

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 0135-1710

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ

**Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник**

Основан в 1965 г.

Выпуск 160

Харьков
2012

СОДЕРЖАНИЕ

ХАХАНОВ В.И., БОНДАРЕНКО М.Ф., ЭНГЛЕЗИ И.П., УБАР Р., ЛОБУР М.В., МЕЛИКЯН В., ДОХОВ А.И., БОДЯНСКИЙ Е.В., ФИЛАТОВ В.А. ТЕВЯШЕВ А.Д., ТКАЧЕНКО В.Ф., ФИЛИППЕНКО О.И., ШАХОВ Д.В., СААТЧЯН А.Г., ЧУМАЧЕНКО С.В., ЛИТВИНОВА Е.И., ХАХАНОВА И.В., ГУЗЬ О.А., БЕЛОУС Н.В., ПОЛЕТАЙКИН А.Н., ЧУГУРОВ И.Н. ЗЕЛЕНАЯ ВОЛНА – ОБЛАКО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ (GREEN WAVE TRAFFIC ON CLOUD).....	4
ХАХАНОВА И.В. КВАНТОВЫЙ ПРОЦЕССОР ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ.....	22
АВРАМЕНКО В.В., ВОЛКОВ Р.С., КАРПЕНКО А.П. МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛА С ПРОИЗВОЛЬНЫМИ МАСШТАБАМИ ПО ОСЯМ КООРДИНАТ ОТНОСИТЕЛЬНО СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ЕМУ ЭТАЛОНА.....	32
ХАХАНОВ В.И., ANDERS CARLSSON, ЧУМАЧЕНКО С.В. ИНФРАСТРУКТУРА PenTestING И УПРАВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЬЮ.....	36
ХАХАНОВ В.И., ГЕРАСИМЕНКО К.Е. ОБОСНОВАНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ МНОГОРАЗРЯДНОЙ ЛОГИКИ ЗАЩИТ В КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ.....	54
ПРОНЮК А.В., ШИШОВ Н.М. АНАЛИЗ СИСТЕМЫ «РАБОТНИК-ПРЕДПРИЯТИЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СИНЕРГЕТИКИ.....	59
КАМЕНЕВА И.В., АФАНАСЬЕВ А.С. ОБЩАЯ МОДЕЛЬ СЛОВОИЗМЕНЕНИЯ ИМЕН ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ РУССКОГО ЯЗЫКА.....	62
ЛЯШЕНКО С.А., ЛЯШЕНКО А.С., БЕЛЯЕВА И.С. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕАРИЗИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОