\max_{G_E \cap G_d} E_m \right] \right\}, \quad (2)$$

где G_δ — область допустимых значений параметра рецептивного поля; G_d — область допустимых значений радиуса гиперсферического контейнера; G_E — рабочая область определения функции КФЭ.

Последовательная оптимизация параметра δ_i рецептивного поля для i -го признака осуществляется по итерационной процедуре

$$\delta_i^* = \arg \left\{ \bigotimes_{l=1}^L \max_{G_{\delta_i}} \left\{ \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left[\max_{G_E \cap G_d} E_m^{(l)} \right] \right\} \right\}, \quad (3)$$

где $E_m^{(l)}$ — КФЭ обучения классификатора распознавать реализации m -го класса на l -м шаге последовательной процедуры оптимизации; G_{δ_i} — область допустимых значений параметра рецептивного поля для i -го признака; $\bigotimes$ — символ операции повтора; L — количество прогонов итерационной процедуры последовательной оптимизации параметра рецептивных полей.

Базовый алгоритм [5,6] является вложенным в процедуры (2) и (3) и осуществляет построение контейнеров для каждого класса распознавания.

В качестве КФЭ обучения классификатора рассмотрим модификацию информационной меры Кульбака [6], в которой отношение правдоподобия представлено в виде отношения полной вероятности правильного принятия решений P_{true} к полной вероятности ошибочного принятия решений P_{false} . Для случая несбалансированных выборок и двухальтернативных гипотез мера Кульбака имеет вид

$$\begin{aligned} E_m^{(k)} &= \left[P_{true,m}^{(k)} - P_{false,m}^{(k)} \right] \log_2 \frac{P_{true,m}^{(k)}}{P_{false,m}^{(k)}} = \\ &= \left[\begin{aligned} P_{true,m}^{(k)} &= p_1 D_{1,m} + p_2 D_{2,m} \\ P_{false,s}^{(k)} &= p_1 \alpha_m + p_2 \beta_m \\ p_1 &= \frac{n_m}{n_m + n_c}; p_2 = \frac{n_m}{n_m + n_c} \\ \alpha_m &= 1 - D_{1,m}; D_{2,m} = 1 - \beta_m \\ \tilde{D}_{1,m} &= \frac{K_{1,m}}{n_m}; \tilde{\beta}_m = \frac{K_{2,m}}{n_c} \end{aligned} \right] = \\ &= \frac{\left[n_c - n_m + 2 \cdot (K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)}) \right]_*}{n_m + n_c} \log_2 \left(\frac{n_c + (K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)}) + 10^{-r}}{n_m - (K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)}) + 10^{-r}} \right), \quad (4) \end{aligned}$$

где $D_{1,m}^{(k)}$ — первая достоверность, вычисленная на k -м шагу обучения для m -го класса; $D_{2,m}^{(k)}$ — вторая достоверность; $\alpha_m^{(k)}$ — ошибка второго рода; $\beta_m^{(k)}$ — ошибка второго рода; n_m — количество реализаций

в обучающей выборке класса X_m^o ; n_c — количество реализаций, принадлежащих “соседнему” классу; $K_{1,m}$ — количество событий, характеризующих принадлежность реализаций к контейнеру класса X_m^o , если они действительно являются реализациями этого класса на k -м шаге обучения; $K_{2,m}$ — количество событий, характеризующих принадлежность реализаций контейнеру класса X_m^o , если они на самом деле принадлежат другому классу.

При расчете точностных характеристик контейнера класса X_m^o в качестве соседнего выбирают класс X_c^o с эталонным вектором $x_c = \arg \min \{d(x_m \oplus x_c)\}$ при $m \neq c$ или согласно принципу k -ближайших “соседей” соседним образом можно считать набор n_m ближайших реализаций

$$\{x_c^{(j)} \mid j = \overline{1, n_m}\} \in \left[\bigcup_{c=1}^M X_c^o \right] \setminus X_m^o.$$

Нормированная модификация критерия (4) представлена в виде

$$\hat{E}_m^{(k)} = \frac{E_m^{(k)}}{E_{\max}}, \quad (5)$$

где $E_{\max}$ — максимальное значение критерия, полученное при $K_{1,m}^{(k)} = n_m$ и $K_{2,m}^{(k)} = 0$.

При этом рабочая (допустимая) область определения функции информационного КФЭ ограничена неравенствами $D_1 \geq 0,5$ и $D_2 \geq 0,5$.

Определение принадлежности тестовой реализации $x^{(t)}$ к классу X_m^o основано на анализе значений функции принадлежности, которая имеет такой простой вид

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_m^* \oplus x^{(t)})}{d_m^*}, \quad (6)$$

где $d(x_m^* \oplus x^{(t)})$ — кодовое расстояние между эталонным вектором x_m^* и распознаваемой реализацией $x^{(t)}$; d_m^* — оптимальный радиус контейнера класса X_m^o .

Основная идея обучения при большом и несбалансированном объеме данных в рамках информационно-экстремальной технологии состоит в начальном обучении на малых случайных выборках реализаций классов (одинакового размера) и в постепенном улучшении полученных решающих правил в процессе скользящего контроля на полном наборе данных. Неверно распознанные реализации классов используются для последовательного дополнения обучающей выборки. При этом стартовыми значениями параметров рецептивных полей при дообучении за последовательной процедурой оптимизации (3) являются оптимальные значения параметров, полученные на предыдущей итерации изменения обучающей выборки. Процесс поиска неверно распознанных реализаций классов можно распараллелить (рис. 1) с использованием технологий распределенной обработки, например при терабайтных объемах данных

(Big Data) наиболее эффективной является инфраструктура Hadoop [7].

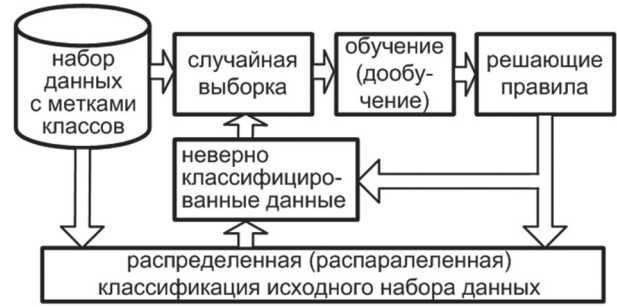


Рис. 1. Схема обучения на большом объеме данных

В отличие от оригинального bootstrap-алгоритма в данном подходе пропуск полудублирующих (почти совпадающих) реализаций осуществляется путем предварительного тестирования решающих правил на каждой добавляемой реализации с последующим дообучением в случае неверной классификации [1]. Это позволяет увеличить разнообразие реализаций образов не допуская “экстремальной” несбалансированности. При этом высокая обобщающая способность информационно-экстремальных решающих правил должна обеспечить сокращение количества итераций дообучения, а вычислительно эффективные решающие правила обеспечивают быстрое сканирование (при скользящем контроле) набора данных.

Основные преимущества предложенного подхода можно исследовать на примере обучения по обучающим данным с объемом на порядок меньшим по сравнению с Big Data. Для этого рассмотрим следующую модификацию алгоритма обучения:

Шаг 1. Инициализация массивов оптимального δ_i^* и стартового δ_i^{start} параметров рецептивных полей: $\delta_i^* := 0$; $\delta_i^{start} := 0$ при $i = \overline{1, N}$.

Шаг 2. Формирование случайной выборки $Y = \{y_{m,i}^{(j)} \mid m = \overline{1, M}; j = \overline{1, n_{\min}}; i = \overline{1, N}\}$, где $n_{\min}$ — минимальный по умолчанию объем выборки, из априорно классифицированного набора данных $Y_{test} = \{u_i^{(t)} \mid t = \overline{1, T}; i = \overline{1, N}\}$, используемого в дальнейшем для проверки качества решающих правил.

Шаг 3. Запуск информационно-экстремального обучения по обучающей матрице Y с квазиоптимизацией параметра рецептивных полей $\delta = \delta_i$ за процедурой (2) при стартовых параметрах $\{\delta_i^{start}\}$.

Шаг 4. $\delta_i^{start} := \delta_i^*$.

Шаг 5. Инициализация счетчика векторов-реализаций тестового набора данных: $t := 0$.

Шаг 6. Запуск информационно-экстремального обучения с последовательной оптимизацией параметра рецептивных полей $\{\delta_i\}$ по процедуре (3) при стартовых параметрах $\{\delta_i^{start}\}$.

Шаг 7. $\delta_{s_i}^{start} := \delta_{s_i}^*$.

Шаг 8. $t := t + 1$.

Шаг 9. Если $t \leq T$ определить принадлежность реализации $y^{(i)}$ к одному из классов алфавита $\{X_m^o\}$ по максимальному значению функции (6), иначе переход к шагу 11.

Шаг 10. Если принадлежность вектора-реализации $y^{(i)}$ не совпадает с меткой априорной классификации, то добавить $y^{(i)}$ к обучающей матрице Y и перейти к шагу 6, иначе к шагу 8.

Шаг 11. ОСТАНОВ.

Таким образом, алгоритм информационно-экстремального машинного обучения по большим несбалансированным данным состоит в итерационном приближении глобального максимума информационного КФЭ к его граничному значению в процессе итерационного сбора обучающих реализаций и оптимизации параметров обучения. При этом итерационное формирование обучающей матрицы позволяет проводить обучение без предварительной балансировки и фильтрации обучающих данных, а применение рецептивных полей в качестве оптимизируемых параметров решающих правил позволяет не проводить предварительной нормализации (приведение к единой шкале измерения) признаков.

3. Результаты физического моделирования

Предложенный алгоритм обучения классификатора по несбалансированным данным большого размера был использован для двух разных практических задач, где было накоплено достаточный объем архивных данных мониторинга управляемого процесса.

Первая задача связана с распознаванием функционального состояния фронта кристаллизации при выращивании крупногабаритных монокристаллов. Алфавит из трех классов распознавания характеризует условия выращивания: X_1^o — условия увеличения выпуклости фронта кристаллизации; X_2^o — оптимальные условия выращивания; X_3^o — условия уменьшения выпуклости фронта кристаллизации. Словарь из 30 признаков распознавания включает все доступные для контроля параметры, тренды которых архивируются на протяжении каждого выращивания. В первую очередь используются признаки, характеризующие тепловые условия выращивания, а также признаки, характеризующие состояние расплава. В качестве дополнительных признаков распознавания используются разности первого и второго порядка, взятые по трендам основных признаков. Общий объем архивной истории с метками классов составляет 1 Гбайт данных (4194304 векторов-реализаций). При этом количество реализаций классов, характеризующих отклонение условий выращивания от оптимальных составляет лишь 0,0002% от общего объема данных.

Вторая задача состоит в распознавании зашифрованного трафика BitTorrent (пиринговые сети обмена файлами) с целью его учета администратором сети при настройке QoS-механизма приоритизации трафика. Наборы данных в процессе трассировки трафика утилитой TcpDump с последующим формированием потоков и вычислением с помощью утилиты NetMate 37-ми признаков распознавания, характеризующих статистические свойства потоков [2]. Априорная классификация реализаций обучающего трафика основана на результатах мониторинга сокетов утилитой CurrPorts [8]. Общий объем накопленных данных составляет 3,3 Гбайт (13841203), при этом интересующий трафик составляет лишь 0,0001 % от всего объема данных.

Графики изменения максимумов нормированного КФЭ в процессе последовательной оптимизации параметра рецептивных полей в режимах обучения (до первого максимума усредненного КФЭ $E = 1,0$) и дообучения (после первого максимума $E = 1,0$) показано на рис. 2. Счетчик шагов k соответствует одному изменению параметра какого-либо рецептивного поля.

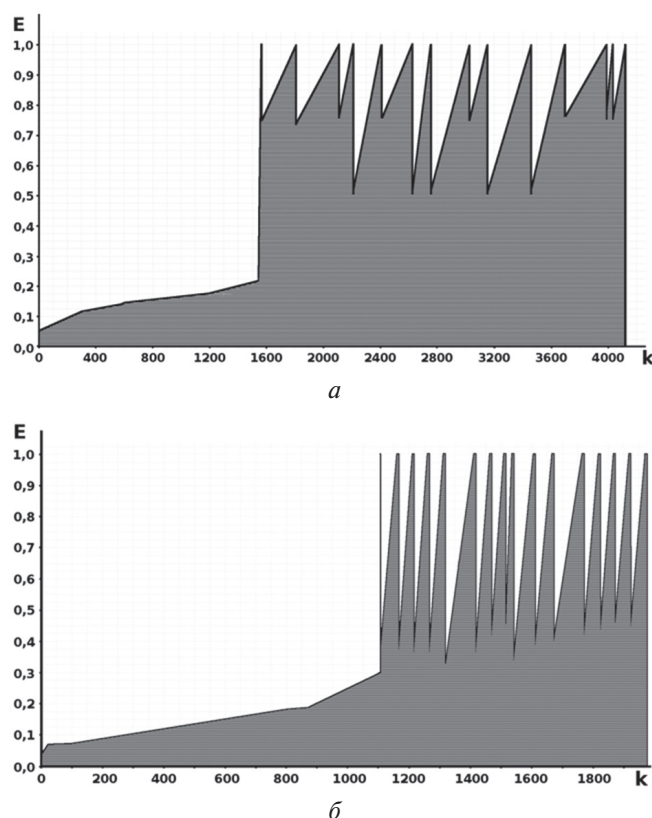


Рис. 2. График изменения максимумов КФЭ в процессе последовательной оптимизации параметра рецептивных полей в режимах обучения и дообучения: a — классификатор состояния фронта кристаллизации; b — классификатор трафика BitTorrent

Анализ рис. 2. показывает, что в процессе обучения были получены безошибочные по обучающим случайным выборкам решающие правила.

При этом в процессе дообучения классификатора состояний фронта кристаллизации было добавлено в обучающую матрицу 13 неверно классифицированных тестовых реализаций. В процессе дообучения классификатора BitTorrent трафика было использовано 15 неверно классифицированных реализаций. После добавления к обучающим выборкам неверно классифицированных реализаций удалось построить безошибочные по обучающим и тестовым матрицам классификаторы.

Таким образом, предложенный алгоритм обучения по несбалансированным выборкам большого размера позволяет осуществить обучение без дополнительной предобработки и построить безошибочные по обучающим и тестовым матрицам классификаторы.

Выводы

В рамках информационно-экстремальной технологии синтезировано классификаторы обучающиеся по большим несбалансированным данным, что позволяет осуществить обучение без дополнительной предобработки (нормализации, балансировки, фильтрации), не используя для обучения полудублирующие реализации, что значительно сокращает количество итераций оптимизации параметров.

За результатами физического моделирования по данным архивной базы мониторинга сетевого трафика и процесса кристаллизации крупногабаритных монокристаллов подтверждено возможность построения безошибочных по обучающим и тестовым выборкам классификаторов при “экстремальной” несбалансированности исходных данных.

Список літератури: 1. *Воронцов К.В.* Обзор современных исследований по проблеме качества обучения алгоритмов / К.В. Воронцов // Таврический вестник информатики и математики. — 2004. — №1. — Симферополь, АР. Крым, Украина : КНЦНАУ. — С. 5-22. 2. *Raman Singh.* Issue related to sampling techniques for network traffic dataset / Raman Singh, Harish Kumar, R.K. Singla // International Journal of Mobile Network Communications & Telematics. — 2013. — Sydney, Australia : WSP. — Vol.3., No.4. — P. 75-85. 3. *Yap B.W.* An Application of Oversampling, Undersampling, Bagging and Boosting in Handling Imbalanced Datasets / B.W. Yap, K.A. Rani, H. A. A. Rahman, S. Fong, Z. Khairudin.

N.N. Abdullah // Proceedings of the First International Conference on Advanced Data and Information Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering. — 2014. — V.285. — Singapore : Springer Science. — P. 13-22. 4. *Жора Д.В.* Анализ функционирования классификатора со случайными порогами / Д.В. Жора // Кибернетика и системный анализ. — Киев : Институт кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. — 2003. — №3. — С. 72-91. 5. *Довбиш А.С.* Основы проектирования интеллектуальных систем: Навчальний посібник / А.С. Довбиш. — Суми: СумДУ. — 2009. — 171 с. 6. *Довбиш А.С.* Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для керування вирощуванням монокристалів / А.С. Довбиш, В.С. Суздаль, В.В. Москаленко // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. — 2011. — №2. — С. 39-47. 7. *Лэм Ч.* Nadoor в действии / Ч. Лэм. — Москва : ДМК Пресс. — 2012. — 424 с. 8. *Bujlow T.* Volunteer-Based System for classification of traffic in computer networks / T. Bujlow, K. Balachandran, M.T. Riaz, J.M. Pedersen // In Proceedings of 19th Telecommunications Forum TELFOR 2011'. — 2011. — Sydney : IEEE Press. — P. 210-213.

Поступила в редколлегию 23.02.2014

УДК 681.518:004.93.1'

Інформаційно-екстремальне машинне навчання за незбалансованими даними великого розміру / В.В. Москаленко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 34–38.

Пропонується алгоритм інформаційно-екстремального машинного навчання з ітераційним збором навчальної вибірки, що дозволяє проводити навчання класифікатора на вхідних даних великого обсягу без їх додаткової передобробки (нормалізації, балансування, фільтрації). Як приклад розглянуто реалізацію запропонованого алгоритму для навчання класифікатора по великим незбалансованим наборам архівних даних моніторингу мережевого трафіку і технологічного процесу вирощування скінтіляційних монокристалів.

Л.: 2. Бібліогр.: 8 найм.

UDC 681.518:004.93.1'

Information-extreme machine learning for unbalanced big data / V.V. Moskalenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 34–38.

This article propose an information-extreme learning machine algorithm with an iterative collection of training samples that allows learning the classifier on the original large volume of data without preprocessing (normalization, balancing, filtering). Implementation of the proposed algorithm for learning the classifier for large unbalanced set of historical data network traffic monitoring and process of growing single-crystal scintillation are considered.

Fig.: 2. Ref.: 8 items.

УДК 51-7

В.В. Семенец¹, Ю.В. Наталуха², О.А. Тарануха³, В.В. Токарев⁴^{1,2}ХНУРЭ, г. Харьков, Украина³ХНМУ, г. Харьков, Украина⁴ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, tvv.v@mail.ru

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ ПРИМЕНЕНИЯ АТОМАРНЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ СЕТЧАТКИ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ЧЕЛОВЕКА

В статье рассматривается проблема распознавания кровеносных сосудов сетчатки зрительного анализатора человека. Для решения этой проблемы предлагается использовать специализированное программное обеспечение с применением математического аппарата на основе атомарных функций.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, АТОМАРНЫЕ ФУНКЦИИ, СЛУЧАЙНЫЕ ОДНОРОДНЫЕ ПОЛЯ, ЗРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР, СЕТЧАТКА

Введение

Особенностью болезней сетчатки зрительного анализатора человека является то, что они часто служат причиной стойкой утраты работоспособности.

Отмечено значительное увеличение инвалидности по зрению среди людей трудоспособного возраста, причиной которого являлись ишемические оптические нейропатии, глаукома и травмы зрительного анализатора.

Результатом стала необходимость в разработке специализированного программного обеспечения, которое позволит осуществлять автоматический режим работы и обработку видеоинформации, а также измерение интегральных информативных параметров изображений кровеносных сосудов сетчатки зрительного анализатора человека [1–6]. Это крайне важно для выявления заболеваний сосудистой системы сетчатки на самых ранних стадиях, с применением неинвазивных методов предиктивной диагностики.

Актуальность. При диагностике сетчатки зрительного анализатора человека с помощью Retina Tomograph (рис. 1) возникает необходимость мониторинга состояния изменения кровеносных сосудов сетчатки зрительного анализатора человека, до назначения курса лечения и после него.

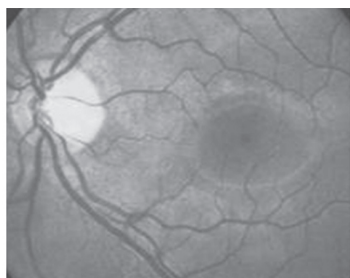


Рис. 1. Изображение сетчатки зрительного анализатора человека полученное с помощью Retina Tomograph

Изображение на рис. 1 можно охарактеризовать следующим образом. На красновато-розовом фоне глазного дна диск зрительного нерва (ДЗН)

выделяется своими чёткими границами и розовым цветом. Наружная (височная) половина диска выглядит более светлой, чем внутренняя (носовая). ДЗН обычно круглой формы или, реже в виде вертикального овала. Размер 1,5–1,7 мм. Из середины диска или несколько внутри выходит центральная артерия сетчатки, которую сопровождает центральная вена сетчатки, входящая в диск. Артерия и вена делятся на ветви — верхнюю и нижнюю, далее на височную и носовую и далее на всё более мелкие веточки, распространяясь по главному дну и окружая макулу. Артерии тоньше вен, светлее и менее извиты.

Калибры артерий по отношению к венам относятся как 3:4 или 2:3. В центре заднего полюса глаза находится жёлтое пятно (или макула). Жёлтое пятно имеет вид тёмно-красного овала, окаймлённого блестящей полоской — макулярным рефлексом.

Размеры жёлтого пятна у взрослого человека варьируют (до 2,5 мм). В центре жёлтого пятна находится более тёмное круглое пятнышко — центральная ямка (фовеа) с блестящей светлой точкой в середине (фовеолой). Диаметр фовеа около 0,4 мм.

Изначально при обработке видеоинформации, выполняется предварительная обработка изображения: цифровая фильтрация, уменьшение уровня шума, устранение блика от активной подсветки глаза и других помех. Во многих случаях искажение можно приближенно считать следствием линейного преобразования исходного сигнала. Это происходит, например, в результате турбулентности атмосферы, движения или аберраций оптической системы. Другая особенность наблюдаемого изображения — наличие в нем аддитивных случайных помех (шумов). Шумы возникают в трактах формирования, передачи и приема сигналов. В последнее время широкое распространение получили линейные методы восстановления изображений (ВИ), которые применяются в пространственной или частотной областях [1–5]. При этом для описания

двумерных сигналов (полей) используются как детерминистский, так и статистический подходы.

Пусть $g(x, y)$ и $f(\tau, \eta)$ — распределения интенсивностей излучения в плоскости изображения и оригинала соответственно, $h(x, y, \tau, \eta)$ — функция рассеяния точки (ФРТ) в предположении, что система отображения линейна.

Общее уравнение для описания $g(x, y)$ имеет вид:

$$g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau, \eta) h(x, y, \tau, \eta) d\tau d\eta + \varepsilon(x, y), \quad (1)$$

где $\varepsilon(x, y)$ — аддитивный случайный шум [1–4].

Для пространственно-инвариантной функции рассеяния точки $h(x, y, \tau, \eta) = h(x - \tau, y - \eta)$, и интеграл в правой части (1) приводит к двумерной свертке, т.е.:

$$g(x, y) = \iint_{R^2} f(\tau, \eta) h(x - \tau, y - \eta) d\tau d\eta + \varepsilon(x, y), \quad (2)$$

Принимая форму искажений, описываемую выражениями (1) или (2), задачу восстановления $f(\tau, \eta)$ можно сформулировать так: при известной $g(x, y)$ найти хорошую оценку $\hat{f}$, обозначаемую $\hat{f}(x, y)$, имея в распоряжении априорную информацию о величинах f, h, ε . Применяемые методы реставрации изображений используют разное количество известной априорной информации и различные критерии качества оценки $\hat{f}$. Для получения оценки $\hat{f}$ можно применять как непрерывную, так и дискретную модель восстановления. В первой модели весь процесс реставрации изображений согласно (1), (2) рассматривается как непрерывный. Функции $g(x, y)$, $f(\tau, \eta)$, $h(x, y)$, $\varepsilon(x, y)$ полагаются кусочно-непрерывными. Примерами такого подхода могут служить методы инверсной, винеровской фильтрации, управляемой линейной фильтрации. В этих методах восстановление изображений осуществляется путем применения соответствующих реставрирующих фильтров в частотной области.

Известны также и другие методы линейной фильтрации, действующие в частотной области [1, 3].

В дискретной модели предполагается, что все компоненты преобразований (1), (2) представлены в виде отсчетов функций f, h, g, ε . Для реставрации при этом используются численный анализ и аппарат линейной алгебры [3, 5]. Атомарные функции — это финитные решения функционально — дифференциальных уравнений вида:

$$Ly(x) = \lambda \sum_{k=1}^M C_k y(ax - b_k).$$

где $a > 0$, L — линейный обыкновенный дифференциальный оператор с постоянными коэффициентами. Одна из наиболее часто применяемых атомарных функций в теории приближений — это функция:

$$y(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{itx} \prod_{j=1}^{\infty} \frac{\sin(t\alpha^{-j})}{t\alpha^{-j}} dt.$$

обозначаемая, через $h_\alpha(x)$, $a > 1$. Пусть $\tilde{h}_\alpha(t)$ — преобразование Фурье функции $h_\alpha(x)$. Тогда:

$$\tilde{h}_\alpha(t) = \prod_{j=1}^{\infty} \frac{\sin(t\alpha^{-j})}{t\alpha^{-j}} dt.$$

Носителем $h_\alpha(x)$ является отрезок $[-b, b]$, где $b = 1/(a - 1)$.

Таким образом, целью статьи является применение атомарных функций для восстановления изображений кровеносных сосудов сетчатки зрительного анализатора человека [6].

При этом будет использоваться статистический подход для описания двумерных сигналов.

Применение атомарных функций позволит построить эффективные алгоритмы восстановления изображений, требующие небольшого количества арифметических операций по сравнению с алгоритмами, основанными на преобразовании Фурье.

1. Постановка задачи и метод решения

Пусть $T(x, y)$ — случайное однородное поле, определенное на R^2 . Рассмотрим интегральные преобразования случайных интегральных полей.

Пусть $K(x, y) \in L_1(R^2)$. Тогда функция:

$$J(x, y) = \iint_{R^2} K(x - \tau, y - \eta) T(\tau, \eta) d\tau d\eta.$$

будет также случайным однородным полем.

Отметим, что последнее соотношение можно рассматривать как зависимость между входным сигналом $T(x, y)$ и выходным сигналом $J(x, y)$ пространственно-инвариантной линейной системы, $K(x, y)$ — весовая функция системы [1]. Обозначим через $B_{TT}(\tau_1, \tau_2)$ и $B_{TJ}(\tau_1, \tau_2)$ автокорреляционную функцию поля $T(x, y)$ и взаимно корреляционную функцию полей $J(x, y)$, $T(x, y)$.

Предположим, что спектральная плотность $f_{TT}(\lambda_1, \lambda_2)$ имеет непрерывные частные производные до второго порядка включительно, принадлежащие $L_1(R^2)$. При этих условиях $B_{TT}(\tau_1, \tau_2) \in L_1(R^2)$. Тогда:

$$B_{TJ}(\tau_1, \tau_2) = K(\tau_1, \tau_2) * B_{TT}(\tau_1, \tau_2), \quad (3)$$

здесь символ “*” означает операцию свертки.

Аналогично:

$$B_{JJ}(\tau_1, \tau_2) = K(\tau_1, \tau_2) * B_{JT}(\tau_1, \tau_2), \quad (4)$$

Поскольку $B_{JT} \in L_1(R^2)$ и $K(x, y) \in L_1(R^2)$, то из соотношений (3), (4) следует, что функции $B_{TJ}(\tau_1, \tau_2)$, $B_{JJ}(\tau_1, \tau_2)$ принадлежит $L_1(R^2)$.

Предположим, что функция $K(x, y)$ является четной по x и y . Обозначим через $K_1(\lambda_1, \lambda_2)$ ее преобразование Фурье. Отметим, что $K_1(\lambda_1, \lambda_2)$ вещественна и четна по λ_1 и λ_2 . Используя свойства преобразования Фурье для свертки двух функций, получим:

$$f_{TJ}(\lambda_1, \lambda_2) = 2\pi K_1(\lambda_1, \lambda_2) f_{TT}(\lambda_1, \lambda_2),$$

$$f_{JJ}(\lambda_1, \lambda_2) = 4\pi^2 K_1^2(\lambda_1, \lambda_2) f_{TT}(\lambda_1, \lambda_2).$$

Задачу восстановления изображений можно представить в следующей форме. Пусть $J(x, y)$, $\varepsilon_1(x, y)$, $\varepsilon_2(x, y)$ — независимые случайные однородные поля (СОП) с нулевым средним значением, у которых спектральные плотности $S(\lambda_1, \lambda_2)$, $S_1(\lambda_1, \lambda_2)$, $S_2(\lambda_1, \lambda_2)$ соответственно предполагаются известными.

Истинное изображение $J_{\text{и}}(x, y)$ имеет вид:

$$J_{\text{и}}(x, y) = J(x, y) + A, \quad A > 0.$$

Наблюдаемое изображение $J_{\text{н}}(x, y)$ представим в форме:

$$J_{\text{н}}(x, y) = \iint_{R^2} K(x - \tau, y - \eta) [J_{\text{и}}(\tau, \eta) + \varepsilon_1(\tau, \eta)] d\tau d\eta + \varepsilon_2(x, y), \quad (5)$$

где $K(x, y)$ — функция рассеяния точки, $K(x, y) \in L_1(R^2)$, $\varepsilon_1(x, y)$ и $\varepsilon_2(x, y)$ — шумы на входе и выходе приемника изображений соответственно.

Равенство (5) представим в виде:

$$J_{\text{н}}(x, y) = K(x, y) * [J(x, y) + \varepsilon_1(x, y)] + \varepsilon_2(x, y) + D_1.$$

где $D_1 = K(x, y) * A = M[J_{\text{н}}(x, y)]$, $M\delta$ — математическое ожидание случайной величины δ . Рассмотрим случайное однородное поле $J_{\text{но}}(x, y) = J_{\text{н}}(x, y) - D_1$, для которого $M[J_{\text{но}}(x, y)] = 0$. Оценку $J_{\text{б}}(x, y)$ изображения $J_{\text{и}}(x, y)$ получим таким образом.

Первоначально найдем оценку $J_{\text{во}}(x, y)$ сигнала $J(x, y)$ в виде:

$$J_{\text{во}}(x, y) = W(x, y) * J_{\text{но}}(x, y),$$

где $W(x, y)$ — финитное деконволюционное окно.

Далее, положим $J_{\text{б}}(x, y) = J_{\text{во}}(x, y) + A$. Функция $W(x, y)$ определяется так:

$$W(x, y) = \sum_{k=1}^m C_k h_{\alpha_1}[\beta_1(x - d_{k_1})] h_{\alpha_2}[\beta_2(y - d_{k_2})], \quad (6)$$

d_{k_1} , d_{k_2} — параметры сдвига, β_1 , β_2 — коэффициенты растяжения-сжатия.

Неизвестные коэффициенты C_k в (6) найдем из условия минимума функционала:

$$\Phi(W) = M[J_{\text{во}}(x, y) - J(x, y)]^2.$$

Набор чисел d_{k_1} , d_{k_2} , β_1 , β_2 позволяет задать форму носителя $W(x, y)$. Предполагая функцию (x, y) четной по x и y , естественно считать, что и $W(x, y)$ является четной по x и y . Обозначим через $K_1(\lambda_1, \lambda_2)$, $W_1(\lambda_1, \lambda_2)$ преобразования Фурье функций (x, y) и $W(x, y)$. Пусть:

$$F(\lambda_1, \lambda_2) = S(\lambda_1, \lambda_2) [1 - 4\pi^2 K_1(\lambda_1, \lambda_2) \cdot W_1(\lambda_1, \lambda_2)]^2 + 4\pi^2 W_1^2(\lambda_1, \lambda_2) [S_2(\lambda_1, \lambda_2) + 4\pi^2 K_1^2(\lambda_1, \lambda_2) S_1(\lambda_1, \lambda_2)].$$

Тогда:

$$\Phi(W) = \iint_{R^2} F(\lambda_1, \lambda_2) d\lambda_1 d\lambda_2, \quad (7)$$

Отметим, что:

$$W_1(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{1}{2\pi\beta_1\beta_2} \tilde{h}_{\alpha_1}\left(\frac{\lambda_1}{\beta_1}\right) \tilde{h}_{\alpha_2}\left(\frac{\lambda_2}{\beta_2}\right) \cdot$$

$$\cdot \sum_{k=1}^m C_k \cos(d_{k_1} \lambda_1 + d_{k_2} \lambda_2),$$

$$\text{где } \tilde{h}_{\alpha}(\lambda) = \prod_{j=1}^{\infty} \frac{\sin(\alpha^{-j} \lambda)}{\alpha^{-j} \lambda}.$$

Введем вспомогательные функции:

$$\Psi_k(\lambda_1, \lambda_2) = \cos(d_{k_1} \lambda_1 + d_{k_2} \lambda_2),$$

$$g(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{1}{\beta_1\beta_2} \tilde{h}_{\alpha_1}\left(\frac{\lambda_1}{\beta_1}\right) \tilde{h}_{\alpha_2}\left(\frac{\lambda_2}{\beta_2}\right),$$

$$\varphi(\lambda_1, \lambda_2) = 2\pi g(\lambda_1, \lambda_2) K_1(\lambda_1, \lambda_2).$$

Из условия минимума $\Phi(W)$ следует, что $\partial\Phi/\partial C_e = 0$. Отсюда получаем систему линейных алгебраических уравнений относительно C_k :

$$\sum_{k=1}^m A_{ek} C_k = B_e; \quad e = 1, 2, \dots, m,$$

где:

$$A_{ek} = \iint_{R^2} \langle \{ [S(\lambda_1, \lambda_2) + S_1(\lambda_1, \lambda_2)] \varphi^2(\lambda_1, \lambda_2) + S_2(\lambda_1, \lambda_2) g^2(\lambda_1, \lambda_2) \} \times \Psi_e(\lambda_1, \lambda_2) \Psi_k(\lambda_1, \lambda_2) d\lambda_1 d\lambda_2 \rangle,$$

$$B_e = \iint_{R^2} S(\lambda_1, \lambda_2) \varphi(\lambda_1, \lambda_2) \Psi_e(\lambda_1, \lambda_2) d\lambda_1 d\lambda_2.$$

Заметим, что приближенное вычисление атомарной функции $h_{\alpha}(x)$, используемой в равенстве (6), в произвольной точке ее носителя можно осуществить с помощью применения теории рядов Фурье. Поскольку функция $h_{\alpha}(x)$ бесконечно дифференцируема, четна и $SUPP h_{\alpha}(x) = [-b, b]$, $b = 1/(a-1)$, то на отрезке $[-b, b]$ она представима в виде ряда Фурье по косинусам, т.е.:

$$h_{\alpha}(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \cos\left(\frac{m\pi x}{b}\right), \quad (8)$$

здесь

$$a_m = \frac{1}{b} \int_{-b}^b h_{\alpha}(x) \cos\frac{m\pi x}{b} dx. \quad (9)$$

Далее

$$h_{\alpha}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-itx} h_{\alpha}(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \cos(tx) h_{\alpha}(x) dx = \int_{-b}^b \cos(tx) h_{\alpha}(x) dx. \quad (10)$$

Сравнивая соотношение (10) и (9), получим, что $a_m = \tilde{h}_{\alpha}(\pi m/b)/b$. Поскольку функция $\tilde{h}_{\alpha}(t)$ на действительной оси при $t \rightarrow \infty$ убывает быстрее любой степени t^{-n} , $n > 0$, то коэффициенты ряда (8) быстро убывают при $m \rightarrow \infty$.

Выводы

В результате исследований получен новый класс финитных деконволюционных окон в виде линейной комбинации произведений сдвигов

атомарных функций для восстановления изображений кровеносных сосудов сетчатки зрительного анализатора человека [6], имеющих структуру случайных однородных полей непрерывного аргумента. Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что применение финитных деконволюционных окон позволяет создать алгоритмы восстановления изображений, которые требуют небольшого количества арифметических операций по сравнению с алгоритмами, основанными на преобразовании Фурье. Эти алгоритмы могут применяться с целью создания эффективных аппаратно-программных средств обработки изображений, которые имеют простоту в реализации и являются быстродействующими. Использование атомарных функций в представлении (4) оправдано их хорошими аппроксимационными свойствами, тем, что они являются финитными, а также тем, что их преобразования Фурье достаточно быстро убывают на бесконечности.

Список литературы. 1. Василенко Г.И. Восстановление изображений / Г.И. Василенко, А.М. Тараторин. — М.: Радио и связь, 1986. — 302 с. **2.** Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов: пер. с англ. / Д. Даджион., Р. Мерсеро. — М.: Мир, 1988. — 486 с. **3.** Обработка изображений и цифровая фильтрация / Под ред. Т. Хуанга. Перев. с англ. — М.: Мир, 1979. — 318 с. **4.** Прэтт У. Цифровая обработка изображений Т. 2: пер. с англ. / У. Прэтт. — М.: Мир, 1982. — 742 с. **5.** Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений / Л.П. Ярославский. — М.: Сов. радио, 1979. — 312 с. **6.** Токарев В.В. Реставрация изображений на основе финитных деконволюционных окон. / В.А. Афанасьев, М.А. Ильин, Ю.В. Наталуха, В.В. Токарев // Бионика интеллекта. — 2012. — № 2 (79). — С. 80–83. **7.** Токарев В.В. Об одном методе неинвазивной

диагностики макулярной области сетчатки зрительного анализатора человека / В.В. Семенец, Ю.В. Наталуха, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // APLIKOVANÉ VĚDECKÉ NOVINKY — 2014: materiály X — mezinárodní vědecko — praktická konference 27 červenců — 05 srpna 2014 roku, Praha, 2014. — С. 67–69. **8.** Токарев В.В. Модель зрительного анализатора в компьютерной системе диагностики / В.В. Семенец, Ю.В. Наталуха, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // Информационные системы и технологии: материалы III межд. науч.-техн. конф., 15-21 сентября 2014 г., г. Харьков. — 2014. — С. 81–82.

Поступила в редколлегию 18.03.2015

УДК 51-7

Про один підхід застосування атомарних функцій при обробці зображень кровеносних судин сітківки зорового аналізатора людини / В.В. Семенец, Ю.В. Наталуха, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 39–42.

У роботі розглядається можливість застосування атомарних функцій для відновлення зображення кровеносних судин сітківки зорового аналізатора людини, що дозволить побудувати ефективні алгоритми відновлення зображень.

Бібліогр.: 8 найм.

UDC 51-7

An approach use of atomic functions for image processing of the blood vessels of the retina of the visual analyzer human / V.V. Semenets, Yu.V. Nataluha, O.A. Taranuha, V.V. Tokarev // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 39–42.

In this paper we consider the possibility of using atomic functions for image reconstruction of blood vessels in the retina of human visual analyzer, which will build efficient algorithms for image reconstruction.

Ref.: 8 items.



О.О. Скопа¹, С.Л. Волков², О.В. Грабовський²

¹ОНЕУ, м. Одеса, Україна, skopa2003@ukr.net,

²ОДАТРЯ, м. Одеса, Україна, greyw@ukr.net, gelond@mail.ru

МУЛЬТИХРОМОСОМНА ГЕНЕТИЧНА МОДЕЛЬ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

На сучасному етапі розвитку інформаційно-вимірювальних систем існує необхідність розробки єдиної стратегії розв'язання задач оптимального проектування систем оцінки якості для них. При проектуванні є доцільним застосування глобальних процедур оптимізації на початкових етапах пошуку. Такі ж процедури були б доцільними при уточненні отриманого глобального рішення локальними алгоритмами, які швидко сходяться та діють в околиці оптимальної точки. Один з методів вирішення проблеми приводиться у статті. Він дозволяє з достатньою надійністю та точністю визначити значення глобального екстремуму, а також суттєво знизити обчислювальні витрати на пошук. При цьому етапи глобального пошуку можуть виконуватися з невисокою точністю, а етапи локального уточнення можуть проводитися в області тяжіння глобального екстремуму, що вимагає значно меншого числа обчислень.

ЯКІСТЬ, ПОКАЗНИК, ВИМІРЮВАННЯ, СИСТЕМА, ГЕНЕТИЧНА МОДЕЛЬ, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, ХРОМОСОМА

Вступ

Сучасний стан розвитку інформаційних технологій свідчить, що визначальне значення для практики підтримки прийняття рішень набувають методи оцінки станів об'єктів [1]. Як правило, при оцінці якості технічних систем [2, 3], до яких відносяться інформаційно-вимірювальні системи (ІВС), на кожному з етапів їх життєвого циклу [4, 5] виділяються найбільш істотні фактори, що спричиняють найбільший вплив на цільову функцію (ЦФ) управління, і з урахуванням цих факторів або груп параметрів, проводиться оцінка ефективності функціонування об'єкта [6, 7]. На основі прийнятих рішень далі може йти мова про оптимізацію роботи технічної системи [8].

Оптимізація — термін, використовуваний у різних науках та видах діяльності. Його узагальнене означення свідчить про те, що оптимізацією є діяльність, яка спрямована на позитивне поліпшення системи при побудові та аналізі функціонування різних технічних активів.

В основі оптимізації технічних систем лежить системний аналіз (СА). Його результатом є вибір множини можливих варіантів побудови системи на підставі аналізу та перебору, одного варіанту, який буде вважатися оптимальним, тобто задовольняти деякому критерію (критеріям). Визначення критерію оптимальності щодо ІВС: це характерний показник рішення задачі, за значенням якого можна оцінити оптимальність знайденого рішення, тобто максимальне задоволення поставленим вимогам.

При аналізі складних систем задача оптимізації розглядається як багатокритеріальна, а її результат — як один з кращих варіантів, що погоджує ряд суперечливих вимог до рішення, яке приймається.

Одним з напрямків СА є вивчення процесів проектування, створення, випробування та експлуатації складних технічних систем з орієнтацією цих процесів на досягнення максимального підви-

щення якості [9-13]. У випадку, який розглядається — на побудову оптимальних за співвідношенням показників якості [9] технічних засобів, програмного та інформаційного забезпечення ІВС.

Якість, як сукупність характеристик об'єкта (системи), що відносяться до його здатності задовольняти встановлені або передбачувані потреби, являє собою багатовимірний об'єкт, для дослідження якого можуть бути корисні підходи та результати [10], отримані в результаті системного аналізу.

Галуззю науки, яка вивчає та реалізує методи кількісної оцінки якості об'єктів реального світу, є кваліметрія. Кваліметрія є частиною квалітології — науки про якість. Базуючись на цьому, в основу досліджень, результати яких приведено далі, на відміну від відомих методів дослідження інформаційних систем з використанням генетичних алгоритмів (ГА), що мають у своєму підґрунті синергетичні методи, покладено саме кваліметричний підхід. Об'єкт дослідження кваліметрії, аналіз предмету та змісту кваліметрії, приведено, наприклад, у [11, 12]. Згідно до цього джерела, задача, яка вирішується, відносяться до предметної кваліметрії.

Кваліметрія та СА мають багато спільного, зокрема: підхід до розгляду об'єктів; поєднання формальних і неформальних методів досліджень; необхідність вирішення багатокритеріальних задач; використання ієрархічної структури системи критеріїв, а також властивостей та показників якості.

При вирішенні задач вибору з наявних альтернатив і кваліметрія, і СА, спираються на самостійний науковий напрям — теорію прийняття рішень, де поряд з формалізованими математичними методами прийняття рішень одне з центральних місць займає дослідження процесу вибору людиною (групою експертів) кращого варіанту рішення.

На підставі сказаного, можна стверджувати, що в кваліметрії, при аналізі, синтезі та пошуку оптимуму якості об'єктів, можуть застосовуватися

методи СА, і навпаки – СА включає в себе кваліметричну оцінку показників системи. Відповідно, процес оптимізації якості ІВС можна умовно розділити на п'ять взаємопов'язаних етапів:

- 1) розробка структурно-логічної схеми системи;
- 2) створення узагальненої моделі якості системи;
- 3) побудова ієрархічної структури системи шляхом послідовного її розчленування на окремі підсистеми та елементи;
- 4) побудова графа (дерева) якості, який дає повну картину якісних і кількісних показників кожної складової та всієї системи в цілому;
- 5) пошук оптимуму співвідношення показників якості системи.

З приведеного переліку етапів організації процесу оптимізації якості ІВС видно, що досягнення позитивних рішень для кожної з зазначених проблем є достатньо складним завданням. У цьому сенсі зупинимося на рішенні однієї проблеми – на розробці мультіхромосомної генетичної моделі (ГМ) простих показників якості (ППЯ) ІВС. Для цього вважатимемо, що формальною постановкою завдання є виявлення факту того, чи повинна модель життєвого циклу кожної складової та системи в цілому визначатися в технічному завданні згідно до діючих стандартів. При цьому необхідно встановити, чи ППЯ на кожному етапі життєвого циклу є комплексними показниками (КПЯ) і чи ці показники складаються з відповідних показників технічних і програмних засобів та рішень. На основі розгляду структури ІВС як програмно-апаратної системи, першочерговим є формулювання вимог до складу ГМ оцінки якості в цілому, а також видів забезпечення – зокрема на етапах життєвого циклу: проектуванні, виробництві, експлуатації. Виходячи з цього, з метою обґрунтування необхідності розробки вдосконаленого методу, орієнтованого на ГА, доцільним є подання аналізу методів оптимізації якості з урахуванням нечіткої інформації. З цієї точки зору апіорі врахуємо необхідність синтезу подальших пропозицій щодо використання структури ППЯ та керованих параметрів, які врахуємо при розробці мультіхромосомної ГМ оцінки якості ІВС.

1. Розробка мультіхромосомної ГМ ППЯ ІВС

Генетичні алгоритми, зокрема, мультіхромосомні ГА, є достатньо ефективним засобом вирішення багатокритеріальних квазіоптимізаційних перебірних завдань, в тому числі тих, до яких відносяться задачі оптимізації ППЯ. Однак розробка самої мультіхромосомної моделі ГА, є складною задачею та вимагає достатніх витрат, включаючи творчі, до-

слідницькі, часові та ін., порівнянних з витратами на розробку самої системи [14].

Основні означення, які далі використано при застосуванні ГА до удосконалення розв'язання задачі оцінки ППЯ у ІВС, приведено у [15–19]. Згідно до них, розв'язком однокритеріальної оптимізаційної задачі з використанням ГА, буде n -мірний вектор:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad x \in X, \quad (1)$$

де X – числова предметна область.

У класі оптимізаційних алгоритмів переборного типу існує кінцева множина допустимих розв'язків, у яких кожен компонент x_i , $i = \overline{1, n}$ вектора x кодується за допомогою цілого ненегативного числа [20].

Розглянемо нечітку множину Z значень i -го ППЯ. Теоретично кількісна оцінка $z \in Z$ показника може приймати будь-які значення в межах $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$, таким чином, метрична шкала L_z функції Харінгтона, яка є шкалою кодованих кількісних значень ППЯ, є інтегральною шкалою з діапазоном значень

$$(z'_{\min} \leq z' \leq z'_{\max}, \quad z'_{\min} < 0, \quad z'_{\max} > 0),$$

тобто вона безпосередньо не може використовуватися в генетичних алгоритмах.

Обґрунтуванням щодо застосування шкали Харінгтона є те, що у практичних додатках теорії нечітких множин використовується велика кількість різних типів функцій приналежності і, відповідно, використання функції приналежності (бажаності) Харінгтона, яка виведена емпіричним шляхом у [21, 22], є доцільним. Значення зазначеної шкали мають інтервал від 0 до 1 та позначаються через d . Вони мають п'ять піддіапазонів якості, які приведені на рис. 1.

Згідно до рис. 1, $d=0$ відповідає абсолютно неприйнятному, а $d=1$ – найкращому значенню ППЯ.

Функція приналежності Харінгтона має вигляд:

а) для однобічного обмеження гранично припустимим значенням є $d = e^{-e^{z'_i}}$;

б) для двостороннього обмеження гранично припустимими значенням є $d = e^{-|z'_i|^n}$, де z'_i – кодоване значення ППЯ при i -й оцінці; n – показник ступеня.

Значення z' визначається з використанням таких аналітичних виразів:

а) при однобічних обмеженнях – за допомогою залежностей:

$$z'_i = \frac{(z_{\max} - z_i)}{z_{\max}}, \quad (2)$$

$$z'_i = \frac{(z_i - z_{\min})}{z_{\min}}, \quad (3)$$

Піддіапазон 1	Піддіапазон 2	Піддіапазон 3	Піддіапазон 4	Піддіапазон 5
дуже погано	погано	задовільно	добре	дуже добре
0	0,2	0,37	0,63	0,8
				1

Рис. 1. Безрозмірна шкала бажаності за Харінгтоном

де: $z_{\max}$, $z_{\min}$ — верхня та нижня границі при обмеженні значень ППЯ; z_i — чисельне значення ППЯ при i -й оцінці.

Кодоване значення ППЯ при двосторонніх обмеженнях можемо розраховувати по формулі:

$$z'_i = \frac{(2z_i - (z_{\max} + z_{\min}))}{z_{\max} - z_{\min}}. \quad (4)$$

Показник ступеня розраховуватимемо по формулі:

$$n = \frac{\ln\left(\ln\frac{1}{d}\right)}{\ln|z'|},$$

де для обраної контрольної точки z' експертом привласнюється параметр d з інтервалу $[0,6...0,9]$.

Зважаючи на сказане, можемо зробити проміжний висновок про те, що значення кожного ППЯ повинно задаватися або оцінюватися з деяким ступенем точності. Нехай q — ступінь точності ППЯ (кількість знаків після коми). Тоді нечітка множина Z можна бути представлена у вигляді кінцевої дискретної області $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ з кроком дискретизації $r = 10^{-q}$. Відповідно, шкала $L_{z'}$ також перетерпить зміни у відповідності до формул (2)–(4), тобто дискретним значенням z_i будуть поставлені у взаємнооднозначну відповідність дискретні значення z'_i :

$$(z_1, z_2, \dots, z_n) \leftrightarrow (z'_1, z'_2, \dots, z'_n).$$

Таким чином, шкала $L_{z'}$ з інтервалом значень $[z'_{\min}, z'_{\max}]$ може бути розбита на $(z'_{\max} - z'_{\min}) \cdot 10^q$ дискретних підінтервалів.

Для виконання умови застосування генетичних алгоритмів, а саме, вимоги кодування компонент векторів ненегативним числом, уведемо додаткову шкалу $L_{z'}^D$, змістивши інтервал значень $L_{z'}$ на величину $z'_{\min}$ вправо ($z_i'^D = z'_i + |z'_{\min}|$) в інтервал $[0, (|z'_{\min}| + z'_{\max}) \cdot 10^q]$, визначивши, тим самим, взаємнооднозначну відповідність між шкалами $L_{z'}$ та $L_{z'}^D$:

$$(z'_{\min}, \dots, z'_0, \dots, z'_{\max}) \leftrightarrow (z_0'^D, \dots, z_i'^D, \dots, z_{\max}'^D).$$

Відповідно до правил застосування генетичних алгоритмів [15], уведемо двійковий алфавіт $B = \{0, 1\}$ і представимо значення шкали $L_{z'}^D$ в символах цього алфавіту. Таким чином, ми отримаємо дискретну безрозмірну двійкову шкалу $L_{z'}^B$, визначену в тому ж інтервалі, що й шкала $L_{z'}^D$. Довжина m двійкової послідовності $z_i'^B$, що кодує величину $z_i'^D$ з інтервалу $[0, z_{\max}'^D]$ з кроком r , розраховується згідно до виразу:

$$z_{\max}'^D \cdot 10^q \leq 2^g - 1 = m, \quad (5)$$

де g — найменше натуральне число, що задовольняє приведеній нерівності: $g \geq \log_2(1 + z_{\max}'^D \cdot 10^q)$.

Десяткове значення z'_i числа, що закодоване двійковою послідовністю $z_i'^B$, буде обчислюватися

по формулі: $z'_i = z_i'^{dB} \cdot \frac{z_{\max}'^D}{2^g - 1} - z_0'^{dB} \cdot \frac{z_{\max}'^D}{2^g - 1}$, де $z_i'^{dB}$ та $z_0'^{dB}$ — десяткові значення двійкових послідовностей, що кодують числа $z_i'^D$ та $z_0'^D$, відповідно.

Виходячи з вищевикладеного та з врахуванням (5), ГМ ППЯ, визначену у вигляді нечіткої некорельованої множини (тобто у діапазоні всіх можливих значень шкали $L_{z'}$), можна представити у вигляді двійкової послідовності, як це показано на рис. 2, де $\beta_i = (0, 1)$, $i = (1, \dots, m)$.

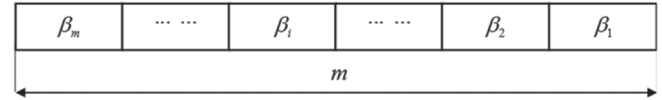


Рис. 2. ГМ ППЯ у вигляді двійкової послідовності довжини

У генетичному однокритеріальному оптимізаційному алгоритмі, двійкова послідовність, приведена на рис. 2, буде інтерпретуватися як ген. Якщо одиничний ген визначити як компоненту x_i з (1), то хромосому, що складається з множини генів (рис. 3), можна інтерпретувати як n -мірний вектор x . В однокритеріальній оптимізаційній задачі особина буде складатися з однієї хромосоми. ГА прагне до досягнення близького до оптимального результату за рахунок комбінування генів у хромосомі.

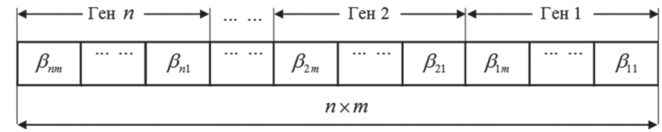


Рис. 3. Множина генів

Одним з визначальних понять ГА є ЦФ, тобто у нашому випадку — критерій якості. Її задача — визначення ступеню пристосованості конкретних особин у популяції та вибору з них самих найпристосованіших у відповідності до еволюційних принципів виживання найсильніших. З позиції оптимізації ППЯ, найсильнішими та найпристосованішими вважаються особини, значення ЦФ яких найбільше відповідає базовому значенню, а сам процес оптимізації полягає в максимізації (або мінімізації) значення ЦФ.

Далі будемо орієнтуватися на класичний ГА (також званий елементарним або простим ГА), який складається з наступних кроків:

- ініціалізація, або вибір вихідної популяції хромосом;
- оцінка пристосованості хромосом в популяції, тобто розрахунок ЦФ для кожної хромосоми;
- перевірка умови зупинки алгоритму;
- селекція хромосом, тобто вибір тих хромосом, які будуть брати участь у створенні нащадків для наступної популяції;
- застосування ГА: «мутація» та «схрещування»;
- формування нової популяції;
- вибір «найкращої» хромосоми.

Алгоритм роботи ГА є стандартним, а його детальний опис можна знайти, наприклад, у [23]. Він, як правило, застосовується для оптимізації однокритеріальних задач. Використання ГА для оптимізації багатокритеріальних задач, зокрема для задачі оптимізації складних систем, до яких відносяться системи ППЯ, має на увазі застосування мультихромосомної моделі ГА. Відповідно, у загальному випадку, розв'язком багатокритеріальної задачі буде оптимізація векторного критерію $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ у критеріальному просторі R^n . Критеріальним простором системи ППЯ ІВС буде багатомірний простір $\text{ППЯ} = \{A^a\}$, де: ППЯ – інтегральний показник якості, тобто узагальнений показник, який враховує економічну складову; A – множина ППЯ; a – мірність множини ($a \in \mathbb{Z}$).

Формування мультихромосомної моделі ППЯ ІВС ґрунтується на факті їх зв'язку в дереві властивостей [24], а для здійснення декомпозиції багатомірного простору, відповідно до [25], необхідно здійснити його лінеаризацію при якій багатомірний простір перетвориться в одновірний.

2. Лінеаризація при декомпозиції багатомірного простору в одновірний

У якості базового принципу лінеаризації при декомпозиції багатомірного простору в одновірний, є положення про те, що нумерація n -мірного простору задається по заздалегідь певних правилах. Відповідно до цього, за основу приймається положення про те, що ярусна побудова дерева властивостей (рис. 4) являє собою декомпозицію, тобто розчленовування ППЯ на складові частини по заздалегідь запланованих правилах і нумерацією, що дозволяє однозначно ідентифікувати кожний ППЯ, що є геном у хромосомі (рис. 5). В результаті виникає можливість врахування співвідношень значень ППЯ (листів дерева властивостей) для забезпечення розрахунку цільових функцій (векторів) КПЯ (вузлів дерева) і в підсумку – розрахунку значення ЦФ (вектора) ІПЯ (кореня дерева).

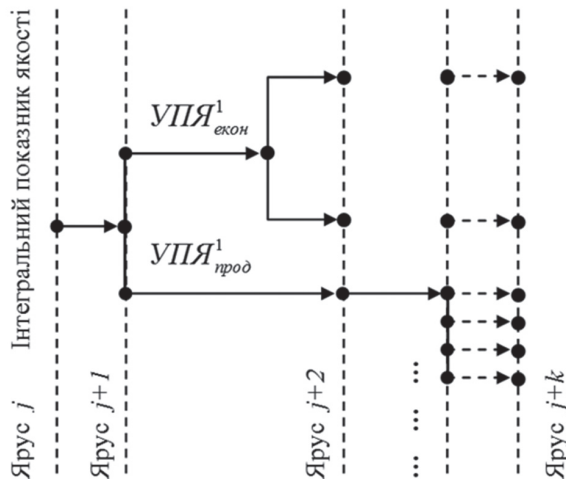


Рис. 4. Дерево властивостей з урахуванням економічного узагальненого показника якості (УПЯ)

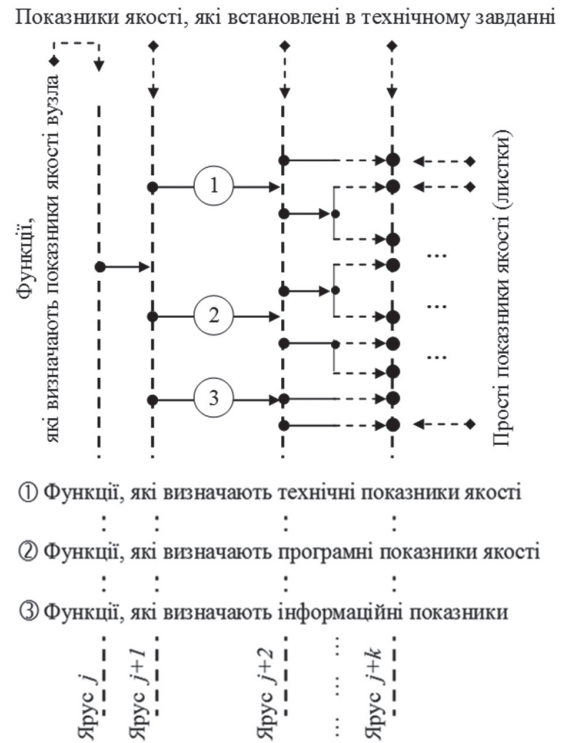


Рис. 5. Узагальнена структура дерева властивостей деякого вузла у вигляді графу

Приведемо ілюстрацію сказаного у вигляді прикладу (рис. 6).

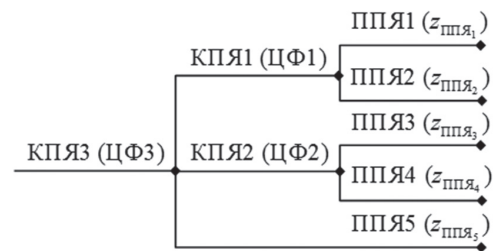


Рис. 6. Фрагмент ярусів дерева властивостей

Слідуючи з приведенного рисунка, множину значень КПЯ можна представити як суму множин ППЯ поточного ярусу та множин КПЯ наступного ярусу дерева властивостей. Як видно, значення показників будуть векторною оцінкою можливого рішення

$$f(x) = (f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n))$$

таким чином:

$$\text{ЦФ}_1 = f(z_{ппя_1}, z_{ппя_2});$$

$$\text{ЦФ}_2 = f(z_{ппя_3}, z_{ппя_4});$$

$$\begin{aligned} \text{ЦФ}_3 &= f(\text{ЦФ}_1, \text{ЦФ}_2, z_{ппя_5}) = \\ &= f(z_{ппя_1}, z_{ппя_2}, z_{ппя_3}, z_{ппя_4}, z_{ппя_5}), \end{aligned}$$

де $(\text{ЦФ}_1, \text{ЦФ}_2, \text{ЦФ}_3)$ – цільові функції, які відповідно визначають значення КПЯ₁, КПЯ₂, КПЯ₃; $(z_{ппя_1}, \dots, z_{ппя_5})$ – значення ППЯ₁, ППЯ₂, ППЯ₃, ППЯ₄ та ППЯ₅ відповідно.

Узагальненням наведених вище виразів на дерево властивостей (рис. 4), є:

$$\begin{aligned} \text{ЦФ}_{rj} &= f(\text{ЦФ}_{1j+1}, \text{ЦФ}_{2j+1}, \dots, \text{ЦФ}_{ij+1}, \dots, \\ \text{ЦФ}_{nj+1}, z_{\text{ППЯ}_{1rj}}, z_{\text{ППЯ}_{2rj}}, \dots, z_{\text{ППЯ}_{arj}}, \dots, z_{\text{ППЯ}_{mrj}}) &= (6) \\ &= f(z_{\text{ППЯ}_{1rj}}, z_{\text{ППЯ}_{2rj}}, \dots, z_{\text{ППЯ}_{brj}}, \dots, z_{\text{ППЯ}_{vrj}}), \end{aligned}$$

де: ЦФ_{rj} – цільова функція КПК відповідного вузла r ярусу j дерева властивостей ($j = 0, 1, 2, \dots, k-1$); ЦФ_{ij+1} – цільова функція КПА вузла i ($i = 1, 2, \dots, n$) ярусу $j+1$ дерева властивостей (параметр функції ЦФ_{rj}); $z_{\text{ППЯ}_{arj}}$ – значення, що ППЯ_{arj} є параметром функції ЦФ_{rj} ($a = 1, 2, \dots, m$); $z_{\text{ППЯ}_{brj}}$ – значення, що ППЯ_{brj} є параметром функції ЦФ_{rj} або функції ЦФ_{ij+1} ; ($b = 1, 2, \dots, v$).

На відміну від простого ГА, у якому єдина хромосома відповідала всьому вектору x , у мультихромосомному алгоритмі одна хромосома ставиться у відповідність кожному компоненту $f(x_i)$ вектора припустимих рішень, а особина, тобто множина всіх можливих рішень, складається з набору хромосом [20]. Загальний вигляд особини показано на рис. 7.

Кожна хромосома, у свою чергу є упорядкований набір генів – функціональних одиниць спадковості. Такою одиницею у системі ППЯ, згідно визначення, є ППЯ, значення якого у відповідності з рис. 6 та (6) є показником ЦФ, тобто компонентою $f(x_i)$ вектора припустимих рішень $f(x)$. Таким чином, в системі показників якості що розглядається, значення хромосоми збігається зі значенням гена. В свою чергу, це означає, що хромосома складається з одного гена, а особина являє собою послідовність хромосом (генів), як показано на рис. 8.

Висновки

Приведені дані дозволяють розробити єдину стратегію розв'язання задач оптимального проектування систем оцінки якості ІВС з застосуванням

глобальних процедур оптимізації на початкових етапах пошуку та уточнення отриманого глобального рішення локальними алгоритмами, які швидко сходяться та діють (використовуються) в околиці оптимальної точки. Це дозволяє з достатньою надійністю [26] та точністю визначити значення глобального екстремуму, а також суттєво знизити обчислювальні витрати на пошук. При цьому етапи глобального пошуку можуть виконуватися з невисокою точністю, а етапи локального уточнення можуть проводитися в області тяжіння глобального екстремуму, що вимагає значно меншого числа обчислень.

Список літератури: 1. Казакова, Н. Ф. Оцінка живучості систем моніторингу інформаційного простору [Текст] / Н. Ф. Казакова // Восточно-європейський журнал передових технологій. – Харьков : Технологический центр. – 2012. – № 4/2(58). – С. 12-15. 2. Казакова, Н. Ф. Визначення показників для вирішення завдань прогностичного контролю мультисервісних телекомунікаційних мереж [Текст] / Н. Ф. Казакова, О. О. Скопа // Сучасний захист інформації. – К. : ДУІКТ. – 2010. – Спецвипуск (4). – С. 55-61. 3. Казакова, Н. Ф. Застосування програмно реалізованого прогностичного контролю для вирішення практичних завдань забезпечення якості надання послуг у захищених інформаційних мережах [Текст] / Н. Ф. Казакова // Сучасна спеціальна техніка. – К. : Державний науково-дослідний інститут МВС України. – 2012. – № 2(29). – С. 86-95. 4. Грабовський, О. В. Показники якості та життєві цикли захищених інформаційно-вимірювальних систем [Текст] / О. О. Скопа, С. Л. Волков, О. В. Грабовський // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №15(204), Ч. 1. – С. 192-198. 5. Казакова, Н. Ф. Управління життєвим циклом програмних засобів [Текст] / Н. Ф. Казакова // Восточно-європейський журнал передових технологій. – Харьков : Технологический центр. – 2013. – № 3/10(63). – С. 8-12. 6. Колесникова, Е. В. Методы оценки качества технических систем [Текст] / Е. В. Колесникова, Г. В. Кострова, И. В. Прокопович // Труды Одесского политехнического университета. – О.: ОНПУ. – 2007. – №1(27). – С. 128-130 : [Електронний

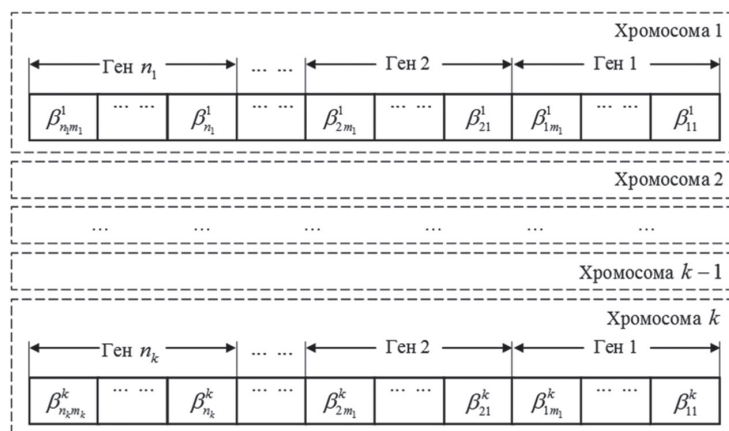


Рис. 7. Відповідність хромосом компонентам вектора припустимих рішень

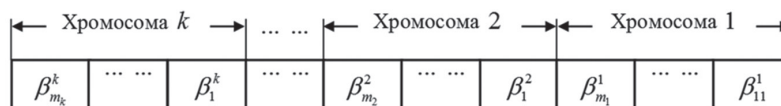


Рис. 8. Структура особини в мультихромосомному ГА

ресурс] / Портал : ОНПУ. — Режим доступу \www/ URL: <http://pratsi.opu.ua/app/webroot/articles/1312992391.pdf>. — Заголовок з конейнера, доступ вільний, 30.10.2012. **7. Грабовський О. В.** Показники якості та життєві цикли інформаційно-вимірювальних систем / О. В. Грабовський, Т. І. Наконечна, С. Л. Волков // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. — 2012. — №1(1). — С. 17-23. **8. Волков, С. Л.** Оптимізація параметрів телекомунікаційної мережі методом статистичної регуляризації [Текст] / С. Л. Волков, Н. Ф. Казакова // Сучасна спеціальна техніка. — К. : Державний науково-дослідний інститут МВС України. — 2012. — № 1(28). — С. 54-60. **9. Грабовський, О. В.** Візуалізація структури показників якості інформаційно-вимірювальних систем [Текст] / О. В. Грабовський, С. Л. Волков, О. О. Скопа // Метрологія та прилади. — 2013. — №2. — С. 69-74. **10. Грабовський, О. В.** Аналіз показників якості інформаційно-вимірювальних систем [Текст] / О. В. Грабовський // Вісник національного технічного університету «ХПІ». — 2013. — №16. — С. 59-66. **11.** Оценка качества. Структура квалитологии [Електронний ресурс] / Портал : ISO. — Режим доступу \www/ URL: <http://www.staratel.com/iso/ISO9000/Article/QualCont.htm>. — Заголовок з екрану, доступ вільний, 30.10.2012. **12.** Метрологія у галузі зв'язку. Книга 1. Метрологія, стандартизація, менеджмент якості та оцінка відповідності : монографія / [О. В. Грабовський, Л. В. Коломієць, П. П. Воробієнко, М. Т. Козаченко та ін.]. — Одеса : «СтандартЪ», 2006. — 246 с. **13. Скопа, О. О.** Проблема якості послуг Інтернет-провайдерів [Текст] / О. О. Скопа, С. Л. Волков, К. Б. Айвазова // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. — 2013. — № 1(2). — С. 27-31. **14. Лисов, О. И.** Квази-генетический алгоритм оптимизации структуры автоматизированных информационных систем [Текст] / А. Б. Марков, О. И. Лисов // Наука и образование. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2012. — №5. — С. 324-332. **15. Гладкой, Л. А.** Генетические алгоритмы : монографія / Л. А. Гладкой, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ФИЗМАТ-ЛИТ, 2006. — 320 с. **16. Грабовський, О. В.** Принципи питання вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації показників якості інформаційно-вимірювальних систем на основі мультихромосомного генетичного алгоритму [Текст] / О. В. Грабовський, Л.В. Коломієць // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. — 2013. — №1 (2). — С. 93-101. **17. Рутковская, Д.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : монографія / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский : пер. с польск. И. Д. Рудинского. — М. : Горячая линия -Телеком, 2006. — 452 с. **18. Грабовський, О. В.** Регуляризація визначення показників якості функціонування ІВС з врахуванням нечіткості інформації [Текст] / О. В. Грабовський, С. Л. Волков, О. О. Скопа // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : Нові рішення в сучасних технологіях. — 2013. — №26 (999). — С.169-174. **19. Казакова, Н. Ф.** Некоректні задачі відновлення даних у системах моніторингу інформаційного простору [Текст] / Н. Ф. Казакова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — Луганськ : СНУ ім. В.Даля. — 2012. — № 8(179). — Т. 1. — С. 325-332. **20. Гайдес, М. А.** Общая теория систем (системы и системный анализ) : монографія / М. А. Гайдес. — М. : ГЛОБУС-ПРЕСС, 2005. — 201 с. **21. Адлер, Ю. П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий : монографія / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М. : Наука, 1976. — 269 с. **22. Пуряев, А. С.** Теория и методология оценки эффективности инвестиционных проектов в маши-

ностроении : монографія / А. С. Пуряев. — Набережные Челны : Камская госуд. инж.-экон. акад., 2007. — 180 с. **23.** Классический генетический алгоритм. Краткий обзор [Електронний ресурс] // Портал : AIPortal.ru. — Режим доступу \www/ URL: <http://www.aiportal.ru/articles/genetic-algorithms/classic-alg-part1.html>. — Заголовок з екрану, доступ вільний, 03.03.2013. **24. Грабовський, О. В.** Філогенетична модель побудови дерева властивостей показників якості [Текст] / О. В. Грабовський // Вісник інженерної академії України. — 2013. — №1. — С. 225-228. **25. Курейчик, В. В.** Концептуальная модель представления решений в генетических алгоритмах [Текст] / В. В. Курейчик, П. В. Сороколетов // Известия ЮФУ : Технические науки. — 2008. — №9 (86). — С. 7-12. **26. Грабовський, О. В.** Скорочення випробувань надійності ІВС за рахунок її функціональної надмірності [Текст] / О. В. Грабовський, Н. Ф. Казакова // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2013. — №2/1(10). — С. 24-27.

Надійшла до редколегії 15.01.2015

УДК 681.3:66.067.55 + 004.021:519.854.2

Мультихромосомная генетическая модель показателей качества информационно-измерительных систем / А. А. Скопа, С. Л. Волков, О. В. Грабовский // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 43—48.

В статье рассмотрена и обоснована возможность разработки единой стратегии решения задач оптимального проектирования систем оценки качества информационно-измерительных систем. Для этого предусмотрено применение глобальных процедур оптимизации на начальных этапах поиска решения. Показано, что для дальнейшего уточнения полученного глобального решения является целесообразным применение локальных алгоритмов. Отмечено, что алгоритмы должны быстро сходиться и действовать в окрестности оптимальной точки. Показано, что полученные решения позволяют с достаточной надежностью и точностью определить значение глобального экстремума. Они также позволяют существенно снизить вычислительные затраты на поиск. Указано, что этапы глобального поиска могут выполняться с невысокой точностью. Показано, что этапы локального уточнения могут проводиться в области тяготения глобального экстремума, что требует значительно меньшего числа вычислений.

Ил. 8. Библиогр.: 26 назв.

UDK 681.3:66.067.55 + 004.021:519.854.2

The multi-chromosomal genetic model of quality indicators of information-measuring systems / A. A. Skopa, S. L. Volkov, O. V. Grabovskij // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 43—48.

The article discusses the possibility and justification of the development of a unified strategy to address the problems of optimal design quality assessment information and measuring systems. To this end, it provides for the application of global optimization procedures in the early stages of finding a solution. It is shown that to further clarify for global solutions is appropriate use of local algorithms. It is noted that the algorithms must converge rapidly and act in the district optimum point. It is shown that the decision to allow sufficient reliability and accuracy determine the value of the global extremum. They also can significantly reduce the computational cost of the search. It is indicated that the steps the global search can be performed with low accuracy. It is shown that the local refinement steps can be carried out in the field of gravity of the global extremum that requires significantly fewer calculations.

Fig. 8. Ref.: 26 items.

УДК004.9:519.2

Л.О. Кириченко¹, Ю.А. Кобицкая², Н.А. Дёмина³¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ludmila.kirichenko@gmail.com²ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, KobitskayaJulya@gmail.com³ТГАТУ, г. Запорожье, Украина, deminanatasha@yandex.ru

АНАЛИЗ И РАСПОЗНАВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИЙ СИГНАЛОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ФРАКТАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

В работе проведен сравнительный рекуррентный и энтропийный анализ реализаций электрических биосигналов, обладающих фрактальными свойствами. Показано, что информационные характеристики экспериментальных данных отражают характерные особенности фрактальной и корреляционной структуры биосигналов. С помощью разработанной системы поддержки принятия решений проведены исследования модельных и экспериментальных реализаций, которые показали целесообразность применения информационных характеристик для распознавания и классификации фрактальных временных рядов.

ФРАКТАЛЬНЫЙ ВРЕМЕННОЙ РЯД, СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ЭНТРОПИЯ ПОДОБИЯ, ВЕЙВЛЕТ-ЭНТРОПИЯ, РЕКУРРЕНТНЫЙ АНАЛИЗ, ХАОТИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ, ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Введение

Многочисленные исследования, проведенные в последние десятилетия, показали, что многие информационные, биологические, физические, технологические процессы обладают сложной фрактальной структурой. Такие процессы изучаются самыми различными науками — от распределения галактик в астрономии до формирования облаков, климата и погоды, предсказания землетрясений в метеорологии; от полимеризации и окисления в химии до структуры легких и сосудистой системы человека, в физиологии зрительной системы и картин роста многих растений в биологии; от «языков», мешающих добыче нефти и структуры притоков, областей водосбора речных систем, частоты наводнений в геофизике до собственно физики, где фракталы и статистическое самоподобие встречаются в броуновском движении, перколяциях, в исследованиях турбулентности и в других явлениях. Одним из примеров реализаций, обладающих фрактальной структурой, являются электрические биосигналы, такие как энцефалограммы, кардиограммы, миограммы и т.д. [1, 2].

Математическими моделями сложных систем, обладающих фрактальными свойствами, являются как случайные, так и детерминированные хаотические процессы. Одной из целей анализа временных рядов является извлечение информации из реализации конечной длины и получение вывода о свойствах и механизме процесса, который генерирует ряд.

В последние годы для анализа, моделирования и прогнозирования сложных процессов все большее применение находят методы интеллектуального анализа данных. Одним из способов реализации методов анализа и прогнозирования временных рядов (ВР) является разработка системы поддержки принятия решений (СППР) [3, 4]. В последние годы предложены и разработаны СППР для ВР,

обладающих различными характерными особенностями. Однако, не смотря на то, что фрактальный анализ находят все большее практическое применение при анализе ВР, разработке математических моделей и проведении имитационного моделирования в самых разнообразных областях науки, техники и медицины, еще не разработаны СППР, реализующие модели и методы фрактального анализа.

Таким образом, актуальной является задача разработки СППР, которая позволяет пользователю исследовать структуру и классифицировать фрактальные ВР. В работе [5] представлена СППР, предназначенная для исследования ВР различной природы, обладающих фрактальными свойствами. Для выявления характерных особенностей фрактальной структуры и классификации ВР в базу знаний добавлен блок знаний, определяющий информационную сложность системы.

Целью представленной работы является проведение сравнительного анализа характеристик информационной сложности, рассчитанных для электрических биосигналов, имеющих фрактальные свойства, и распознавание различных физиологических состояний организма по реализациям сигналов с помощью СППР на основе результатов исследований.

1. Системы поддержки принятия решений для фрактального анализа временных рядов

Система поддержки принятия решений — компьютерная автоматизированная система, целью которой является помощь людям, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности.

СППР предназначена для поддержки многокритериальных решений в сложной информационной среде. При этом под многокритериальностью понимается тот факт, что результаты принимаемых

решений оцениваются не по одному, а по совокупности многих показателей (критериев) рассматриваемых одновременно. Информационная сложность определяется необходимостью учета большого объема данных, обработка которых без помощи современной вычислительной техники практически невыполнима. В этих условиях число возможных решений, как правило, весьма велико, и выбор наилучшего из них “на глаз”, без всестороннего анализа может приводить к грубым ошибкам.

Главной функцией СППР является вывод рекомендаций на основании изучения исторического и текущего состояния объекта исследования и сравнения их с информацией, хранящейся в базе знаний системы.

СППР, предложенная в работе [5], предназначена для анализа фрактальной структуры ВР, их классификации и выбора математической модели стохастического или детерминированного хаотического процесса, обладающего требуемыми фрактальными и статистическими свойствами. Одним из главных элементов системы является база знаний (БЗ) — хранилище данных, описывающих свойства и характеристики самоподобных и мультифрактальных процессов.

С точки зрения архитектуры СППР знания в БЗ имеют следующую структуру: интерпретируемые знания (используются в решателе) и неинтерпретируемые знания, необходимые для подсистемы объяснений и диалога.

Интерпретируемые знания в БЗ предложенной СППР можно условно разделить на два блока: стандартные статистические характеристики ВР (спектр, корреляционная функция, моменты разных порядков и др.) и фрактальные характеристики (показатель Херста, мультифрактальный спектр, тяжесть хвоста распределения и др.). В представленной работе для более качественного исследования и классификации ВР в базу знаний добавлен блок знаний, определяющий информационную сложность системы (рис. 1).

2. Методы исследования

В данной работе не рассматриваются методы фрактального анализа ВР, которые достаточно полно представлены в работах [6-8]. Существует множество подходов к исследованию информационной сложности ВР, базирующихся как на традиционном статистическом анализе, так и на методах нелинейной хаотической динамики.

В настоящее время основными характеристиками сложности динамики систем можно считать различные типы энтропии и меры сложности рекуррентных диаграмм [9, 10]. Рекуррентный анализ базируется на фундаментальном свойстве диссипативных динамических систем — рекуррентности (повторяемости состояний). Данный метод анализа, основанный на представлении свойств процессов в виде геометрических структур, является инструментом для обнаружения скрытых зависимостей в наблюдаемых ВР [11-13]. Количественными мерами сложности рекуррентных диаграмм являются меры детерминизма, рекуррентности, ламинарности, тренда и т.д. Характеристикой сложности поведения системы традиционно является энтропия. Существует разные типы энтропии: энтропия подобия, энтропия шаблонов, многомасштабная энтропия, вейвлет-энтропия и др. Расчет энтропии и построение рекуррентных диаграмм основаны на методах нелинейной динамики, в частности, процедуре Паккарда-Такенса, позволяющей восстановить фазовую траекторию системы по одной реализации [1, 14-16].

2.1. Построение псевдофазового пространства

Главная идея применения методов нелинейной динамики к анализу траектории динамической системы состоит в том, что основная структура, содержащая в себе всю информацию о системе, а именно, аттрактор системы, может быть восстановлена через измерение только одной компоненты этой системы. Широко используемая процедура Паккарда-Такенса позволяет восстановить фазовую траекторию динамической системы по одной реализации:



Рис. 1. Блоки БЗ для фрактального анализа временных рядов

$$F(t) = [x(t), x(t + \tau), \dots, x(t + m\tau)],$$

где: $F(t)$ — m -мерное псевдофазовое пространство, $x(t)$ — временная реализация системы, τ — период запаздывания.

2.2. Построение рекуррентной диаграммы

Рекуррентная диаграмма является проекцией m -мерного псевдофазового пространства на плоскость. Пусть точка x_i соответствует точке фазовой траектории $x(t)$, описывающей динамическую систему в m -мерном пространстве в момент времени $t = i$, для $i = 1, \dots, N$, тогда рекуррентная диаграмма RP есть массив точек, где ненулевой элемент с координатами (i, j) соответствует случаю, когда расстояние между x_j и x_i меньше ε :

$$RP_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|x_i - x_j\|), \quad x_i, x_j \in R^m, \quad i, j = 1, \dots, N,$$

где ε — размер окрестности точки x_i , $\|x_i - x_j\|$ — расстояние между точками, $\Theta(\cdot)$ — функция Хэвисайда.

Анализ топологии диаграммы позволяет классифицировать наблюдаемые процессы: определять однородные процессы с независимыми случайными значениями; процессы с медленно меняющимися параметрами; периодические или осциллирующие процессы, соответствующие нелинейным системам и т.д. Численный анализ рекуррентных диаграмм позволяет вычислять меры сложности структур рекуррентных диаграмм, такие как мера рекуррентности, мера детерминизма, мера энтропии и др. Мера рекуррентности RR показывает плотность рекуррентных точек: $RR = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} RP_{i,j}$.

Мера детерминизма Det является характеристикой предсказуемости поведения процесса и равна отношению числа рекуррентных точек, составляющих диагональные линии, к общему количеству рекуррентных точек: $Det = \frac{\sum_{l=l_{\min}}^N P(l)}{\sum_{i,j} RP_{i,j}}$, где: l_i — длина i -й диагональной линии, $P(l) = \{l_i, i = 1, \dots, N_l\}$ — частотное распределение длин диагональных линий в диаграмме, N_l — количество диагональных линий.

2.3. Вычисление энтропии подобия

Существует разные типы энтропии: энтропия подобия, энтропия шаблонов, многомасштабная энтропия, и др. Энтропия подобия $ApEn$ является статистикой регулярности временного ряда, что определяет возможность его предсказания. Рассмотрим временной ряд $\{x_i\}, i = 1, \dots, N$. Пусть вектор $P_m(i)$ — подпоследовательность значений ряда $\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m}\}$ длиной m . Два вектора $P_m(i)$ и $P_m(j)$ будут подобными, если выполняется $|x_{i+k} - x_{j+k}| < \varepsilon, 0 \leq k < m$.

Для каждого значения $i = 1, \dots, N - m + 1$ вычисляется величина $C_{im}(\varepsilon) = \frac{n_{im}(\varepsilon)}{N - m + 1} f$, где: $n_{im}(\varepsilon)$ — число векторов, подобных вектору $P_m(i)$. Энтропия подобия $ApEn$ определяется по формуле:

$$ApEn(m, \varepsilon) = \ln \frac{C_m(\varepsilon)}{C_{m+1}(\varepsilon)}, \quad C_m(\varepsilon) = \frac{\sum_{i=1}^{N-m+1} C_{im}(\varepsilon)}{N - m + 1}.$$

2.4. Вычисление вейвлет-характеристик

Одним из мощных инструментов исследования и классификации временных рядов является вейвлет-анализ, в частности кратномасштабный анализ, позволяющий проводить декомпозицию временного ряда на составляющие с различными частотными диапазонами [17-18]. Использование вейвлет-характеристик в качестве знаний для ЭС дает возможность распознавания характерных особенностей фрактальных сигналов [19].

Дискретное вейвлет-преобразование строится с помощью кратномасштабного анализа, основная идея которого заключается в разбиении исследуемого сигнала $X(t)$ на две составляющие: аппроксимирующую и детализирующую, с последующим аналогичным дроблением аппроксимирующей до заданного уровня декомпозиции сигнала N . В результате вейвлет-преобразования сигнал $X(t)$ представляется в виде:

$$X(t) = \sum_{k=1}^{N_a} apr(N, k) \varphi_{Nk}(t) + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{N_j} det(j, k) \psi_{jk}(t),$$

где $\psi_{jk}(t)$ — вейвлет-функция, $\varphi_{Nk}(t)$ — соответствующая скейлинг-функция, $apr(N, k)$ — аппроксимирующие вейвлет-коэффициенты уровня N , $det(j, k)$ — детализирующие вейвлет-коэффициенты уровня j , N_j — количество детализирующих коэффициентов на уровне j , N_a — количество аппроксимирующих коэффициентов на уровне N .

Величина вейвлет-энергии на заданном уровне вейвлет-разложения j определяется как

$$E_j = \frac{1}{N_j} \sum_{k=1}^{N_j} det^2(j, k). \text{ Набор величин } E_j \text{ для каж-}$$

дого уровня разложения составляет спектр вейвлет-энергии ряда. Полная вейвлет-энергия спектра представляет собой сумму энергий каждого уровня

$$E_{tot} = \sum_{j=1}^N E_j. \text{ Относительная вейвлет-энергия пока-}$$

зывает распределение энергии по уровням разложения: $p_j = \frac{E_j}{E_{tot}}$. Вейвлет-энтропия WE является

количественной мерой упорядоченности сигнала и определяется по формуле $WE = -\sum_{j=1}^N p_j \ln(p_j)$.

3. Входные данные

Исследование биологических сигналов может быть проведено с помощью методов, развитых в теории динамического хаоса при предположениях, что сигнал является реализацией некоторой нелинейной динамической системой, чувствительной к начальным условиям. Таким образом, предполагается, что биоэлектрическая активность

описывается неявно заданной хаотической системой и, несмотря на отсутствие системы уравнений, моделирующих биоэлектрическую активность, можно изучать поведение системы по ее выходным данным.

Хаос представляет собой сложную форму поведения детерминированной системы в установившемся режиме. Основным свойством таких систем является чувствительная зависимость режима функционирования к сколь угодно малым изменениям начальных условий. Это обстоятельство ведет к потере детерминированной предсказуемости и хаотическому поведению. Количественной мерой хаотичности системы является показатель Ляпунова λ , характеризующий скорость разбегания первоначально близких траекторий [1, 2, 16].

3.1. Хаотические реализации

Одними из самых простых и наглядных математических моделей, демонстрирующих хаотическое поведение, являются итерируемые отображения. Наиболее известным примером хаотических отображений является логистическое отображение. Это одномерное квадратичное отображение, определяемое следующим образом:

$$x_{n+1} = Ax_n(1 - x_n),$$

где A — управляющий параметр, $A \in (0, 4]$, а значения $x_n \in [0, 1]$.

Рассмотрим реализации логистического отображения при разных хаотических режимах, которые определяются показателем Ляпунова λ . На рис. 2 показаны реализации при значениях управляющего параметра $A = 3.7, 4$ (сверху вниз). Соответствующие значения показателя Ляпунова равны $\lambda = 0.37, 0.69$. Большее значение показателя Ляпунова соответствует большей степени хаотичности системы.

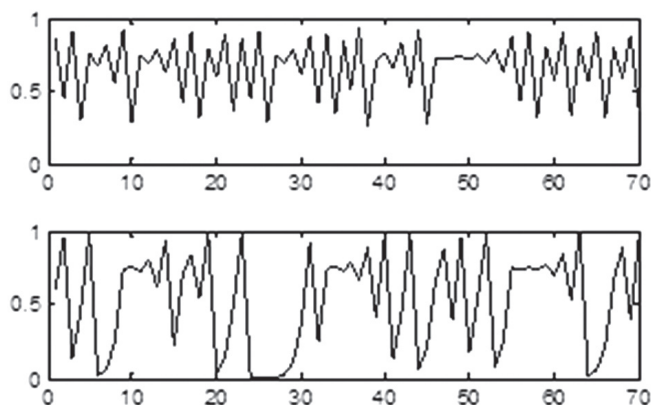


Рис. 2. Реализации хаотического отображения

3.2. Реализации электроэнцефалограмм

В работе были исследованы записи электроэнцефалограмм (ЭЭГ) лабораторных животных, которые были разбиты на фазы бодрствования и сна. На рис. 3 представлены типичные реализации ЭЭГ в фазе медленного сна (sws) и бодрствования (awake).

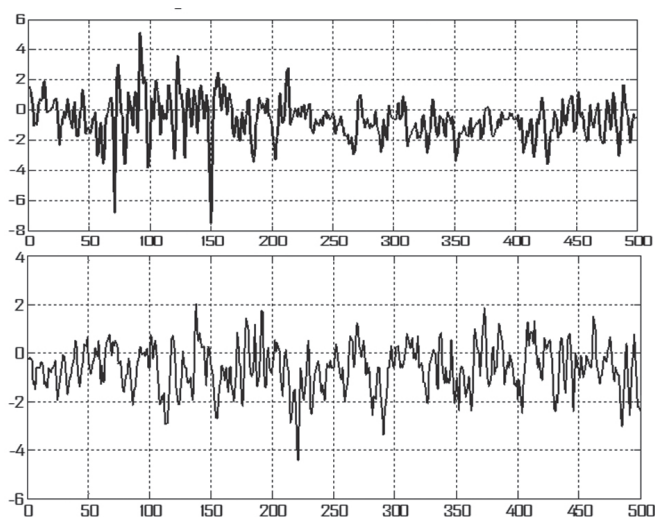


Рис. 3. Реализации ЭЭГ: sws (вверху) и awake (внизу)

3.3. Реализации RR-интервалов

Одним из методов диагностики сердечных заболеваний, является анализ рядов, построенных по RR-интервалам. RR-интервал представляет собой промежуток времени между соседними зубцами электрокардиограммы и равен продолжительности сердечного цикла. Исходные данные были получены на специализированном сайте [20], где приведены данные RR-интервалов пациентов до и после приема медицинского препарата, применяющегося для лечения и предотвращения тахикардии. На рис. 4 показаны типичные последовательности RR-интервалов до (вверху) и после (внизу) применения препарата.

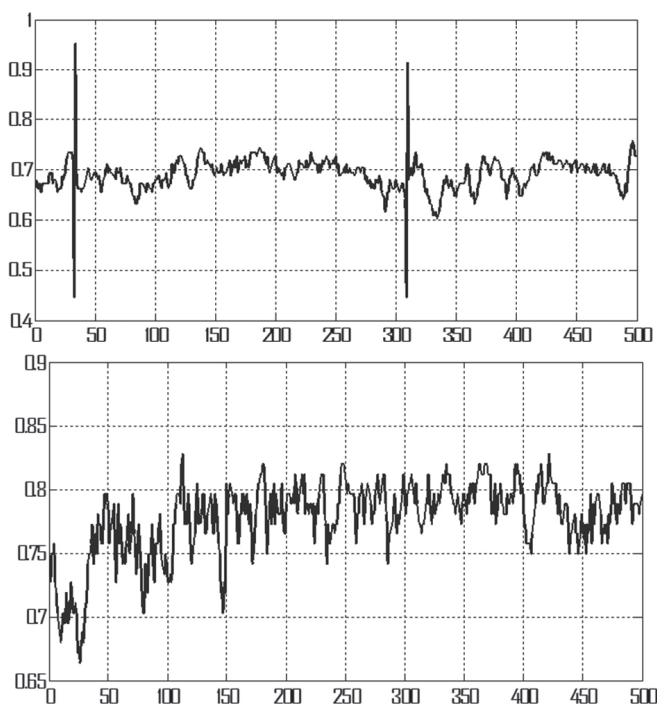


Рис. 4. Реализации RR-интервалов до (вверху) и после (внизу) применения препарата

4. Результаты исследования

Проведенный в работе анализ выявил сильные различия, как в визуальной топологии, так и в численных характеристиках реализаций вышеописанных процессов. Для наглядности рассмотрим пример абсолютно различных по сложности процессов: гармонического сигнала и некоррелированного белого шума. Очевидно, что характеристики вышеописанных процессов должны находиться внутри диапазона значений характеристик, рассчитанных для периодических и полностью случайных траекторий. На рис. 5 приведены рекуррентные диаграммы для реализаций синусоиды и независимых значений нормальной случайной величины.

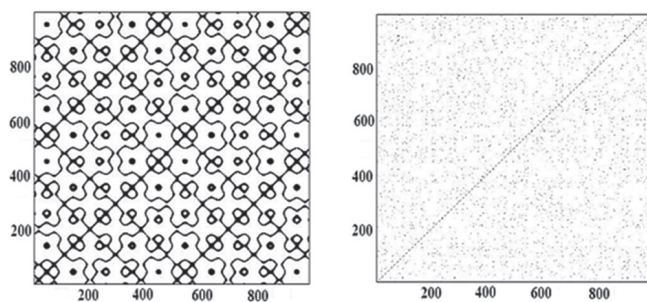


Рис. 5. Рекуррентные диаграммы для гармонического сигнала (слева) и некоррелированного шума (справа)

Рис. 6 демонстрирует соответствующие спектры вейвлет-энергии реализаций. Очевидно, что для гармонического сигнала основная энергия сосредоточена на одном уровне декомпозиции. В случае некоррелированного шума вейвлет-энергия реализации распределяется по частотам достаточно равномерно.

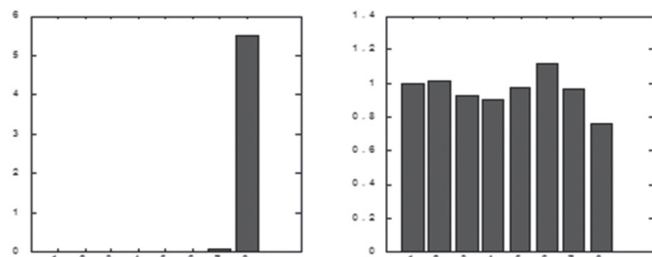


Рис. 6. Спектр вейвлет-энергии гармонического сигнала (слева) и некоррелированного шума (справа)

В табл. 1 приведены средние значения меры рекуррентности RR , меры детерминизма Det , энтропии подобия $ApEn$ и вейвлет и энтропии W , рассчитанные для реализаций длиной 1000 значений.

Таблица 1

Характеристики сложности простейших сигналов

Процесс	ApEn	Det	RR	W
Синусоида	0.03	0.998	0.18	0.62
Некоррелированный шум	1.7	0.025	0.0003	1.8

Рассмотрим реализации хаотического отображения, примеры которых приведены на рис. 2. На рис. 7 показаны соответствующие рекуррентные диаграммы. Большее значение показателя Ляпунова соответствует большей хаотичности системы, что наглядно проявляется на рекуррентных диаграммах: наличие определенной структуры диаграммы сменяется равномерным заполнением.

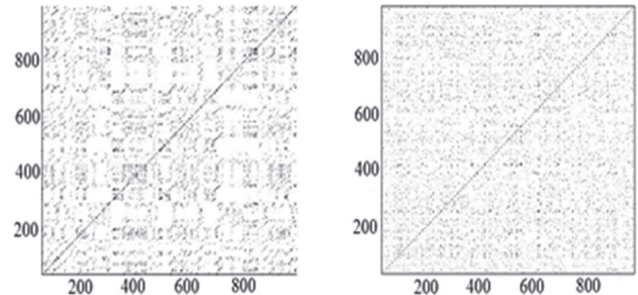


Рис. 7. Рекуррентные диаграммы для реализаций отображения при $\lambda=0.37$ (слева) и $\lambda=0.69$ (справа)

На рис. 8 показаны спектры вейвлет-энергии хаотических реализаций. Очевидно, что при малых значениях показателя Ляпунова основная энергия процесса сосредоточена в высокочастотных компонентах (начальные уровни декомпозиции). В случае $\lambda=0.69$ данная система достигает максимального уровня хаотичности и вейвлет-энергия реализаций распределяется по частотам достаточно равномерно.

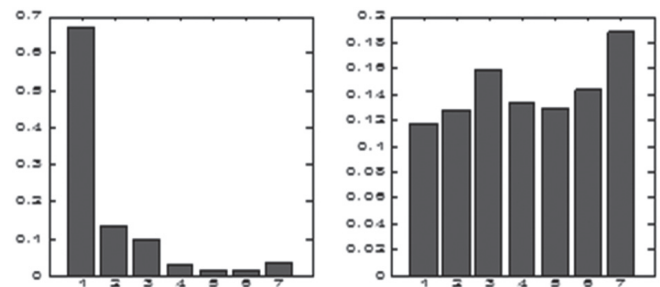


Рис. 8. Спектры вейвлет-энергии для отображения при $\lambda=0.37$ (слева) и $\lambda=0.69$ (справа)

В табл. 2 приведены средние значения меры рекуррентности RR , меры детерминизма Det , энтропии подобия $ApEn$ и вейвлет и энтропии W , рассчитанные для хаотических реализаций длиной 1000 значений. Надо отметить, что величины RR и Det , как меры регулярности, уменьшаются, а величины энтропии $ApEn$ и W увеличивается с ростом хаотичности процесса.

Очевидно, что различным хаотическим режимам одной и той же системы соответствуют разные значения информационных характеристик.

Таблица 2

Характеристики сложности для отображения

A	λ	W	ApEn	RR	Det
3.7	0.37	1.22	0.35	0.008	0.1
4	0.69	1.86	0.62	0.002	0.05

Рассмотрим качественные и количественные характеристики реализаций биологических сигналов, которые были получены при разных физиологических состояниях организма.

На рис. 9 показаны типичные рекуррентные диаграммы реализаций ЭЭГ в фазе медленного сна и бодрствования. ЭЭГ в фазе бодрствования соответствует более структурированной рекуррентной диаграмме.

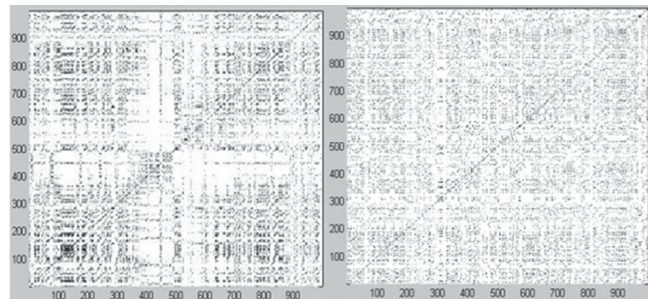


Рис. 9. Рекуррентные диаграммы для реализаций ЭЭГ: awake (слева) и sws (справа)

Спектры вейвлет-энергии ЭЭГ представлены на рис. 10. В случае бодрствования вейвлет-энергия реализаций сосредоточена на высоких уровнях, а в случае фазы сна более равномерно распределяется по уровням.

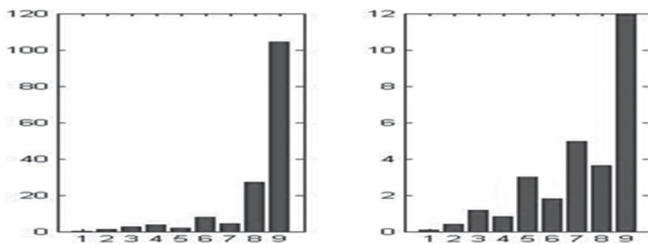


Рис. 10. Спектр вейвлет-энергии для реализаций ЭЭГ: awake (слева) и sws (справа)

В табл. 3 приведены средние значения характеристики сложности для реализаций ЭЭГ длиной 1000 значений. Надо отметить, что значения информационных характеристик для разных состояний организма имеют существенные отличия.

Таблица 3

Характеристики сложности для реализаций ЭЭГ

Состояние	$ApEn$	Det	RR	W
Медл. сон	1.593	0,2644	0,0148	1,41
Бодрств.	1.302	0,3717	0,365	1,35

На рис. 11 показаны рекуррентные диаграммы последовательностей RR-интервалов до и после применения препарата. Очевидно, что рекуррентная структура сигналов имеет большие различия.

Спектры вейвлет-энергии RR-интервалов представлены на рис. 12. В случае последовательностей RR-интервалов, полученных после приема медицинского препарата, вейвлет-энергия реализаций в основном содержится на высоких уровнях, а в случае RR-интервалов пациентов до лечения,

вейвлет-энергия распределяется неравномерно по всем уровням.

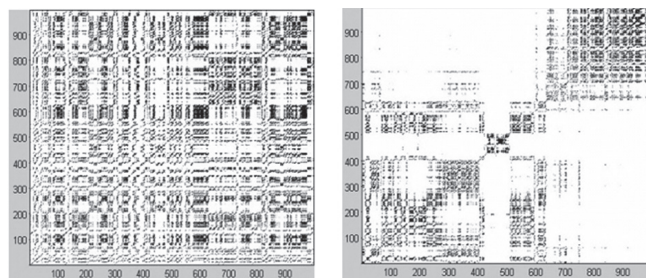


Рис. 11. Рекуррентные диаграммы для RR-интервалов до (слева) и после (справа) применения препарата

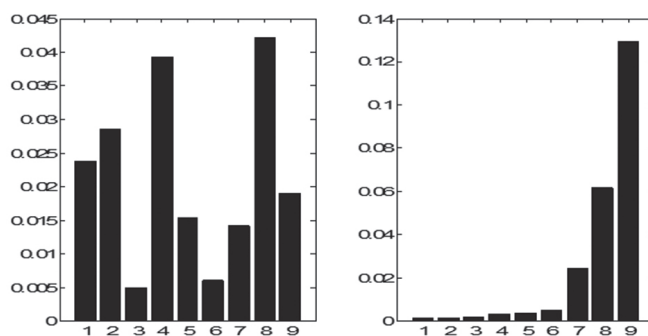


Рис. 12. Спектр вейвлет-энергии для RR-интервалов до (слева) и после (справа) применения препарата

В табл. 4 приведены средние значения характеристики сложности для реализаций RR-интервалов длиной 1000 значений. Значения информационных характеристик для разных пациентов до и после применения препарата значительно отличаются по значениям.

Таблица 4

Характеристики сложности для RR-интервалов

Состояние	$ApEn$	Det	RR	W
до принятия	0.242	0.0707	0.133	2.018
после принятия	0.797	0.627	0.023	1.214

Рассмотренные методы были реализованы с помощью web-ориентированной экспертной оболочки «eXpertise2Go» [21]. Данное приложение находится в открытом доступе и распространяется в учебных и экспериментальных целях. С помощью приложения была создана БЗ, которая включает фрактальные характеристики и показатели информационной сложности, и сформированы правила вывода, позволяющие проводить классификацию фрактальных ВР.

Важным аспектом является то, что проведенные исследования выявили некоррелированность друг с другом величин вейвлет-энтропии W , энтропии подобия $ApEn$ и рекуррентных характеристик. Это позволяет использовать их как независимые параметры при распознавании временных рядов с помощью СППР.

С помощью СППР, построенной на базе приложения «eXpertise2Go» были проведены

исследования фрактальных временных рядов разной природы, которые показали возможность распознавания различных состояний динамики системы. При классификации ВР учитывалось попадание значения показателя в заданный доверительный интервал, величина которого зависит от длины временной реализации. Использование разработанной СППР позволяет распознавать различные физиологические состояния организма по реализациям биосигналов короткой длины (до 500 значений).

Выводы

В работе проведен сравнительный рекуррентный и энтропийный анализ модельных реализаций хаотических процессов и реализаций биологических электросигналов, имеющих фрактальные свойства: ЭЭГ лабораторных животных для разных фаз бодрствования и сна и RR-интервалов пациентов до и после приема медицинского препарата. Показано, что расчет информационных характеристик по экспериментальным данным позволяет уточнить меру хаотичности нелинейной динамической системы и распознавать различные хаотический режимы системы. Показано, что меры рекуррентности, детерминизма, энтропия подобия, спектр вейвлет-энергии и вейвлет-энтропия отражают характерные особенности фрактальной и корреляционной структуры биологических электросигналов. С помощью разработанной СППР проведены исследования временных рядов, которые показали целесообразность использования информационных характеристик для распознавания и классификации временных рядов, обладающих фрактальными свойствами.

Список литературы: 1. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение. — М.: Мир, 1988. — 240 с. 2. Шредер М. Фракталы, хаос и степенные ряды. Миниатюры из бесконечного рая. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. — 528 с. 3. Джексон П. Введение в экспертные системы. — М.: Вильямс, 2001. — 624 с. 4. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень. — К.: ТОВ «Маклаут», 2008. — 444 с. 5. Кириченко Л.О., Стороженко А.В., Кобицкая Ю.А. Разработка алгоритмов принятия решений в экспертной системе фрактального анализа // «Системні технології» — збірник наукових праць. — №3 (86). — 2013. — С.54-61. 6. Kirichenko L., Radivilova T., Deineko Zh. Comparative Analysis for Estimating of the Hurst Exponent for Stationary and Nonstationary Time Series // Information Technologies & Knowledge. — 2011. — Vol.5. — № 4. — P. 371–388. 7. Кириченко Л.О., Чалая Л.Э. Комплексный подход к исследованию фрактальных временных рядов // Information Technologies & Knowledge, International Journal. — 2014. — Vol. 8. — № 1. — P. 22-28. 8. Kirichenko L. The method of distinction monofractal and multifractal process from time series / Системні технології. — 2014. — №6 (95). — С. 121–127. 9. Дербенцев В.Д., Сердюк О.А., Соловйов В.М., Шарапов О.Д. Синергетичні та еконофізичні методи дослідження динамічних та структурних характеристик економічних систем // Монографія. — Черкаси: Брама-

Україна, 2010. — 287 с. 10. Kirichenko L., Kobitskaya Yu., Habacheva A. Comparative Analysis of the Complexity of Chaotic and Stochastic Time Series // «Радиоелектроніка. Інформатика. Управління» — №2 (31). — 2014 — С. 126–134. 11. Eckmann J.P. Recurrence Plots of Dynamical Systems / J.P. Eckmann, S.O. Kamphorst, D. Ruelle // Europhysics Letters 5. — 1987. — P. 973–977. 12. Marwan N., Wessel N., Meyerfeldt U., Schirdewan A., Kurths J. Recurrence-plots-based measures of complexity and application to heart-rate-variability data // Physical Review. — E66. — 2002. 13. Zbilut J.P., Zaldívar-Comenges J.-M., Stozzi F. Recurrence quantification based Liapunov exponent for monitoring divergence in experimental data // Phys. Lett. A. — V. 297, — 2002. — P. 173–181. 14. Pincus S.M. Approximate entropy as a measure of system complexity // Natl. Acad. Sci. — Vol.88. — P. 2297–2301. 15. Joshua S., Richman J., Moorman R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy // Am. J Physiol. Heart Circ. Physiol. 278: H2039–H2049, 2000. 16. Мун Ф. Хаотические колебания. — М.: Мир, 1990. — 304 с. 17. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. — М.: Мир, 2005. — 671 с. 18. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. — М.: ДМК Пресс, 2005. — 304 с. 19. Кириченко Л.О., Кобицкая Ю.А., Стороженко А.В. Использование вейвлет-характеристик временных рядов в экспертной системе // Системні технології. — 2015. — Вып. 3(98). — С. 72–78. 20. PhysioNet: the research resource for complex physiologic signals [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.physionet.org. 21. Сайт expertise2go.com [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.expertise2go.com/webesie/>

Поступила в редколлегию 20.01.2015

УДК 004.9:519.2

Аналіз та розпізнавання реалізацій сигналів, які мають фрактальні властивості / Л.О. Кіріченко, Ю.О. Кобицька, Н.А. Дьоміна // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 49–55.

У роботі подано результати рекуррентного і ентропійного аналізу модельних хаотичних реалізацій і реалізацій біологічних електросигналів, що мають фрактальні властивості. Показано, що інформаційні характеристики, розраховані за експериментальними даними, відображають характерні особливості фрактальної і кореляційної структури біосигналів. За допомогою розробленої системи підтримки прийняття рішень проведені дослідження часових рядів, які показали доцільність застосування інформаційних характеристик для розпізнавання та класифікації фрактальних реалізацій.

Іл. 12. Табл. 4. Бібліогр.: 21 найм.

UDC 004.9:519.2

Analysis and recognition of signals realization that have fractal properties / L.O. Kirichenko, Yu.A. Kobitskaya, N.A. Dyomina // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 49–55.

In this paper comparative recurrent and entropy analysis of chaotic model implementations and implementations of biological electrical signals that have fractal properties was carried out. Information characteristics which calculated from the experimental data reflect the characteristics of fractal and correlation structure of biosignals was shown. Researches of time series which showed the feasibility of information characteristics for recognition and classification of fractal implementations was carried out using the developed decision support systems.

Fig. 12. Tab. 4. Ref.: 21 items.

УДК 004.738.5:681.14, 621.396:681.142:004.621

Н.Ф. Казакова¹, Т.І. Соклакова²¹ОНЕУ, м. Одеса, Україна, kaz2003@ukr.net²ХНУРЕ, м. Харків, Україна, Tetiana_Soklakova@yahoo.com

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ У СПЕЦІАЛЬНИХ СЕГМЕНТАХ НАЦІОНАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

У межах вирішення проблеми виявлення найбільш захищених сегментів національної інформаційної інфраструктури засобами моніторингу сегментів інформаційного простору спеціального призначення, розглядається метод моніторингу стану безпеки заданих сегментів інфраструктури. Показано, що пропонувані удосконалення дозволяють забезпечити підвищення ймовірності оцінювання їх стану по відношенню до захищеності. Враховано, що характеристики сегментів містять велику кількість контрольованих параметрів, які з метою підвищення ефективності роботи систем моніторингу можуть бути об'єднані у відповідності до їх вагових внесків в окремих елементах, що підтримують функціонування різноманітних складових та процесів у системах забезпечення інформаційної безпеки.

ІНФОРМАЦІЯ, БЕЗПЕКА, ІНФОРМАЦІЙНА ІНФРАСТРУКТУРА, ПАРАМЕТР, МОНІТОРИНГ, ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОСТІР

Вступ

Ще у недалекому минулому застосування традиційних засобів захисту інформації було стандартним методом забезпечення інформаційної безпеки (ІБ) будь-якої комунікаційної системи чи мережі. Ними були та є на поточний момент системи розмежування прав доступу, використання міжмережевих екранів, антивірусного програмного забезпечення та ін. Відомості про їх роботу та ефективність можуть бути використані на новому етапі розвитку систем захисту інформації (СЗІ) щодо забезпечення ІБ, а саме – системами моніторингу інформаційного простору з метою виявлення його найбільш безпечних та захищених сегментів для переміщення (міграції) до них обчислювальних ресурсів та даних, що забезпечить підвищення їх ступеню конфіденційності, цілісності та доступності. Такий підхід, при якому виконуватиметься постійний динамічний процес моніторингу стану інформаційних процесів, що пов'язані з забезпеченням ІБ, включаючи відомості про внутрішній та зовнішній трафіки, з часом може стати невід'ємною частиною ідеології функціонування національної інформаційної інфраструктури (НІІ) [1, 2].

Застосування систем моніторингу НІІ з метою організації міграції даних у значному степені підвищить ефективність засобів забезпечення ІБ, які вже є в інформаційній системі, за рахунок синергетичного ефекту при обробці інформації.

Методологія забезпечення ІБ державних ресурсів, яка передбачає їх міграцію до найбільш безпечних сегментів інформаційного простору, що може контролюватися одним центром обробки даних (ЦОД), вимагає використання різних засобів виявлення у них слідів мережових атак, наявності та ефективності систем захисту від спаму, дієвості антивірусних засобів, ефективності міжмережових екранів та сканерів безпеки, доступності, надійності та ефективності обчислювальних та інших технічних ресурсів [3]. При цьому розуміється, що

доступ до відомостей, які характеризують зазначене, може бути забезпечений на основі відповідних угод між суб'єктами, які обслуговуються єдиним ЦОД.

Вирішення питань, які пов'язані з науково-прикладною задачею, що винесена у заголовок, та проблемами, які корелюються з нею у сенсі розробки моделей та комплексних методів проактивного забезпечення інформаційної безпеки в когнітивних мережах, у яких основою побудови та управління є SDN-технології, з врахуванням існування некоректних задач, пов'язаних з невизначеністю процесів у системах моніторингу, а також відновленням даних у них, започатковано у працях достатньо обмеженої кількості членів наукової спільноти. Найбільш відомі серед вітчизняних вчених, це О. Корченко, А. Горбенко, В. Бурячок, Г. Гулак, М. Дивизинюк, В. Хорошко, О. Шумейко, В. Баранов, А. Засядько, С. Ленков, М. Шелест, О. Голубенко, В. Харченко, Ю. Яремчук, О. Рибальський, Л. Пархуць, О. Скопа, О. Петров, В. Бабак, В. Кудінов, М. Корнійчук, В. Коваль, А. Гладун; серед зарубіжних – R. Whiteley, S. Prentice, G. Dewnarain, D. Vellante, J. Gantz, D. Reinsel, L. Hiebert, J. Feldhan. Результати, які ними отримано, свідчать про актуальність завдання, та доцільність подальших досліджень у зазначеній предметній області.

1. Передумови удосконалення методу моніторингу цифрових слідів інцидентів інформаційної безпеки

Вважатимемо, що далі під загальним поняттям «ЦОД», який формуватиме управляючі впливи стосовно міграції даних, вважатимемо комплексне організаційно-технічне рішення, метою функціонування якого є створення та підтримка високопродуктивної та відмовостійкої інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури у межах виділеного обмеженого інформаційного простору. Нехай його загальним завданням буде ефективне

консолідоване зберігання та обробка даних користувачів з одночасним наданням їм прикладних сервісів та підтримка функціонування корпоративних додатків. У такому разі обробка отриманих даних веде до зростання множини апаратно-програмних засобів забезпечення ІБ та суттєвого росту обсягів інформації, яка може бути необхідною для контролю мережевої безпеки. З цього слідує висновок про те, що існує необхідність автоматизації зазначених процесів з метою підвищення продуктивності робіт з обробки даних, та до рішення завдань щодо оперативності при прийнятті управляючих рішень для організації міграції даних та обчислювальних ресурсів. Це дозволить вирішити протиріччя між значним зростанням обсягів інформації, яка обробляється та аналізується для встановлення рівня безпеки визначених мережевих ресурсів, наявності загроз для них та їх ступенем, та оперативністю управління міграцією [4].

У межах вирішення проблеми виявлення безпечних сегментів НІІ на основі застосування систем моніторингу сегментів інформаційного простору спеціального призначення (СМСІПСП) [5, 6], розглянемо метод моніторингу стану безпеки заданих сегментів НІІ, який забезпечує підвищення ймовірності оцінювання їх стану по відношенню до захищеності [2, 7]. Враховуватимемо, що кожна з характеристик сегментів НІІ містить велику кількість контрольованих параметрів, які з метою підвищення ефективності роботи СМСІПСП можуть бути об'єднані у відповідності до їх вагових внесків у окремих елементах, які забезпечують функціонування різноманітних складових та процесів у системах забезпечення інформаційної безпеки [8]. Як показано у цьому джерелі, групування може виконуватися у тих випадках, коли є доцільним врахування динаміки керування часовими проміжками при ухваленні управляючих рішень щодо стану захищеності сегментів НІІ та врахування ступеню впливу груп контрольованих параметрів та величин відхилення їх значень від заданих.

Згідно до [7], існує метод, відповідно до якого моніторинг стану систем забезпечення інформаційної безпеки в деякій системі, базується на попередньо заданій множині з $X > 2$ контрольованих параметрів безпеки. Крім того, метод передбачає, що $Y \geq X$ зразкових значень параметрів безпеки, які підлягають контролю, а також їх вагові коефіцієнти $k_z^{\text{вар}}$, є заданими.

Маючи зазначені дані у якості вхідних параметрів, може бути виконаний аналіз, суть якого полягає у здійсненні наступних процедур:

- вимірювання значень контрольованих параметрів безпеки;
 - порівняння їх зі зразками;
 - формування звіту;
 - формування управляючого рішення щодо стану систем забезпечення інформаційної безпеки.
- Згідно до [7], можливе додаткове формування $Z \geq 2$ груп параметрів, які підлягають контролю,

з числа попередньо заданих контрольованих параметрів. Така процедура є необхідною у зв'язку з тим, що кожна z -а група контрольованих параметрів, де $z = 1, 2, \dots, Z$, є окремою характеристикою стану інформаційної безпеки z -го структурного елемента або функціонального процесу, які відбуваються у системі, що контролюється засобами СМСІПСП. Вважається, що коефіцієнти важливості $k_z^{\text{вар}}$ є незалежними та можуть бути задані для кожної z -ї групи. Для кожної такої групи параметрів повинно бути задано максимальне Δt_z^{max} та мінімальне Δt_z^{min} значення проміжків часу, протягом яких відбувається вимірювання параметрів, що контролюються, а також момент часу $t_z^{\text{звіт}}$, який передбачає формування звіту про стан безпеки досліджуваної системи.

До процедури встановлення попередніх параметрів також може бути віднесено зазначення інтервалу часу вимірювань параметрів, що контролюються, наприклад, для z -ї групи, який дорівнює максимальному, тобто Δt_z^{max} . Після виконання процедури порівняння вимірюваних значень з заданими зразками, при їх співпадині, цикл аналізу безпеки системи повинен бути повторений до настання моменту часу $t_z^{\text{звіт}}$ формування звіту про безпеку системи — у випадку, який розглядається, це досліджуваний сегмент НІІ. Якщо при порівнянні виявляється, значення отриманих параметрів не співпадають зі встановленими зразками, то їх запам'ятовують або заносять до бази даних.

Після виконання процедури порівняння, необхідно внести корективи значень часових інтервалів вимірювань, а саме:

$$\Delta t_z^{\text{кор}} = \frac{\Delta t_z^{\text{max}}}{k_z^{\text{вар}}} \quad (1)$$

Далі необхідно отримане значення $\Delta t_z^{\text{кор}}$ порівняти з мінімальним Δt_z^{min} . Якщо $\Delta t_z^{\text{кор}} = \Delta t_z$, то цикл аналізу безпеки необхідно виконати повторно, а у протилежному випадку, коли $\Delta t_z^{\text{кор}} \leq \Delta t_z^{\text{min}}$, формується повідомлення про вихід контрольованих параметрів в z -й групі за межі припустимих значень. Як наслідок, СМСІПСП реєструє наявність порушень у системі забезпечення інформаційної безпеки у контрольованому сегменті.

Аналіз приведеного методу виявив, що для забезпечення достовірного знаходження слідів інцидентів інформаційної безпеки у спеціальних сегментах НІІ, необхідно достатньо часто та з високою ймовірністю виконувати моніторинг та аналіз параметрів, які характеризують стан систем захисту інформації у них. Окрема актуальна задача — вчасне формування звітів про стан інформаційної безпеки та передавання його до вищого рівня ієрархії СМСІПСП з метою формування управляючого рішення. Процедура моніторингу параметрів, що визначають стан систем захисту досліджуваної системи, здійснюється на основі локального зчитування їх значень з оперативної пам'яті контрольованих елементів та порівняння зі зразками. Про-

цедура виконується на основі протоколів мережної взаємодії. Як видно з цього, значення параметрів СМСІПСП отримуються з оперативної пам'яті, що унеможливорює її використання для отримання відомостей про ретроспективний стан систем забезпечення інформаційної безпеки у контрольованому середовищі. Відповідно, необхідно виконати її удосконалення з метою отримання значень параметрів з журналів реєстрації інцидентів інформаційної безпеки зі збереженням показників економічної ефективності.

2. Рішення щодо впровадження методу моніторингу цифрових слідів інцидентів інформаційної безпеки

Вважатимемо, що контрольовані сегменти НІ є складними інформаційними технічними структурами та містять велику кількість елементів, які підтримують функціонування систем забезпечення ІБ. У загальному випадку для моніторингу ретроспективних станів безпеки інформаційної структури, значна частина ресурсів, наприклад, відомостей про пропускну здатність каналів зв'язку, що змінена внаслідок DDos-атаки, не можуть бути отримані без даних про те, як вона функціонувала у штатному режимі. Збільшення ж множини значень про сукупні контрольовані ресурси шляхом розгортання локальної системи моніторингу веде до значних економічних затрат. З метою вирішення питання використаємо узагальнену схему (рис. 1), яка пояснює групування параметрів структурних елементів досліджуваної системи.

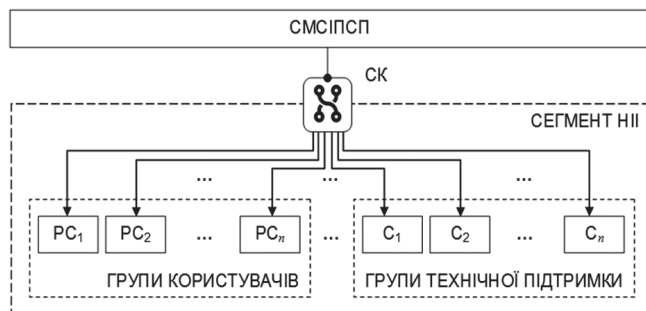


Рис. 1. Принцип групування параметрів структурних елементів досліджуваної системи, де: PC_N – робочі станції, C_N – сервери, комутатори та маршрутизатори, які програмно керуються; СК – системний комутатор, що управляється СМСІПСП

Організація системи моніторингу, яка приведена на рис. 1, дозволяє СМСІПСП визначати ті об'єкти у структурі сегменту НІІ, які задані завданням щодо визначення станів їх безпеки і, т.ч., управляти отриманням значень параметрів з журналів реєстрації інцидентів ІБ. При цьому підконтрольними СМСІПСП і, відповідно, державному ЦОД, будуть відомості про наступні дані, які мають відношення до інцидентів інформаційної безпеки:

– перелік активних логічних портів (АЛП), які були задіяні у інцидентах;

– про IP-адреси, які були задіяні у створенні інцидентів (IP-адр);
 – про вплив інцидентів на активність диспетчера підключень дистанційного доступу (АДПДД);
 – про порушення вимог захисту даних у службах папок обміну даними (ЗДСПОД);
 – про порушення локальних налаштувань сервера служби файлового обміну (ЛНССФО).
 – про порушення локальних налаштувань захисту служб електронної пошти (ЛНЗСЕП);
 – про порушення локальних налаштувань користувачького клієнта служб файлового обміну (ЛНКСФО);

У залежності від коефіцієнтів важливості $k_z^{ваг}$, відомості можуть бути об'єднані у групи, що підвищить ефективність роботи СМСІПСП. Так, у [7] зазначено, що доцільним є їх об'єднання у такому вигляді, як це показано на рис. 2, де також приведено додаткові характеристики структурних елементів контрольованого сегменту (відповідно до рис. 1).

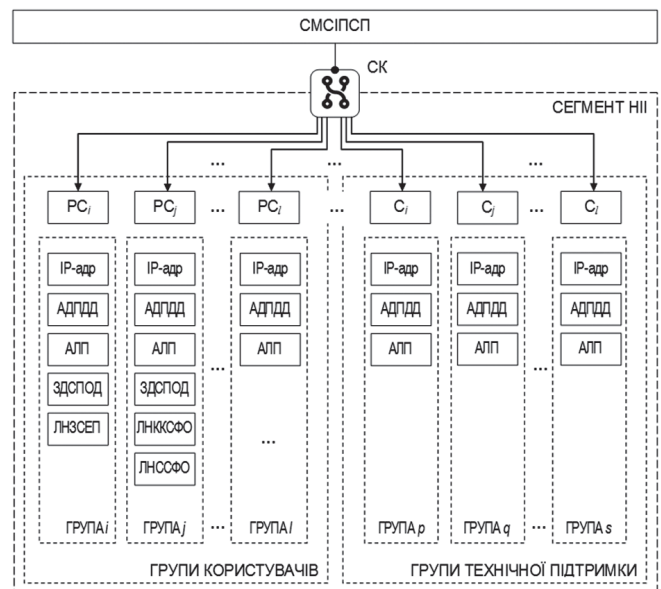


Рис. 2. Узагальнене групування додаткових характеристик структурних елементів контрольованого сегменту

Встановимо, що контрольований сегмент НІІ є множиною функціональних вузлів та телекомунікаційного обладнання. Їх зв'язок забезпечується фізичними засобами у вигляді ліній зв'язку з різноманітною реалізацією. Умовно це показано на рис. 1, де приведено умовний досліджуваний сегмент у вигляді множин робочих станцій, серверів, комутаторів та програмно-керованих маршрутизаторів, а також системного комутатора, який керує з'єднаннями та управляється СМСІПСП. Ним, на основі використання закріплених ідентифікаторів, визначається множина технічних та програмних активів, які підлягають моніторингу. У якості ідентифікаторів є найбільш доцільним застосування мережних адрес з сімейства протоколів TCP/IP [7], що використано далі.

З метою спрощення опису та для перевірки практичного застосування методу та окремих функцій з його удосконалення, встановимо, що множина функціональних вузлів та телекомунікаційного обладнання забезпечує:

- виконання функціональних процесів з контролю за обміном файлів;
- виконання функціональних процесів щодо контролю передавання електронної пошти;
- виконання функціональних процесів у межах мережної взаємодії.

Ці процеси є найбільш характерними при їх дослідженні з метою виявлення наслідків впливу інцидентів ІБ. При практичній перевірці журналів реєстрації інцидентів найбільш просто організувати доступ саме до них. В подальшому розумітимемо, що для СМСІПСП доступ до журналів забезпечується на основі відповідних договорів.

Записи у журналах активності, які підлягають моніторингу та аналізу, базуються на контролюванні функціональних процесів інформаційної безпеки у точках входу до робочих додатків. Точки відповідають логічним портам на яких реалізується робочий процес. Кожна множина функціональних вузлів та телекомунікаційного обладнання, а також їх функціональні процеси, характеризуються деякою попередньо встановленою сукупністю параметрів, що описують стан їх ІБ і, т.ч., ці відомості реєструються у журналах та є досяжними для СМСІПСП. До них, як до елементів сегменту, що досліджується засобами СМСІПСП, віднесемо такі ж відомості, які приведені вище у попередньому списку, та згрупуємо їх так, як показано на рис. 2. Як видно з нього, взаємозв'язок параметрів контрольованих функціональних процесів ІБ у точках входу до робочих додатків, викликає необхідність їх додаткового групування. Це будуть 4 групи відомостей про інциденти ІБ:

- група *a*: у службах, що підтримують обіг файлів;
- група *b*: у службах, що підтримують функціонування електронної пошти;
- група *c*: у службах, що підтримують функціонування папок обміну;
- група *d*: у службах, що підтримують функціонування мережної взаємодії.

Зазначені групи відображено на рис. 3.

Засоби контролю за інцидентами, які відносяться до приведених груп, внесуть записи до відповідних розділів журналів активності при їх виникненні. Це приведе до значного спрощення та пришвидшення роботи СМСІПСП. При цьому повинно враховуватися, що для кожної групи параметрів, що контролюються, та яка сформована у відповідності до приведеної схеми, попередньо задаються вагові коефіцієнти $k_z^{ваг}$, де $z = 1, 2, \dots, Z$, у відповідності до важливості групи, тобто у відповідності до ступеню порушення інцидентом ІБ гарантованого рівня конфіденційності, цілісності та доступності інформації у контрольованому сегменті.

Крім того, їх значення, а також зразкові величини (чи вимоги), повинні враховувати дані про важливість інформації та можливі потенційні вразливості контрольованих функціональних процесів ІБ. Для цього можуть бути використані методи, що базуються на достатньо відомих методах неформальної логіки та методах залучення експертів. При цьому, як відмічено у [14], найбільш доцільним та ефективним для розрахунку надійності та достовірності отримання даних системами СМСІПСП є завдання значень параметрів у вигляді матриці. Ефективне рішення питання надійного отримання даних про інциденти ІБ, базою якого є пропонується теорія псевдонапівзворотних матриць, приведено у одному з наступних розділів дисертаційного дослідження.

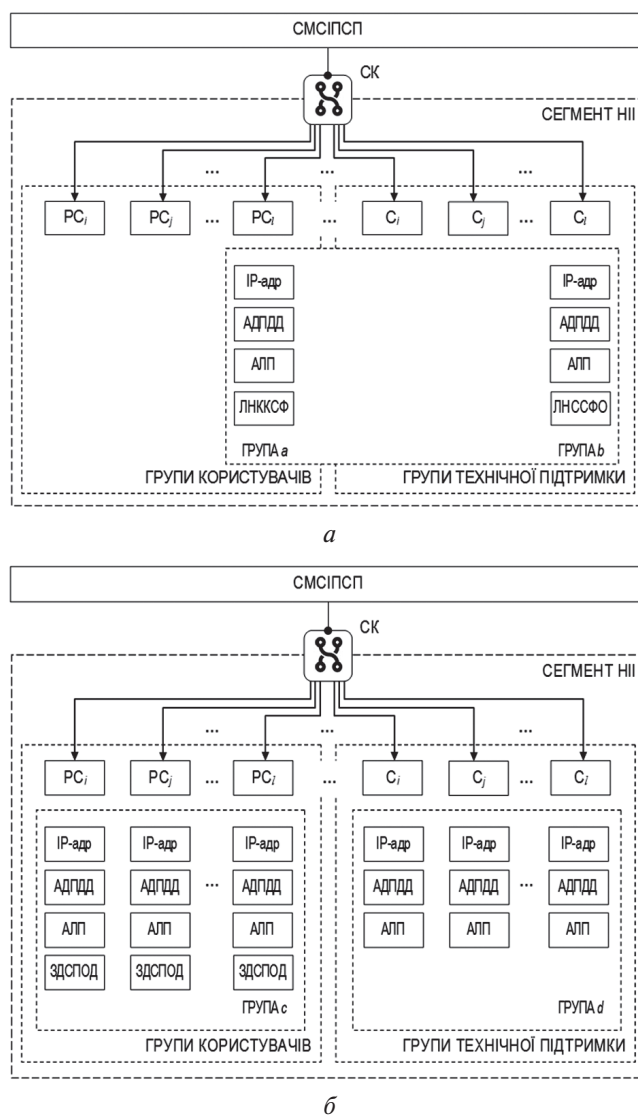


Рис. 3. Додаткові групи відомостей про інциденти інформаційної безпеки: *a* – відомості про загальне використання додатків користувачами та технічною підтримкою; *b* – відомості про розмешоване використання додатків користувачами та технічною підтримкою

Як випливає з вище приведенного, врахування сукупності визначальних ознак, веде до реалізації

можливості комплексної оцінки стану параметрів у системах забезпечення інформаційної безпеки з одночасною мінімізацією використовуваних ресурсів, а також використанням можливості адаптивного управління характеристиками процесу моніторингу. Це свідчить про те, що реалізація методу є можливою без доповнення контрольованих сегментів НІП додатковими активними сенсорами, які виконують моніторинг стану СЗІ. Це, у свою чергу, веде до підвищення ймовірності оцінювання стану захищеності контрольованих сегментів з одночасним підвищенням економічної ефективності СМСІПСП у цілому.

В основу роботи СМСІПСП, з незначними доробками, може бути покладено алгоритм, який приведено, наприклад, у [7]. Згідно до зазначеного джерела, алгоритм може забезпечити виявлення цифрових слідів інцидентів ІБ у контрольованих сегментах НІП.

Відомостей щодо аналогічних рішень щодо моніторингу стану систем забезпечення ІБ в інформаційних системах будь-якого призначення, не виявлено.

3. Практична перевірка рішення задачі пошуку слідів порушення інформаційної безпеки у спеціальних сегментах НІП

З метою практичної перевірки рішення задачі пошуку слідів порушення ІБ у спеціальних сегментах НІП, у відповідності до вище викладеного та даних, отриманих з [7], перелік параметрів, які підлягають контролю, а також їх значення, що використані у якості зразкових, та довільно обрані

коефіцієнти важливості груп, приведемо у вигляді табл. 1. Під поняттям «вимір» будемо розуміти результат роботи процедури отримання даних з журналів реєстрації інцидентів ІБ.

У табл. 1 темне поле означає, що контрольований параметр відноситься до вказаної групи. Значенням параметру може бути логічна «1» (ввімкнено), або логічний «0» (не ввімкнено). Зразковим значенням всіх параметрів, крім ІР-адреси, є логічна одиниця.

У табл. 1 незатемнене поле означає, що засобами СМСІПСП в даній групі значення параметрів не отримуються.

У рядках табл. 1, що відповідають «ІР-адр», містяться ідентифікатори контрольованих функціональних процесів ІБ. ІР-адреси, які закінчуються цифрою «1», у контрольованому сегменті Одеського національного економічного університету, присвоєні серверам. Отримані результати порівнювалися з даними з [7] на предмет відповідності відомим даним.

$t_z^{\text{звіт}}$ та Δt_z^{max} , які відповідають мінімальним та максимальним значенням інтервалів часу виміру значень параметрів, що контролювалися, а також $t_z^{\text{звіт}}$, тобто момент формування звіту про стан безпеки контрольованого сегменту, були задані довільно, але з врахуванням важливості інформації, яка була наявною у сегменті, а також потенційної уразливості контрольованих функціональних процесів та елементів цього ж сегменту.

Мінімальне значення інтервалів часу вимірів $t_z^{\text{звіт}}$ значень параметрів, які контролювалися, для кожної z -ї групи було встановлено таким, що

Таблиця 1

Порівняння контрольованих параметрів, їх зразкові значення та коефіцієнти важливості груп

Параметри	Елементи сегменту, який контролюється						Групи параметрів, які контролюються							
	PC _i		PC _j		C _l		Служби файлового обміну		Служби електронної пошти		Служби папок обміну		Служби мережевої взаємодії	
	Отримано з [7]	Задано	Отримано з [7]	Задано	Отримано з [7]	Задано	Отримано з [7]	Задано	Отримано з [7]	Задано	Отримано з [7]	Задано	Отримано з [7]	Задано
	$k_z^{\text{ваг}}$ груп контрольованих параметрів													
	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	3	2	3	3
ІР-адр	19168.77.1	19168.205.2 19168.205.3	19168.77.2	19168.205.3	19168.77.3	19168.205.1	19168.77.2 19168.77.3	19168.206.1	19168.77.1 19168.77.2	19168.207.1	19168.77.1 19168.77.2 19168.77.3	19168.208.1	19168.77.1 19168.77.2 19168.77.3	19168.209.1
АДПДД														
АЛП														
ЛНЗСЕП														
ЗДСПОД														
ЛНKKCFO														
ЛНССFO														

нижче нього процедура моніторингу була або неповною, або призводила до порушень нормально-го функціонування досліджуваного сегмента (аналог DDos-атаки). Один з прикладів з завданням часових характеристик моніторингу, відображено у табл. 2.

На рис. 4 приведено результат візуалізації даних для табл. 2.

Як видно з рис. 4, не зважаючи на значення часових характеристик, дані, які задавалися при проведенні досліджень, відрізняються від даних з [7], їх тренди для обох випадків практично збігаються, що свідчить про їх тотожність.

Наступний крок – завдання інтервалу часу виміру параметрів, які отримуються, для кожної z -ї групи (табл. 3, дані округлено).

Як видно з табл. 3, інтервал часу виміру параметрів встановлювався таким, що дорівнює максимальному, тобто $\Delta t_z^{\max}$. Відповідно до цього

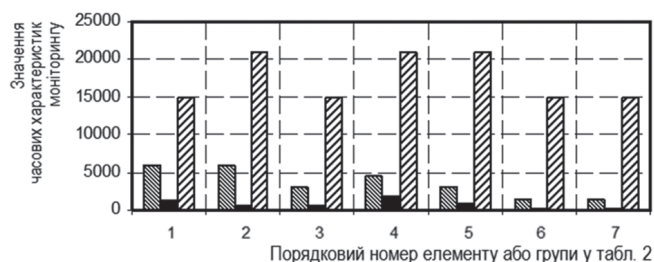
перший вимір параметрів виконувався для груп з коефіцієнтом важливості $k_z^{\text{вар}} = 3$ через довільний час, який, як рекомендовано у [7], дорівнював 25 хвилин, а для $k_z^{\text{вар}} = 2$ – 50. Аналогічно задавалися інші значення, які приведені у табл. 3. Темне поле у таблиці означає, що запити від СМСІПСП призвели до блокування роботи контрольованого елементу або до неможливості отримання даних про групу параметрів; знак «x» – кінець процедури моніторингу та формування звіту.

Згідно до [7], де описано алгоритм роботи СМСІПСП, у моменту часу $\Delta t_z^{\max}$ послідовно визначається значення параметрів у кожній із груп. Визначені значення порівнюються з їх попередньо встановленими зразковими значеннями. Якщо значення співпадають, то цикл моніторингу записів у журналах інцидентів інформаційної безпеки повторюється до тих пір, поки настане час формування звіту $t_z^{\text{звіт}}$. Так, як видно з табл. 3, на перших

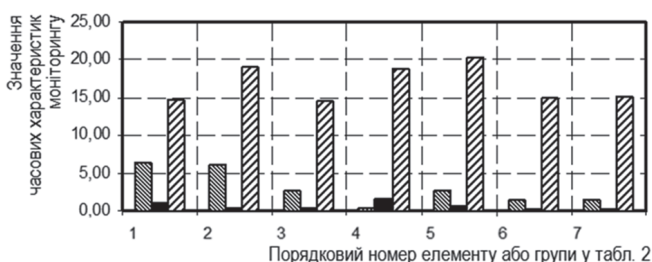
Таблиця 2

Приклад результатів, отриманих для інтервалів часу вимірів значень параметрів, які контролювалися

Часові характеристики моніторингу	Елементи сегменту, який контролюється						Групи параметрів, які контролюються							
	PC _i		PC _j		C _l		Служби файлового обміну		Служби електронної пошти		Служби папок обміну		Служби мережевої взаємодії	
	Порядковий номер контрольованого елементу або групи параметрів													
	1		2		3		4		5		6		7	
	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено
	k _z ^{вар} груп контрольованих параметрів													
	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	3	2	3	3
	IP-адреси													
	19168.77.1	19168.205.2 19168.205.3	19168.77.2	19168.205.3	19168.77.3	19168.205.1	19168.77.2 19168.77.3	19168.206.1	19168.77.1 19168.77.2	19168.207.1	19168.77.1 19168.77.2 19168.77.3	19168.208.1	19168.77.1 19168.77.2 19168.77.3	19168.209.1
	Δt _z ^{max} , сек	6000	6,30	6000	6,24	3000	2,64	4500	4,20	3000	2,76	1500	1,38	1500
Δt _z ^{min} , сек	1200	1,08	600	0,48	600	0,36	1800	1,62	900	0,66	300	0,30	300	0,30
t _z ^{звіт} , сек	15000	14,70	21000	19,08	15000	14,46	21000	18,78	21000	20,22	15000	15,06	15000	15,12



а



б

■ → $\Delta t_z^{\max}$; ▨ → $\Delta t_z^{\min}$; ■ → $t_z^{\text{звіт}}$

Рис. 4. Візуалізація даних табл. 2: а – задання даних відповідно до [7]; б – задання даних при проведенні досліджень

чотирьох кроках моніторингу ті значення, які вимірювалися, збіглися з еталонними (табл. 1, табл. 2). У таких випадках корекція інтервалів часу вимірів не проводилася. Тоді, коли вимірювані значення параметрів не співпадали з еталонними (у межах допусків, крок 5), то вони заносилися до пам'яті або до бази даних. Після цього проводилося корегування інтервалу часу вимірів згідно до формули (1). З табл. 3 видно, на п'ятому кроці виявлена розбіжність між заданими значеннями та тими, що отримані – 6 та 7 групи параметрів. Відповідно, значення інтервалів часу вимірів було піддано корегуванню, а саме:

$$\Delta t_6^{\text{кор}} = \frac{\Delta t_6^{\text{max}}}{k_6^{\text{ваг}}} \text{ та } \Delta t_7^{\text{кор}} = \frac{\Delta t_7^{\text{max}}}{k_7^{\text{ваг}}}.$$

Отримані значення відображено у тому рядку таблиці, який відповідає 5-му кроку. Як наслідок,

зміна інтервалу часу вимірів веде до того, що моніторинг 6 та 7 груп параметрів виконуватиметься частіше, починаючи з кроку 6. Це значить, що інтервал моніторингу скоротився та не є кратним 25 хв.

Далі необхідно порівняти відкориговане значення $\Delta t_z^{\text{кор}}$ з мінімальним $t_z^{\text{звіт}}$ і, так як у даному випадку $\Delta t_z^{\text{кор}} = \Delta t_z^{\text{max}}$ ($8 > 5$), то цикл аналізу необхідно повторити, переходячи до наступного кроку. Якщо на цьому кроці значення параметрів, які контролюються, в 6 та 7 групах знову не будуть відповідати зразковим, то значення інтервалу часу вимірів коректується повторно.

Так як значення умови $\Delta t_z^{\text{кор}} \leq \Delta t_z^{\text{min}}$ для 6 та 7 груп є позитивним, ($3 < 5$), то це свідчить про наявність слідів, залишених інцидентом ІБ, що призвело до виходу параметрів, які контролюються у 6

Таблиця 3

Інтервали часу виміру параметрів, які отримуються, для досліджуваних груп

Номер кроку моніторингу	Час моніторингу	Елементи сегменту, який контролюється						Групи параметрів, які контролюються							
		PC _i		PC _j		C _i		Служби файлового обміну		Служби електронної пошти		Служби папок обміну		Служби мережевої взаємодії	
		Порядковий номер контрольованого елементу або групи параметрів													
		1		2		3		4		5		6		7	
		Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено	Отримано з [7]	Встановлено
		$k_z^{\text{ваг}}$ груп контрольованих параметрів													
		1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	3	2	3	3
		IP-адреси													
		19168.77.1	19168.205.2 19168.205.3	19168.77.2	19168.205.3	19168.77.3	19168.205.1	19168.77.2 19168.77.3	19168.206.1	19168.77.1 19168.77.2	19168.207.1	19168.77.1 19168.77.2 19168.77.3	19168.208.1	19168.77.1 19168.77.2 19168.77.3	19168.209.1
		$\Delta t_z^{\text{кор}}$ для груп контрольованих параметрів													
1	25	–	–	–	–	–	–	–	–	–	25	25	25	25	
2	50	–	–	–	–	50	55	–	–	50	50	25	25	25	25
3	75	–	–	–	–	–	–	75	75	–	60	25	25	25	25
4	100	100	100	100	100	50	50	–	80	50	50	25	25	25	25
5	125	–	110	–	110	–	55	–	–	–	60	8	8	8	8
6	133	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3	3	3	3
7	150	–	–	–	–	25	25	75	75	50	50		–		–
8	175	–	–	–	–	12	15	–	80	–	60				–
9	187	–	–	–	–	6	6	–	–	–	–				
10	200	100	100	100	100		–	–	–	50	50				
11	225	–	120		120		–	75	75	–	60				
12	250	×	–	–	–			–	80	50	50				
13	275	–	–	–	–			–	–	–	60				
14	300	–	–	100	100			75	75	50	50				
15	325	–	–	–	120			–	80	–	60				
16	350	–	–	×	–			×	–	×	–				

та 7 групах за межі встановлених значень. Моніторинг інших груп параметрів продовжується до часу $t_z^{\text{звіт}}$ (8...16 кроки моніторингу). Після ухвалення рішення про відсутність слідів інцидентів ІБ, про це складається відповідний звіт.

Висновки

В процесі моніторингу щодо знайдення слідів інцидентів інформаційної безпеки у журналах записів, з високою ймовірністю можна виявити не тільки факт відмінності значень параметрів, що контролюються, від заданих, але й за рахунок їх групування по ваговому внеску, що веде підвищення ймовірності оцінювання стану захищеності контрольованого сегменту НІІ.

Динамічне управління інтервалом часу прийняття управляючого рішення про ретроспективний стан безпеки сегменту НІІ забезпечує підвищення економічної ефективності СМСІПСП, що є додатковим обґрунтуванням актуальності викладеного.

Приведені дані можуть бути використані для подальшого розвитку теорії забезпечення інформаційної безпеки у інформаційних структурах, а також для вирішення загальної науково-прикладної проблеми з розробки моделей та комплексних методів проактивного забезпечення інформаційної безпеки в когнітивних мережах, у яких основою побудови та управління є SDN-технології. При цьому може бути враховано існування некоректних задач, пов'язаних з невизначеністю процесів у СМСІПСП [9], та деструктивних впливів [10], які порушують вимоги щодо конфіденційності, цілісності та доступності. Рішення зазначеної проблеми, в порівнянні з існуючими принципами функціонування комплексних СЗІ, дозволяє розробити концепцію безпечної міграції даних та обчислювальних ресурсів у межах хмарних структур, а також розширити теоретичні та практичні межі загальних принципів функціонування СЗІ у них, що веде до підвищення ступеня захисту інформаційних процесів, які володіють властивостями невизначеності [11]. Доцільними питаннями, які є перспективними щодо подальших досліджень у галузі забезпечення інформаційної безпеки, є питання надійності та живучості СМСІПСП [12, 13].

Список літератури: 1. *Скопа, О. О.* Аналіз розвитку сучасних напрямів інформаційної безпеки автоматизованих систем [Текст] / О. О. Скопа, Н. Ф. Казакова // Системи обробки інформації. — Харків: Харківський ун-т Повітряних Сил ім.І.Кожедуба. — 2009. — № 7(79). — 2009. — С. 48-54. 2. *Казакова, Н. Ф.* Моніторинг інформаційних ресурсів в захищених інформаційних мережах [Текст] / Н. Ф. Казакова // Світ інформації та телекомунікацій: VII міжнар. наук.-техн. конф. студентства та молоді, 15-16 квітня 2010 р. — ДУІКТ: Київ. — С. 165-168. 3. *Казакова, Н. Ф.* Оцінка живучості систем моніторингу інформаційного простору [Текст] / Н. Ф. Казакова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — Харьков: Технологический центр. — 2012. — № 4/2(58). — С. 12-15. 4. *Казакова, Н. Ф.*

Визначення показників для вирішення завдань прогностичного контролю мультисервісних телекомунікаційних мереж [Текст] / Н. Ф. Казакова, О. О. Скопа // Сучасний захист інформації. — К.: ДУІКТ. — 2010. — Спецвипуск (4). — С. 55-61. 5. *Казакова, Н. Ф.* Застосування програмно реалізованого прогностичного контролю для вирішення практичних завдань забезпечення якості надання послуг у захищених інформаційних мережах [Текст] / Н. Ф. Казакова // Сучасна спеціальна техніка. — К.: Державний науково-дослідний інститут МВС України. — 2012. — № 2(29). — С. 86-95. 6. *Скопа, О. О.* Проблематика якості послуг Інтернет-провайдерів [Текст] / О. О. Скопа, С. Л. Волков, К. Б. Айвазова // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. — 2013. — № 1(2). — С. 27-31. 7. Спосіб моніторингу безпеки автоматизованих систем [Текст]: пат. № 2355024: МПК G06F15/00, G06F17/00 / Євстигнєєв О. С., Зорін К. М., Карпов М. О. [та ін.]; заявник та патентообладатч Військова академія зв'язу ім. С. М. Будьонного; заявл. 12.02.2007; опубл. 10.05.2009. 8. *Волков, С. Л.* Оптимізація параметрів телекомунікаційної мережі методом статистичної регуляризації [Текст] / С. Л. Волков, Н. Ф. Казакова // Сучасна спеціальна техніка. — К.: Державний науково-дослідний інститут МВС України. — 2012. — № 1(28). — С. 54-60. 9. *Казакова, Н. Ф.* Некоректні задачі відновлення даних у системах моніторингу інформаційного простору [Текст] / Н. Ф. Казакова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — Луганськ: СХУ ім. В.Даля. — 2012. — № 8(179). — Т. 1. — С. 325-332. 10. *Грабовський, О. В.* Регуляризація визначення показників якості функціонування ІВС з врахуванням нечіткості інформації [Текст] / О. В. Грабовський, С. Л. Волков, О. О. Скопа // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Нові рішення в сучасних технологіях. — 2013. — №26 (999). — С.169-174. 11. *Скопа, О. О.* Інтелектуальні автономні системи: концептуальні положення створення та функціонування [Текст] / О. О. Скопа, Є. В. Вавілов // Бионика интеллекта. — 2013. — №1(80). — С. 35-40. 12. *Грабовський, О. В.* Скорочення випробувань надійності ІВС за рахунок її функціональної надмірності [Текст] / О. В. Грабовський, Н. Ф. Казакова // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2013. — №2/1(10). — С. 24-27. 13. *Скопа, О. О.* Концепція контрольних випробувань резервних систем на основі біноміальної схеми [Текст] / О. О. Скопа, С. Л. Волков, А. В. Мінін // Інформаційна безпека. — 2011. — №2(6). — С.69-76. 14. *Петренко, С. А.* Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность [Текст] / С. А. Петренко, С. В. Симонов. — М.: АйТи; ДМК Пресс, 2004. — 384 с.

Надійшла до редколегії 18.02.2015

УДК 004.738.5:681.14, 621.396:681.142:004.621

Совершенствование метода мониторинга уровня информационной безопасности в специальных сегментах национальной информационной инфраструктуры / Н. Ф. Казакова, Т. И. Соклакова // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 56—64.

Приведены результаты усовершенствования метода мониторинга следов инцидентов информационной безопасности в ограниченной информационной структуре.

Показано, что при мониторинге следов инцидентов информационной безопасности в журналах записей есть возможность продемонстрировать факт отличия значений параметров, которые контролируются, от заданных. Отмечено, что за счет их группирования по весовому коэффициенту появляется возможность повышения вероятности оценивания состояния защищенности контролируемого сегмента. Также показано, что динамическое управление интервалом времени принятия управляющего решения о ретроспективном состоянии безопасности сегмента обеспечивает повышение экономической эффективности системы мониторинга. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития теории обеспечения информационной безопасности в информационных структурах. Они также могут быть применены для решения общей научно-прикладной проблемы по разработке моделей и комплексных методов проактивного обеспечения информационной безопасности в когнитивных сетях в которых основой построения и управления являются Sdn-технологии. Полученные результаты не противоречат принципам решения некорректных задач, которые связаны с неопределенностью процессов в системах мониторинга. Полученные решения, в сравнении с существующими принципами функционирования комплексных систем защиты информации, могут быть одной из составляющих концепции безопасной миграции данных и вычислительных ресурсов в пределах облачных структур. Они позволяют расширить теоретические и практические границы общих принципов функционирования систем защиты информации, что ведет к повышению степени защиты информационных процессов, которые владеют свойствами неопределенности.

Ил. 4. Библиогр.: 14 назв.

UDK 004.738.5:681.14, 621.396:681.142:004.621

Perfection of a method of monitoring the level of information security in a special segment of the national information infrastructure / N. F. Kazakova, T. I. Soklakova // *Bionics of Intelligense: Sci. Mag.* — 2015. — №1 (84). — P. 56–64.

The results of monitoring should be to improve the method of information security incidents in the restricted information structure. It is shown that the monitoring of trace information security incidents in the logs have an opportunity to demonstrate the fact of differences between the values of the parameters that are monitored on the specified. It is noted that due to their grouping on the weighting factor it is possible to increase the probability estimation state security monitored segment. It is shown that the dynamic time control manager making decisions about the security status of a retrospective segment enhances the economic efficiency of the monitoring system. The results can be used for further development of the theory of information security in the information structures. The results can be used to solve the problem of modeling and complex methods of proactive information security in cognitive networks in which the basis for building and managing are the SDN-technology. The results do not contradict the principles of solving ill-posed problems that are associated with the uncertainty of process monitoring systems. These solutions, in comparison with the existing principles of the functioning of complex information security systems, can be a component of the concept of safe migration of data and computing resources within the cloud structures. They allow you to extend the theoretical and practical limits of the general principles of functioning of information security systems, which leads to an increase in the degree of protection of information processes, which own properties uncertainty.

Fig. 4. Ref.: 14 items.

УДК 519.6



О.О. Литвин, Є.Л. Хурдей

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, hurdei@mail.ru

ОДНА ТЕОРЕМА ПРО ІНТЕРПОЛЯЦІЙНО-ПРОЕКЦІЙНІ ПОЛІНОМИ ВІД ДВОХ ЗМІННИХ n -ГО СТЕПЕНЯ З ВІДОМИМИ ПРОЕКЦІЯМИ ВЗДОВЖ ЗАДАНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕТИННИХ ПРЯМИХ

В роботі досліджується існування та єдиність інтерполяційно-проекційного полінома степеня n для не менше двох перетинних прямих. Доведено, що інтерполяційно-проекційні поліноміальні оператори точно відновлюють поліноми степеня $n = M - 1$. Доведено відповідні твердження для інтерполяційно-проекційних поліномів.

ІНТЕРПОЛЯЦІЙНО-ПРОЕКЦІЙНИЙ ПОЛІНОМ, ПЕРЕТИННІ ПРЯМІ, ПРОЕКЦІЯ, ЛІНІЙНО-НЕЗАЛЕЖНА СИСТЕМА

Вступ

Обчислювальна та прикладна математика широко використовує для розв'язання багатьох задач науки і техніки поняття інтерполяції функцій. Для побудови операторів інтерполяції використовують широко відомі інтерполяційні поліноми Лагранжа, в яких в явному вигляді написані формули з координатами точок інтерполяції і значеннями наближуваної функції в точках інтерполяції. Одним з найважливіших досягнень людства в кінці минулого століття є поява і широке використання комп'ютерної томографії, яка для наближення функції 2-х або 3-х змінних використовує інтеграли від неї (проекції) вздовж заданої системи ліній, що перетинають об'єкт дослідження (тобто область задання функцій $f(x, y)$ або $f(x, y, z)$ відповідно).

Щоб знайти інтерполяційний поліном, можна розв'язати систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно коефіцієнтів полінома, а можна зразу ж його записати у вигляді полінома Лагранжа.

В роботі [1] запропоновано метод побудови операторів інтерполяції функції $f(x) = f(x_1, x_2)$ на системі точок $A_{kl} = \Gamma_k \cap \Gamma_l$, де

$$\Gamma_k = \{(x_1, x_2) : \omega_k(x_1, x_2) = x_1 \omega_{k1} + x_2 \omega_{k2} - \gamma_k = 0\}, \\ k = \overline{1, M}.$$

1. Постановка проблеми

Розглянемо деякі твердження, доведені в роботі [1].

Накладемо на множину прямих $\{\Gamma_k\}, k = \overline{1, M}$ такі обмеження:

1. Ніякі три прямі з множини $\{\Gamma_k\}, k = \overline{1, M}$ не перетинаються в одній точці.

2. Кожна пряма Γ_i з множини $\{\Gamma_k\}$ перетинається з усіма іншими прямими, тобто серед прямих $\{\Gamma_k\}$ нема паралельних (дану умову можна послабити).

3. Для чисел $\delta_k = \int_{\Gamma_k} H_k^*(x) ds$ виконується нерівність

$$\delta_k = \int_{\Gamma_k} H_k^*(x) ds \neq 0, \quad H_k^*(x) = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^M \omega_i(x), k = \overline{1, M}.$$

Теорема. Нехай

$$f(x) \in K(\Omega) = \\ = C(\Omega) \cap \left\{ f(x) : \exists \int_{\Gamma} f(x) ds < \infty, \forall \Gamma, \Gamma \cap \Omega \neq \emptyset \right\}.$$

Тоді оператор

$$T_M f(x) = \sum_{k=1}^M H_k(x) \left[\int_{\Gamma_k} f(x) ds - \int_{\Gamma_k} \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^M f(A_{kl}) h_{kl}(x) ds \right] + \\ + I_{M-2} f(x), \quad (1)$$

де використано позначення

$$H_k(x) = \frac{H_k^*(x)}{\delta_k}; M = 2 \Rightarrow h_{12} \equiv 1;$$

$$M > 2 \Rightarrow h_{kl}(x) = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq k, l}}^M \frac{\omega_i(x)}{\omega_i(A_{kl})}, k \neq l;$$

$$I_{M-2} f(x) = \sum_{\substack{k, l=1 \\ k \neq l}}^M f(A_{kl}) h_{kl}(x),$$

задовольняє умові [1]

$$\int_I T_M f(x) ds = \int_I f(x) ds =: \gamma_l, l = \overline{1, M};$$

$$T_M x^\alpha \equiv x^\alpha, 0 \leq |\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2 \leq M - 1;$$

$$x^\alpha =: x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2}, \alpha = (\alpha_1, \alpha_2).$$

Лема. Інтерполяційний оператор I_{M-2} має властивості [1]:

$$I_{M-2} f(A_{kl}) = f(A_{kl}), k, l = \overline{1, M}, k \neq l,$$

$$I_{M-2} x^\alpha \equiv x^\alpha, 0 \leq |\alpha| \leq M - 2,$$

$$\forall f \in C^q(\Omega), 1 \leq q \leq M - 1 \Rightarrow f(x) = (I_{M-2} + r_{M-2}) f(x),$$

$$r_{M-2} f(x) = \int_0^1 \left[\frac{\partial^q}{\partial t^q} f(x^{(0)} + t(x - x^{(0)})) \right] \frac{(1-t)^{q-1}}{(q-1)!} dt - \\ - \sum_{\substack{k, l=1 \\ k \neq l}}^M h_{kl}(x) \int_0^1 \left[\frac{\partial^q}{\partial t^q} f(x^{(0)} + t(A_{kl} - x^{(0)})) \right] \frac{(1-t)^{q-1}}{(q-1)!} dt.$$

В даній роботі розв'язується задача: для M ($M \geq 2$) перетинних прямих, які задовольняють об-

меження 1 – 3, дослідити деякі питання пов'язані з існуванням та єдиністю полінома $P_n(x, y)$, який будемо називати інтерполяційно-проекційним поліномом, що має наступні властивості:

$$1. \quad P_n(x_{kj}, y_{kj}) = f(x_{kl}, y_{kl}), k = \overline{1, n}, j = \overline{k+1, M}. \quad (2)$$

$$2. \quad \int_{\Gamma_k} P_n(x, y) ds = \int_{\Gamma_k} f(x, y) ds = a_k, k = \overline{1, M}, \quad (3)$$

$\Gamma_k = \{(x, y) : \omega_k(x, y) = x\omega_{k1} + y\omega_{k2} - \gamma_k = 0\}, k = \overline{1, M}$
 $\omega_{k1}^2 + \omega_{k2}^2 = 1, (x_{kl}, y_{kl}) \in \Gamma_k \cap \Gamma_l, k \neq l$; числа a_k будемо називати проекціями, як це прийнято в комп'ютерній томографії.

2. Основні твердження роботи

Лема 1. Кількість точок перетину M прямих серед яких немає паралельних, тобто кожна пряма перетинається з усіма іншими $(M-1)$ прямими, причому в одній точці не перетинаються більше ніж дві прямі, дорівнює $Q_2(M) = \frac{M(M-1)}{2}$.

Доведення. Доведення будемо проводити методом математичної індукції. Дійсно

1. При $M = 1$ кількість точок перетину прямих $Q_2(1) = 0$;

2. При $M = 2$ кількість точок перетину прямих $Q_2(2) = 1$;

3. При $M = 3$ кількість точок перетину всіх трьох прямих $Q_2(3) = 3$.

Припустимо, що формула

$$Q_2(M) = \frac{M(M-1)}{2},$$

яка справедлива для $M = 1, M = 2$ і $M = 3$, виконується для довільного $M - 1$. Тобто

$$Q_2(M-1) = \frac{(M-1)(M-2)}{2}, M > 2.$$

Враховуючи, що додавання ще однієї прямої, яка повинна перетинатися з усіма іншими $M-1$ прямими, додасть $M-1$ нову точку. Тобто,

$$Q_2(M) = Q_2(M-1) + M-1 = \frac{(M-1)(M-2)}{2} + M-1 = \frac{M^2 - M}{2} = \frac{M(M-1)}{2}.$$

Отже, $Q_2(M) = \frac{M(M-1)}{2}$ – загальна кількість

точок перетину M прямих.

Лема 1 доведена.

Лема 2. Загальна кількість коефіцієнтів алгебраїчного полінома від 2-х змінних степеня n дорівнює

$$Q_1(n) = \frac{(n+1)(n+2)}{2}. \quad (4)$$

Доведення. Доведення будемо проводити методом математичної індукції. Дійсно

1. При $n = 0$ кількість коефіцієнтів $Q_1(0) = 1$;

2. При $n = 1$ кількість коефіцієнтів $Q_1(1) = 3$.

Припустимо, що формула (4) справедлива для $n-1$,

тобто, $Q_1(n-1) = \frac{n(n+1)}{2}$. Врахуємо, що збільшення степеня полінома з $n-1$ до n додасть всього $n+1$ одночленів і отримаємо многочлен вигляду $a_{n,0}x^n + a_{n-1,1}x^{n-1}y + \dots + a_{0,n}y^n$. Це означає, що загальна кількість коефіцієнтів в поліномі степеня n буде дорівнювати

$$Q_1(n) = Q_1(n-1) + n+1 = \frac{n(n+1)}{2} + n+1 = \frac{(n+1)(n+2)}{2}.$$

Таким чином, формула

$$Q_1(n) = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$$

згідно з методом математичної індукції доведена.

Лема 2 доведена.

Зауваження. Таким чином, кількість коефіцієнтів полінома степеня n , якщо $n = M-1$ буде дорівнювати $Q_1(n)|_{n=M-1} = Q_2(n)|_{n=M-1} + M$.

Лема 3. Існує поліном степеня n , який має властивості (2) – (3).

Доведення. Кількість точок, в яких виконується умова (2), дорівнює $Q_2 = Q_1 - M$, де

$$Q_1 = \frac{(n+1)(n+2)}{2}. \text{ Кількість умов (3) дорівнює } M.$$

Тому загальна кількість умов (2) – (3) дорівнює $Q_2 + M = Q_1$, таким чином кількість рівнянь (2) – (3) дорівнює кількості коефіцієнтів полінома $P_n(x, y)$ степеня n . Врахуємо, що всі функціонали, які входять у формування системи рівнянь (2) – (3) є лінійно незалежними, оскільки ні один із інтегралів (3), при зроблених припущеннях, не може бути виражений через інтеграли по всіх $M-1$ інших прямих заданої системи. Крім того інтеграли по цих прямих не можуть бути виражені через значення функції в точках перетину вказаних прямих для довільної функції $f(x, y)$. Звідси витікає, що якщо один поліном $P_1(x, y)$ степеня n збігається з другим поліномом $P_2(x, y)$ степеня n в точках перетину M прямих і інтеграли від $P_1(x, y)$ будуть дорівнювати інтегралам від $P_2(x, y)$ вздовж заданих прямих, то такі два поліноми тотожно рівні. Оскільки їх різниця буде поліномом $P_n(x, y) = P_1(x, y) - P_2(x, y)$ з властивостями:

$$\begin{cases} P_n(x_{kj}, y_{kj}) = 0, k = \overline{1, n}, j = \overline{k+1, M}, \\ \int_{\Gamma_k} P_n(x, y) ds = 0, k = \overline{1, M}, \end{cases}$$

Очевидно, ця система рівнянь є однорідною, має тривіальний розв'язок

$$a_j = 0, j = 0, \frac{(n+1)(n+2)}{2} - 1.$$

Таким чином, маємо, що $P_1(x, y) = P_2(x, y)$.

Лема 3 доведена.

Теорема. Якщо маємо M прямих і кожна з них перетинається з $(M-1)$ -ю іншою, в одній точці перетинаються тільки дві прямі, то оператор, який інтерполіє $f(x, y)$ в точках перетину цих прямих і проекції від якого вздовж заданих прямих дорів-

нують проекціям від $f(x, y)$, точно відновлює всі поліноми степеня $n = M - 1$.

Доведення. Розглянемо поліном степеня $n = M - 1$, який має $\frac{(n+1)(n+2)}{2}$ коефіцієнтів. Невідомі коефіцієнти знаходимо з системи рівнянь

$$\begin{cases} P_n(x_{kj}, y_{kj}) = f(x_{kj}, y_{kj}), k = \overline{1, n}, j = \overline{k+1, M} \\ \int_{\Gamma_k} P_n(x, y) ds = \int_{\Gamma_k} f(x, y) ds, k = \overline{1, M} \end{cases},$$

де $f(x_{kj}, y_{kj})$ — відомі значення функції $f(x, y)$ в точка $(x_{kj}, y_{kj}) = (x_{jk}, y_{jk})$ перетину прямих Γ_k і Γ_j , $k, j = \overline{1, M}$.

Враховуючи твердження попередньої леми 3 можемо стверджувати, що загальна кількість рівнянь (2) — (3) дорівнює $Q_1(n)|_{n=M-1}$. Тобто кількість рівнянь дорівнює кількості коефіцієнтів полінома $P_n(x, y)$ степеня n . Зазначимо, що всі точки (x_{kj}, y_{kj}) є різними за припущенням, що серед Γ_k , $k = \overline{1, M}$ немає паралельних. Крім того, ні один з інтегралів $\int_{\Gamma_k} f(x, y) ds, k = \overline{1, M}$ не може бути представлений у вигляді лінійної комбінації значень функції $f(x_{kj}, y_{kj})$ та інтегралів $\int_{\Gamma_j} f(x, y) ds, j = \overline{1, M}, j \neq k$.

Тобто, вся система функціоналів, які входять у формування системи рівнянь (2) — (3) є лінійно незалежними. Звідси витікає, що детермінант такої системи лінійних алгебраїчних рівнянь не дорівнює нулю, тобто система не вироджена і має єдиний розв'язок.

Теорема доведена.

Зауважимо, що на основі формули (1) можна довести, єдиність такого полінома степеня $n = M - 1$. Фактично формула (1) являє собою поліном найменшого степеня $n = M - 1$, який задовольняє заданим умовам (2) — (3).

3. Приклади

Приклад 1.

Нехай $M=3$ і задано три прямі Γ_k такі, що

$$\Gamma_k : \omega_k(x, y) = 0, k = \overline{1, 3},$$

де $\omega_k(x, y)$ задаються у вигляді

$$\begin{aligned} \omega_1(x, y) &= -hx + Ry - hR, \omega_2(x, y) = \\ &= -hx - Ry + hR, \omega_3(x, y) = 0, \end{aligned}$$

які перетинаються в точках

$$A_{12}(-R, 0), A_{13}(R, 0), A_{23}(0, h),$$

Нехай

$$P_2(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2$$

поліном степеня $n=2$ з $m=6$ невідомими коефіцієнтами, які знаходимо з системи рівнянь

$$\begin{cases} P_2(x_{kj}, y_{kj}) = f(x_{kj}, y_{kj}), l, k = \overline{1, 3}, l \neq k, l < k, \\ \int_{\Gamma_k} P_2(x, y) ds = \int_{\Gamma_k} f(x, y) ds, k = \overline{1, 3}; \end{cases}$$

де $f(x_{kj}, y_{kj})$ — відомі значення функції $f(x, y)$ в точка перетину прямих $\Gamma_k, k = \overline{1, 3}$ та з заданими проекціями функції.

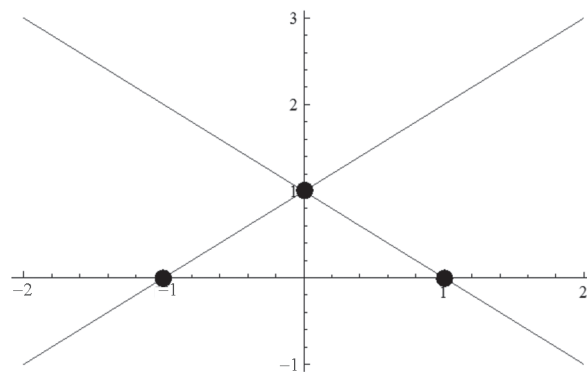


Рис. 1. Графіки прямих $\Gamma_k, k = \overline{1, 3}$ та точок їх перетину та $f(x, y) = 1 + 2x + 3y + 4x^2 + 5xy + 6y^2$.

Розв'язком системи є поліном

$$P_2(x, y) = 1 + 2x + 3y + 4x^2 + 5xy + 6y^2.$$

Таким чином, в цьому прикладі поліном 2-го степеня точно відновлюється відповідним інтерполяційно-проекційним поліномом 2-го степеня.

Приклад 2.

Нехай $M=4$ і задано чотири прямі Γ_k такі, що $\Gamma_k : \omega_k(x, y) = 0, k = \overline{1, 4}$, де $\omega_k(x, y)$ задаються у вигляді

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{x+y}{\sqrt{2}} - \frac{4}{5\sqrt{2}}, \omega_2 = \frac{5x-7y+2}{\sqrt{74}} \\ \omega_3 &= \frac{-x-8y+5}{\sqrt{65}}, \omega_4 = \frac{-6x-y+4}{\sqrt{37}} \end{aligned}$$

які перетинаються в точках

$$\begin{aligned} A_{12}\left(\frac{3}{10}, \frac{1}{2}\right), A_{13}\left(\frac{1}{5}, \frac{3}{5}\right), A_{14}\left(\frac{16}{25}, \frac{4}{25}\right), \\ A_{23}\left(\frac{19}{47}, \frac{27}{47}\right), A_{24}\left(\frac{26}{47}, \frac{32}{47}\right), A_{34}\left(\frac{27}{47}, \frac{26}{47}\right). \end{aligned}$$

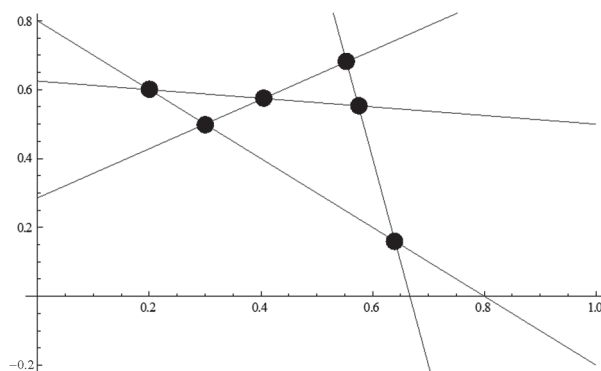


Рис. 2. Графіки прямих $\Gamma_k, k = \overline{1, 4}$ та точок їх перетину

та $f(x, y) = 1 + 2x + 3y + 4x^2 + 5xy + 6y^2 + 7x^3 + 8x^2y + 9xy^2 + 10y^3$.

Нехай

$$\begin{aligned} P_3(x, y) &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \\ &+ a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3 \end{aligned}$$

— поліном степеня $n=3$ з $m=10$ невідомими коефіцієнтами, які знаходимо з системи рівнянь

$$\begin{cases} P_3(x_{kj}, y_{kj}) = f(x_{kj}, y_{kj}), k, l = \overline{1, 4}, k \neq l, l < k, \\ \int_{\Gamma_k} P_3(x, y) ds = \int_{\Gamma_k} f(x, y) ds, k = \overline{1, 4}; \end{cases}$$

де $f(x_{kj}, y_{kj})$ — відомі значення функції $f(x, y)$ в точка перетину прямих $\Gamma_k, k = \overline{1, 4}$ та з заданими проекціями функції. Розв'язком системи є поліном

$$P_3(x, y) = 1 + 2x + 3y + 4x^2 + 5xy + 6y^2 + 7x^3 + 8x^2y + 9xy^2 + 10y^3.$$

Таким чином, в цьому прикладі поліном 3-го степеня точно відновлюється відповідним інтерполяційно-проекційним поліномом 3-го степеня.

Висновки

Таким чином, в даній роботі доведено, що введені інтерполяційно-проекційні поліноміальні оператори, які інтерполюють функцію $f(x, y)$ та проекції яких на заданій системі відрізків M прямих дорівнюють відповідним проекціям від наближеної функції $f(x, y)$, точно відновлюють поліноми степеня $n = M - 1$. Доведено відповідні леми та теореми. В роботі розглянуто приклади, в яких поліноми степеня $n = 3$ і $n = 4$ інтерполюють задану функцію $f(x, y)$. В подальшому автори планують узагальнити цей результат на систему M груп паралельних перетинних прямих.

Список літератури: 1. Литвин О. М. Інтерлінація функцій та деякі її застосування. — Х.: Основа, 2002. — 544 с. 2. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии: Пер. с англ./ Ф. Наттерер. — М.: Мир, 1990. — 279 с. 3. Пикалов В. В., Мельников Т. С. Томография плазмы // Новосибирск: Наука, 1995. — 345 с. 4. Филошин О. В. Малоракурсная томография в физическом эксперименте. // (Матер. 2 международной научно — пр. конф.). Высокие технологии и фундаментальные исследования. С — Петербург, 2006, т. 4. — С. 245—252. 5. Буштабер В. М., Маслов В. К. Математические модели и алгоритмы томосинтеза волновых полей в неоднородных средах, в кн.: Вопросы кибернетики. Математические проблемы томографии. — М., АН СССР, 1990. — С. 7—56. 6. Ключев В. В., Вайнберг Э. М., Ведмин В. Е., Казак И. А. Новое поколение рентгеновских вычислительных томографов для технической диагностики. Дефектоскопия. 19991, №1. — С. 81—86. 7. Льюис А. К., Наттерер Ф. Математические проблемы реконструктивной томографии. // ТИИЭР, т. 78, №3, 1983. — С. 111—126. 8. Вейнштейн Б. К. О нахождении строения объектов по проекциям // Кристаллография. 1972, т. 15, вып. 5. — С. 324—331. 9. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям. — М: Мир, 1983, 352 с. 10. Пикалов В. В., Преображенский Н. Г. Вычислительная томография и физический эксперимент. / УФН, 1983, т. 141, вып. 3. — С. 469—498.

Надійшла до редколегії 5.03.2015

УДК 519.6

Одна теорема об интерполяционно-проекционные полиномы от двух переменных n -й степени вдоль заданной системы пересекающихся прямых / О. О. Литвин, Е. Л. Хурдей // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 65—68.

Вычислительная и прикладная математика широко используют для решения многих задач науки и техники понятие интерполяции функций. В данной работе исследуются некоторые вопросы из существования и единственности интерполяционно-проекционного полинома $P_n(x, y)$ для M ($M \geq 2$) пересекающихся прямых. Доказано, что интерполяционно-проекционные полиномиальные операторы точно восстанавливают полиномы степени $n = M - 1$. В дальнейшем авторы планируют обобщить этот результат на систему M групп параллельных прямых.

Ил. 2. Библиогр.: 10 назв.

UDC 519.6

A theorem on polynomial interpolation-projection of two variables degree n along a given system intersecting lines / O. O. Lytvyn, E. L. Hurdei // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 65—68.

Computational and Applied Mathematics widely used for solving many problems of science and engineering concepts interpolation functions. In this paper investigates some questions of existence and uniqueness of polynomial interpolation-projection $P_n(x, y)$ for M ($M \geq 2$) intersecting lines. Proved that polynomial interpolation-projection operators to accurately restore the polynomial degree $n = M - 1$. In the future, the authors plan to generalize this result to a system M groups of parallel lines.

Fig. 2. Ref.: 10 items

УДК 625.72

О.І. Повзун¹, С.В. Кононихін², В.О. Лещинський³¹КІП ДВНЗ «ДонНТУ», м. Красноармійськ, Україна, povzun@meta.ua²КІП ДВНЗ «ДонНТУ», м. Красноармійськ, Україна, ksv1944@mail.ru³ХНУРЕ, м. Харків, Україна, V.Leshchinsky@kture.kharkov.ua

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ «ДЬОГОТЬ-ПОЛІСТИРОЛ» НА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОМУ РІВНІ

У статті проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію інтелектуальної системи «дьоготь — полістирол». Розраховано й побудовано тривимірні діаграми параметр оптимізації системи — фактори варіювання. За допомогою методів математичного планування експерименту визначені оптимальні концентрації полістиролу в дьогті відповідно до його в'язкості та термін приготування дьогтеполістирольного в'язучого.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ВАРІЙОВАНІ ФАКТОРИ, ПАРАМЕТРИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ФУНКЦІЯ ВІДКЛИКУ

Вступ

Нещодавно кам'яновугільні дьогті були основним в'язучим у дорожньому будівництві України. Однак наразі вони майже повністю витиснуті, оскільки за своїми технічними показниками поступаються дорожнім нафтовим бітумам. Не останню роль відіграє більш висока летючість дьогтів і, як наслідок, більша токсичність і помітніше забруднення навколишнього середовища під час виробництва і використання дьогтебетонів.

Одним з ефективних технологічних засобів поліпшення властивостей кам'яновугільних дьогтів є введення до їх складу у невеликій кількості полімерів або їх відходів.

Основна ціль введення полімеру в органічне в'язуче — зниження температурної чутливості в'язучого, тобто підвищення його жорсткості влітку і зменшення взимку. Друга ціль — надання в'язучому еластичності (здатності до відновлення початкових розмірів і форми при розвантаженні після значної деформації). Якщо ці цілі досягнуті, то дорожньо — будівельний матеріал на основі полімерорганічної в'язучої речовини має підвищені стійкість проти утворення залишкової деформації (колії) літом, поперечних температурних тріщин зимою та втомну тріщиностійкість (витривалість) при повторному вигині.

До найпоширеніших полімерів для модифікації органічних в'язучих відносяться поліетилен, полістирол, полівінілхлорид, SBS (стирол — бутадієн — стирол) тощо.

З усіх перелічених у даній роботі полімерів, які застосовують для поліпшення якості кам'яновугільних дьогтів, оптимізацію системи «дьоготь — полімер» здійснено лише для відходів полівінілхлориду (ПВХ) [1], математичне моделювання якого детальніше надано в [2]. Для цього було використано рівномірний симетричний квазі-ортогональний план для п'яти факторів на п'ятьох цілочисельних рівнях (-2; -1; 0; +1; +2) [3 – 5].

В роботі [6] надано технологічні режими приготування дьогтеполістирольних в'язучих (ДПВ),

але оптимізацію їх і складів ДПВ за допомогою методів математичного планування експерименту не було виконано.

Постановка задач дослідження. Розділяючи дорожню конструкцію на окремі шари, можна зазначити, що найбільш проблемною ділянкою є її основа. Наразі найпоширенішим типом дорожніх основ є щебеневі основи. Порівняно з основами з матеріалів і ґрунтів, укріплених цементом, щебеневі основи мають такі переваги, як відсутність потреби в змішувальних установках; висока технологічність, обумовлена можливістю тривалого зберігання в притрасових штабелях або безпосередньо на дорозі; допустимість транспортування і укладання в негоду; допустимість після розклинцівки і ущільнення основи відкриття по ній автомобільного руху і використання його як тимчасове покриття (стадійне будівництво); зручність під час виконання ремонтних робіт і реконструкції без перекриття автомобільного руху; просторова однорідність шару, що унеможливорює появу на зверху влаштованому асфальтобетонному покритті “відзеркалених тріщин”. Однак за всіх перелічених переваг даного типу основ на практиці рідко реалізуються потенційні можливості щебених матеріалів у підвищенні міцності дорожнього одягу.

Впродовж багатьох років при нормуванні вимог до щебеню для дорожніх основ фахівці керувались уявленням про вплив міцності породи: чим міцніший камінь, тим вище якість основи. Але насправді міцність каменя впливає на модуль пружності значно менше, ніж щільність укладання щебеню, яка у менш міцного каменя, що легко ущільнюється, виявляється вищою. Жорсткість ущільненого шару щебеню залежить від жорсткості контактів його окремих зерен; тому загальна пружна деформація від дії зовнішніх навантажень складається з елементарних пружних зближень пари зерен, що стикаються. У щебеню, що легко ущільнюється, площадки контактів зерен, утворених під час ущільнення, більші і, отже, пружні зближення пари зерен менше, ніж щебеню, що

важко ущільнюється. Цим і пояснюються вищі модулі пружності зі щебеню, що легко ущільнюється.

В цілому, основа дорожнього одягу, виконана з зернистого матеріалу (щебеню), не має достатньої жорсткості, що призводить до залишкових деформацій і перенапруженню в покриттях автомобільних доріг. Досвід будівництва і експлуатації дорожніх одягів з основами з укріплених кам'яних матеріалів свідчить про значну їх перевагу перед основами зі щебеню. До того ж, дрібнозерниста органомінеральна суміш додатково сприяє збільшенню площадок контактів між крупнішими зернами.

Метою даної роботи є розроблення математичної моделі для оптимізації системи «дьоготь – полістирол» на інтелектуальному рівні, отримуючи дьогтеполістирольне в'язуче, яке за фізико – механічними властивостями і екологічними характеристиками наближатиметься до бітуму нафтового дорожнього.

Використовуючи метод математичного планування експерименту, **задачами дослідження** є:

1. Визначення оптимальної умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди):

10 – діаметр стічного отвору, мм;

30 – температура витікання 50 мл в'язучого на стандартному віскозиметрі, °С.

2. Визначення оптимальної концентрації полістиролу в кам'яновугільних дьогтях різної в'язкості;

3. Визначення оптимального терміну виготовлення дьогтеполістирольного в'язучого (тобто раціонального часу суміщення полістиролу з дьогтем під час перемішування даної суміші).

Викладення основного матеріалу та результати

В даній роботі як об'єкт дослідження було прийнято:

– середовище, що модифікується, – кам'яновугільні дьогті – складені з середньо-температурного пеку і антраценового масла, що відповідають вимогам ГОСТ 4641;

– полімер – полістирольний пил (ПС) ВАТ «Концерн «Стирол» (м. Горлівка Донецької області) – відхід виробництва цехів суспензійної полімеризації стирулу, що утворюється під час відстоювання стічних вод. Він являє собою дрібнодисперсний порошок з максимальною крупністю частинок не більш за $6,3 \cdot 10^{-5}$ м. Істинна густина цих відходів дорівнює $1050 - 1100$ кг/м³, а насипна густина становить $650 - 720$ кг/м³; молекулярна маса – $9 \cdot 10^4$ в.о.

Дьогтеполімерне (дьогтеполістирольне) в'язуче (ДПВ) готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з полімером (від 0 % до 10 %) при температурі 105-110 °С впродовж 15–150 хвилин [6].

Для визначення оптимальної концентрації полістиролу в кам'яновугільних дьогтях різних в'язкостей і оптимального терміну виготовлення дьогтеполістирольних в'язучих було прийнято композиційний несиметричний план на трьох цілочисельних рівнях (-1; 0; +1).

Оптимальні склади систем «дьоготь – ПС» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1, X_2, X_3 (табл.1).

Таблиця 1

Значення варійованих факторів

Система			Фізичний зміст фактора		
			Умовна в'язкість дьогтю за C_{30}^{10} , с	Масова концентрація полістиролу, %	Час приготування дьогтеполістирольного в'язучого, хвил.
			X_1	X_2	X_3
Дьоготь-ПС	Інтервал варіювання		100	5	70
	Рівні фактора	-1	50	0	5
		0	150	5	75
		+1	250	10	145

Ці оптимальні області обмежені поверхнями рівня функції відклику за кожним з параметрів оптимізації (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри оптимізації системи

№ з.п.	Код параметра оптимізації	Фізичний зміст параметра оптимізації	Одиниці виміру	Граничні значення функції відклику
1	Y_1	Температура розм'якшення в'язучого	°С	Не менше 33
2	Y_2	Еластичність в'язучого при 0°С	%	Не менше 25
3	Y_3	Розтяжність в'язучого при 0°С	м	Не менше 0,9
4	Y_4	Водонасичення дьогтеполімербетону	%	Не більше 2,0
5	Y_5	Границя міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20°С	МПа	Не менше 2,2
6	Y_6	Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполімербетону	-	Не менше 0,75

Матриця планування експерименту і отримані значення параметрів оптимізації надані в табл. 3.

Таблиця 3

Матриця плану експерименту і отримані значення параметрів оптимізації

№ зп	X_1	X_2	X_3	Y_{11}	Y_{12}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{31}	Y_{32}	Y_{41}	Y_{42}	Y_{51}	Y_{52}	Y_{61}	Y_{62}
1	-1	-1	-1	10	12	0	0	0,98	1,00	3,0	3,6	1,5	1,7	0,3	0,5
2	0	-1	0	18	22	0	0	1,00	0,96	2,2	1,8	2,5	2,1	0,7	0,5
3	1	-1	1	22	24	0	0	0,01	0,03	1,9	2,1	2,2	2,6	0,8	0,6
4	-1	0	0	21	25	26	24	1,00	0,96	2,2	1,8	2,5	2,1	1,0	0,6
5	0	0	1	29	25	2	4	0,03	0,01	1,7	2,3	2,1	2,7	0,7	0,9
6	1	0	-1	31	35	13	11	1,00	0,97	3,1	3,5	1,4	1,8	0,6	0,4
7	-1	1	1	29	25	4	2	0,01	0,03	2,2	1,8	2,6	2,2	0,7	0,9
8	0	1	-1	33	29	10	14	0,06	0,04	3,6	3,0	1,8	1,2	0,7	0,5
9	1	1	0	33	37	9	7	0,97	1,00	2,2	1,8	1,8	1,4	0,5	0,9
10	-1	-1	1	12	10	0	0	0,04	0,02	1,7	2,3	2,1	2,7	0,6	0,4
11	1	-1	-1	20	24	0	0	0,96	1,00	3,6	3,0	1,2	1,8	0,7	0,5
12	-1	1	-1	26	28	7	9	1,00	0,97	3,1	3,5	1,8	1,4	0,4	0,6
13	1	1	1	37	33	4	2	0,03	0,01	1,8	2,2	2,7	2,1	0,9	0,7

За критерій оптимальності плану прийнято критерій Д – оптимальності, який пов'язаний з мінімізацією об'єму еліпсоїду розсіювання оцінок параметрів рівнянь регресії [7]. З урахуванням критерію оптимальності було побудовано план експерименту (табл. 4).

Таблиця 4

Матриця планування експерименту

№ зп	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ ·X ₂	X ₁ ·X ₃	X ₂ ·X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
4	1	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
6	1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
8	1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1
9	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
10	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
11	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
12	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Для створеного плану експерименту (табл. 4) за методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії за виразом [8]

$$b_i = (X^* \cdot X)^{-1} \cdot X^* \cdot Y, \quad (1)$$

де b_i – коефіцієнт рівняння регресії; X – матриця плану експерименту; X^* – транспонована матриця плану експерименту; $(X^* \cdot X)^{-1}$ – матриця, обернена до добутку матриці плану експерименту на його транспоновану матрицю; Y – вектор – стовпець результатів експерименту.

Обробка результатів експерименту і визначення коефіцієнтів рівнянь регресії з урахуванням їх значущості дозволили одержати поліноміальні моделі.

Статистичний аналіз отриманих результатів включає перевірку двох статистичних гіпотез:

- про значущість отриманих коефіцієнтів моделі;
- про адекватність представлення результатів експерименту здобутим рівнянням регресії [8], [9].

Коефіцієнти рівняння регресії підставлені в поліноміальну форму вигляду

$$Y_1 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2. \quad (2)$$

Для кожного з параметрів оптимізації за формулою (1) знайдено коефіцієнти регресії, які підставлені в рівняння (2). Рівняння регресії для кож-

ного параметра оптимізації мають такий вигляд:

$$Y_1 = 28,97 + 4,90X_1 + 6,79X_2 + 0,003X_3 - 1,03X_1X_2 + 0,06X_1X_3 - 0,014X_2X_3 - 0,70X_1^2 - 3,24X_2^2 - 1,22X_3^2; \quad (3)$$

$$Y_2 = 14,9 - 1,09X_1 + 3,39X_2 - 2,28X_3 - 0,24X_1X_2 + 0,054X_1X_3 - 2,07X_2X_3 + 3,91X_1^2 - 9,65X_2^2 - 6,24X_3^2; \quad (4)$$

$$Y_3 = 0,879 - 0,010X_1 - 0,098X_2 - 0,384X_3 - 0,043X_1X_2 + 0,046X_1X_3 + 0,089X_2X_3 + 0,311X_1^2 - 0,135X_2^2 - 0,614X_3^2; \quad (5)$$

$$Y_4 = 2,0 - 0,65X_3 + 4,55X_1X_3 + 9,08X_2X_3 + 31,50X_1^2 - 13,74X_2^2 + 0,65X_3^2; \quad (6)$$

$$Y_5 = 2,222 - 0,083X_1 - 0,075X_2 + 0,426X_3 - 0,062X_1X_2 + 0,050X_1X_3 + 0,033X_2X_3 - 0,072X_1^2 - 0,130X_2^2 - 0,086X_3^2; \quad (7)$$

$$Y_6 = 0,789 - 0,025X_1 - 0,058X_2 + 0,106X_3 - 0,057X_1X_2 + 0,014X_1X_3 + 0,048X_2X_3 - 0,036X_1^2 - 0,069X_2^2 - 0,091X_3^2. \quad (8)$$

Одержані рівняння регресії адекватні і задовольняють критерію Фішера; результати їх обробки представлені в табл. 5.

Відповідно до отриманих рівнянь регресії (3) – (8) побудовано поверхні відклику (рис. 1 – рис. 6), які показують залежність відповідного параметра оптимізації (Y_1 – Y_6) від умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1), масової концентрації полістиролу (X_2) і часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3).

З підвищенням умовної в'язкості дьогтю (X_1) від 50 с до 250 с за C_{30}^{10} і масової концентрації полістиролу (X_2) від 0 % до 10 % температура розм'якшення в'язучого (Y_1) зростає від 10 °С до 40 °С за майже прямою пропорційною залежністю (рис. 1, а). Зі збільшенням часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) від 5 хвил. до 145 хвил. вона зростає від 28 °С до 32 °С (рис. 1, б). Рисунок 1, в підтверджує закономірності, показані на рис. 1, а і рис. 1, б.

Максимальну еластичність (20 %) при 0 °С (Y_2) (рис. 2) і розтяжність (близько 1 м) при 0 °С (Y_3) (рис. 3) в'язуче має при масовій концентрації по-

Таблиця 5

Статистичні показники результатів обробки отриманих експериментальних даних

Показники	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
Сума дисперсій	26	11	30	0,47	0,52	0,11
Дисперсія досліду середня	5,333	0,846154	5,6667	0,1	0,1111	0,02333
Сума дисперсій моделі	4,8087	107,47	2665,4	0,00191	0,14103	0,02389
Дисперсія адекватності	0,3699	8,2668	205,03	0,00147	0,01084	0,00183
F _{Фішера} = D _{досл.} /D _{адекв.}	14,418	0,1023	0,0276	16,8	10,2420	12,6938

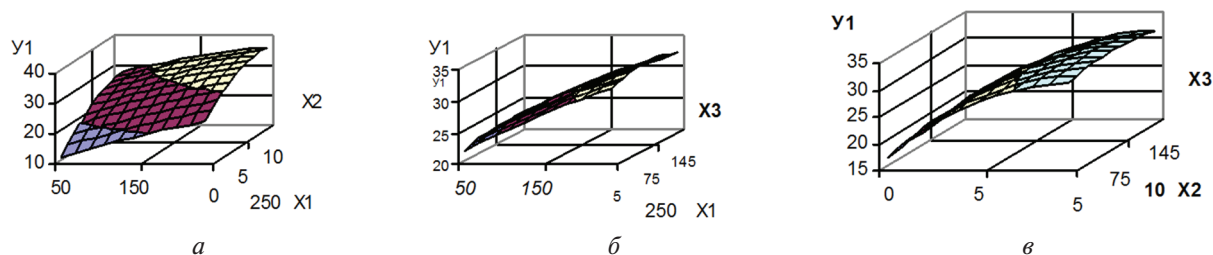


Рис. 1. Залежність температури розм'якшення в'язучого, °С (Y_1) від:

a – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
 b – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
 v – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

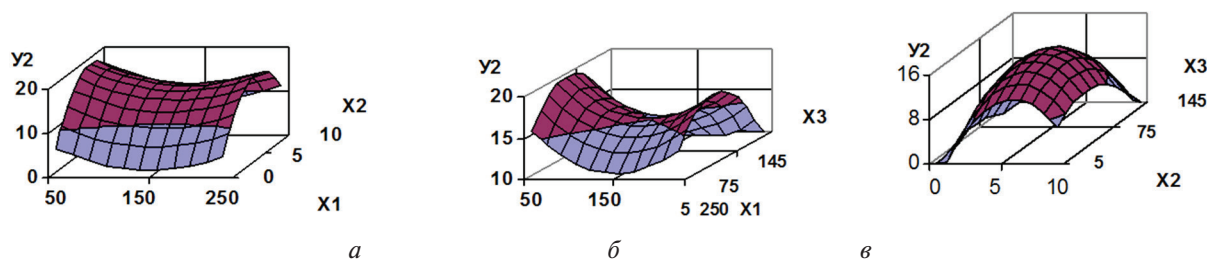


Рис. 2. Залежність еластичності в'язучого при 0 °С, % (Y_2) від:

a – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
 b – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
 v – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

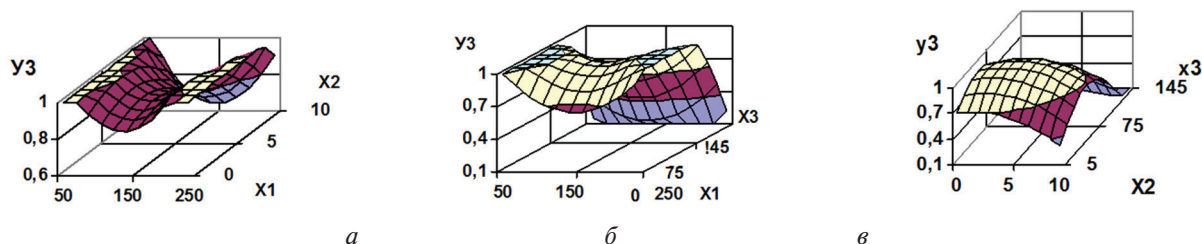


Рис. 3. Залежність розтяжності в'язучого при 0 °С, м (Y_3) від:

a – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
 b – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
 v – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

лістиролу (X_2) 5 % та часі приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) впродовж 75 хвилин.

При збільшенні часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) від 5 хвилин до 75 хвилин водонасичення дьогтеполімербетону (Y_4) зменшується з 3,3 % до 2% (рис. 4). Подальше суміщення полістиролу з кам'яновугільним дьогтем не призводить до зміни даного параметра оптимізації. Зростання умовної в'язкості дьогтю (X_1) від

50 с до 250 с за C_{30}^{10} і масової концентрації полістиролу (X_2) від 0 % до 10 % не змінює водонасичення дьогтеполімербетону (Y_4).

Тривимірна діаграма рис. 4, a відсутня, тому що коефіцієнти рівняння регресії (6) при X_1 та X_2 дорівнюють 0. Це означає, що на водонасичення дьогтеполімербетону ці фактори не впливають.

Поверхня функції відклику границі міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20°С, МПа (Y_3)

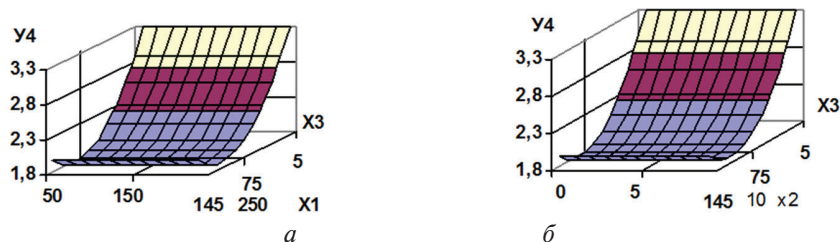


Рис. 4. Залежність водонасичення дьогтеполімербетону, % (Y_4) від:

a – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
 b – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

проходить через екстремум (майже при 2,3 МПа) при умовній в'язкості дьогтю 150 с за C_{30}^{10} (X_1) та масовій концентрації полістиролу (X_2) 5% (рис. 5, а). З підвищенням часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) від 5 хвилин до 145 хвилин зазначений параметр оптимізації змінюється з 1,5 МПа до 2,5 МПа майже лінійно (рис. 5, б, в).

Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) досягає екстремального значення (0,78) при умовній в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 75 с та масовій концентрації полістиролу (X_2) 10% (рис. 6, а). Збільшення умовної в'язкості дьогтю (X_1) з 50 с до 250 с за C_{30}^{10} без полімеру (нульова масова концентрація полістиролу X_2) за майже прямою пропорційною залежністю призводить до зростання коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від 0,55 до 0,7 (лише в кінці зазначеного діапазону поверхня функції відклику стає пологою). Підвищення часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) з 5 хвилин до 145 хвилин сприяє збільшенню коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від 0,55 до максимального значення 0,85 при умовній в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 250 с та масовій концентрації полістиролу (X_2) 10 % (рис. 6, б, в).

Отже, враховуючи граничні значення функцій відклику всіх параметрів оптимізації ($Y_1 - Y_6$), можна зазначити, що оптимальною системою «дьоготь — полістирол» буде при умовній в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 75 — 250 с, масовій концентрації полістиролу (X_2) 4,0–6,0 % та часі приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) впродовж 70–80 хвилин.

Висновки

Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «дьоготь — полістирол». За допомогою методів математичного планування експерименту на підставі розробленої математичної моделі та розрахованих й побудованих тривимірних діаграм «параметр оптимізації системи — фактори варіювання» доведено, що оптимальними концентраціями полістиролу в кам'яновугільних дьогтях є 4,0 — 6,0 % відповідно до їхніх в'язкостей $C_{30}^{10} = 75$ с — 250 с, а час приготування дьогтеполістирольного в'язучого становить 70 — 80 хвилин.

Проведення оптимізації дозволяє поліпшити якість кам'яновугільних в'язучих і одержати таким чином дьогтеполістирольне в'язуче з оптимальним комплексом фізико-механічних властивостей та екологічних характеристик. Воно з успіхом може бути застосоване для укріплення основ дорожніх одягів з горілих порід шахтних териконів. За своїми технічними показниками таке в'язуче наближається до дорожніх нафтових бітумів. При цьому заощаджується високовартісний нафтовий продукт, а також зменшуються забруднення навколишнього середовища та поліпшуються умови праці під час виробництва в'язучого і використання дьогтебетонів (леткі фракції дьогтю будуть частково поглинатися введеним полістиролом).

Список літератури: 1. Об особенностях структурообразования в дегтеполивинилхлоридных вяжущих / [В.И. Братчун, А.И. Повзун, М.К. Пактер и др.] [Текст] // Автошляховик України. — 1997. — № 3. — С. 34–35. 2. Математичне моделювання оптимізації системи «дьоготь — полімер — дерев-

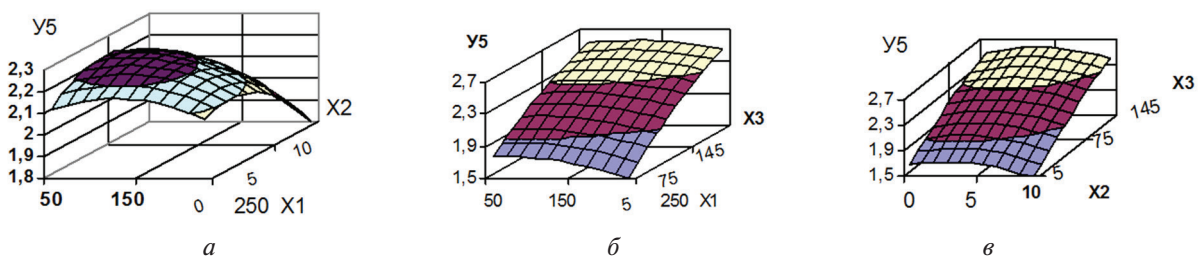


Рис. 5. Залежність границі міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20°C, МПа (Y_5) від:

- а — умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
б — умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
в — масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

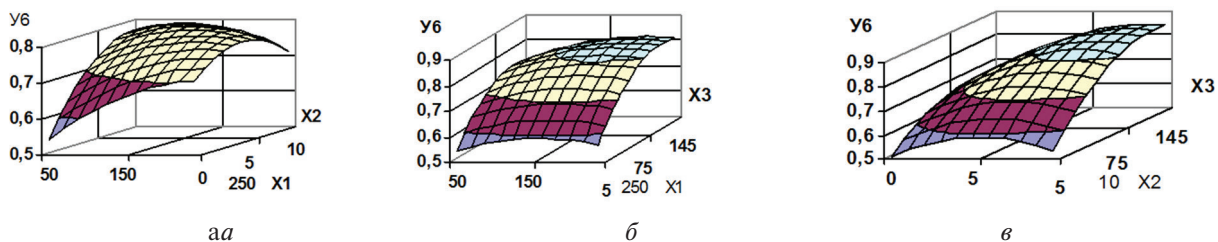


Рис. 6. Залежність коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від:

- а — умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
б — умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
в — масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

ний гідролізний лігнін» / [О.І. Повзун, С.В. Кононихін, Т.В. Горячева та ін.] [Текст] // Науково – теоретичний журнал «Штучний інтелект». – Донецьк: Інститут проблем штучного інтелекту МОН і НАН України. – 2014, – № 2. – С. 29–38. **3. Рафалес – Лемарка, Э.Э.** Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов [Текст] / Э.Э. Рафалес – Лемарка, В.Г. Николаев. – К.: Наукова думка, 1971. – 119 с. **4. Лисенков, А.Н.** Математические методы планирования многофакторных медико – биологических экспериментов [Текст] / А.Н. Лисенков. – М.: Медицина, 1979. **5. Рузинов, Л.П.** Планирование эксперимента в химии и химической технологии [Текст] / Л.П. Рузинов, Р.И. Слободчикова. – М.: Химия, 1980. **6. Повзун, О.І.** Про технологічні режими виготовлення дьогтеполімерних в'язучих на основі полістирольного пилу [Текст] / О.І. Повзун // Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – К.: «Будівельник», 1984. – Вип. 34. – С. 54–57. **7. Голикова, Т.И.** Свойства Д-оптимальных планов и методы их построения [Текст] / Т.И. Голикова, Н.Г. Микешина // Новые идеи в планировании эксперимента. – М.: 1969. – С. 34–39. **8. Кафаров, В. В.** Методы кибернетики в химии и химической технологии [Текст] / В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1971. – 496 с. **9. Налимов, В.В.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 30 с.

Надійшла до редколегії 12.03.2015

УДК 625.72

Математическое моделирование системы «дёготь – полистирол» на интеллектуальном уровне / О. И. Повзун, С. В. Кононихин, В. О. Лещинский // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2015. – № 1 (84). – С. 69–74.

Впервые в данной работе с помощью методов математического планирования эксперимента оптимизированы каменноугольные вяжущие, которые состоят из маловязких каменноугольных дёгтей и полимеров (первичные отходы производства полистирола). Оптимальными составляющими исследуемых систем являются: дёготь вязкостью $C_{30}^{10} = 75 - 250$ с – 100 %, полистирол – 4,0 – 6,0 %. Оптимальное время приготовления дёгтеполистирольного вяжущего составляет 70–80 минут.

Табл. 5. Ил. 6. Библиогр.: 9 назв.

UDK 625.72

Mathematical modeling of the system «pitch – polystyrene» at the intellectual level / O. I. Povzun, S. V. Kononishin, V. A. Leshchinskij // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2015. – №1 (84). – P. 69–74.

At first in article put a mathematical and computer research and optimization of the intellectual system “tar – polystyrene”. Using the methods of mathematical planning experiments on the basis of the developed mathematical model and designed and built a three-dimensional charts parameter optimization system – factors of variation it is shown that the optimal concentrations of polystyrene in coal tar there 4,0 – 6,0 % according to their viscosity $C_{30}^{10} = 75 - 250$ s, and the period of preparation dogeball binder is 70–80 minutes.

Tab. 5. Fig. 6. Ref.: 9 items.

УДК 004.94:617.758.1



Д.В. Кухаренко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
м. Кременчук, Україна, dimon-dimonovich@mail.ru

ПОБУДОВА МОДЕЛІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТУ ОПЕРАТИВНИХ ВТРУЧАНЬ НА ОКОРУХОВИХ М'ЯЗАХ ЛЮДИНИ

Побудовано та проаналізовано математичні моделі трьох нейронних мереж. Порівняльний аналіз запропонованих нейронних мереж показав, що нейронна мережа, яку побудовано і навчено з використанням значень ймовірностей результатів хірургічного втручання, навчається швидше і не схильна до перенавчання. Синтезовано структурну схему комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології окорухового апарату людини.

НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ПЕРЕДОПЕРАЦІЙНЕ ПЛАНУВАННЯ, ТЕСТУВАННЯ, ВИБІРКА, КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА

Вступ

Як відомо, важливою проблемою сучасної медицини є створення ефективних методів дозування та прогнозування оперативних втручання при різних патологіях, тобто передопераційне планування. Це необхідно для того, щоб хірург міг оцінити не тільки якісно, але і кількісно наслідки оперативних втручання, а також період реабілітації для кожного пацієнта окремо. Виконати це можливо за допомогою адекватної і спеціально побудованої для цього нейронної мережі. З економічної точки зору використання нейронних мереж в біомедицині є доцільним і високоприбутковим [4].

Постановка задачі. Прийняття рішень у медичній практиці завжди припускає якусь міру невизначеності. Невизначеність – найбільш складна ситуація для ухвалення рішення. Тобто застосування систем передопераційного планування на основі нейронної мережі може значно прискорити або спростити роботу лікаря, допомогти йому уникнути власних помилок. Завданням таких систем є визначення основних параметрів потрібних для передопераційного планування. Проте оскільки комп'ютерна система не може нести ніякої відповідальності за отриману з її допомогою інформацію, то вважається, що система передопераційного планування виступає тільки як консультант.

Метою роботи є створення нейронної мережі для допомоги лікарю-офтальмологу з планування оперативних втручання на окорухових м'язах людини, яка входить до складу комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології окорухового апарату людини, а також синтез структурної схеми цієї системи [5]. Нейронна мережа повинна ґрунтуватися на базі даних результатів вдалих операцій, які вже було проведено кваліфікованими офтальмо-хірургами. Для повноцінної роботи нейронної мережі необхідно визначитися з двома входними параметрами: кутом відхилення очного яблука від первинної позиції та радіусом ока [6].

1. Матеріал і результати досліджень

Для вирішення завдання передопераційного планування розроблено різні методи, які залежать від типу системи, що реалізується, та її призначення [2, 3, 7, 8]. Розробляються системи, засновані на статистичних і інших математичних моделях, – їх основою служать математичні алгоритми, що займаються пошуком зазвичай часткової відповідності між входними параметрами спостережуваного пацієнта і входними параметрами пацієнтів, діагнози яких були раніше відомі.

Методи прийняття рішень можна розділити на формалізовані (математичні) і неформалізовані (штучний інтелект) [1]. Визначення результату прогнозування можна представити як подію, яка виникає при виявленні сукупності входних даних про патологію окорухового апарату у пацієнта. Ймовірність настання деякої події може приймати значення від 0 (подія ніколи не настане тобто не буде здійснено передопераційне планування або результат планування буде помилковий) до 1 (подія настане у будь-якому випадку тобто результат планування буде вірний). Ймовірність позначимо символом $P(H)$, де H – гіпотетична подія, що цікавить нас. Якщо $P(H)$ є ймовірність настання події $P(H)$, то є також ймовірність ненастання цієї події $P(\bar{H})$. Обидві величини зв'язані співвідношенням $P(H) + P(\bar{H}) = 1$.

Спільна ймовірність настання двох подій, наприклад, ймовірність одночасного існування гіпотетичної події H (результату передопераційного планування) і розрахованого моменту сили деякої ділянки відповідного окорухового м'яза S позначається $P(H \& S)$. Умовну ймовірність настання події H за умови, що подія S уже настала, позначимо $P(H:S)$.

У загальному випадку: $P(H \& S) = P(S) \cdot P(H:S)$. Аналогічно: $P(H \& S) = P(H) \cdot P(H:S)$.

Оскільки

$$P(H \& S) = P(H \& S), \text{ то й } P(S) \cdot P(H:S) = P(H) \cdot P(H:S), \text{ тобто } P(H:S) = P(H) \cdot P(H:S) / P(S).$$

Отже, ймовірність настання події H за умови наявності події S дорівнює ймовірність події H помноженої на апіорну ймовірність настання події S за умови наявності події H , і діленої на повну ймовірність події S .

Повною системою подій називається сума ймовірностей несумісних подій, тобто подій, ймовірність сумісної появи яких дорівнює нулю. Повну ймовірність події S можна представити, як суму умовної ймовірності настання події S за умови наявності події H і умовної ймовірності настання події S за умови відсутності події H , тобто:

$$P(S) = P(S : H) \cdot P(H) + P(S : \bar{H}) \cdot P(\bar{H}).$$

(Оскільки обое додатків залежні, сума їхніх ймовірностей не завжди є одиниця). Тепер необхідно визначити остаточний варіант формули, що відома, як формула Байєса:

$$P(H : S) = P(S : H) \cdot P(H) / (P(S : H) \times P(H) + P(S : \bar{H}) \cdot P(\bar{H})).$$

Коли обчислено ймовірності всіх результатів хірургічного втручання, що плануються, система сортує їх за спаданням й пред'являє користувачеві оптимальний варіант дозування оперативних втручань для конкретного хворого. Можливо також застосування розтягнутої шкали відповідей. Тобто якщо досвідчений хірург відповідає, наприклад, по шкалі $A = -5 \dots 0 \dots +5$, то варто обчислити обидва результати (для відповіді "тверде ТАК" — $P(H : S)$, і для відповіді "тверде НІ" — $P(H : (\bar{S}))$), а потім обчислити їхню зважену суму за формулою:

$$P(H : S) = P(H : S) \cdot P(A) + P(H : (\bar{S})) \cdot (1 - P(A)),$$

де $P(A) = 0,5 + 0,1 \cdot A$.

Розглянута шкала відповідей застосовується у комп'ютерній системі передопераційного планування тільки в період навчання. Після навчання, коли комп'ютерна система може приймати рішення самостійно, вона не потрібна.

Розглянемо штучний нейрон (нейроподібний елемент), який представляє собою елементарний обчислювальний пристрій, що має обмежений об'єм пам'яті, яка реалізована у вигляді вагових коефіцієнтів і функціонує у відповідності до наступної схеми:

$$y = \psi(\phi(x, w)),$$

де $x = \{x_i\}$ — множина входів нейрона, x_i — значення сигналу на i -м вході нейрона ($i=1, 2, \dots, N$), N — кількість входів нейрона, $w = \{w_0, w_1, w_2, \dots, w\}$ — набір вагових коефіцієнтів (або пам'ять) нейрона, ϕ — дискримінантна функція нейрона, ψ — функція активації нейрона, y — значення сигналу на виході нейрона [10].

Як дискримінантну функцію нейрона необхідно використати зважену суму вхідних сигналів:

$$\phi(x, w) = w_0 + \sum_{i=1}^N w_i x_i,$$

або функцію відстаней між вектором вхідних сигналів і вектором вагових коефіцієнтів:

$$\phi(x, w) = \|x - w\| = \sum_{i=1}^N (x_i - w_i)^2.$$

Як функцію активації найчастіше застосовують:

$$\text{— порогову: } \psi(S) = \begin{cases} 0, & S \leq Q \\ 1, & S > Q \end{cases},$$

$$\text{— лінійну: } \psi(S) = kS;$$

$$\text{— сигмоїдальну: } \psi(S) = \frac{1}{1 + e^{-S}},$$

де $S = \phi(x, w)$, Q — порогова величина.

У відомому персептроні Розенблатта [9], що складається із сенсорного, асоціативного і регульованого шарів, не завжди досягається оптимальна складність, оскільки зв'язки між першим і другим шаром на думку автора повинні бути надлишковими і випадковими. Також існують методи випадкового пошуку для зниження надмірності зв'язків, при цьому вибираються такі з них, що здатні знизити величину емпіричної функції втрат. У рамках цього методу пошук шуканої структури, що містить один асоціативний шар із заданого числа нейронів, завершується при досягненні встановленої кількості невдалих спроб знизити величину функції втрат. Внесені ззовні обмеження призводять до того, що шукана структура нейронної мережі виявляється умовно оптимальною.

2. Побудова нейронних мереж для передопераційного планування

Як вузьку предметну область було обрано деякі можливі оперативні втручання з приводу косоокості, а саме:

- 1) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OX зправа наліво;
- 2) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OX зліва направо;
- 3) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OZ вверху вниз;
- 4) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OZ знизу вверху;
- 5) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OY за годинниковою стрілкою;
- 6) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OY проти годинникової стрілки;
- 7) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OX зправа наліво;
- 8) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OX зправа наліво;
- 9) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OZ вверху вниз;
- 10) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OZ знизу вверху;
- 11) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OY за годинниковою стрілкою;

12) резекція відповідного окорухового м'яза та обертання ока відносно осі ОУ проти годинникової стрілки.

Було визначено списки можливих операцій за обчисленими моментами сил деяких ділянок відповідних м'язів і сформована матриця дихотомічних оцінок значимості розрахованих даних (табл. 1). Також було розроблено і програмно реалізовано базову версію нейронної мережі стандартної архітектури – персептрон, що має 30 входів, 12 виходів і один схований шар. Функція активації прихованого шару – лінійна. Функція активації вихідного шару – сигмоїдальна. Вхідним сигналом мережі є вектор оцінок ступеня виразності симптомів. Значення оцінок ступеня виразності знаходяться в діапазоні (0...1). Фрагмент структури нейронної мережі показаний на рис. 1.

Для навчання і тестування нейронної мережі необхідні навчальна і тестова вибірки. Генерація прикладів здійснювалася по «принципі варіювання даних» – методиці, ідея якої почерпнута з роботи [11]. У експериментах з такими мережами використовувалися три варіанти векторів вагових коефіцієнтів схованого шару, що задаються апріорно. У першому варіанті коефіцієнти були дихотомічними (0 і 1) відповідно до даних табл. 1. У другому варіанті коефіцієнти відповідали умовним ймовірностям наявності розрахованих даних при наявності результатів операцій: $w_{ij} = P(S_i; H_j)$.

У третьому варіанті коефіцієнти обчислювалися за наступною формулою:

$$w_{ij} = P(S_i; H_j) / P(S_i; \bar{H}_j).$$

Тобто, у цьому випадку враховувалися і ймовірності наявності даного моменту сили ділянки i -го м'яза S_i при відсутності даного операційного планування H_j . Схований шар експериментальних мереж містить 12 нейронів за числом можливих операцій.

На рис. 2 показано процес та динаміку навчання мереж. Видно, що використання апріорно заданих коефіцієнтів позитивно впливає на швидкість навчання, причому найбільшу швидкість навчання має мережа за варіантом три. Крім того, видно, що

Таблиця 1

Дихотомічні ознаки захворювань

№ $T_{io}(z)$	Розраховані моменти сил ділянок окорухових м'язів	Результат операції											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	M_{MRS1}			+	+	+	+			+	+	+	+
2	M_{MRS2}			+	+	+	+			+	+	+	+
3	M_{MRS3}			+	+	+	+			+	+	+	+
4	M_{MRS4}			+	+	+	+			+	+	+	+
5	M_{MRS5}			+	+	+	+			+	+	+	+
6	M_{MRI1}			+	+	+	+			+	+	+	+
7	M_{MRI2}			+	+	+	+			+	+	+	+
8	M_{MRI3}			+	+	+	+			+	+	+	+
9	M_{MRI4}			+	+	+	+			+	+	+	+
10	M_{MRI5}			+	+	+	+			+	+	+	+
11	M_{MRL1}	+	+			+	+	+	+			+	+
12	M_{MRL2}	+	+			+	+	+	+			+	+
13	M_{MRL3}	+	+			+	+	+	+			+	+
14	M_{MRL4}	+	+			+	+	+	+			+	+
15	M_{MRL5}	+	+			+	+	+	+			+	+
16	M_{MRM1}	+	+			+	+	+	+			+	+
17	M_{MRM2}	+	+			+	+	+	+			+	+
18	M_{MRM3}	+	+			+	+	+	+			+	+
19	M_{MRM4}	+	+			+	+	+	+			+	+
20	M_{MRM5}	+	+			+	+	+	+			+	+
21	M_{MOS1}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
22	M_{MOS2}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
23	M_{MOS3}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
24	M_{MOS4}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
25	M_{MOS5}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
26	M_{MOI1}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
27	M_{MOI2}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
28	M_{MOI3}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
29	M_{MOI4}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
30	M_{MOI5}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

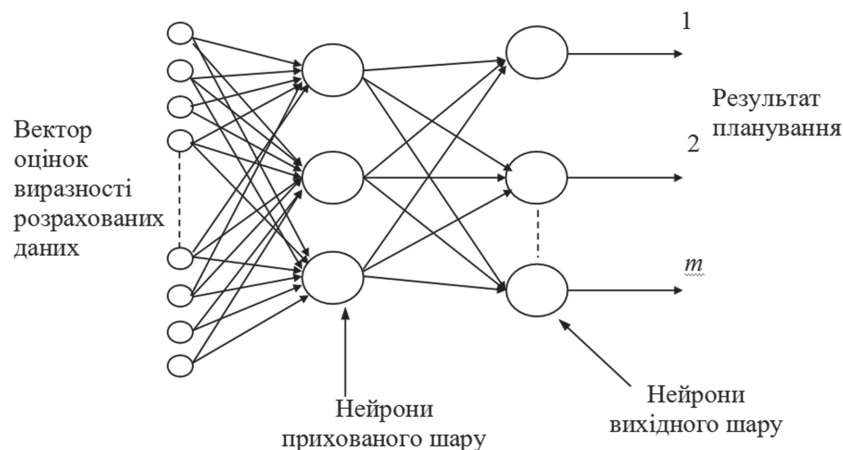


Рис. 1. Структура побудованої нейронної мережі

стандартна мережа схильна до перенавчання, коли число циклів навчання наближається до 70. У інших варіантах мереж ефект перенавчання при зазначеному числі циклів не відзначений.

Для тестування генерувалася вибірка, що містить 110 прикладів. Повна помилка мережі обчислювалася як сума середніх квадратичних помилок мережі за кожним пред'явленим прикладом, віднесено до числа пред'явлених прикладів. На діаграмі рис. 3 видно, що мережі під номером два і три помітно перевершують інші варіанти за точністю передопераційного планування.

Можна також відзначити, що нейронна мережа, побудована за даним методом є логічно прозорою, тобто результати її роботи легко інтерпретуються, наприклад у вигляді дерева вирішальних правил “Якщо – То”.

Випробування комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості на основі нейронної мережі у медичному закладі показали її високу ефективність, що підтверджено актом випробувань та актом впровадження в навчальний процес. Для експериментів з

використанням знань для синтезу архітектури нейронної мережі прямого поширення розроблено методи, що реалізують процес медичного планування захворювань очорухового апарату в офтальмології. Порівняльний аналіз трьох нейронних мереж показав, що нейронна мережа, побудована і навчена з використанням значень ймовірностей результатів хірургічного втручання, навчається швидше і не схильна до перенавчання. Зважаючи на матеріал представлений вище, можна синтезувати структурну схему комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології очорухового апарату людини (рис. 4).

Висновки

Побудовано та проаналізовано математичні моделі трьох нейронних мереж. Порівняльний аналіз запропонованих нейронних мереж показав, що нейронна мережа, побудована і навчена з використанням значень ймовірностей результатів хірургічного втручання, навчається швидше і не схильна до перенавчання. Тобто для адекватного передопераційного планування буде використовуватись

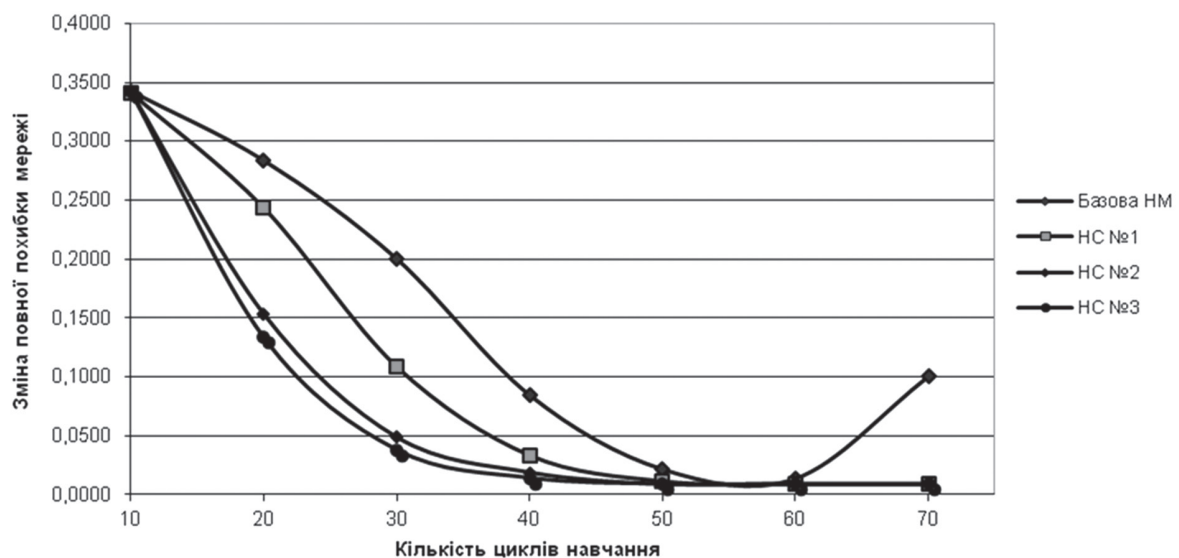


Рис. 2. Динаміка навчання нейронних мереж

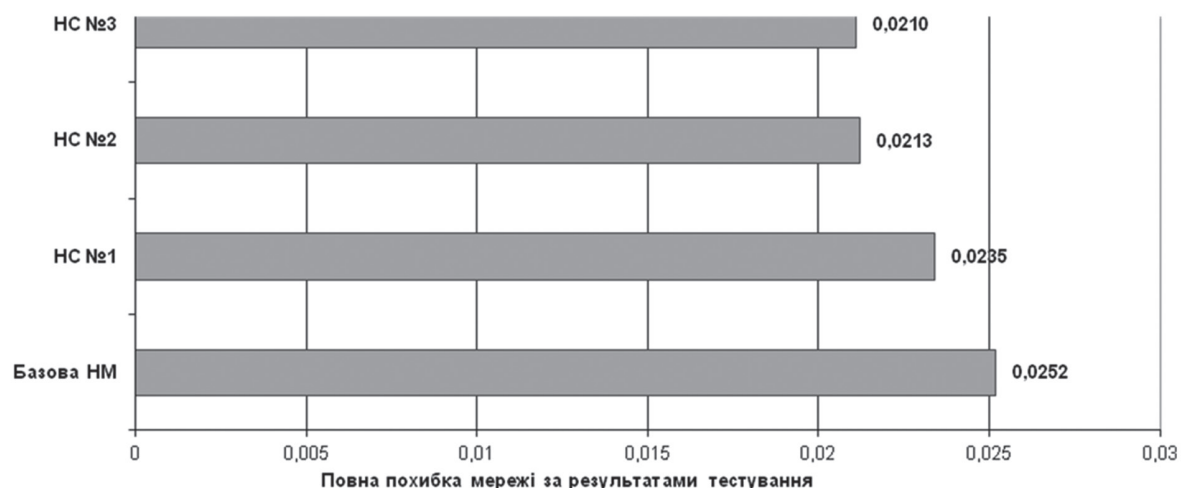


Рис. 3. Порівняння повної похибки мереж за результатами тестування

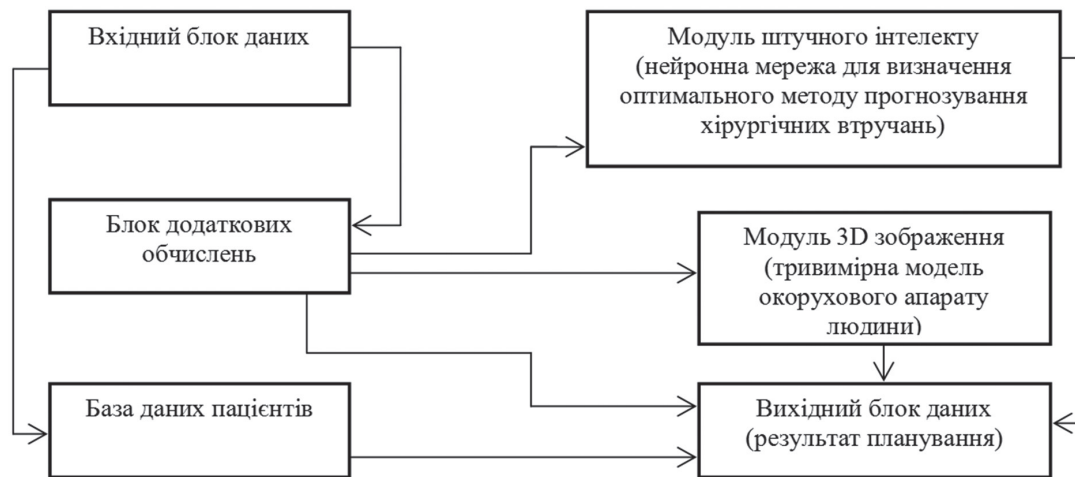


Рис. 4. Синтезована структурна схема комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології очорухового апарату людини

нейронна мережа під номером три. Випробування комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості на основі нейронної мережі у медичному закладі показали її високу ефективність, що підтверджено актом випробувань.

Синтезовано структурну схему комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології очорухового апарату людини, яка складається з наступних блоків: модуль 3D зображення (тривимірна модель очорухового апарату людини), модуль штучного інтелекту (нейронна мережа для визначення оптимального методу прогнозування хірургічних втручань), блок додаткових обчислень, база даних пацієнтів, блоки вхідних та вихідних даних.

Список літератури: 1. Байдык Т. Н. Нейронные сети и задачи искусственного интеллекта / Т. Н. Байдык — К.: Наукова думка, 2001. — 263 с. 2. Ємченко В. І. Про дію очорухових м'язів на людське око при патології очорухового апарату / В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилах // Офтальмол. журн. — 2008. — №1. — С.19-23. 3. Кирилах Н. Г. Математична модель дії очорухових м'язів при обертанні ока / Н. Г. Кирилах // Вісник запорізького державного університету. — 2008. — №1. — С. 83—91. 4. Кремер Н. Ш. Эконометрика : Учебник для вузов / Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко; под ред. проф. Н. Ш. Кремера. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. — 311 с. 5. Кухаренко Д. В. Етапи створення комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості. / Д. В. Кухаренко, О. Г. Аврунін // Східно-європейський журнал передових технологій. — Харків, 2013. — № 6/9 (66). — С. 26—31. 6. Кухаренко Д. В. Медико-технічні вимоги та практичне застосування комп'ютерної системи передопераційного планування / Д. В. Кухаренко, О. Г. Аврунін, Т. В. Мунтян // Науковий журнал «Нові технології». Вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. — Кременчук: КУЕІТУ, — №3—4 (41—42), 2013. — С. 70—75. 7. Патент на корисну модель № 37269, МПК А61В 3/00. Спосіб розрахунку координат об'єктів на поверхні очного яблука. Д. В. Кухаренко, В. О. Моспан, В. І. Ємченко; заявник та патентовласник Кухаренко Дмитро Володимирович, № u200806807, заяв. 19.05.208, опубл. 25.11.2008. — Бюл. №22. 8. Патент на

корисну модель № 80907, МПК А61В 3/00. Спосіб розрахунку моментів сил очорухових м'язів на поверхні моделі очного яблука / Д. В. Кухаренко, В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилах; заявник та патентовласник Кухаренко Дмитро Володимирович, № u201300461, заяв. 14.01.2013, опубл. 10.06.2013. — Бюл. №11. 9. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга / Ф. Розенблатт. — М.: Мир, 1965. — 480 с. 10. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен. — М.: Мир, 1992. — 423 с. 11. Эддоуз М. Методы принятия решений. Пер. с англ. / М. Эддоуз, Р. Стендсфилд; под ред. чл. кор. РАН И. И. Елисеевой. — М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. — 590 с.

Надійшло до редколегії 26.03.2015

УДК 004.94:617.758.1

Построение модели нейронной сети компьютерной системы для прогнозирования результата оперативных вмешательств на глазодвигательных мышцах / Д. В. Кухаренко // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 75—79.

Принятие решений в медицинской практике всегда предполагает некую степень неопределенности. Неопределенность — наиболее сложная ситуация для принятия решения. То есть применение систем предоперационного планирования на основе нейронной сети может значительно ускорить или упростить работу врача, помочь ему избежать ошибок. Испытания предложенной нейронной сети в медицинской практике показали ее высокую эффективность, что подтверждено актом внедрения.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. 11 назв.

UDC 004.94: 617.758.1

Building a model of neural network computer system for predicting the outcome of surgical interventions on the eye muscles / D.V.Kuharenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 75—79.

Decision-making in medical practice always involves some measure of uncertainty. Uncertainty — the most difficult situation for a decision. That is, the use of preoperative planning based on neural network can greatly speed up or simplify the doctor to help him escape his own mistakes. The tests proposed neural network in medical practice have shown high efficiency, which is confirmed by the act of testing.

Tab. 1. Fig. 4. Ref.: 11 items.

Ю.Л. Дикова¹, Е.Е. Федоров²¹ДонНТУ, г. Красноармейск, juli.dikova@gmail.com²ДонНТУ, г. Красноармейск, fedorovee75@mail.ru

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО СПОСОБА ДИАГНОСТИКИ ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В данной научной статье предложен нейросетевой способ комплексной диагностики горно-шахтного оборудования. В основу способа положена модель нечеткой нейронной сети. На этапе фазсификации модели рассмотрены логистические функции принадлежности для нормального и аварийных режимов работы и функция принадлежности Гаусса для предаварийного режима работы. Проведено исследование параметров функций. Адаптация параметров модели была проведена на основе генетического алгоритма. Критерием эффективности предложенной модели является ее адекватность. Для численного исследования предложенного способа были использованы данные, полученные с датчиков измерения температуры и вибрации.

КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕЧЕТКАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ, ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, АДАПТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

Введение

Постановка проблемы. Основой для эффективной эксплуатации горно-шахтного оборудования (ГШО) и механизмов является своевременная обработка информации о техническом состоянии контролируемых объектов. На многих шахтах в эксплуатации находятся системы обеспечения комплексной безопасности, которые позволяют индексировать текущие значения физических параметров с помощью различных датчиков, таких как датчик тока, датчик температуры, датчик давления, датчик вибрации радиального или продольного смещения и т.д. [1]. Основным контролируемыми объектами являются главные и местные вентиляторы проветривания, забойные и магистральные конвейеры, проходческие и добычные комбайны, насосные установки. На основе показателей датчиков предоставляется информация о состоянии объекта с использованием трёх типов сигналов (нормальная работа, предаварийное состояние, аварийное состояние). Однако поступающая информация обрабатывается и анализируется по каждому датчику в отдельности, что позволяет выявить наличие дефекта только по одному признаку.

Анализ исследований. На сегодняшний день в существующих компьютерных системах [2] применяется визуально-измерительный способ диагностики состояния ГШО, основанный на показаниях датчиков температуры, давления, вибрации и т.д., однако данный способ не дает возможности получить комплексную оценку.

Цели и задачи исследования. Цель — разработка способа комплексной диагностики шахтного оборудования с применением нечеткой логики.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- формирование нечетких правил, на основе которых конструируется модель;
- создание структуры модели;
- разработка процедуры оценки по модели;

— выбор критерия качества для обучения модели;

— адаптация параметров модели.

В данной работе предлагается способ диагностики, сочетающий в себе анализ нескольких показателей, что позволит существенно повысить вероятность распознавания неисправности ГШО или отдельных узлов. В основу рассматриваемого способа заложен метод искусственного интеллекта, а именно — нейросетевой подход [3], получивший широкое распространение для решения задач любой отрасли.

1. Результаты разработки и исследований

Формирование нечетких правил. Правила, используемые при построении модели нечеткой нейросети, имеют вид:

ПРАВИЛО k :

ЕСЛИ условие k ТО заключение k (F^k)

где k — номер правила; F^k — коэффициент определенности, коэффициент уверенности или весовой коэффициент нечеткого правила (принимает значение из интервала $[0,1]$), $k \in \overline{1,r}$; условие k — это совокупность подусловий вида: $\tilde{x}_1$ есть $\tilde{\alpha}_1^k$ И... И $\tilde{x}_n$ есть $\tilde{\alpha}_n^k$; заключение k — это заключение вида $\tilde{y}$ есть $\tilde{\beta}^k$; $\tilde{x}_i$ — имя входной лингвистической переменной, соответствующей показателю эффективности, $i \in \overline{1,n}$; $\tilde{y}$ — имя выходной лингвистической переменной, соответствующей комплексной эффективности; $\tilde{\alpha}_i^k$ — качественное значение переменной $\tilde{x}_i$, $i \in \overline{1,n}$; $\tilde{\beta}^k$ — качественное значение переменной $\tilde{y}$, $k \in \overline{1,r}$.

Например, для наиболее важных показателей оценки состояния контролируемого объекта — виброскорость и температура нагрева — нечеткие правила представлены в виде табл. 1.

Для рассматриваемых показателей состояния объекта в качестве входных переменных выбраны показатели виброскорости и температуры нагрева,

которые связаны с качественными оценками «малая», «средняя», «большая», и «низкая», «средняя», «высокая» соответственно.

Таблица 1

Нечеткие правила

k (номер прави- ла)	$\tilde{x}_1$ (вибро- скорость)	$\tilde{x}_2$ (темпе- ратура нагрева)	$\tilde{y}$ (комплекс- ная оценка состояния)	F (весов- ой коэф- фициент правила)
1	$\tilde{\alpha}_1^1 =$ «малая»	$\tilde{\alpha}_2^1 =$ «низкая»	$\tilde{\beta}^1 =$ «экс- плуатация без ограничения сроков»	$F^1 = 0.15$
2	$\tilde{\alpha}_1^2 =$ «малая»	$\tilde{\alpha}_2^2 =$ «средняя»	$\tilde{\beta}^2 =$ «экс- плуатация без ограничения сроков»	$F^2 = 0.10$
3	$\tilde{\alpha}_1^3 =$ «средняя»	$\tilde{\alpha}_2^3 =$ «низкая»	$\tilde{\beta}^3 =$ «экс- плуатация без ограничения сроков»	$F^3 = 0.10$
4	$\tilde{\alpha}_1^4 =$ «ма- лая»	$\tilde{\alpha}_2^4 =$ «высо- кая»	$\tilde{\beta}^4 =$ «экс- плуатация с ограниченным сроком»	$F^4 = 0.10$
5	$\tilde{\alpha}_1^5 =$ «средняя»	$\tilde{\alpha}_2^5 =$ «средняя»	$\tilde{\beta}^5 =$ «экс- плуатация с ограниченным сроком»	$F^5 = 0.10$
6	$\tilde{\alpha}_1^6 =$ «боль- шая»	$\tilde{\alpha}_2^6 =$ «низкая»	$\tilde{\beta}^6 =$ «экс- плуатация с ограниченным сроком»	$F^6 = 0.10$
7	$\tilde{\alpha}_1^7 =$ «средняя»	$\tilde{\alpha}_2^7 =$ «вы- сокая»	$\tilde{\beta}^7 =$ «не при- годно для экс- плуатации»	$F^7 = 0.10$
8	$\tilde{\alpha}_1^8 =$ «боль- шая»	$\tilde{\alpha}_2^8 =$ «средняя»	$\tilde{\beta}^8 =$ «не пригод- но для экс- плуатации»	$F^8 = 0.10$
9	$\tilde{\alpha}_1^9 =$ «боль- шая»	$\tilde{\alpha}_2^9 =$ «высо- кая»	$\tilde{\beta}^9 =$ «не при- годно для экс- плуатации»	$F^9 = 0.15$

В качестве выходных переменных выбраны такие качественные оценки комплексной оценки состояния как «эксплуатация без ограничения сроков», «эксплуатация с ограниченным сроком», «не пригодно для эксплуатации», которые соответствуют трём режимам работы УТАС (нормальная работа, предаварийное состояние, аварийное состояние).

Создание структуры модели. В статье предложена модель четырехслойной нечеткой нейронной сети, которая создается на основе нечетких правил.

Модель нечеткой нейросети для оценки состояния шахтного оборудования формируется по следующему принципу:

– входной (нулевой) слой содержит нейроны, которые соответствуют диагностическим признакам, количество нейронов $N^{(0)} = n$;

– первый слой реализует фаззификацию, а его нейроны соответствуют качественным значениям диагностических признаков, количество нейронов

$N^{(1)} = \sum_{i=1}^n n_i$, где n_i – количество качественных значений для i -й входной лингвистической переменной;

– второй слой реализует агрегирование подусловий, а его нейроны соответствуют условиям, количество нейронов $N^{(2)} = \prod_{i=1}^n n_i = r$, где r – количество нечетких правил;

– третий слой реализует активизацию правил, а его нейроны соответствуют заключениям, количество нейронов $N^{(3)} = \prod_{i=1}^n n_i = r$;

– четвертый (выходной) слой реализует агрегирование заключений, а его нейроны соответствуют качественным значениям комплексной оценки состояния, количество нейронов $N^{(4)} = q$, где q – количество качественных значений выходной лингвистической переменной.

Пример структуры модели нечеткой нейросети, основанной на девяти нечетких правилах из табл. 1, представлен на рис. 1.

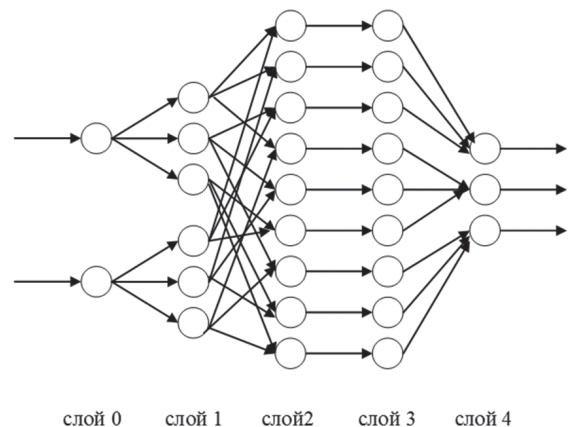


Рис. 1. Структура модели нечеткой нейросети

Разработка процедуры анализа по модели. Процедура анализа по модели включает 4 этапа:

- фаззификация;
- агрегирование подусловий;
- активизация заключений;
- агрегирование заключений.

Фаззификация. Фаззификация (введение нечеткости) представляет собой процедуру определения степени истинности подусловий нечетких правил. При этом считаем, что одно и то же подусловие может входить в условия нескольких нечетких правил.

Согласно входным и выходным качественным оценкам были установлены условные границы интервалов работы для ГШО класса 2 [4]. Каждому из

интервалов поставлена в соответствие определенная функция принадлежности. Первая функция принадлежности описывается следующим образом: на первом интервале, который соответствует эксплуатации ГШО без ограничения сроков, функция должна иметь примерно одинаковое значение. От точки конца первого интервала и до начала границы третьего интервала она должна убывать примерно до нуля.

Вид второй функции принадлежности для интервала, соответствующего эксплуатации ГШО с ограниченным сроком, определяется следующим образом: на середине второго интервала она должна стремиться к единице, а на границах интервала она должна стремиться к нулю.

Третья функция принадлежности определяется так: для интервала, соответствующего непригодной эксплуатации, функция должна иметь примерно одинаковое значение, а в точке окончания первого интервала ее значение должно стремиться к нулю.

В данной работе фаззификация выполняется в виде

$$y_s^{(1)} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \exp^{-a_i x_i + b_i}}, & v = 1 \\ \exp\left(-\frac{(x_i - m_i)^2}{2(\sigma_i)^2}\right), & v = 2, \\ \frac{1}{1 + \exp^{-c_i x_i + d_i}}, & v = 3 \end{cases} \quad (1)$$

$$s \in \overline{1, N^{(1)}}, i \in \overline{1, N^{(0)}},$$

$$v = s - \sum_{z=1}^{i-1} n_z,$$

где m_i , σ_i — математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение, связанные со вторым качественным значением входной лингвистической переменной $\tilde{x}_i$, и полученные эмпирическим путем, x_i — i -я входная четкая переменная, $y_s^{(1)}$ — степень истинности s -го подусловия (степень истинности того, что количественному значению входной четкой переменной x_i соответствует v -е качественное значение входной лингвистической переменной $\tilde{x}_i$).

Например, для наиболее важных диагностических признаков — виброскорость и температура нагрева — их качественные значения и связанные с

ними параметры a_i , b_i , m_i , σ_i , c_i , d_i представлены в виде табл. 2.

Согласно рассчитанным параметрам и сделанным предположениям относительно фаззификации функции принадлежности будут иметь вид, представленный на рис. 2, 3.

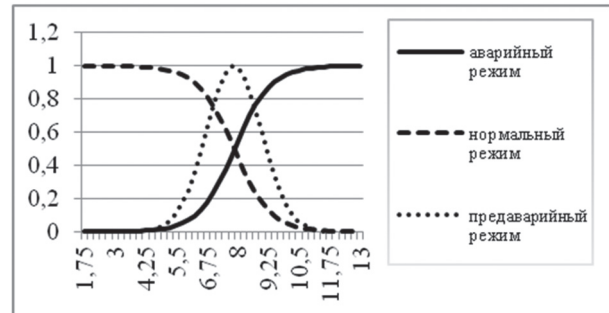


Рис. 2. Функции принадлежности показателя вибрации для трёх режимов работы

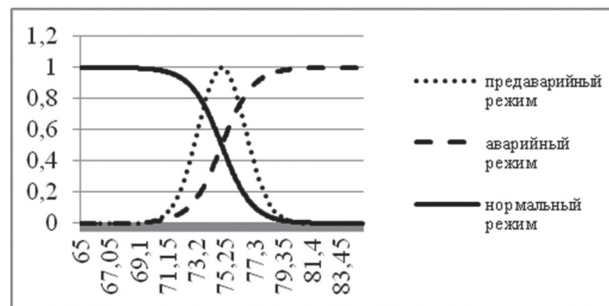


Рис. 3. Функции принадлежности показателя температуры для трёх режимов работы

Агрегирование подусловий. Агрегирование подусловий нечеткого правила представляет собой процедуру определения степени истинности условия путем объединения степеней истинности составляющих его подусловий

Для агрегирования подусловий в работе был выбран следующий способ:

$$y_k^{(2)} = f^{(2)}\left(\prod_{s=1}^{N^{(1)}} w_{sk}^{(2)} y_s^{(1)}\right) = \prod_{s=1}^{N^{(1)}} w_{sk}^{(2)} y_s^{(1)}, \quad k \in \overline{1, N^{(1)}}, \quad (2)$$

где $w_{sk}^{(2)}$ — бинарный вес связи, который определяется структурой модели нечеткой нейросети; $f^{(2)}$ — линейная функция активации второго слоя.

Например, в случае использования структуры модели нечеткой нейросети, представленной на рис. 1, веса связей второго слоя представлены в виде рис. 4.

Таблица 2

Качественные значения диагностических признаков и связанные с ними параметры

Качественные значения виброскорости и связанные с ней параметры			Качественные значения температуры нагрева и связанные с ней параметры		
«большая»	$a_1 = -1.37$	$b_1 = -10.37$	«высокая»	$a_2 = -0.921$	$b_2 = -69.08$
«средняя»	$m_1 = 7.85$	$\sigma_1 = 1.12$	«средняя»	$m_2 = 75$	$\sigma_2 = 1.67$
«малая»	$c_1 = 1.37$	$d_1 = 10.79$	«низкая»	$c_2 = 0.921$	$d_2 = 69.07$

$w_{11}^{(2)}=1$	$w_{21}^{(2)}=0$	$w_{31}^{(2)}=0$	$w_{41}^{(2)}=1$	$w_{51}^{(2)}=0$	$w_{61}^{(2)}=0$
$w_{12}^{(2)}=1$	$w_{22}^{(2)}=0$	$w_{32}^{(2)}=0$	$w_{42}^{(2)}=0$	$w_{52}^{(2)}=1$	$w_{62}^{(2)}=0$
$w_{13}^{(2)}=0$	$w_{23}^{(2)}=1$	$w_{33}^{(2)}=0$	$w_{43}^{(2)}=1$	$w_{53}^{(2)}=0$	$w_{63}^{(2)}=0$
$w_{14}^{(2)}=1$	$w_{24}^{(2)}=0$	$w_{34}^{(2)}=0$	$w_{44}^{(2)}=0$	$w_{54}^{(2)}=0$	$w_{64}^{(2)}=1$
$w_{15}^{(2)}=0$	$w_{25}^{(2)}=1$	$w_{35}^{(2)}=0$	$w_{45}^{(2)}=0$	$w_{55}^{(2)}=1$	$w_{65}^{(2)}=0$
$w_{16}^{(2)}=0$	$w_{26}^{(2)}=0$	$w_{36}^{(2)}=1$	$w_{46}^{(2)}=1$	$w_{56}^{(2)}=0$	$w_{66}^{(2)}=0$
$w_{17}^{(2)}=0$	$w_{27}^{(2)}=1$	$w_{37}^{(2)}=0$	$w_{47}^{(2)}=0$	$w_{57}^{(2)}=0$	$w_{67}^{(2)}=1$
$w_{18}^{(2)}=0$	$w_{28}^{(2)}=0$	$w_{38}^{(2)}=1$	$w_{48}^{(2)}=0$	$w_{58}^{(2)}=1$	$w_{68}^{(2)}=0$
$w_{19}^{(2)}=0$	$w_{29}^{(2)}=0$	$w_{39}^{(2)}=1$	$w_{49}^{(2)}=0$	$w_{59}^{(2)}=0$	$w_{69}^{(2)}=1$

Рис. 4. Веса связей второго слоя

Активизация заключений. В данной работе активизация заключения нечеткого правила представляет собой процедуру определения степени истинности заключения этого правила по степени истинности его условия и его весовому коэффициенту. Для активизации заключений в работе был выбран следующий способ:

$$y_k^{(3)} = f^{(3)}(w_{kk}^{(3)} y_k^{(2)}) = w_{kk}^{(3)} y_k^{(2)}, \quad k \in \overline{1, N^{(2)}}, \quad (3)$$

где $w_{kk}^{(3)}$ — вес связи, $w_{kk}^{(3)} = F^k$; $f^{(3)}$ — линейная функция активации третьего слоя.

Агрегирование заключений. Агрегирование заключений нечетких правил представляет собой процедуру определения степени истинности итогового заключения путем объединения степени истинности одинаковых заключений.

Для агрегирования заключений в работе был выбран следующий способ

$$\begin{aligned} b_1 &= w_{1j}^{(4)} y_1^{(3)}, b_2 = w_{2j}^{(4)} y_2^{(3)} + b_1 - w_{2j}^{(4)} y_2^{(3)} b_1, \dots, \\ b_k &= w_{kj}^{(4)} y_k^{(3)} + b_{k-1} - w_{kj}^{(4)} y_k^{(3)} b_{k-1}, \dots, \\ b_{N^{(3)}} &= w_{N^{(3)}j}^{(4)} y_{N^{(3)}}^{(3)} + b_{N^{(3)}-1} - w_{N^{(3)}j}^{(4)} y_{N^{(3)}}^{(3)} b_{N^{(3)}-1} \\ y_j &= f^{(4)}(b_{N^{(3)}}) = b_{N^{(3)}}, \quad j \in \overline{1, N^{(4)}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $w_{kj}^{(4)}$ — бинарный вес связи, который определяется структурой модели нечеткой нейросети; $f^{(4)}$ — линейная функция активации четвертого слоя.

Например, в случае использования структуры модели нечеткой нейросети, представленной на рис. 1, веса связей четвертого слоя представлены в виде рис. 5.

$w_{11}^{(4)}=1$	$w_{12}^{(4)}=0$	$w_{13}^{(4)}=0$
$w_{21}^{(4)}=1$	$w_{22}^{(4)}=0$	$w_{23}^{(4)}=0$
$w_{31}^{(4)}=1$	$w_{32}^{(4)}=0$	$w_{33}^{(4)}=0$
$w_{41}^{(4)}=0$	$w_{42}^{(4)}=1$	$w_{43}^{(4)}=0$
$w_{51}^{(4)}=0$	$w_{52}^{(4)}=1$	$w_{53}^{(4)}=0$
$w_{61}^{(4)}=0$	$w_{62}^{(4)}=1$	$w_{63}^{(4)}=0$
$w_{71}^{(4)}=0$	$w_{72}^{(4)}=0$	$w_{73}^{(4)}=1$
$w_{81}^{(4)}=0$	$w_{82}^{(4)}=0$	$w_{83}^{(4)}=1$
$w_{91}^{(4)}=0$	$w_{92}^{(4)}=0$	$w_{93}^{(4)}=1$

Рис. 5. Веса связей четвертого слоя

2. Выбор критерия качества для обучения модели

В работе для обучения модели выбран критерий адекватности модели, который означает выбор таких значений параметров a_i , b_i , m_i , σ_i , c_i , d_i которые доставляют минимум среднеквадратичной ошибки (разности выхода по модели и желаемого выхода)

$$F = \frac{1}{P} \frac{1}{q} \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^q (y_{pj} - d_{pj})^2 \rightarrow \min_{a_i, b_i, m_i, \sigma_i, c_i, d_i}, \quad (5)$$

где P — количество тестовых реализаций; $y_p = (y_{p1}, \dots, y_{pq})$ — оценка состояния, полученная по модели; $d_p = (d_{p1}, \dots, d_{pq})$ — желаемая оценка состояния.

3. Адаптация параметров модели оценки состояния шахтного оборудования

Применение градиентных способов обучения к нечетким нейросетям затруднительно. Отсюда возникает задача разработки новых метаэвристических способов адаптации [5]. Чаще всего в качестве метаэвристического метода выбирают генетический алгоритм. В качестве особи используется вектор, содержащий параметры a_i , b_i , m_i , σ_i , c_i , d_i а в качестве фитнес-функции используется критерий (5).

Например, для наиболее важных показателей эффективности — коэффициент использования процессора и доля отказов в обслуживании пакетов — на основе табл. 2 особь будет представлена в виде

$$h = (a_1, b_1, m_1, \sigma_1, c_1, d_1, a_2, b_2, m_2, \sigma_2, c_2, d_2).$$

4. Численное исследование способа оценки состояния

Для численного исследования процедуры обучения на основе генетического алгоритма в работе было использовались три типа (табл. 3) [6, 7]. Первый тип исследует все пространство поиска и не является направленным. Для этого типа возможна потеря лучших решений. Он требует значительного времени поиска. Второй тип является направленным. Для этого типа возможно попадание в локальный оптимум. Третий тип является комбинированным, т.е. совмещает направленность поиска с исследованием всего пространства поиска.

Результаты численного исследования способов анализа с объемом выборки 22000 (показания с датчиков снимались каждые 10 секунд) представлены в табл. 4, при этом для адаптации параметров модели использовались генетические алгоритмы трех типов. Согласно табл. 4, использование алгоритма типа 3 является наиболее эффективным для проведения анализа.

Таблица 3

Структура генетических алгоритмов трех типов

Операторы генетических алгоритмов	Типы генетических алгоритмов		
	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Репродукция	равномерный отбор	линейно упорядоченный отбор	комбинация равномерного и линейно упорядоченного отбора
Кроссинговер	равномерный, отбор особей – скрещивание лучших особей с худшими	равномерный, отбор особей – скрещивание лучших особей с лучшими	равномерный, отбор особей – комбинация скрещиваний лучших особей с худшими и лучших особей с лучшими
Мутация	однородная с высокой вероятностью	однородная с низкой вероятностью	неоднородная
Редукция	равномерная схема	селекционная схема	комбинация равномерной и селекционной схем

Таблица 4

Результаты численного исследования типов генетического алгоритмов, используемых при оценке состояния, по двум критериям

Оценка скорости обучения (количества итераций) для генетического алгоритма			Оценка адекватности (средне-квадратичной ошибки) для генетического алгоритма		
тип 1	тип 2	тип 3	тип 1	тип 2	тип 3
160	130	110	0.04	0.04	0.01

Выводы

Для комплексной диагностики шахтного оборудования разработана модель нечеткой нейросети. Адаптация параметров модели производится посредством генетического алгоритма.

Проведено численное исследование, которое позволило определить, что предложенный способ диагностики является эффективным, а предложенная модель является адекватной.

Созданные в данной статье способ и модель позволяют ставить и решать задачи диагностики шахтного оборудования.

Созданная модель является универсальной и расширяемой для любого необходимого количества параметров диагностики ГШО.

Рассмотренный способ упрощает общение между человеком и компьютерной системой за счет использования качественных значений диагностических признаков.

Список литературы: 1. Вовна А.В. Компьютеризированная информационно-измерительная система контроля концентрации метана в угольных шахтах: дис. ... кандидата

технических наук: 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты / Вовна Александр Владимирович. – Донецк, 2009. – 200 с. 2. Соломичев Р.И. Микропроцессорная информационно-измерительная система контроля концентрации пыли в атмосфере угольных шахт: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты / Соломичев Роман Игоревич. – Красноармейск, 2014. – 232 с. 3. Е.В. Мантула. Прогнозирующая нейронная сеть с переменной структурой для контроля показателей загрязнения окружающей среды: ХНУРЭ, Бионика интеллекта. 2013. № 1 (80). С. 112–116. 4. Федоров Е. Е. Методики интеллектуальной диагностики: монография / Е. Е. Федоров; Донец. акад. автомоб. трансп. – Донецк : Ноулидж, 2010. – 303 с. 5. Luke S. Essentials of Metaheuristics / S. Luke. – Second edition, Online version 2.1, 2014. – p. 253. 6. Д. Рутковская. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. 7. Скобцов Ю.А. Метаэвристики: монография / Ю.А. Скобцов, Е. Е. Федоров; – Донецк : Ноулидж, 2013. – 426 с.

Поступила в редколлегию 16.02.2015

УДК 004.032.26

Розробка нейромережевого способу діагностики шахтного обладнання / Ю.Л. Дікова, Є.Є. Федоров // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 1 (84). – С. 80–84.

Стаття присвячена актуальній проблемі комплексної діагностики шахтного устаткування та технологічних комплексів. В основу запропонованого способу покладений нейромережевий підхід з використанням нечіткої логіки та метаевристик. Детально описані задачі, що необхідно вирішити для створення способу, а саме: формування нечітких правил, на основі яких конструється модель; створення структури моделі; розробка процедури оцінки по моделі; вибір критерію якості для навчання моделі; адаптація параметрів моделі. Авторами наводяться результати чисельного дослідження описаного способу діагностики, що підтверджують його ефективність.

Табл. 4. Іл. 5. Бібліогр.: 7 найм.

UDK 004.032.26

Development of neural network method of diagnosing mine equipment / Y.L. Dikova and E.E. Fedorov // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2015. – №1 (84). – P. 80–84.

The article is devoted to the actual problem of complex diagnostics of mining equipment and technological complexes. The basis of the method is a neural network approach that uses fuzzy logic and metaheuristics. The tasks that need to be addressed to provide a method are described in article in detail. This are: the formation of fuzzy rules that are the base for the model construction; the creation of the model structure; development of assessment procedures on the model; choice of quality criterion for model training; adaptation of the model parameters. In conclusion, the authors present the results of a numerical research of the described method of diagnosis, which confirm that the efficiency.

Tab. 4. Fig. 5. Ref.: 7 items.

УДК 004.932.2:004.8



И.Б. Чеботарева, Н.Е. Кулишова

ХНУРЭ, г.Харьков, Украина, irina7271@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ СВЕЛОТЫ ЦИФРОВЫХ ОРИГИНАЛОВ

Рассмотрены особенности нечеткой оценки характеристик цифровых оригиналов. Описаны процедура проведения экспертного оценивания субъективных характеристик изображения и способ формирования терм-множества для лингвистической переменной «Общая светлота изображения», а также построены функций принадлежности лингвистической переменной.

ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ, ЦИФРОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ, СВЕЛОТА, НЕЧЕТКИЕ ОЦЕНКИ, ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

Введение

В настоящее время актуальной проблемой является разработка процедур автоматизации обработки полиграфических оригиналов во время их подготовки к печати в распределенных открытых полиграфических системах с определенными альтернативными вариантами [1]. Для реализации этих процедур необходимо получить наиболее точное соответствие объективных и субъективных характеристик изображений. Качество столь сложного объекта, как изображение, является очень важным, но одновременно и довольно расплывчатым понятием. Иногда качество рассматривается как характеристика самого изображения и определяется его собственными свойствами (статистическими, структурными, семантическими). К нынешнему моменту разработано множество количественных оценок качества изображений [2–4]. Однако введенные критерии не являются достаточно совершенными: большинство попыток найти приемлемые оценки качества изображения относится только к частным случаям (когда есть эталонное и искаженное изображения, когда они наблюдаются только на экранах мониторов и т.д.). В любом случае, создание более совершенных оценок качества изображений должно быть связано с более полным учетом свойств зрительного восприятия человека [5], которые относятся к сложно формализуемым. Для решения задачи анализа и классификации цифровых оригиналов, с которыми работают дизайнеры, выделены основные атрибуты изображений, важные при репродуцировании. Описание подобных явлений удобно выполнять с помощью лингвистических переменных, для которых необходимо составить терм-множества [6]. Это можно реализовать только с использованием экспертного оценивания.

Методы экспертных оценок применяются для количественного измерения таких характеристик, для которых не существует других способов измерения. При изучении изображений выполняется субъективное визуальное оценивание. Поскольку один человек не в состоянии учесть и осмыслить всю информацию, необходимую для подготовки сложных решений в этой сфере, групповое оцени-

вание значительно расширяет возможности разностороннего анализа и повышает надежность выбора решений. Среди распространенных методов экспертного оценивания известны методы с обратной связью [6], которые предполагают проведение нескольких туров опроса, обеспечивая сужение диапазона разброса мнений экспертов, и сближение их точек зрения.

Обработка и представление извлеченной экспертной информации о технологии решения задач принятия решений применительно к этапам рассматриваемого процесса может осуществляться посредством функций принадлежности и построения логико-лингвистических шкал различными способами, выбор которых зависит от вида задачи принятия решения [7].

1. Описание субъективных параметров изображения с помощью лингвистических переменных

При анализе изображений выделяют объективные и субъективные характеристики. Объективные характеристики — это атрибуты изображений, которые связаны с природой зрительного восприятия, представлением и обработкой цифровых изображений на компьютере. Некоторые атрибуты являются естественными, т.е. они устанавливаются визуальным анализом изображения, тогда как другие, так называемые искусственные атрибуты, получаются в результате его специальной обработки и измерений. К естественным атрибутам относятся светлота (яркость) и текстура различных областей изображения, форма контуров объектов. Гистограммы распределения яркости и спектры пространственных частот дают примеры искусственных атрибутов.

Субъективные оценки выражаются в форме лингвистических переменных. Такой подход дает приближенные, но, в то же время, эффективные способы описания явлений настолько сложных и плохо определенных, что они не поддаются точному математическому анализу. Подход на основе теории нечетких множеств является, по сути дела, альтернативой общепринятым количественным методам анализа. Он имеет три основные отличительные черты:

1) вместо или в дополнение к числовым переменным используются нечеткие величины и лингвистические переменные;

2) простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких высказываний;

3) сложные отношения описываются нечеткими алгоритмами [8].

Теоретические основания данного подхода вполне точны и строги в математическом смысле и не являются сами по себе источником неопределенности. В каждом конкретном случае степень точности решения может быть согласована с требованиями задачи и объемом имеющихся данных. Подобная гибкость составляет одну из важных черт рассматриваемого метода.

Каждый атрибут изображения можно описать с помощью лингвистической переменной, которая принимает определенное значение, характеризующее качество изображения. Лингвистическая переменная — это переменная, принимающая значения из множества слов или словосочетаний некоторого естественного или искусственного языка.

Лингвистическая переменная характеризуется набором $(X, T(X), U, G, M)$, в котором X — название переменной, $T(X)$ — терм-множество или множество названий лингвистических значений переменной X . Каждое терм-множество — это нечеткая переменная x со значениями из универсального множества U с базовой переменной u . G — синтаксическое правило, которое может быть задано в форме бесконтекстной грамматики, порождающей термы множества $T(X)$; M — семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению t ставит в соответствие его смысл $M(t)$, причем $M(t)$ обозначает нечеткое подмножество множества U .

Лингвистическая переменная более высокого порядка, чем нечеткая переменная, поэтому каждому значению лингвистической переменной соответствует нечеткая переменная, значением которой являются слова и предложения на естественном или формальном языке, определяющие элементарную характеристику явления. Связь между нечеткой переменной x и базовой переменной u осуществляется с помощью функции принадлежности μ , значения которой лежат в интервале $[1, 0]$ $\mu: X \rightarrow [1, 0]$.

Для решения практической задачи достаточно наличия нечеткого языка с фиксированным конечным словарем. Лингвистическая переменная X , используемая при формализации задач принятия решения, как правило, имеет базовое терм-множество $T(X) = \{T_i\}$ состоящее из 2–10 термов.

Каждый терм описывается нечетким подмножеством множества значений U некоторой базовой переменной u и рассматривается как лингвистическое значение X . Предполагается, что объединение всех этих элементов терм-множества покрывает полностью U , и это гарантирует, что любой элемент $u \in U$ описывается некоторым $T_i \in T(X)$.

Каждой экспертной оценке $T(X_i)$ соответствует нечеткое подмножество интервала $[0, 1]$. Функции принадлежности μ получаются на основании экспертного оценивания. При этом группа экспертов руководствуется набором стимулов. В данном случае этот набор представляет собой совокупность критериев, которые характеризуют качество изображений.

При построении функций принадлежности элементов терм-множества лингвистической переменной, строятся одновременно все функции принадлежности этого терм-множества.

Преимущества использования такого подхода к решению задачи оценки качества изображений состоит в том, что по сравнению с другими подходами существует:

- возможность оперировать нечеткими входными данными: например, непрерывно изменяющимися во времени значениями или значениями, которые невозможно задать однозначно (результаты экспертных оценок);
- возможность нечеткой формализации критериев оценки и сравнения: оперирование критериями «много», «мало» и т.д.;
- возможность проведения качественных оценок, как входных данных, так и выходных результатов: оперируя не только значениями данных, но и их степенью достоверности и ее распределением;
- возможность проведения быстрого моделирования сложных динамических систем (прогноз параметров качества полиграфического оттиска исходя из объективных характеристик о цифровом оригинале) и их сравнительный анализ с заданной степенью точности.

2. Постановка задачи исследования

При качественном описании цветовых характеристик изображения используют три его субъективных атрибута: цветовой тон, насыщенность и светлоту.

Светлота — субъективный признак, характеризующий ощущения объективной величины яркости цвета. Светлота цифрового оригинала влияет на качество полиграфической продукции, т.к. часто на практике можно столкнуться с проблемой воспроизведения цвета в светах и тенях, и эти недостатки в значительной степени могут быть связаны с техническими возможностями оборудования.

Изображение можно определить как двумерную функцию $f(x, y)$, где x и y — это пространственные координаты, а амплитудой для каждой пары координат является интенсивность или яркость изображения в точке с этими координатами.

Цвет пиксела изображения задается, как правило, с помощью цветового пространства RGB. RGB изображение можно представить в виде совокупности трех монохромных изображений (компонент) с градацией каждого цвета, при объединении которых формируется полноцветное изображение. Значения сигналов компонент лежат в интервале $[0, 255]$.

Такой субъективный показатель, как общая светлота изображения, можно связать с объективным значением математического ожидания уровня сигнала, наиболее важной характеристикой случайной величины:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i), \quad (1)$$

где y_i — значение сигнала i -го пикселя изображения.

В данном исследовании случайная величина — это числовые значения, характеризующие цвет каждого пикселя изображения. Математическое ожидание случайной величины — показатель центральной тенденции.

При вычислении математического ожидания для каждой из составляющей, можно определить ее интенсивность, а вычислив среднее значение математического ожидания трех составляющих — интенсивность (освещенность) всего изображения в целом. Максимальное значение такого показателя будет 255, для изображения равномерно окрашенного в белый цвет, а минимальное значение — 0 для изображения, равномерно окрашенного в черный цвет. Следовательно, данный объективный показатель связан с субъективным ощущением количества светлых или темных цветов на изображении.

В данной работе рассматривается способ формирования терм-множества для лингвистической переменной «Общая светлота изображения» и множества значений U соответствующей базовой переменной u .

Решение этой задачи предлагается осуществлять в несколько этапов:

а) подготовить тестовый набор изображений с учетом требований и пожеланий полиграфических предприятий;

б) выполнить количественный анализ уровня светлоты изображения расчетными методами для получения множества значений U базовой переменной u ;

в) сформировать терм-множество $T = \{T_i\}$;

г) выполнить субъективный анализ изображений наблюдателями-экспертами;

д) сравнить оценки изображений, полученные количественными и субъективными методами и выяснить, какой из количественных методов наиболее точно характеризует качество изображения [9].

Используя нечеткие границы, полученные в результате экспертного оценивания, построить функции принадлежности для каждого терм-множества лингвистической переменной «Общая светлота изображения» для формализации процедуры классификации цифровых оригиналов по светлоте.

3. Описание метода экспертного исследования

Одним из методов, использующих суждения экспертов, является метод «Дельфи». Он предусматривает проведение экспертного опроса в несколь-

ко туров [10]. Процесс выработки суждений экспертами в этом методе управляется рабочей группой через обратную связь. В одном из вариантов этого метода прямое обсуждение заменяется обменом информацией и мнениями с помощью тщательно разработанных вопросников. К участникам обращаются с просьбой не только высказать свои мнения, но и привести их обоснование, а в каждом из последующих туров опроса им выдается новая и уточненная информация по высказанным мнениям, которая образуется в результате расчета совпадения точек по ранее выполненным этапам работы.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока продвижение в направлении повышения совпадения точек зрения не становится незначительным. После этого фиксируются полученные значения.

Полученные результаты используются для построения функций принадлежности терм-множества лингвистической переменной «Общая светлота изображения».

4. Проведение эксперимента

Для лингвистической переменной «Общая светлота изображения» определен набор термов:

$T = \{\text{ОЧЕНЬ ТЕМНОЕ, ТЕМНОЕ, СРЕДНЕЕ, СВЕТОЕ, ОЧЕНЬ СВЕТОЕ}\}$.

В качестве базовой переменной, позволяющей количественно оценить соответствующую лингвистическую переменную, выбрано математическое ожидание уровней яркости пикселей изображения M .

Для эксперимента выбраны 5 фотографий, разных по светлоте. Каждая из этих фотографий специально освещена и затемнена с равномерным шагом по светлоте и представлена 25-ю градациями от темного к светлому. Общий объем выборки — 125 изображений. Значения математического ожидания уровней яркости пикселей изображения представлены в табл. 1.

Необходимо оценить все эти фотографии и отсортировать их по категориям: T_1 — ОЧЕНЬ ТЕМНОЕ, T_2 — ТЕМНОЕ, T_3 — СРЕДНЕЕ, T_4 — СВЕТОЕ, T_5 — ОЧЕНЬ СВЕТОЕ.

Предварительное оценивание выполняется в 3 этапа.

1-й этап. Просмотр всех фотографий и предварительная оценка общей светлоты и темноты фотографий. При этом, оценивая фотографии, необходимо сравнить не только градации одной фотографии, а все фотографии (125 шт.) — друг с другом. Предварительный просмотр нужен для того, чтобы эксперт мог правильно настроиться на оценку фотографий.

2-й этап. Просмотр по очереди всех фотографий и распределение их по категориям светлоты. На этом этапе можно неоднократно просматривать фотографии и вносить корректировки, если при рассмотрении следующих фотографий эксперт решает, что он не совсем правильно отсортиро-

вал предыдущие. Результаты оценивания светлоты изображений по категориям показаны в табл. 2.

Таблица 1

Математическое ожидание уровней яркости пикселей изображения

№ п/п	Математическое ожидание				
	Фото 1	Фото 2	Фото 3	Фото 4	Фото 5
1	101,2712	75,6197	53,1152	60,2721	31,2321
2	108,0437	80,765	56,7989	64,4571	33,4601
3	118,9507	87,8244	61,1354	70,1382	35,8721
4	125,9648	93,3096	65,0373	74,5418	38,1057
5	133,0669	99,0056	69,1461	79,1065	40,395
6	140,0608	104,9058	73,4744	83,8441	42,8616
7	146,8418	110,884	77,9439	88,6025	45,3534
8	153,6094	117,0948	82,6639	93,5519	47,9825
9	160,1899	123,4207	87,569	98,5414	50,7153
10	166,8197	129,954	92,6864	103,6674	53,5474
11	173,7647	136,827	98,1168	109,0936	56,5697
12	181,5603	144,3601	103,9811	115,0586	59,8296
13	192,0767	153,6289	110,8041	122,5212	63,6157
14	202,1086	163,15	117,9531	130,0791	67,5599
15	208,5934	170,8827	124,4582	136,0861	71,1073
16	213,5724	177,6837	130,6552	141,3637	74,5666
17	217,9653	183,9287	136,7143	146,3542	78,008
18	221,7797	189,7262	142,6736	151,1698	81,4444
19	225,3138	195,2477	148,5897	155,8684	84,917
20	228,5341	200,4677	154,431	160,5255	88,4069
21	231,6318	205,5552	160,3006	165,1932	91,97
22	234,4886	210,4065	166,1242	169,8403	95,5433
23	236,9576	214,9672	171,8496	174,3832	99,1495
24	240,8872	221,8807	179,791	180,3399	103,818
25	242,9051	225,7637	185,4709	184,807	107,5608

Таблица 2

Предварительная оценка общей светлоты

№ фото	Термы (категории)				
	Очень темное	Темное	Среднее	Светлое	Очень светлое
1		1 – 3	4 – 9	10 – 13	14 – 25
2	1	2 – 8	9 – 14	15 – 18	19 – 25
3		1 – 7	8 – 14	15 – 22	23 – 25
4	1 – 5	6 – 11	12 – 22	23 – 25	
5	1 – 12	13 – 17	18 – 25		

3-й этап. Исходя из оценок таблицы 2, в исходной таблице 1 определяются диапазоны категорий светлоты соответствующих термов (минимальное и максимальное значения).

Диапазоны выбраны верно, если выполняется условие:

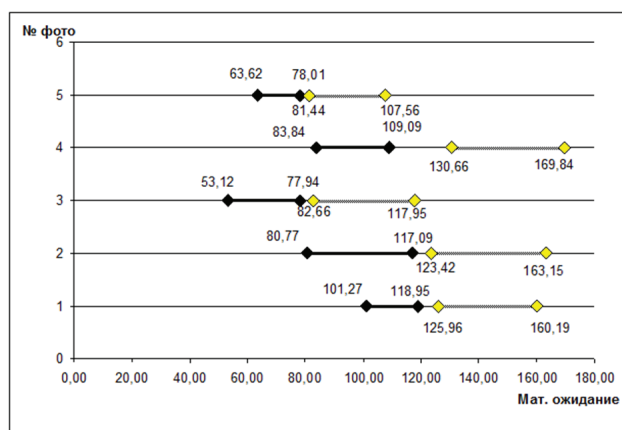
$$M_{T_{i-1} \max} > M_{T_i \max}, \quad (2)$$

где T_i – термы лингвистической переменной, $M_{\max}$ – максимальное значение математического ожидания соответствующих термов, $i = \overline{1,5}$.

Если возникает ситуация, когда условие (2) не выполняется, значит эксперт сделал неправильную оценку. Чтобы ее исправить, надо вернуться на этап 2 и скорректировать предварительную оценку (см. табл. 2).

Рассмотрим выполнение данной процедуры на примере оценки термов «ТЕМНОЕ» и «СРЕДНЕЕ» (рис. 1-3). Для проверки выполнения условия (2)

необходимо выполнить сравнения максимальных значений терма «ТЕМНОЕ» всех фотографий со всеми максимальными значениями терма «СРЕДНЕЕ». На рисунках 1-3 сплошной линией показаны диапазоны значений терма T_2 = «ТЕМНОЕ», пунктирной – T_3 = «СРЕДНЕЕ». Как видно на рисунке 1, множество значений терма «СРЕДНЕЕ» включает в себя все множество значений терма «ТЕМНОЕ» для 1-й, 2-й и 3-й фотографий, т.е. не выполняется условие (2), что недопустимо.



Диапазон выбран не правильно

Терм «ТЕМНОЕ»		Терм «СРЕДНЕЕ»	
Математическое ожидание ($T_{2\max}$)	№ фото	Математическое ожидание ($T_{3\max}$)	№ фото
118,95	1	160,19	1
117,09	2	163,15	2
77,94	3	117,95	3
109,09	4	169,84	4
78,01	5	107,56	5

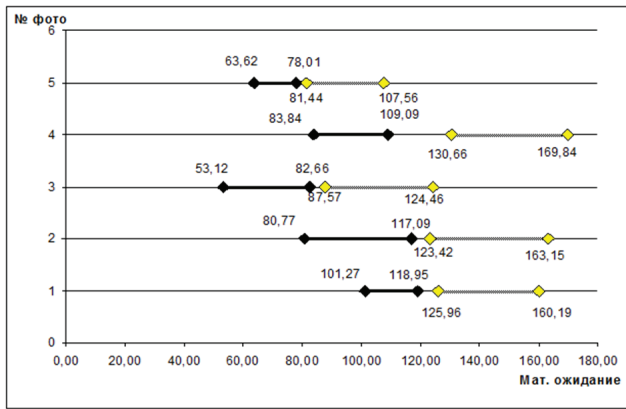
Рис. 1. Частный пример сравнения двух соседних термов (результат предварительного оценивания)

После корректировки оценок светлоты были получены уточненные диапазоны значений базовой переменной. Они представлены на рис. 2-3.

Анализ графика (рис. 1) показывает, что правило оценивания нарушается для 3-й фотографии. Ее диапазон значительно сдвинут относительно остальных изображений. После очередной визуальной оценки этой фотографии внесены небольшие изменения: сдвинуты градации ТЕМНОЕ и СРЕДНЕЕ на одну позицию в сторону увеличения математического ожидания уровней яркости пикселей изображения. Изменения диапазонов для 3-й фотографии показаны на рис. 2.

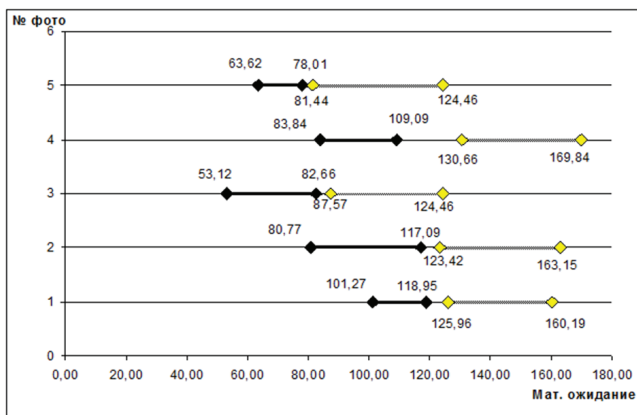
Пятая фотография самая темная из всех представленных образцов. Поэтому максимальное осветление дает значение терма СРЕДНЕЕ, равное 107,56. По графику можно сделать вывод, что при дальнейшем осветлении значение светлоты будет увеличиваться, поэтому можно искусственно задать верхнюю границу такую же, как в 3-м изображении. Данные действия необходимы для соблюдения правила оценки. Полученные результаты представлены на рис. 3.

Последняя итерация позволяет получить уточненные интервалы значений базовой переменной.



Диапазон выбран не правильно			
Терм «ТЕМНОЕ»		Терм «СРЕДНЕЕ»	
Математическое ожидание (T_{2max})	№ фото	Математическое ожидание (T_{3max})	№ фото
118,95	1	160,19	1
117,09	2	163,15	2
82,66	3	124,46	3
109,09	4	169,84	4
78,01	5	107,56	5

Рис. 2. Уточненные значения математического ожидания яркости пикселей для фотографии №3



ВЫБОР ПРАВИЛЬНЫЙ			
Терм «ТЕМНОЕ»		Терм «СРЕДНЕЕ»	
Математическое ожидание (T_{2max})	№ фото	Математическое ожидание (T_{3max})	№ фото
118,95	1	160,19	1
117,09	2	163,15	2
82,66	3	124,46	3
109,09	4	169,84	4
78,01	5	124,46	5

Рис. 3. Уточненные значения математического ожидания яркости пикселей для фотографии №5

Для множества полученных данных выполним полиномиальную аппроксимацию с помощью программы MatLab. Для этого используем функцию *polyfit*, которая реализует метод наименьших квадратов. Данный метод не всегда дает хороший результат при увеличении степени полинома, поэтому в результате эксперимента выбрана вторая степень, как наиболее оптимальная. В результате аппроксимации были определены граничные значения для каждого терма, которые необходимы для построения функций принадлежности.

Используем функции принадлежности на основе полиномиальных кривых: Z-функции (*zmf*), PI-функции (*pimf*) и S-функции (*smf*). Функция *zmf* представляет собой асимметричную полиномиальную кривую, открытую слева (терм T_1), функция *smf* – зеркальное отображение функции *zmf* – открыта справа (терм T_5). Функция *pimf* (термы T_2, T_3, T_4) равна нулю в правом и левом пределах и принимает значение, равное единице, в середине некоторого отрезка (рис. 4).

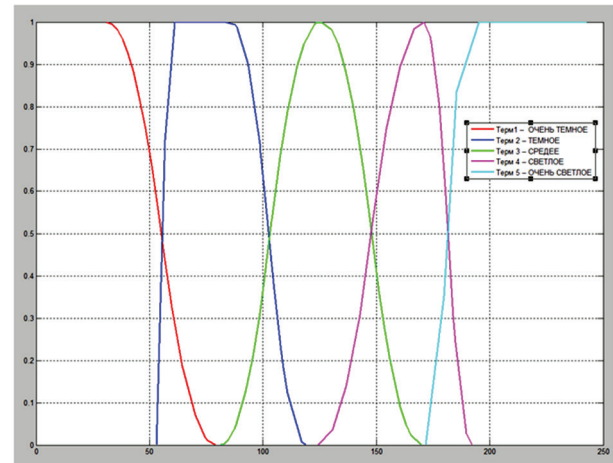


Рис. 4. Функции принадлежности лингвистической переменной «Общая светлота изображения»

Полученные функции принадлежности обеспечивают единичное разбиение Руспини, т.е. выполнение условия:

$$\sum_{i=1}^n \mu_{xi}(\tilde{x}) = 1. \quad (3)$$

Полученные в результате пересечения значения математического ожидания будут являться границами для автоматической оценки изображений по общей светлоте. Значение максимальной светлоты связано с цветовой моделью, в которой представлено изображение, т.е. для изображений выборки оно равно 255. Минимальное равно 0. Граничные значения светлоты для каждого терма представлены в табл. 3.

Таблица 3

Граничные значения светлоты			
Терм	Характеристика изображения	Значение базовой переменной (M)	
		Граничные значения	Точки пересечения
Очень светлое	очень светлое изображение, которое можно попытаться сделать темнее, но качество будет удовлетворительным	0, 79.12	55.6
Светлое	качественное светлое изображения, которое требует незначительного затемнения	53.11, 119.1	55.6, 102.8

Продолжение табл. 3

Терм	Характеристика изображения	Значение базовой переменной (<i>M</i>)	
		Граничные значения	Точки пересечения
Средняя светлота	нормальное изображение, которое не требует никаких улучшений	81.43, 169.9	102.8, 147.8
Темное	качественное темное изображение, которое требует незначительного осветления	124.4, 192.2	147.8, 182.3
Очень темное	очень темное изображение, которое можно попытаться сделать светлее, но качество будет удовлетворительным	171.7, 255	182.3

Выводы

В работе рассмотрен способ формирования терм-множества для лингвистической переменной «Общая светлота изображения». Это терм-множество используется при построении функций принадлежности, необходимых для оценивания качества изображений. На основании экспериментальных данных были определены граничные значения общей светлоты изображения и семантическое определение термов переменной «Общая светлота изображения». Такой подход позволяет формализовать нечеткую информацию для принятия решений в задаче классификации искажений цифровых оригиналов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке автоматизированных процедур улучшения качества изображений.

Список литературы: 1. Чеботарева И.Б. Автоматизация обработки изображений в открытых полиграфических системах / И.Б. Чеботарева, Н.Е. Кулишова, П.Н. Маслов, В.А. Маслова // Тезисы докладов VI Международной научно-практической конференции «Информационные системы и технологии». — 2014. — С. 230–231. 2. You, J., Reiter, U., Hannuksela, M.M., Gabbouj, M., Perks, A.: Perceptual-based quality assessment for audio-visual services: a survey. *Signal Process. Image Commun.* 25(7), 482–501 (2010). 3. Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., Simoncelli, E.P.: Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE Trans. Image Process.* 13(4), 600–612 (2004). 4. H. R. Sheikh, A. C. Bovik. Image Information and Visual Quality. *IEEE Trans. Image Process.* 15(2), 430–444 (2006).

5. Монич Ю.И. Оценки качества для анализа цифровых изображений / Ю. И. Монич, В. В. Старовойтов // Искусственный интеллект. — 2008. — №4. — С. 376–386. 6. Поспелов Д.А. (ред.) Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. — М.: Наука, Физ. мат. лит., 1986. — 312 с. 7. О выборе методов построения функций принадлежности для формализации задач принятия решений / В.А. Захаров // Записки Смоленского регионального отделения Научного совета Российской академии наук «Методология искусственного интеллекта» — 2006: — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-12-html/cont.htm>. 8. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М: Мир, 1976. — 165 с. 9. Кулишова Н. Е. Проблемы оценки качества цифровых оригиналов в автоматизированных информационных системах управления полиграфическим предприятием / Н. Е. Кулишова, И. Б. Чеботарева // Тезисы докладов VI Международной научно-практической конференции «Наука и социальные проблемы общества: информатизация и информационные технологии». — 2011. — С.327–328. 10. Голубков Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика. — М.: Издательство «Финпресс», 1998. — 416 с.

Поступила в редколлегию 26.02.2015

УДК 004.932.2:004.8

Формування нечіткої оцінки світлоти цифрових оригіналів / І.Б. Чеботарьова, Н.Є. Кулішова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 85–90.

В статті розглянуто спосіб формування терм-множини для лінгвістичної змінної «Загальна світлота зображення». Описана процедура проведення експертного оцінювання суб'єктивних характеристик зображення для визначення меж нечітких оцінок якості цифрових оригіналів, які використовуються під час побудови функцій належності терм-множини. Такий підхід дозволяє формалізувати процедуру класифікації цифрових оригіналів за світлотою.

Табл. 3. Іл. 4. Бібліогр.: 10 найм.

UDK 004.932.2:004.8

Digital originals lightness fuzzy estimates formation / I.B. Chebotarova, N.Ye. Kulishova // *Bionics of Intelligense: Sci. Mag.* — 2015. — №1 (84). — P. 85–90.

In the article the method of the linguistic variable «The total image lightness» term set forming is considered. The procedure of the expert estimation of the image subjective characteristics was described. They were used to determine the boundaries of the digital originals fuzzy quality assessment, and to build the membership functions term set. This approach allows us to formalize the procedure of digital originals classification in brightness.

Tab. 3. Fig. 4. Ref.: 10 items.

УДК 004.056



В.А. Лахно¹, М.М. Пойманов²

¹ ДНУЗТ, м. Дніпропетровськ, valss21@ukr.net

² ДНУЗТ, м. Дніпропетровськ, kb_dnepr@ukr.net

ВИБІР МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ ДОКУМЕНТООБІГУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

У статті запропоновано новий підхід у методології розпізнавання загроз для інформаційної безпеки (ІБ) систем документообігу (СДО) на підприємствах залізничного транспорту. Запропонована інтелектуальна інформаційна технологія оцінки ступеня доцільності використання варіантів захисту СДО на основі регресійного механізму логічного висновку за рахунок використання нечітких баз знань і рівняння регресії. На основі запропонованої нечіткої регресійної моделі розроблена система підтримки прийняття рішень при діагностуванні параметрів захищеності СДО.

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА, ЗАГРОЗИ, РОЗПІЗНАВАННЯ, СИСТЕМИ ДОКУМЕНТООБІГУ

Вступ

Системи документообігу (СДО) є невід'ємною складовою частиною будь-якого підприємств на залізничному транспорті (ПЗТ). Від успішності функціонування цієї системи залежить керованість підприємства.

Документи СДО ПЗТ можна умовно згрупувати таким чином [1,2]:

- прогнози перевезень, виробнича програма, виробничий план, оперативні плани графіки;
- виробничі потужності, запаси;
- конструкторська документація, опис технології виробництва;
- договори на перевезення;
- фінансові документи;
- кадрова документація.

Всі документи, які функціонують на ПЗТ, можна умовно розділити на дві категорії:

- зовнішнього зв'язку,
- внутрішнього зв'язку.

До першої категорії відносяться документи, які надходять на підприємство зовні, або розробляються для передачі від підприємства іншій організації.

До другої категорії відносяться документи, за допомогою яких відбувається керування підприємством.

Серед документів як першої, так і другої категорії присутня значна кількість таких, що містять конфіденційну і навіть секретну інформацію. Тому, щоб запобігти несанкціонованому доступу (НСД) до цієї інформації, необхідно запровадити надійну систему захисту інформації (СЗІ), зокрема, документообігу. При цьому слід брати до уваги той факт, що впровадження СЗІ завжди призводить до ускладнень в роботі, отже її впровадження повинно бути економічно обґрунтованим і доцільним [1,3].

Система документообігу будь-якого підприємства містить документи на паперових носіях і електронні документи, які надходять на підприємство або створюються в результаті його функціонування.

Оскільки захисту потребують всі види документів, то перейдемо до розгляду основних видів атак на системи документообігу і засобів їм протидії.

Можна виділити такі напрями захисту інформації на підприємстві:

- правові;
- організаційні;
- технічні.

1. Попередні дослідження

Розпізнавання загроз для інформаційної безпеки (ІБ) СДО ПЗТ представляє досить складний процес. Правильне визначення загроз для ІБ залежить від великої кількості різноманітних факторів, а саме: втрати інформації через збій устаткування; втрати інформації через некоректну роботу програмного забезпечення (ПЗ); втрати, пов'язані з несанкціонованим доступом; помилки обслуговуючого персоналу і користувачів, тощо. Складність розв'язання проблеми прийняття рішень багаторазово зростає у випадках, коли вхідні параметри, які саме визначають стан ІБ СДО, не можуть бути виміряні точно. При цьому на практиці у більшості випадків невизначеність стану не може бути описана з використанням теоретико-ймовірнісного підходу. Це відбувається внаслідок того, що параметри не є випадковими величинами і для них не існує можливості побудувати функції розподілення. Розглянуті обставини змушують шукати нових підходів, які дозволили б вирішити завдання побудови багатовимірної залежності з нечітко заданими вхідними параметрами та нечисловою (лінгвістичною) інформацією.

Аналіз методів визначення причинно-наслідкових зв'язків між вхідними параметрами та вихідною величиною дозволяє дійти висновку, що жоден з них з притаманними їм перевагами і недоліками не може окремо повною мірою відповідати моделі “багатовимірний вхід – вихід”. Отже, існує велика кількість неформалізованих задач, які не можуть бути розв'язані за допомогою лише одного методу, а необхідний консорціум методологій,

які забезпечили б основи конструювання та розвитку інтелектуальних систем розпізнавання загроз ІБ СДО ПЗТ. Першим шляхом комплексного використання таких напрямків, як нечітка логіка, нейро— і генетичні обчислення та інших інтелектуальних технологій ідентифікації стали м'які обчислення (Soft Computing), які більшою мірою пристосовані до роботи з неточними та невизначеними даними, що дозволяє розв'язати проблему лінгвістичної невизначеності [1,2,4].

Однак, наряду з подоланням труднощів використання нечітко заданої вхідної інформації необхідно також забезпечити можливість урахування відмінностей за важливістю контрольованих параметрів і врахувати їх взаємодії необхідного порядку. Ця проблема може бути вирішена методами нечіткої логіки та регресійного аналізу.

2. Постановка задачі

Таким чином, комбінація м'яких обчислень і теорії планування експерименту дає змогу формалізувати причинно-наслідкові зв'язки між змінними „вхід — вихід” та вирішити актуальну науково-практичну задачу прийняття рішень щодо розпізнавання загроз ІБ СДО за рахунок використання нечітких баз знань.

3. Результати дослідження

Зараз при проектуванні і дослідженні систем захисту інформації і систем інтелектуальної підтримки процесів підготовки і прийняття рішень стосовно інформаційної безпеки використовувалися два великі класи математичних моделей і методів: один з них представлений детермінованими, а другий імовірнісними моделями. Але в останні роки відбувається стрімкий розвиток і все більш широке застосування, абсолютно нового класу моделей і методів, заснованих на принципах теорії нечітких множин [4-6].

Перший етап моделювання нечіткими базами знань складається з формування за експертною інформацією моделі об'єкта ІБ шляхом побудови бази знань і грубого настроювання цієї моделі. Такий підхід є традиційним для нечітких систем і не гарантує збіг бажаного і модельного результату. Другий етап необхідний для проведення тонкого настроювання нечіткої моделі ІБ шляхом її навчання за експериментальними даними.

Для формалізації лінгвістичних змінних була вибрана дзвіноподібна модель функції належності, яка має найменше число параметрів, що зменшує розмірність задачі підбору цих параметрів при навчанні нечіткої моделі.

Припустимо, що проведена серія N вимірів значень контрольованих змінних показників стану системи захисту інформації (СЗІ) та інформаційної безпеки підприємства, в результаті яких отримана матриця

$$S = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1i} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2i} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{l1} & x_{l2} & \dots & x_{li} & \dots & x_{ln} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Ni} & \dots & x_{Nn} \end{pmatrix}.$$

Тут вектор $X_l = (x_{l1}, x_{l2}, \dots, x_{li}, \dots, x_{ln})$ відповідає результатам проведення l -го експерименту із вивчення ступеню захищеності СДО підприємства. Кожному значенню x_{li} вхідної змінної x_i поставимо у відповідність m чисел $(z_i^{1l}, z_i^{2l}, \dots, z_i^{jl}, \dots, z_i^{ml})$, $i = \overline{1, n}$, де z_i^{jl} — число, що встановлює, якою мірою значення x_{li} змінної x_i в l -ому експерименті сприятливо для реалізації j -го варіанту захисту СДО, $z_i^{jl} \in [0, 1]$.

Одночасно вектору X_l поставимо у відповідність m чисел $(d_{1l}, d_{2l}, \dots, d_{jl}, \dots, d_{ml})$, $l = \overline{1, N}$, де d_j^l — ступінь доцільності використання j -го варіанту захисту СДО за ситуації, коли набір контрольованих параметрів утворює вектор X_l , $d_j^l \in [0, 1]$.

Для j -го варіанту ІБ СДО введемо матриці

$$S_j = \begin{pmatrix} z_1^{j1} & z_2^{j1} & \dots & z_i^{j1} & \dots & z_n^{j1} & z_1^{j2} & z_2^{j2} & \dots & z_i^{j2} & \dots & z_n^{j2} & \dots & z_1^{jN} & z_2^{jN} & \dots & z_i^{jN} & \dots & z_n^{jN} \\ z_1^{j2} & z_2^{j2} & \dots & z_i^{j2} & \dots & z_n^{j2} & z_1^{j3} & z_2^{j3} & \dots & z_i^{j3} & \dots & z_n^{j3} & \dots & z_1^{jN} & z_2^{jN} & \dots & z_i^{jN} & \dots & z_n^{jN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_1^{jl} & z_2^{jl} & \dots & z_i^{jl} & \dots & z_n^{jl} & z_1^{j(l+1)} & z_2^{j(l+1)} & \dots & z_i^{j(l+1)} & \dots & z_n^{j(l+1)} & \dots & z_1^{jN} & z_2^{jN} & \dots & z_i^{jN} & \dots & z_n^{jN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_1^{jN} & z_2^{jN} & \dots & z_i^{jN} & \dots & z_n^{jN} & z_1^{j1} & z_2^{j1} & \dots & z_i^{j1} & \dots & z_n^{j1} & \dots & z_1^{j2} & z_2^{j2} & \dots & z_i^{j2} & \dots & z_n^{j2} \end{pmatrix}$$

де $D_j^T = (d_j^1 \ d_j^2 \ \dots \ d_j^l \ \dots \ d_j^N)$,

$A_j^T = (a_1^j \ a_2^j \ \dots \ a_n^j \ a_{12}^j \ a_{13}^j \ \dots \ a_{i1i2}^j \ \dots \ a_{n-1n}^j)$, $j = \overline{1, m}$.

Нарешті введемо модель

$$y_j^l = \sum_{i=1}^n a_i^j z_i^{jl} + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2 \neq i_1}^n a_{i_1 i_2}^j z_{i_1}^{jl} z_{i_2}^{jl}, \quad (1)$$

що задає ступінь доцільності використання j -го варіанту СЗІ та ІБ СДО в l -ій ситуації, $j = \overline{1, m}$.

Для розв'язання задачі оцінок ступеня доцільності D_j використання варіантів захисту СДО для будь-якого набору контрольованих параметрів при визначенні векторів-оцінок параметрів рівнянь (1) використовується методика складання і розв'язання системи нечітких логічних рівнянь. Найбільш природний підхід до розв'язання задачі розрахунку компонентів векторів $z_j = (z_1^j, z_2^j, \dots, z_n^j)$ для кожного набору значень контрольованих змінних $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ полягає в наступному. Для кожної із змінних x_i формується набір функцій належності $\psi_j(x_i)$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$, де $\psi_j(x_i)$ — функція належності контрольованої змінної x_i нечіткій множині M_{ij} значень, сприятливих для реалізації j -го варіанту захисту СДО.

Введення сукупності таких функцій належності дозволяє інтерпретувати зміряне значення кожної контрольованої змінної x_i як нечітке чис-

ло, ступінь належності якого кожній з нечітких множин $M_{i1}, M_{i2}, \dots, M_{im}$ визначається відповідними значеннями $\psi_j(x_i)$ функцій належності.

Тоді обчислені числа $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_j, \dots, \hat{y}_m$ визначають нечіткі значення ступеня доцільності використання відповідних варіантів захисту СДО для набору вимірюваних значень контрольованих змінних.

Розглянемо фактори, що впливають на ІБ СДО.

Застосувавши правила виконання операцій над нечіткими числами, коли функція належності контрольованого параметра x_i нечіткій безлічі значень, сприятливих для реалізації j -го варіанту, описується функцією $(L-R)$ -типу, отримаємо функції належності нечітких чисел $\hat{y}_j, j = \overline{1, m}$, що визначають ступінь доцільності вибору певного рішення. Відповідне число для j -го варіанту захисту СДО ПЗТ в певній ситуації прийняття рішення при век-

торі контрольованих змінних $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ дорівнює рівнянню (2).

Типи рішень щодо відповідної політики безпеки стосовно СДО вибрані наступним чином: захист СДО непотрібен (d_1); захист СДО непотрібен, потрібно оновлення системного програмного забезпечення (ПЗ) (d_2); потрібно оновлення антивірусного захисту (d_3); потрібно оновлення технічних засобів захисту інформації (ТЗЗІ) (d_4); потрібно встановлення міжмережевого екрану (МЕ) (d_5); потрібно встановлення СПВ (d_6); потрібно оновлення модулів СДО (d_7); потрібні організаційні заходи із розподілу доступу до СДО (d_8); потрібно встановлення засобів захисту від витоку інформації через інші джерела (d_9). Фактори, що впливають на вибір рішення щодо ІБ СДО, представлені у вигляді лінгвістичних змінних (табл. 1), для яких ви-

$$\psi_j(X^*) = \begin{cases} L \left(\frac{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^j + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j x_{i_1}^j x_{i_2}^j - \left(\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^* + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j x_{i_1}^* x_{i_2}^* \right)}{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j \alpha_{ij} + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j \left(x_{i_1}^j \alpha_{i_2 j} + x_{i_2}^j \alpha_{i_1 j} \right)} \right), \\ R \left(\frac{\left(\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^* + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j x_{i_1}^* x_{i_2}^* \right) - \left(\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^j + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j x_{i_1}^j x_{i_2}^j \right)}{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j \beta_{ij} + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j \left(x_{i_1}^j \beta_{i_2 j} + x_{i_2}^j \beta_{i_1 j} \right)} \right), \end{cases} \quad (2)$$

$j = \overline{1, m}, \alpha > 0, \beta > 0$.

Таблиця 1

Фактори, що впливають на вибір стратегії захисту СДО, як лінгвістичні змінні

Частковий параметр стану	Універсум	Терми (T) для лінгвістичної оцінки
x_1 – рівень таємниці документів у СДО	[0,1], у. о.	некритична (нкр), критична (кр)
x_2 – режим доступу співробітників до технічних засобів СДО	[0,1], у. о.	немає (н), частковий (ч), обмежений (о)
x_3 – рівень захисту від НС копіювання	[0,1], у. о.	немає (н), незначний (нз), повний (пз)
x_4 – випадки НС знищення інформації у СДО	[0,1], у. о.	немає (н), незначні (нз), серйозні (с)
x_5 – випадки некоректної роботи ПЗ СДО	[0,1], у. о.	зафіксовані (з), незначні (нз), незафіксовані (нзф)
x_6 – контроль за доступом	[0,1], у. о.	ослаблений (ос), середній (ср), нормальний (н)
x_7 – стан новизни системного ПЗ	[0,100], %	низький (н), середній (ср), нормальний (н)
x_8 – наявність криптографічних засобів у СДО	[0,100], %	низька (н), нижче за середню (нс), середня (с), вище за середню (вс), висока (в)
x_9 – кількість інцидентів з ІБ СДО	[0,1], у. о.	немає (н), незначні (нз), часто трапляються (чт)
x_{10} – кваліфікація співробітників СДО	[0,1], у. о.	низька (н), нижче за середню (нс), середня (с), вище за середню (вс), висока (в)
x_{11} – можливість втручання в роботу СДО ззовні	[0,100], %	низька (н), середня (с), висока (в)
x_{12} – наявність засобів резервування важливої інформації	[0,100], %	низька (н), середня (с), висока (в)
x_{13} – втрати інформації через відмови у роботі СДО	[0,1], у. о.	легкі (л), середні (с), важкі (в)
x_{14} – наявність систем протидії вторгненням (СПВ)	[0,1], у. о.	використовуються (в), частково використовуються (чв), не використовуються (нв)
x_{15} – тип антивірусних програм	[0,1], у. о.	Безкоштовні антивіруси (б), Комерційні антивіруси (к), Комплексні системи – антивірус + фаєрвол (ка)
x_{16} – наявність процедури аудиту СДО	[0,1], у. о.	використовуються (в), частково використовуються (чв), не використовуються (нв)
x_{17} – наявність засобів ідентифікації і аутентифікації користувачів СДО	[0,1], у. о.	використовуються (в), частково використовуються (чв), не використовуються (нв)
x_{18} – наявність активних ТЗЗІ у СДО	[0,1], у. о.	мала (м), середня (с), велика (в)
x_{19} – наявність пасивних ТЗЗІ у СДО	[0,1], у. о.	мала (м), середня (с), велика (в)

брані універсальні множини та терми. Тоді необхідність використання певної стратегії захисту СДО можливо описати наступними залежностями:

$$D = f_D(x_{19}, y_4, y_5), \quad (3)$$

$$y_1 = f_1(x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, y_3), \quad (4)$$

$$y_2 = f_2(x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}), \quad (5)$$

$$y_3 = f_3(x_8, x_{13}, x_{14}), \quad (6)$$

$$y_4 = f_4(x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}), \quad (7)$$

$$y_5 = f_5(x_1, x_2, y_1, y_2), \quad (8)$$

де D – стан захисту СДО, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 – проміжні узагальнені змінні: y_1 – стан ІБ СДО {нижче за критичний (нкр), критичний (кр), вище за критичний (вкр), високий (в)}; y_2 – вплив зовнішніх факторів {несприятливий (нс), помірний (пм), сприятливий (спв)}; y_3 – рівень забезпеченості ТЗЗІ {нижче за критичний (нкр), критичний (кр), вище за критичний (вкр), високий (в)}; y_4 – кваліфікація персоналу {низька (н), нижче за середню (нс), середня (с), вище за середню (вс), висока (в)}; y_5 – необхідність поліпшення ІБ СДО {не потрібно, оновлення системного ПЗ (опз), оновлення антивірусного захисту (оаз), встановлення СПВ (спв)}.

Для кожного із співвідношень (3)-(8) будуються нечіткі бази знань, які представляють сукупність нечітких правил «ЯКЩО-ТОДІ», що визначають взаємозв'язок між вхідними та вихідною змінними. За нечіткими базами знань складаються логічні рівняння. Скорочена система логічних рівнянь, що відповідає співвідношенню (3), виглядає наступним чином:

$$\psi^{d_j}(D) = \bigvee_{p=1}^{h_j} \left[\psi^{y_4^{jp}}(y_4) \wedge \psi^{y_5^{jp}}(y_5) \wedge \psi^{x_{19}^{jp}}(x_{19}) \right], \quad (9)$$

$$p = \overline{1, h_j}, j = \overline{1, 9}$$

де $\psi^{y_4^{jp}}(y_4)$, $\psi^{y_5^{jp}}(y_5)$, $\psi^{x_{19}^{jp}}(x_{19})$ – функції належності змінних y_4, y_5, x_{19} до їх нечітких термів $y_4^{jp}, y_5^{jp}, x_{19}^{jp}$ відповідно; $\vee$ – логічне АБО, $\wedge$ – логічне І, як операції *max* і *min* відповідно.

На рис. 1 представлені результати дослідження. Як видно із діаграми більшість параметрів стану x_i^* для організації в якій виконувалось дослідження знаходиться в допустимих межах, див. табл. 2. Як показали результати дослідження найбільшої уваги потребують такі параметри, як наявність криптографічних засобів у СДО та необхідність додаткового резервування інформаційних та програмних масивів через загрозу втрати інформації, пов'язані із через потенційними відмовами у роботі СДО. Оцінки ступеня доцільності прийняття рішення щодо визначення захищеності СДО виконувалася на основі обробки даних анкетування фахівців ПЗД (м. Дніпропетровськ) з використанням розробленого регресійного механізму логічного висновку.

Таблиця 2

Рівні захисту СДО

Рівень	Значення
1	Низький рівень захисту
2	Недостатній захист
3	Достатній захист
4	Хороший захист
5	Дуже добрий захист

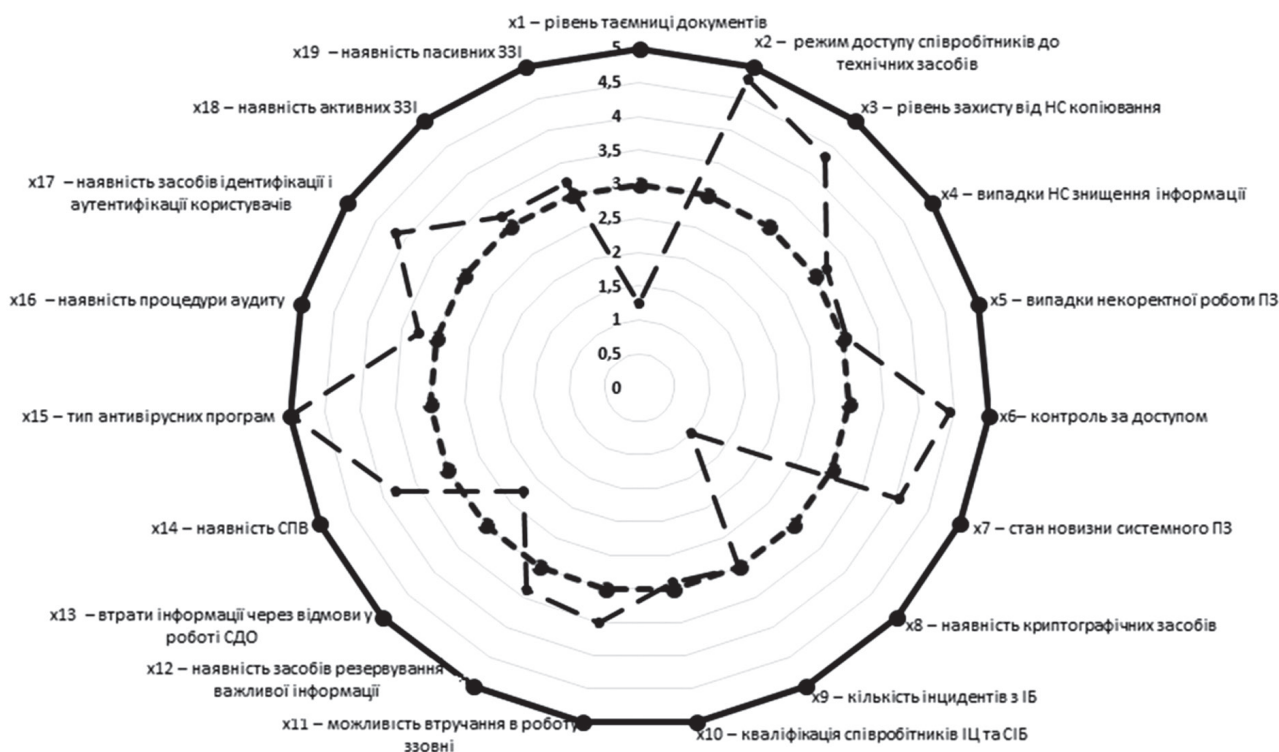


Рис. 1. Результати дослідження лінгвістичних змінних, що впливають на вибір стратегії захисту СДО

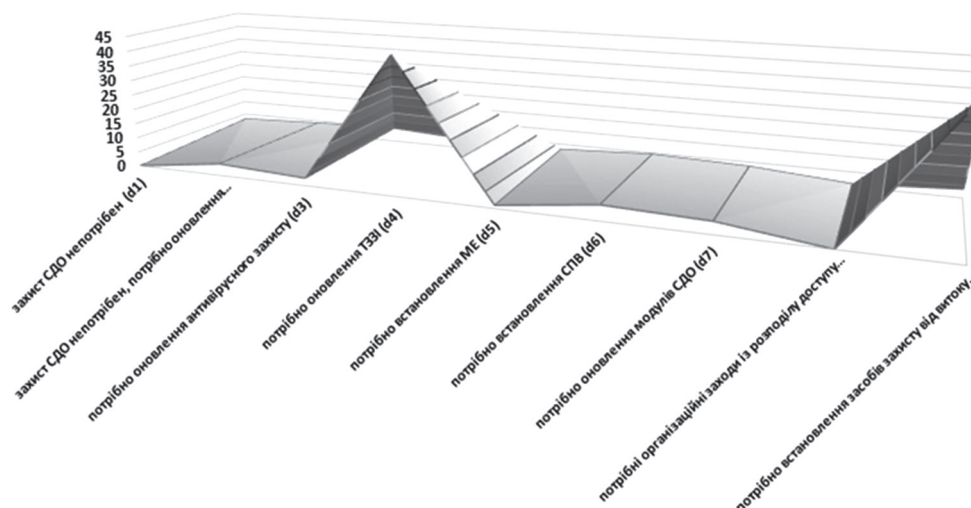


Рис. 2. Результати дослідження типів рішень щодо політики ІБ СДО

Висновки

Таким чином, в роботі запропонована методика та інтелектуальна інформаційна технологія оцінки ступеня доцільності використання варіантів захисту СДО на основі регресійного механізму логічного висновку за рахунок використання нечітких баз знань і рівняння регресії.

Запропонована методика дозволяє для будь-якого набору контрольованих параметрів розрахувати ступінь доцільності використання кожного з 9 можливих варіантів підвищення ступеню захищеності СДО та обрати той з них, ступінь доцільності якого є найбільшою.

Список літератури: 1. Герасименко В.А. Защита информации в автоматизированных системах обработки данных / Герасименко В.А. В 2-х кн. — М.: Энергоатомиздат, 1994. Т1. С. 132-138. 2. Лахно В.А. Обеспечение защищенности автоматизированных информационных систем транспортных предприятий при интенсификации перевозок. Монография. / В.А. Лахно, А.С. Петров. — Луганск: изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2010. — 280 с. 3. Борисов А.Н. Принятие решения на основе нечетких моделей: примеры использования / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. — Рига: Знание, 1990. — 184 с. 4. Новіков О. Побудова логіко-ймовірнісної моделі захищеної комп'ютерної системи / О. Новіков, А. Тимошенко // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. — 2001. — Вип. 3. — с. 101 — 105. 5. Риндюк В. О. Організація систем захисту інформації на основі методів нечітких множин: дисертація канд. техн. наук: 05.13.21 / НАН України; Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. — К., 2003. 6. V. Lahno. Ensuring

security of automated information systems, transportation companies with the intensification of traffic / V. Lahno, A. Petrov.: Monograph. Lugansk. 2011. — 190 p.

Надійшла до редколегії 10.03.2015

УДК 004.056

Выбор методов защиты информации в системах документооборота железнодорожного транспорта / В. А. Лахно, М. Н. Пойманов // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 91–95.

В статье предложен новый подход в методологии распознавания угроз для информационной безопасности (ИБ) систем документооборота (СДО) на предприятиях железнодорожного транспорта. На основе предложенной нечеткой регрессионной модели разработана система поддержки принятия решений при диагностировании параметров защищенности СДО, которая работает под управлением операционной системы Windows и не требует специальной подготовки.

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр.: 6 назв.

UDK 004.056

The choice of methods of information security in document management systems of railway transport / V. A. Lahno, M. N. Poimanov // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 91–95.

This paper proposes a new approach to recognition methodology threats to information security (IS) document management systems (DMS) on railway transport enterprises. Based on the proposed fuzzy regression model developed a decision support system for diagnosing security settings DMS. Decision support system running the Windows operating system and requires no special training.

Tab. 2. Fig. 2. Ref.: 6 items.

УДК 519.688



В.В. Лаврик

Бердянский государственный педагогический университет, Бердянск, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ МОМЕНТНОЙ СХЕМЫ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ ЭЛАСТОМЕРОВ

В данной статье представлен вывод формулы потенциальной энергии системы для кубического конечного элемента на основании моментной схемы КЭ (МСКЭ). Произведён расчёт напряжённо-деформированного состояния виброизолятора ВР-201. По результатам расчёта сделан сравнительный анализ исходящих данных в различных системах автоматизированного проектирования (САПР).

МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, МОМЕНТНАЯ СХЕМА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, САПР

Введение

Постановка проблемы. Анализ публикаций по теме исследования. На практике, используя традиционные схемы методов конечных элементов (МКЭ) построенных на основе вариационного метода Лагранжа для решения задач с особенностями (учёт слабой сжимаемости материалов), возникают определённые трудности, для преодоления которых используют вариационные методы разного вида. Это методы Ху-Вашицу (смешанный метод), Кастильяно (метод сил) и др. [1, 2]. Однако «метод сил» не нашёл широкого применения в расчётах конструкций в силу сложности аппроксимации напряжённо-деформированного состояния объекта.

«Смешанные методы», в отличие от «метода сил», повсеместно используются при создании машино-строительных конструкций. В частности, для исследования напряжённого состояния эластомеров используют вариационные принципы Л.П. Германа, С. Кея, Й. Нагтегала [3, 4].

Помимо положительных моментов, смешанные модели МКЭ обладают рядом недостатков: большой порядок разрешающей системы уравнений по сравнению с МКЭ в форме метода перемещений. Поэтому для задач с указанной особенностью предпочтительнее МКЭ в форме метода перемещений на базе вариационного принципа Лагранжа [5–7].

Формулирование целей статьи. В последние годы встаёт вопрос о разработке инструментальных систем автоматизированного проектирования (САПР), в которых использовались бы приведённые выше вариационные принципы. Современные расчётно-вычислительные комплексы, предназначенные для изучения свойств материалов, находящиеся в напряжённо-деформированном состоянии, содержат целый ряд методов приближённых вычислений: решение больших систем алгебраических и трансцендентных уравнений, численное интегрирование и дифференцирование и т.д., а так же большое количество вспомогательных нестандартных расчётов [8, 9]. В данной статье будет рассмотрен вывод формулы потенциальной энергии системы для кубического конечного элемента на основании моментной схемы КЭ, с последующим

её использованием для расчёта в системе FORTU-FEM [10].

1. Основная часть

Выведем формулу потенциальной энергии для кубического конечного элемента с единичными рёбрами. Рассмотрим линейную аппроксимацию перемещения.

Энергии упругой деформации такого КЭ можно найти из формулы:

$$\Pi = \frac{1}{2} \mu \iiint_V \left(\epsilon_{11}^2 + \epsilon_{22}^2 + \epsilon_{33}^2 + \frac{\epsilon_{12}^2}{2} + \frac{\epsilon_{13}^2}{2} + \frac{\epsilon_{23}^2}{2} \right) dV + \frac{1}{4} \lambda \iiint_V (\epsilon_{11} + \epsilon_{22} + \epsilon_{33})^2 dV, \quad (1)$$

при этом её вариация, исходя из принципа Лагранжа, равна нулю $\delta\Pi = 0$. В формуле (1) σ_{ij} — напряжения, ϵ_{ij} — деформации, возникающие при внешних нагрузках на тело. Между собой они связаны соотношениями закона Гука:

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= (2\mu + \lambda)\epsilon_{11} + \lambda\epsilon_{22} + \lambda\epsilon_{33}, \\ \sigma_{22} &= \lambda\epsilon_{11} + (2\mu + \lambda)\epsilon_{22} + \lambda\epsilon_{33}, \\ \sigma_{33} &= \lambda\epsilon_{11} + \lambda\epsilon_{22} + (2\mu + \lambda)\epsilon_{33}, \\ \sigma_{12} &= \mu\epsilon_{12}, \sigma_{13} = \mu\epsilon_{13}, \sigma_{23} = \mu\epsilon_{23}, \end{aligned} \quad (2)$$

здесь μ, λ — параметры Ляме, которые находятся по формулам:

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}, \lambda = \frac{E\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)}, \quad (3)$$

где E — модуль Юнга и ν — коэффициент Пуассона являются физическими постоянными.

Элементарный объём можно найти из соотношения:

$$dV = \sqrt{g} dx dy dz. \quad (4)$$

Основной принцип моментной схемы лежит в разложении аппроксимирующей функции в ряд Тейлора с последующим отбрасыванием n -ых членов ряда. Для пространственного шестигранного конечного элемента эта функция, представленная в виде ряда, будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} u_{k'} &= w_{k'}^{000} + w_{k'}^{100} \psi^{100} + w_{k'}^{010} \psi^{010} + \\ &+ w_{k'}^{001} \psi^{001} + w_{k'}^{110} \psi^{110} + w_{k'}^{101} \psi^{101} + \\ &+ w_{k'}^{011} \psi^{011} + w_{k'}^{111} \psi^{111}, \end{aligned} \quad (5)$$

где w_k^{pqr} – коэффициенты разложения, ψ^{pqr} – набор степенных координатных функций, определяемых по формуле:

$$\psi^{pqr} = \frac{x^p}{p!} \frac{y^q}{q!} \frac{z^r}{r!} \quad (p=0, 1; q=0, 1; r=0, 1). \quad (6)$$

Деформации ε внутри КЭ определяются через перемещения внутренних точек по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_{22} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_{33} = \frac{\partial w}{\partial z}, \quad \varepsilon_{12} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \\ \varepsilon_{13} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \varepsilon_{23} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}. \end{aligned} \quad (7)$$

Компоненты тензора деформации разложим в ряд Макларена в окрестности начала координат:

$$\varepsilon_{ij} = \sum_{stg} e^{(stg)} \psi^{(stg)}. \quad (8)$$

В разложении компонент деформаций наряду с коэффициентами разложения деформаций присутствуют коэффициенты разложения жёстких поворотов. Это обстоятельство обуславливает причину замедленной сходимости МКЭ. Что бы её устранить отбросим эти члены ряда.

Для кубического КЭ, который имеет единичные метрики измерения, представленного в естественной системе координат, можно определить коэффициенты $b_{\mu\nu\eta}^{k'}$. Так, $b_{100}^{k'} = b_{010}^{k'} = b_{001}^{k'} = \frac{1}{2}$, а

$$b_{110}^{k'} = b_{101}^{k'} = b_{011}^{k'} = b_{111}^{k'} = 0. \quad (9)$$

После подстановки и соответствующих преобразований получим формулу для нахождения потенциальной энергии системы, выраженную только через узловые сдвиги и переменные x, y, z :

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{8} \mu \iiint_V (a + a_x + a_y + a_z + a_{xy} + a_{xz} + a_{yz} + a_{x^2y} + \\ &+ a_{x^2z} + a_{y^2x} + a_{y^2z} + a_{z^2x} + a_{z^2y} + a_{x^2y^2} + a_{x^2z^2} + a_{y^2z^2}) dV + \\ &+ \frac{1}{4} \lambda \iiint_V (b + b_x + b_y + b_z + b_{xy} + b_{xz} + b_{yz})^2 dV, \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} a &= 4(w_{k'}^{100})^2 + 4(w_{k'}^{010})^2 + 4(w_{k'}^{001})^2 + 2w_{k'}^{100} w_{k'}^{010} + \\ &+ 2w_{k'}^{100} w_{k'}^{001} + 2w_{k'}^{010} w_{k'}^{001}, \\ a_x &= (6w_{k'}^{001} w_{k'}^{101} + 2w_{k'}^{001} w_{k'}^{110} + 2w_{k'}^{010} w_{k'}^{101} + \\ &+ 6w_{k'}^{010} w_{k'}^{110}) x; \\ a_y &= (6w_{k'}^{001} w_{k'}^{011} + 2w_{k'}^{001} w_{k'}^{110} + 2w_{k'}^{100} w_{k'}^{011} + \\ &+ 6w_{k'}^{100} w_{k'}^{110}) y; \\ a_z &= (6w_{k'}^{010} w_{k'}^{011} + 2w_{k'}^{010} w_{k'}^{101} + 2w_{k'}^{100} w_{k'}^{011} + \\ &+ 6w_{k'}^{100} w_{k'}^{101}) z; \\ a_{xy} &= (4w_{k'}^{001} w_{k'}^{111} + 4w_{k'}^{011} w_{k'}^{101}) xy; \\ a_{xz} &= (4w_{k'}^{010} w_{k'}^{111} + 4w_{k'}^{011} w_{k'}^{110}) xz; \\ a_{yz} &= (4w_{k'}^{100} w_{k'}^{111} + 4w_{k'}^{101} w_{k'}^{110}) yz; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{x^2} &= (2w_{k'}^{101} w_{k'}^{110} + 3(w_{k'}^{110})^2 + 3(w_{k'}^{101})^2) x^2; \\ a_{y^2} &= (2w_{k'}^{011} w_{k'}^{110} + 3(w_{k'}^{011})^2 + 3(w_{k'}^{110})^2) y^2; \\ a_{z^2} &= (2w_{k'}^{011} w_{k'}^{101} + 3(w_{k'}^{011})^2 + 3(w_{k'}^{101})^2) z^2; \\ a_{x^2y} &= 4w_{k'}^{101} w_{k'}^{111} x^2 y, \quad a_{x^2z} = 4w_{k'}^{110} w_{k'}^{111} x^2 z; \\ a_{y^2x} &= 4w_{k'}^{011} w_{k'}^{111} y^2 x, \quad a_{y^2z} = 4w_{k'}^{110} w_{k'}^{111} y^2 z; \\ a_{z^2x} &= 4w_{k'}^{011} w_{k'}^{111} z^2 x, \quad a_{z^2y} = 4w_{k'}^{101} w_{k'}^{111} z^2 y; \\ a_{x^2y^2} &= (2w_{k'}^{111})^2 x^2 y^2, \quad a_{x^2z^2} = (2w_{k'}^{111})^2 x^2 z^2; \\ a_{y^2z^2} &= (2w_{k'}^{111})^2 y^2 z^2; \quad b = w_{k'}^{100} + w_{k'}^{010} + w_{k'}^{001}; \\ b_x &= (w_{k'}^{100} + w_{k'}^{101}) x, \quad b_y = (w_{k'}^{110} + w_{k'}^{011}) y; \\ b_z &= (w_{k'}^{101} + w_{k'}^{011}) z, \quad b_{xy} = w_{k'}^{111} xy, \quad b_{xz} = w_{k'}^{111} xz; \\ b_{yz} &= w_{k'}^{111} yz. \end{aligned}$$

2. Исследование осадки резинового виброизолятора ВР-201

Рассмотрим объект сложной формы, такой как виброизолятор ВР-201.

Виброизоляторы ВР служат для работы в качестве основных упругих и виброизоляционных элементов, связывающих между собой колеблющиеся и неподвижные части машин, а также для снижения влияния вибрационного воздействия от вентиляторов на различные конструкционные элементы.

Материал, который используется для их производства, резиновая смесь 51-1562 ТУ 105 1325-79.

Расчёт объекта будет производиться с жёстко закреплённым основанием и распределённой нагрузкой на его верхнюю часть.

Согласно техническим характеристикам, приведённым в [11], рабочая нагрузка на виброизолятор составляет $P_{\text{раб}} = 250 \text{ Н}$, предельная – $P_{\text{пред}} = 400 \text{ Н}$. При этом осадка при рабочей нагрузке равна $w_{\text{раб}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, а при предельной – $w_{\text{пред}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

В работе [12] приведены результаты испытания резины марки 51-1562 на протяжении $t = 31350$ часов. При $t = 0$ коэффициент Пуассона материала был равен $\nu = 0,499$. Но в процессе эксплуатации происходит износ материала и в конце срока коэффициент равен $\nu = 0,467$.

Размеры исследуемой конструкции представлены на рис. 1, а и 1, б.

Данная задача решалась при $E = 2.1 \text{ МПа}$.

С помощью препроцессора системы FORTU-FEM была построена регулярная конечно-элементная модель виброизолятора, состоящая из 12575 узлов и 6830 в форме параллелепипеда (рис. 2). Так как изучаемый объект является телом вращения, то для простоты и удобства расчёта будем рассматривать его четвёртую часть.

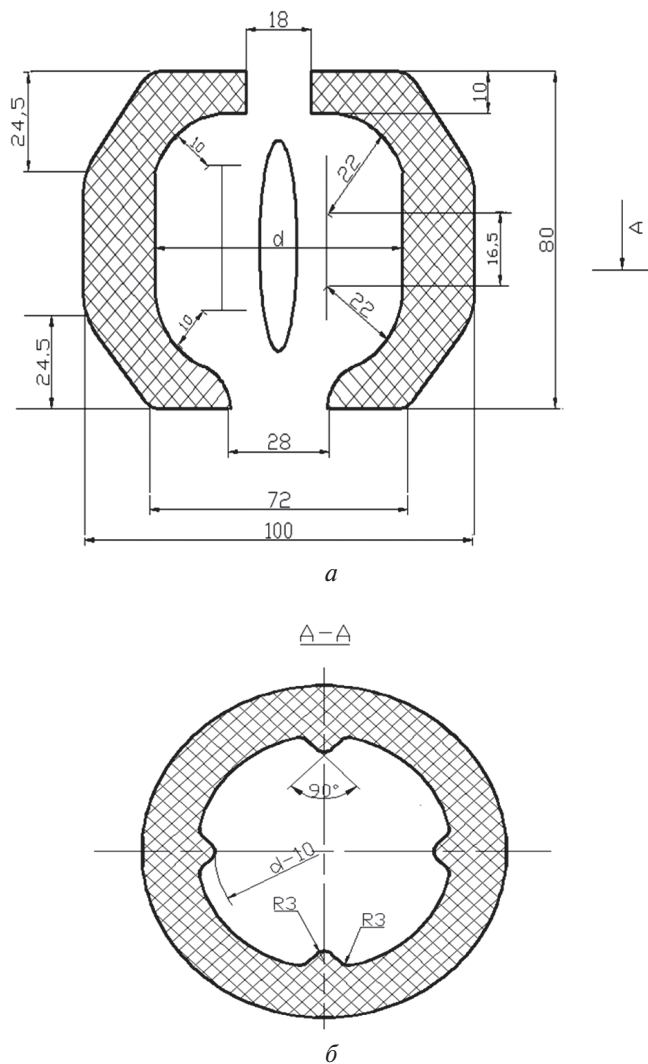


Рис. 1. Схема виброизолятора ВР–201

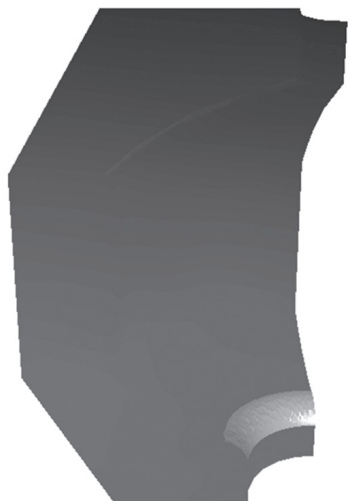


Рис. 2. Модель виброизолятора ВР–201

Экспериментально доказано, что при $\nu = 0,49$ прогиб виброизолятора ВР-201 соответствует характеристикам, которые заявлены в технической документации.

На рис. 3 показаны графики зависимости разных видов прогибов от коэффициента Пуассона.

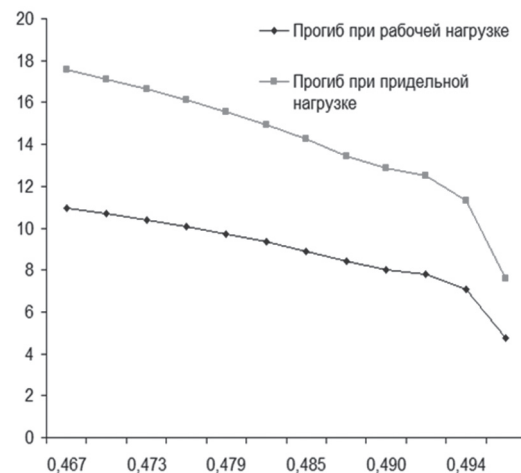


Рис. 3. Графики зависимостей разных видов осадок от коэффициента Пуассона

Из представленных графиков можно заключить, что за время эксплуатации виброизолятора ВР-201, из-за износа материала осадка увеличивается более чем в два раза.

Для проверки эффективности работы рассматриваемой расчётной схемы сопоставили численные результаты расчётов нормальных напряжений в системе FORTU-FEM и MIRELA+ [12] при различных вертикальных нагрузках (рис. 4).

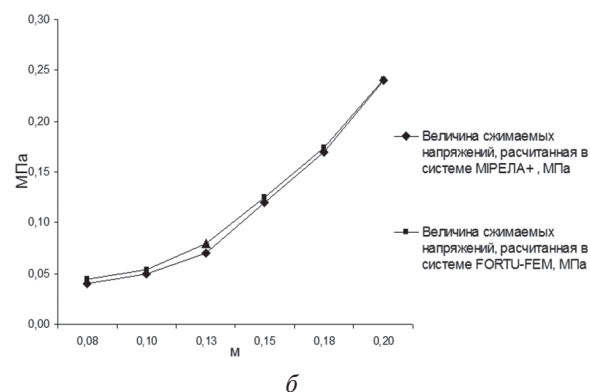
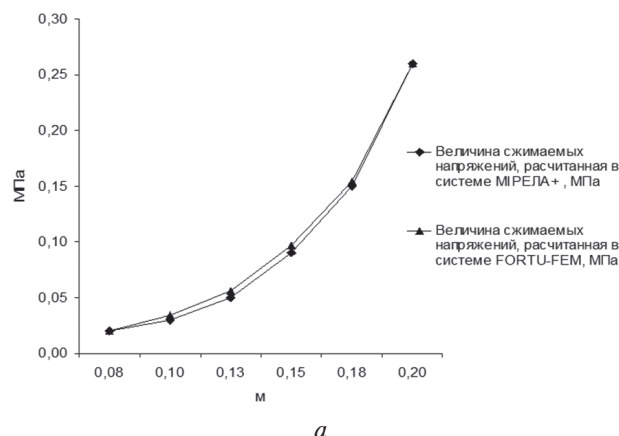


Рис. 4. Графики сравнения распределения нормальных напряжений в виброизоляторе ВР-201: а – при нагрузке 1,3 МПа, б – при нагрузке 0,79 МПа

Была выявлена хорошая согласованность данных.

Выводы

Классические методы конечных элементов требуют, чтобы поле перемещения точек внутри КЭ аппроксимировалось полиномиальными функциями [2–4]. Такие варианты МКЭ обладает медленной сходимостью в силу того, что эти функции, аппроксимирующие поля перемещений, включают слагаемые, описывающие жёсткие смещения КЭ и не учитывают «эффекты ложного сдвига».

Эти недостатки можно устранить, используя МСКЭ.

Для решения проблемы была проанализирована и охарактеризована МСКЭ для пространственного КЭ. Это позволило внедрить разработанную модель в универсальную автоматизированную систему FORTU-FEM.

Точность используемой схемы проверенно на конкретном примере.

Список литературы: 1. Киричевский В. В. Метод конечных элементов в механике эластомеров / В. В. Киричевский. — К.: Наукова думка, 2002. — 655 с. 2. Лаврик В. В. Инструментальная система FORTU-FEM: структура организации и перспективы дальнейшего развития / В. В. Лаврик // Весник Херсонского национального технического университета. Вып. 3(39). — Херсон: ХНТУ. — 2010. — С. 244–251. 3. Трелоар Л. Физика упругости каучука / Л. Трелоар. — М.: Иностран. литер., 1953. — 240 с. 4. Bazhenov V. A., Sakharov A. S., Tsykhanovskii V. K., The Moment Finite-Element Scheme in Problems of Nonlinear Continuum Mechanics // International Applied Mechanics, Vol. 38, Issue 6, June 2002, P. 658–692. 5. Lavrik V. et al. Development of the CAD system for designing non-standard constructions from elastomers / V. Lavrik et al // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. — Vol. 3, Issue 3, March 2014. — P. 10717–10726. 6. Michael N., A Unified analysis of three finite element methods for the Monge-Ampère equation // Electronic Transactions on Numerical Analysis, Vol. 41, 2014, P. 262–288. 7. Miedzi-alski C., Kretowska J., Finite Element Analysis for the Modeling of Building Structures in Three Dimensional Schemes // American Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol. 2, Issue 4, 2014, P. 143–148. 8. Барабаш М. С., Артамонова А. Е. Методы организации обмена информацией между участниками процесса проектирования на основе ПК САПФИР / М. С. Барабаш, А. Е. Артамонова // Сборник научных трудов «Перспективы развития программных комплексов для расчёта несущих зданий и сооружений». Курск: ЮЗГУ. — 2013. — С. 83–90. 9. Тимошенко С. П. Курс теории упругости. — К.: Наукова думка, 1972. — С. 79–83. 10. Гоменюк С. И. Объектно-ориентированные модели и методы анализа механических процессов / С. И. Гоменюк. — Николаполь: Николапольская коммунальная типография, 2004. — 316 с. 11. Сенченков И. К. Метод амплитудно-дифференциальной аппроксимации для расчёта динамических задач вязкоупругости / И. К. Сенченков // Прикладная механика. — 1982. — № 9. — С. 57–62. 12. Киричевский В. В. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану еластомерних елементів сит грохотів у САПР «Мірела+» / В. В. Киричевський, С. М. Гребенюк, С. І. Гоменюк, Р. В. Киричевський // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. — 2005. — № 2. — С. 53–57. — Бібліогр.: 4 назв. — укр.

Поступила в редколлегию 18.03.2015

УДК 519.688

Застосування моментної схеми скінчених елементів для розв'язання задач механіки еластомерів / В. В. Лаврик // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 96–99.

У статті були представлені формули моментної схеми скінчених елементів які реалізовані у системі автоматизованого проектування FORTU-FEM. За допомогою даної схеми було досліджено напружено-деформований стан віброізолятора ВР-201. Були одержані дані, які добре узгоджувалися з раніше розрахованими результатами.

Іл. 4. Бібліогр. 12 найм.

UDC 519.688

Application moment scheme finite elements solutions for problems of mechanics elastomer / V. V. Lavrik // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 96–99.

The article presents formulas moment finite element schemes are implemented in computer-aided design FORTU-FEM. With this scheme was investigated of stressed deformed state vibroinsulator BP-201. There were findings that are well consistent with the previously calculated results.

Fig. 4. Ref.: 12 items.

УДК: 616.89

І.В. Прасол¹, О.В. Мустецова²¹ ХНУРЕ, м. Харків, Україна, prasol_iv@mail.ru² ХНУРЕ, м. Харків, Україна mustetsovn@mail.ru

МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТИКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ СТУДЕНТІВ

Проведено аналіз концепцій про механізми формування комп'ютерної залежності у молодих людей. Показано, що чотири існуючі концепції формування комп'ютерної залежності базуються на недосконалих методиках досліджень. Пропонується підхід до діагностики комп'ютерної залежності на основі теорії функціональних систем та варіант структури системи психодіагностики для виявлення комп'ютерної залежності.

ПСИХОДІАГНОСТИКА, ЗАЛЕЖНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНА, СИСТЕМА ФУНКЦІОНАЛЬНА

Вступ

Збільшення темпу життя, істотне збільшення психічних, емоційних та інтелектуальних навантажень при зниженні фізичних навантажень на організм людини, дозволяють говорити про збільшення уваги з фізичного на психічне здоров'я людини. Особливістю поведінки сучасної молоді є проведення значного часу в спілкуванні з комп'ютером (планшетом, смартфоном). Це можна бачити всюди: в транспорті, аудиторіях, кафе. При цьому вміння роботи з комп'ютером, як правило, не корелює з загальним рівнем знань і успішністю навчання. Крім цього, у великих «любителів віртуального світу» визначаються специфічні риси поведінки (відчуженість, уразливість, тощо).

Тому відповідь на питання чи є комп'ютерна залежність відхиленням від норми або нормою, враховуючи рівень урбанізації суспільства є актуальною задачею, вирішення якої дозволить сформувати об'єктивні показники для визначення наявності комп'ютерної залежності.

1. Аналіз існуючих концепцій розвитку феномена комп'ютерної залежності

Наявність та шляхи формування комп'ютерної залежності (КЗ) до теперішнього часу є предметом дискусій як психіатрів, так і психологів [1, 2].

Дослідниками феномена КЗ запропоновано різні, іноді протилежні, точки зору. Поки не визначено клінічні критерії КЗ і внесок у її формування нейрофізіологічних, особистих, макро- і мікросоціальних чинників, не зрозумілі медичні та суспільні наслідки КЗ. Незважаючи на явні протиріччя, було б помилкою у всьому протиставляти існуючі погляди на природу комп'ютерної залежності. Таким чином, проблема КЗ є комплексною проблемою, вирішення якої можливо спільними зусиллями різних фахівців: лікарів, психологів, нейробіологів, соціологів, культурологів.

Усі існуючі точки зору на формування КЗ можна об'єднати в чотири концепції формування КЗ: медико-біологічна, психологічна, соціо-культурна та комплексна.

Прихильники медико-біологічної концепції КЗ як офіційного діагнозу зазвичай відносять його до

порушень контролю над імпульсивністю або розладів звичок і потягів. Підставою такої концепції є той факт, що клінічна картина і стереотип розвитку КЗ і тяги до азартних ігор подібні [3]. Разом з тим слід відзначити зв'язок КЗ з малопрогредієнтною шизофренією [4], синдромом Аспергера.

Разом з тим не вирішено питання про специфічність КЗ. На думку авторів [5] КЗ є самостійним розладом. Інші автори [6, 7] вважають, що необмежений доступ до різного роду віртуальних вражень, є середовищем для реалізації інших згубних звичок (адикцій). Центристська позиція представлена в роботі [8]. Автор проводить відмінність між залежністю безпосередньо від Інтернету і залежностями, пов'язаними із застосуваннями Інтернету.

У роботі [2] показано зв'язок морфоцеребральних характеристик людини з КЗ. Для КЗ характерна наявність різноманітних уражень структур головного мозку пов'язаних з емоційним, вольовим і когнітивним контролем. Наприклад, виявлене зменшення обсягу сірої речовини у корі головного мозку, свідчить про те, що довгострокова Інтернет-адикція може привести до структурних змін мозку [9].

Виявлено також мікроструктурні порушення цілісності білої речовини мозку у Інтернет-залежних. При цьому висловлено припущення [10], що аномалії білої речовини можуть відігравати важливу роль у формуванні Інтернет-залежності. Автори вважають, що отримані дані можуть мати принаймні два ймовірні пояснення. З одного боку, виявлені аномалії можуть створювати сприятливу основу для формування розладу, граючи таким чином роль одного з факторів КЗ. В той же час, структурні порушення в головному мозку гіпотетично можуть бути результатом надмірного використання комп'ютера.

Таким чином, відповіді на питання про характер, ступінь та сама можливість нанесення шкоди здоров'ю в ході інтенсивного використання комп'ютера ще далекі від остаточного вирішення. Це пов'язано зокрема з тим, що наявність КЗ встановлюється за результатами анкетування, а дослідження з використанням методів візуалізації мозку проводяться зазвичай на малій вибірці добровольців.

У роботі [11] наведено результати нейрохімічних аспектів формування КЗ. Наведені дані дають підстави вважати, що КЗ може мати загальні патофізіологічні риси з хімічною залежністю. На користь цього свідчать і дані про їх часте поєднання.

Цікавою є соціальна концепція формування КЗ [12]. На думку авторів мотиви віртуального спілкування між членами Інтернет-співтовариств (соціальні мережі, блоги, комп'ютерні ігри тощо) підпорядковані тим же законам, які діють в реальному світі. При цьому Інтернет пропонує більш широкі можливості спілкування. Для сучасної людини віртуальний простір дуже часто є не сурогоматом об'єктивної дійсності, а важливою його частиною. Незадоволеність повсякденним життям, потреба в більш вільному (розкутому) спілкуванні, самовираженні можуть провокувати, «переселення» в комп'ютерний світ.

При такому підході явище так званої «залежності» від комп'ютера, розглядається не як розлад психіки або поведінки, а як глобальний соціокультурний феномен. У цьому випадку КЗ можна розглядати не як «відхід» у віртуальну реальність, а як розширення нашої звичної дійсності, що цілком природно і відображає реальність сучасного суспільства, яке перейшло на наступний етап свого розвитку.

Заперечуючи КЗ як хворобу, багато дослідників [13], допускають можливість виникнення перехідних порушень поведінки і соціального функціонування, пов'язаних з надмірним спілкуванням з комп'ютером. Доведено, що надмірне використання Інтернету може принести шкоду когнітивної, поведінкової і афективної сфер. При цьому передбачається, що шкода, яку наносить комп'ютер, носить «доброякісний» характер і може бути компенсована за рахунок здатності до сприйняття та переробки зовнішньої інформації (когнітивності) конкретної людини.

Деякі автори [12] впевнені, що КЗ не є захворюванням. А медико-психопатологічне трактування базується на штучно сформованій лікарями та ЗМІ впевненості осіб, «які страждають» КЗ, та їх родичів у хворобливій природі їх поведінки.

Існування різних концепцій і наявність різних точок зору ставить під сумнів саме існування КЗ як захворювання. Крім того, різні трактування ознак КЗ надзвичайно поширені в Інтернеті, тому ідентифікація пацієнтів, які страждають даним розладом психіки дуже складна.

Психологічна концепція феномена КЗ базується [14] на уявленні про те, що в основі розладу лежить прагнення до домінування над комп'ютером як неабияким і високо інтелектуальним противником. Таке домінування має мету компенсувати неможливість здійснення такого контролю в інших сферах життя, насамперед — у соціальних відносинах. Ілюзія «могутності» і «контролю» часто розглядається дослідниками в якості важливого еле-

мента в розвитку залежної поведінки. Символічна природа азартної гри створює умови для вираженої психологічної дисоціації: гравець, зовні дотримуючись соціально дозволених правил поведінки, отримує доступ до широкого кола емоційних переживань, які в інших умовах були б неприйнятними або недоступними. При грі на комп'ютері у людини відбувається ілюзорне набуття нового «Я», багато в чому протилежного його реальному «Я». Це ілюзорне «Я» не усвідомлено наділяється якостями, що дозволяють долати психологічні конфлікти, притаманні реальній особистості [15]. Автор підкреслює, що прагнення до набуття цього могутнього «Я» і становить несвідому основу патологічної ігрової залежності (гемблінгу). Тим не менш, в силу специфіки азартної гри задоволення цього прагнення відбувається не завжди. «Ілюзія контролю» припускає, що гравець вірить, що може контролювати випадкові події за допомогою різних способів ритуальної поведінки, наприклад, швидкості натискання на кнопки ігрового автомату. Разом з тим, при професійній комп'ютерній діяльності подібні ритуали часто не потрібні. Специфічні властивості віртуальних технологій пропонують користувачеві «гарантовано» отримати відчуття контролю та повної влади над ілюзорним світом без ризику невдачі і фрустрації. Резонно вважати, що ця обставина може служити одним з пояснень швидшого формування комп'ютерної залежності, порівняно з іншими нав'язливими потребами (адикціями).

Поширеною є точка зору, яка розглядає комп'ютерну залежність як форму ілюзорно-компенсаторної (адиктивної) поведінки [16]. Більшість прихильників цього напрямку, характеризуючи механізм формування розладів, концентрують увагу на стійких мотивах «втечі» у віртуальну реальність. За даними [17] для Інтернет-адиктів характерні такі риси: високий рівень абстрактного мислення, впевненість у собі, індивідуалізм, низька здатність до конформної поведінки, настороженість, схильність до гіпертрофованого реагування на слова інших людей. За твердженням дослідників, описані риси, з одного боку, зумовлюють прагнення до опосередкованого спілкування з людьми, з іншого — сприяють більш легкій адаптації до тривалих періодів ізоляції.

Особливо слід відзначити особистісні особливості Інтернет-адиктів. Відзначається поєднання скромності, самотності, егоцентризму і депресії. Автори роботи [18] вказують на характерний для адиктів феномен «пошкодженої самооцінки», що складається з зовнішньої декларованої низької самооцінки, тоді як прихована, внутрішня самооцінка дуже висока.

Психоемоційні концепції. Віртуальний світ, дає унікальну можливість динамічного взаємодії між суб'єктом і об'єктом адикції. Важливими аспектами такої взаємодії, що підсилюють психоак-

тивний ефект віртуальної реальності, автори [19] вважають використання архетипних сюжетів і образів (наприклад, архетипу Героя, Старого Мудреця, Великої Матері та ін.). А також застосування в комп'ютерних програмах певних зорових ефектів, фігур, ритмів, кольорів. При цьому адикт не тільки проводить все більше часу в комп'ютерному міфологічному світі, але і, потрапляючи під вплив архетипів, починає проектувати віртуальний досвід на ситуації, події, міжособистісні відносини в реальному світі. У ході такого перенесення адикт «відкидає» своє колишнє, засноване на вимушених компромісах «Я», яке стає для нього непотрібним, що сприяє формуванню і закріпленню ілюзії спілкування з реальним світом і призводить до зростаючої соціальної ізоляції і дезадаптації. Подібну картину описує О. Феніхель, говорячи про розвиток залежності від азартних ігор. На думку [20], гравець спочатку має образ забави («у оракула як би жартівливо запитують, яке рішення він прийме в більш серйозній ситуації»), під тиском внутрішньої напруги втрачає ігрову суть. Однією з найважливіших відмінностей КЗ від більшості адикцій є практично повна відсутність боротьби мотивів. Більше того, відкидання «Я» відбувається автоматично і сприймається як звільнення. Автори [20] справедливо відзначають, що ця особливість створює серйозні перешкоди на шляху психотерапевтичних методів корекції.

А. Е. Войскунський [7] називає найбільш адекватним психологічним аналогом феномена залежності від Інтернету досвід «поток» (flow). Відповідно до цієї гіпотези досвід потоку слід розуміти як відчуття перенесення в нову реальність, яка веде до порушення відчуття часу, відволікання від навколишнього фізичного і соціального середовища. Крім того, досвід потоку межує з викликом до наявних у суб'єкта знань, умінь, навичок і здібностей в цілому, його компетентності у вирішенні проблем. Автор [12], посилаючись на емпіричні дослідження, резюмує, що феномен залежності від Інтернету «може і повинен бути зрозумілий не просто як виникнення у людини нав'язливо небажаних мимовільних думок, від яких слід за всяку ціну позбавитися, але і як багатой внутрішньої мотивованої пізнавальної діяльності».

Слід зазначити, що нами не було знайдено жодного дослідження, що доводить «корисність» КЗ. До того ж, ця позиція не пояснює цілий ряд фактів, виявлених іншими дослідниками, у тому числі наявність додаткової клінічної картини у адиктів. КЗ дуже часто пов'язують з агресією, антисоціальною поведінкою, статевою перевагою, соціальною дезадаптацією тощо.

Одна з комплексних концепцій розвитку нехімічної залежності, яка нам видається досить переконливою, запропонована в роботах [1]. Автор зазначає, що в розвитку хвороби залежної поведінки (ХЗП), до якої автор відносить і комп'ютерну

залежність, є певна етапність і стадійність. Виділяється предиспозиційний, доклінічний і клінічний етапи.

Предиспозиції до КЗ, на думку автора, включають три компоненти: морфофункціональний церебральний (біологічний), особистісний (психічний) і статевий. Першому з них відповідають ознаки пошкодження мозку, як правило, за рахунок вродженої дисгенезії мозку або рано придбаної травми. Однак саме по собі органічне ушкодження мозку ще не є патологічним процесом, а являє собою лише одну з умов його виникнення в деяких випадках КЗ. Церебральна предиспозиція у розвитку КЗ має подвійне значення. З одного боку, вона значно збільшує ризик виникнення КЗ, а з іншого, призводячи до дисфункції мозку, виступає найважливішою умовою виникнення та розвитку патологій функціонування. Таким чином, дана концепція [21] розглядає КЗ як результат аномального підвищення електрофізіологічної активності головного мозку. Застосувавши метод функціональної нейровізуалізації було показано значні відмінності в активності головного мозку осіб, які страждають КЗ, порівняно зі здоровими при виконанні функціональних тестових завдань.

Сексуальна складова предиспозиції проявляється також у статевій перевазі і різних формах патологій потягів. Більшість дослідників [22] сходяться на думці, що цей розлад частіше проявляється у представників чоловічої статі.

Цікаві дослідження зв'язку особистісних характеристик (темперамент, своєрідні властивості) особистості з КЗ. На властивості особистості значною мірою впливають соціальне (мікросоціальне) середовище і система виховання. Результати досліджень проведених в [11] свідчать, що на появу Інтернет – залежності мають значний вплив наступні чинники: патологічний стиль виховання (гіперпротекція – 75%, гіпопротекція – 25%); зниження авторитету батька; дисгармонія в контакті з матір'ю.

На доклінічному етапі розвитку КЗ, дисгармонія особистості закономірно веде до виникнення фрустрацій (відчуття обману, невдач, даремним очікуванням, розладів задумів), які з часом стають хронічними. Фрустрації набувають хронічного характеру у зв'язку з психічною інертністю і обмеженістю адаптаційних механізмів. У свою чергу це веде до психосоціальної дезадаптації різного ступеня.

Таким чином, сучасне уявлення про комп'ютерну залежність неможливо назвати повним. Наявні літературні відомості не дозволяють скласти однозначне уявлення про природу цього розладу. Це пов'язано з різними факторами. Перш за все, з недосконалістю та обмеженням методологій досліджень. Найбільш часто використовується метод анкетування, при реалізації якого причинно-наслідкові зв'язки між показниками трактуються

суб'єктивно. Більш перспективним видається клінічний метод з комплексним вивченням феномену КЗ.

Подальші дослідження даного розладу психіки не тільки не втратили актуальності, а, в умовах бурхливого розвитку комп'ютерних технологій, набули особливого медико-соціального значення.

2. Система об'єктивного визначення наявності комп'ютерної залежності

Визначення стійкості психіки, відсутності КЗ та професійних нахилів людини є завданням як психіатрів, так і психологів. Але існуючі методи є, головним чином, суб'єктивними (анкетування, анамнез, бесіда, тощо). Тому створення технічних засобів психодіагностики, що дозволяють діагностичний процес зробити більш об'єктивним можливо при відтворенні технологічного процесу діагностики з використанням технічних засобів. Діагностичний процес може бути представлено в вигляді технологічної схеми (рис. 1).

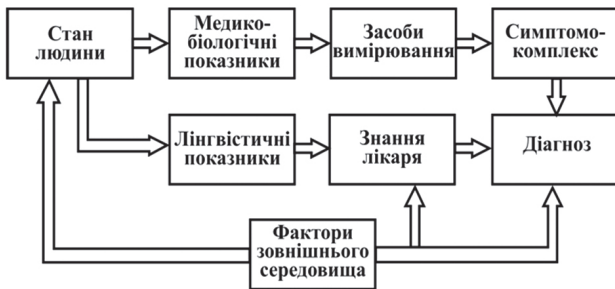


Рис. 1. Схема формування медичного висновку

В області психіатрії реалізація наведеної схеми діагностики має ряд особливостей. Початкова інформація будь-якого діагнозу є медико-біологічні показники, які можуть бути виражені через фізичні, хімічні (лінгвістичні) ознаки, які можливо оцінювати в відповідних шкалах. Набір показників, що покладені в основу медичного діагнозу, формується в результаті моделювання фізіологічного процесу або опису функціонування органу, фізіологічної системи. У разі моделювання психічної поведінки людини можна скористатися теорією функціональних систем, яка дозволяє чисто психічним явищам дати фізіологічну інтерпретацію і, по можливості, визначити показники функціонування системи. Відповідно до теорії функціональних систем виникнення мотивації і формування актів поведінки залежить від аферентного синтезу при складній взаємодії домінуючої мотивації, пам'яті, стимулів зовнішнього середовища та урахування і оцінки результатів попередніх актів (рис. 2). З точки зору цієї концепції по суті психофізіологічне обстеження являє собою експериментальну модель цілісної цілеспрямованої поведінки людини.

З представленої схеми видно, що виділення функціональних показників, що характеризують психіку та можливості людини, вкрай складно в силу великого числа аферентних (невизначених)

зв'язків, і мотивація поведінки залежить як від стану усіх систем організму, так і від впливів зовнішнього середовища.

Тому, перш за все, необхідно враховувати показники, що характеризують загальний стан організму. Друга група показників є результат аналізу виконання тестових завдань. Тобто аналіз взаємодії пацієнта з зовнішнім середовищем.

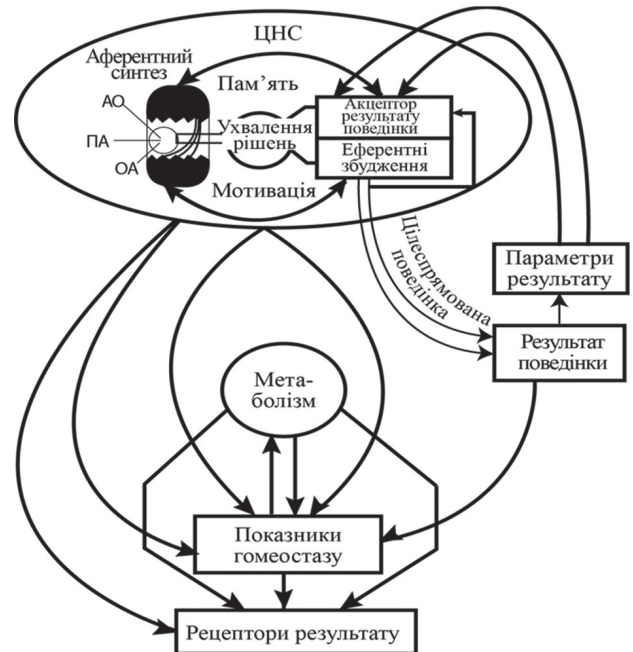


Рис. 2. Функціональна схема формування мотиваційної поведінки людини: СА – пускова аферентація, РА – аферентація зовнішнього середовища, ВА – зворотна аферентація, МЕ – стан пам'яті, МО – провідна мотивація

Значною проблемою психодіагностики є вибір методу оцінки результатів дослідження в силу відсутності систематизованого набору діагностичних ознак. Більш того, наявність КЗ як захворювання є дискусійним. На теперішній час існують три методи формування оцінки комп'ютерної залежності: емпіричний; аналітичний; дорадчий.

Методи першого типу, базуються на проведенні досліджень шляхом використання тестів, які аналізуються групою з 3-5 експертів.

Аналітичний підхід базується на логічному аналізі особливостей відхилень та поетапний перехід від опису відхилень до опису вимог до «нормального стану» людини. Для реалізації цього методу достатньо одного висококваліфікованого експерта.

Дорадчий підхід полягає в проведенні колегіального обговорення експертами та психологами можливого набору ознак, для постановки діагнозу. Особливістю такого підходу є якісний характер і неповнота переліку ознак, які будуть мати різну глибину аргументації їх важливості та якостей.

Вихідними даними діагностики, в будь-якому випадку, є результат покоординатного порівняння еталонного і поточного переліків показників, які покладені в основу формування діагнозу:

$$D[n] = A[n] - E[n], \quad n = 1, 2, \dots, N.$$

Узагальнений алгоритм прийняття рішення формально може бути описано наступними процедурами:

– формування кодової форми показників елементів множини $\{D[n]\}$:

$$R = U\{D[n]\},$$

де $U\{-\}$ – оператор упорядкування;

– перетворення кодової форми рішень R у вербальну форму $V = U\{D[n]\}$, базуючись на заздалегідь заданій множині однозначних відповідей типу:

$$D[n] \leftrightarrow V[n].$$

Узагальнений алгоритм прийняття рішення про наявність КЗ може бути описано таким чином:

– використовуючи попередньо обрану міру близькості в N -вимірному просторі, обчислюють відстань $\rho(A, E)$ між еталонним $E[n]$ і поточним $A[n]$ переліками значень показників; наприклад, в просторах L_1 і L_2 маємо відповідно (для дійсних функцій $E[n]$ і $A[n]$):

$$\rho_1(A, E) = |a_1 - e_1| + |a_2 - e_2| + \dots + |a_N - e_N|,$$

$$\rho_2(A, E) = \left[|a_1 - e_1|^2 + |a_2 - e_2|^2 + \dots + |a_N - e_N|^2 \right]^{1/2},$$

де a_n і e_n , $n = 1, 2, \dots, N$ – значення $A[n]$ і $E[n]$ і, відповідно прийняття рішення, порівнюючи величину ρ з порогом Π : якщо $\rho \leq \Pi$, приймають рішення про наявність КЗ; якщо $\rho > \Pi$, приймають рішення про наявність відхилень від норми.

Структура системи, що пропонується, для визначення наявності КЗ наведена на рис. 3.

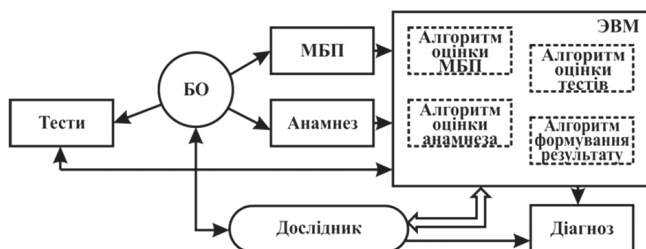


Рис. 3 Схема системи визначення комп'ютерної залежності

Висновки

Наявні літературні відомості, щодо комп'ютерної залежності не дозволяють скласти однозначне уявлення про наявність та природу цього розладу. Це пов'язано з багатьма факторами. Перш за все – недосконалість методології досліджень. Таким чином, сучасне уявлення про комп'ютерну залежність неможливо назвати повним.

Метод анкетування, який часто використовують дослідники, не може вважатися пріоритетним, тому що причинно-наслідкові зв'язки між виявленими показниками трактуються авторами суб'єктивно.

Більш перспективним видається клінічний метод з комплексним вивченням феноменології розладу, виділенням симптомів, вивченням синдрому таксиса і синдромокінеза.

В роботі пропонується структура системи психодіагностики особливістю якої є визначення як захворювань, так і професійної придатності, визначення професійних нахилів. Особливістю системи є визначення КЗ як на основі традиційного тестування, так і по об'єктивним показникам організму.

Список літератури: 1. Бухановский А.О., Солдаткин В.А., Мавани Д.Ч., Дьяченко А.В. Компьютерная зависимость: расстройство, которого пока нет в классификациях (обзор зарубежной литературы) // Российский психиатрический журнал. 2012. № 1. С. 21–29. 2. Dong G., Devito E., Du X., Cui Z. Impaired inhibitory control in internet addiction disorder: A functional magnetic resonance imaging study // Pscychresns. 2012. Vol. 203, N 2–3. P. 153–158. 3. Lee H.W., Choi J.S., Shin Y.C. et al. Impulsivity in internet addiction: a comparison with pathological gambling // CyberPsychology Behav. Soc. Networking. 2012. Vol. 15, N 7. P. 373–377. 4. Крыжановский Г.Н. Дизрегуляторная патология и патологические интеграции в нервной системе // Журнал неврологии и психиатрии. 2009. № 1. С. 4–9. 5. Young K.S. Psychology of computer use: Addictive use of the Internet: a case that breaks the stereotype // Psychol. Rep. 1996. Vol. 79, N 3. P. 899–902. 6. Менделевича В.Д. Руководство по аддиктологии. СПб.: Речь, 2007. 768 с. 7. Baer S., Bogusz E., Green D.A. Stuck on screens: Patterns of computer and gaming station use in youth seen in a psychiatric clinic // J. Can. Acad. Child Adolesc. Psychiatry. 2011. Vol. 20, N 2. P. 86–95. 8. Griffiths M.D. Does Internet and computer “addiction” exist? Some case study evidence // CyberPsychology Behavior. 2000. Vol. 3, N 2. P. 211–218. 9. Yuan K., Qin W., Wang G. et al. Microstructure abnormalities in adolescents with internet addiction disorder // Plos One. 2011. Vol. 6, N 6. P. 207–208. 10. Lin F., Zhou Y., Du Y. et al. Abnormal white matter integrity in adolescents with internet addiction disorder: a tract-based spatial statistics study // PLoS One. 2012. Vol. 7, N 1. e30253. PMC3256221. 11. Jovic J., Dindic N. Influence of dopaminergic Internet addiction // Acta Med. Med. 2011. Vol. 50, N 1. P. 60–66. 12. Войскунский А.Е. Психологические исследования феномена интернет-аддикции // 2-ая Российская конференция по экологической психологии. Тезисы. М.: Экопсицентр РОСС. С. 251–253. 13. Юрьева Л.Н., Бальбот Т.Ю. Компьютерная зависимость: формирование, диагностика, коррекция и профилактика. Дн-к: Пороги, 2006. 196 с. 14. Войскунский А.Е. Актуальные проблемы зависимости от Интернета // Психологический журнал. 2004. Т. 25, № 1. С. 90–100. 15. Бобров А.Е. Азартное расстройство (патологическая склонность к азартным играм): клинические, лечебно-профилактические и социальные аспекты. М.: Медпрактика, 2008. 268 с. 16. Егоров А.Ю. Нехимические (поведенческие) аддикции (обзор) // Аддиктология. 2005. № 1. 17. Young K.S., Rogers R. The relationship between depression and Internet addiction // CyberPsychol. Behav. 1998. Vol. 1. P. 25–28. 18. Stieger S., Burger C. Implicit and explicit self-esteem in the context of internet addiction // Cyberpsychol. Behav. Soci. Networking. 2010. Vol. 13, N 6. P. 681–688. 19. Короленко Ц.П., Дмитриева Н.В. Психосоциальная аддиктология. Новосибирск: «Олсиб», 2001. С. 65–72. 20. Фенихель О. Психопсихическая теория

неврозов. М.: Академический Проект, 2005. 848 с. **21. Крыжановский Г.Н.** Детерминантные структуры в патологии нервной системы. Генераторные механизмы нейропатологических синдромов. М., 1980. 358 с. **22. Bakken I.J., Wenzel H., Gotestam K.G., Johansson A.** Internet addiction among Norwegian adults: A stratified probability sample study // Scand. J. Psychol. 2009. Vol. 50, N 2. P. 121–127.

Надійшла до редколегії 27.03. 2015

УДК: 616.89

Возможности диагностики компьютерной зависимости студентов / I.V. Прасол, О.В. Мустецова // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 100–105.

В статье проанализированы существующие концепции формирования компьютерной зависимости. Показано, что в настоящее время психологи и врачи не пришли к одному мнению, о том, что такое компьютерная зависимость — заболевание или отклонения от нормы. Вместе с тем, проблема выявления компьютерной зависимости является как медицинской так и социальной задачей.

В статье предлагается система обнаружения наличия компьютерной зависимости, в которой сочетаются традиционные методы психодиагностики с возможностями компьютерных технологий регистрации объективных медико-биологических показателей организма человека.

Ил. 3. Библиогр.: 22 назв.

УДК: 616.89

Ability to diagnose student's computer addiction / I.V. Prasol, O.V. Mustecova // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 100–105.

The article analyzes the existing concept of formation computer addiction. The article shows that today, psychologists and doctors have not come to the same opinion, that computer addiction — a disease or abnormality. However, the problem of identify a computer addiction as a medical and social problem. The paper proposes the system for detecting presence of computer addiction, which combines traditional methods with psycho-diagnostics capabilities of computer technology objective registration of medical and biological indicators of the human body.

Fig. 3. Ref.: 22 items.

ОБ АВТОРАХ

Берест Олег Борисович	30	аспирант кафедры компьютерных наук Сумского государственного университета
Берестовский Антон Евгеньевич	13	студент факультета прикладной математики и менеджмента Харьковского национального университета радиоэлектроники
Богучарский Сергей Иванович	19	аспирант кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Волков Сергей Леонидович	43	канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой информационно-измерительных технологий Одесской государственной академии технического регулирования и качества
Гороховатский Владимир Алексеевич	13	д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий Харьковского института банковского дела Университета банковского дела Национального банка Украины
Грабовский Олег Викторович	43	канд. техн. наук, доцент, декан факультета качества, стандартизации и сертификации Одесской государственной академии технического регулирования и качества
Дёмина Наталья Анатольевна	49	канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики и физики Таврического государственного агротехнологического университета, г. Мелитополь, Украина
Дикова Юлия Леонидовна	80	аспирант кафедры компьютерных наук ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
Довбыш Анатолий Степанович	30	д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных наук Сумского государственного университета
Каграманян Александр Георгиевич	19	канд. техн. наук, доцент кафедры естественных наук Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина
Казакова Надежда Феликсовна	56	канд. техн. наук, доцент кафедры информационных систем в экономике Одесского национального экономического университета
Кириченко Людмила Олеговна	49	д-р техн. наук, доцент кафедры прикладной математики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Кобицкая Юлия Александровна	49	аспирант Харьковского национального университета радиоэлектроники
Кононихин Сергей Васильевич	69	канд. техн. наук, доцент кафедры «Инженерной механики» Красноармейского индустриального института «ДонНТУ»
Куликов Юрий Александрович	13	ассистент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Кулишова Нона Евгеньевна	85	канд. техн. наук, профессор кафедры медиасистем и технологий Харьковского национального университета радиоэлектроники
Кухаренко Дмитрий Владимирович	75	канд. техн. наук, доцент кафедры электронных аппаратов Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского
Лаврик Владимир Владимирович	96	старший преподаватель кафедры программной инженерии Бердянского государственного педагогического университета

Лахно Валерий Анатольевич	91	доцент кафедры компьютерных информационных технологий Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна
Лещинский Владимир Александрович	69	канд. техн. наук, доцент кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
Литвин Олег Олегович	65	канд. физ.-матем. наук, декан технологического факультета Украинской инженерно-педагогической академии, г. Харьков
Машталир Сергей Владимирович	19	канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Михаль Олег Филиппович	23	д-р техн. наук, профессор кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
Москаленко Вячеслав Васильевич	34	ассистент кафедры компьютерных наук Сумского государственного университета
Мустецова Елена Васильевна	100	аспирант кафедры биомедицинской инженерии Харьковского университета радиоэлектроники
Наталуха Юрий Владимирович	39	канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник Харьковского национального университета радиоэлектроники
Повзун Алексей Иванович	69	канд. техн. наук, доцент кафедры «Инженерной механики» Красноармейского индустриального института «ДонНТУ»
Пойманов Максим Миколайович	91	аспирант Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна
Прасол Игорь Викторович	100	д-р техн. наук, профессор кафедры биомедицинской инженерии Харьковского университета радиоэлектроники
Приходченко Роман Сергеевич	30	студент кафедры компьютерных наук Сумского государственного университета
Семенец Валерий Васильевич	39	д-р техн. наук, профессор кафедры метрологии и измерительной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Скопа Александр Александрович	43	д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем в экономике Одесского национального экономического университета
Соклакова Татьяна Игоревна	56	аспирант кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
Тарануха Ольга Алексеевна	39	канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии Харьковского национального медицинского университета
Токарев Владимир Владимирович	39	канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
Федоров Евгений Евгениевич	80	др техн. наук, профессор кафедры компьютерных наук Донецкого национального технического университета
Хурдей Евгения Леонидовна	65	аспирант кафедры высшей и прикладной математики Украинской инженерно-педагогической академии, г. Харьков
Чеботарёва Ирина Борисовна	85	доцент кафедры медиасистем и технологий Харьковского национального университета радиоэлектроники
Широков Владимир Анатольевич	3	академик НАНУ, директор Украинского языково-информационного фонда НАНУ, г. Киев

ПРАВИЛА оформлення рукописів для авторів науково-технічного журналу «БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ»

Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту» приймає до друку написані спеціально для нього оригінальні рукописи, які раніше ніде не друкувались. Структура рукопису повинна бути такою: індекс УДК, заголовок, відомості про авторів, анотація, ключові слова, вступ, основний текст статті, висновки, список використаної літератури.

Відповідно до Постанови ВАК України від 15.01.2003 №7-05/1 (Бюлетень ВАК, №1, 2003, с. 2) стаття повинна мати такі необхідні елементи: постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми в даній області; формулювання цілей та завдань дослідження; виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження та перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Статті мають бути виконані в редакторі Microsoft Word. Формат сторінки — A4 (210x297 мм), поля: верхнє — 25 мм, нижнє — 20 мм, ліве, праве — 17 мм. Кількість колонок — 2, з інтервалом між ними 5 мм, основний шрифт Times New Roman, кегль основного тексту — 10 пунктів, міжрядковий інтервал — множник (1,1), абзацний відступ — 6 мм. Обсяг рукопису — від 4 до 12 сторінок (мови: російська, українська, англійська).

УДК друкується з першого рядка, без відступів, вирівнювання по лівому краю.

Назва статті друкується прописними літерами; шрифт прямий, напівжирний, кегль 12. *Назви розділів* нумерують арабськими цифрами, виділяють жирним шрифтом. Відступи для назви статті, ініціалів та прізвищ авторів, відомостей про авторів, назв розділів, вступу та висновків, списку літератури: зверху — 6 пт, знизу — 3 пт.

Анотацію (мовою статті, абзац 4-10 рядків, кегль 9) розміщують на початку статті, в ній має бути розміщена інформація про результати описаних досліджень.

Ключові слова (4-10 слів з тексту статті, які з точки зору інформаційного пошуку несуть змістовне навантаження) наводять мовою рукопису, через кому в називному відмінку, кегль 9.

Рисунки та таблиці (чорно-білі, контрастні) розміщуються у тексті після першого посилання у вигляді окремих об'єктів і нумерують арабськими цифрами наскрізною нумерацією за наявності більше ніж одного об'єкта. Невеликі схеми, що складаються з 3-4 елементів виконують, використовуючи вставку об'єкта Рисунок Microsoft Word. Більш складні виконують у графічних редакторах у вигляді чорно-білих графічних файлів форматів .tiff, .jpg, .wmf, .cdr із розділенням 300 dpi. Рисунки мають міститися у текстовому файлі й обов'язково

подаватися окремим файлом з відповідною назвою (наприклад, Рис.1.cdr).

Усі елементи рисунка, включаючи написи, повинні бути згруповані. Усі написи в рисунках і таблицях мають бути виконані шрифтом Times New Roman, кегль у рисунках — 10, у таблицях — 9.

Рисунок повинен мати центрований підпис (поза малюнком), шрифт 9, відступи зверху і знизу по 6 пт. Ширина рисунка має відповідати ширині колонки (або ширині сторінки).

Формули, символи, змінні, повинні бути набрані в редакторі формул MathType або Microsoft Equation. Формули розміщують посередині рядка й нумерують за наявності посилань на них у рукописі. Шрифт — Times New Roman. Висота змінної — 10 пунктів, великих і малих індексів — 8 пт, основний математичний символ — 12 (10) пт. Змінні, позначені латинськими літерами, набирають курсивом, грецькі літери, скорочення російських слів і цифри — прямим написанням. Змінні, які є в тексті, також набирають у редакторі формул.

Список літератури вміщує опубліковані джерела, на які є посилання в тексті, укладені у квадратні дужки, друкують без абзацного відступу, кегль 9 пт, відступ зверху — 6 пт.

Після списку літератури з відступом зверху 6 пт зазначають дату подання статті до редколегії. Число та місяць задають двозначними числами через крапку. Розмір шрифта — 9 пт, курсив, вирівнювання по правому краю.

Реферати (Times New Roman, кегль — 9 пунктів, 3-4 речення) подають російською та англійською мовами. Реферат не повинен дублювати текст анотації.

Разом із рукописом (на аркушах білого паперу формату A4 щільністю 80-90 г/м², надрукованим на лазерному принтері, у 2-х примірниках) необхідно подати такі документи:

1. Заяву, яку повинні підписати всі автори.
2. Акт експертизи про можливість опублікування матеріалів у відкритому друці.
3. Рецензію, підписану доктором наук.
4. Відомості про авторів.
5. Електронний варіант рукопису, реферату та відомостей про авторів.
6. Оплату за публікацію.

Необхідно також зазначити один з наступних тематичних розділів, якому відповідає рукопис:

1. Теоретичні основи інформатики та кібернетики. Теорія інтелекту
2. Математичне моделювання. Системний аналіз. Прийняття рішень
3. Інтелектуальна обробка інформації. Розпізнавання образів
4. Інформаційні технології та програмно-технічні комплекси
5. Структурна, прикладна та математична лінгвістика
6. Дискусійні повідомлення

INSTRUCTIONS for authors of manuscripts of the scientific journal «BIONICS OF INTELLIGENCE»

The scientific journal “Bionics of intelligence” accepts for publication original manuscripts which have not been published earlier. The manuscript structure should be as follows: Universal Decimal Classification (UDC) title, authors’ initials and surname (in alphabetical order), abstract, key words, introduction, main text, conclusions, references.

According to the Editorial board resolution, based on the Presidium Convention of Ukraine’s Supreme Attestation Committee of 15.01.2003 №7-05/1 (Bulletin of Supreme Attestation Committee, №1, 2003, p. 2) manuscripts must have the following required elements: introduction (general statement of a problem and its relation to important scientific and practical tasks; analysis of recent research, publications and highlighting of unsolved parts of the general problem in the given field); formulating aims and tasks of research; presentations of the main research material with full substantiation of scientific results obtained; conclusions and perspectives of further research in the given field.

Manuscripts should be submitted in Microsoft Word. Page format - A4 (210x297mm), margins: top – 25mm, bottom – 20mm; left, right – 17mm. Double column format with 5mm spacing, font – Times New Roman, font size – 10 points, line spacing – multiplier (1,1), indentation – 6mm. The manuscript should be from 4 to 12 pages (languages: Russian, Ukrainian, English).

The UDC is published from the first line, without indentation, the alignment is by a left edge. The title is in capital letters; the type is medium bold-faced Roman; type size 12. The names of sections are of extra bold type and numbered in Arabic figures. There are indentions for the names of manuscripts, initials and surnames of authors, information about authors, the names of sections, introduction and conclusions, references: top – 6 pt; bottom – 3 pt.

An abstract (in the language of a manuscript, an indentation is made up of 4-10 lines; type 9) is in the beginning of an article and contains information about the results of described studies.

Key words (4-10 words from the text of an article, which from the point of view of information search bear sense in the language of a manuscript, by way of a comma in nominative case, type 9).

Figures and tables (black-and-white, sharp and of good quality) should be in a text after a first reference in the form of embedded item and numbered separately by Arabic numerals in case of more than one item. All legends of figures and tables, including inscriptions, must be grouped. All inscriptions in figures and tables must be in Times New Roman, font size in figures – 10, in tables – 9. A table title is to the right above the table

(font size – 9). The figure should contain a centered figure legend (outside a figure), font size 9, in the centre, top and bottom indentions – 6pt. The figure width must agree with the column width (or page width).

Equations, symbols, variables should be submitted in Math Type (Equation). Equations are centered and numbered in case of references in the text. The font – Times New Roman. The size of variable – 10 points, superscript and subscript characters – 8 pt, a main math. symbol – 12 (10) pt. Variables, designated by Latin letters, should be italicized; Greek letters, abbreviations of Russian words and figures should be set in Roman type. Variables which are in the text are also submitted in Math Type (Equation).

References, submitted to the state standards, include published sources that are referred to in the main text in square brackets, without an indentions, 9pt., top indentation – 6 pt.

The date of receiving an article by the Editorial board is designated after the references with top indentions – 6 pt. Date and month should be given in numbers by way of a full stop. The font size – 9 pt, italic type, alignment should be done on the right edge.

Abstracts should be submitted in two languages: Ukrainian and Russian (Times New Roman, 9 pt, 3-4 sentences). The text of a resume must not duplicate an abstract.

The following documents must be submitted together with a manuscript:

1. An application of the following form signed by all the authors:

”You are kindly requested to accept the paper (authors’ full names and the name of an paper should be indicated) in pages (the number of pages should be indicated) for publication in the scientific journal “Bionics of intelligence”. We guarantee the payment.

Information about the authors (surname, first name and patronimic of each authors, place of work, degree, academic status, contact telephone, mailing and electronic addresses should be indicated).

Signatures of authors”.

2. The text of a manuscript on A4 format white color sheets of 80-90gr/m2 density typed on a laser printer.

3. A certificate of expertise about a possibility of having the materials published in the press.

4. A review signed by a doctor of sciences.

5. Information about the authors.

6. An electronic variant of a manuscript, an abstract and information about the authors (on a 3.5” diskette or by electronic mail).

7. A receipt of payment for publication.

Наукове видання

БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ
інформація, мова, інтелект

Науково-технічний журнал

№ 1 (84)

2015

Головний редактор — *Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко*

Зам. головного редактора — *Г. Г. Четвериков*

Відповідальний редактор — *І. Д. Вечірська*

Комп'ютерна верстка — *О. Б. Ісаєва*

Рекомендовано Вченою Радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 3 від 24.04.2015 р.)

Адреса редакції:

Україна, 61166, Харків-166, просп. Леніна, 14,
Харківський національний університет радіоелектроніки, к. 127
тел. 702-14-77, факс 702-10-13,
e-mail: ira_se@list.ru

Підписано до друку 08.06.2015. Формат 60 x 84 ¹/₈. Друк ризографічний.
Папір офсетний. Гарнітура Newton. Умов. друк. арк. 12,8. Обл.-вид. арк. 12.
Тираж 100 прим. Зам. № .

Надруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків-166, просп. Леніна, 14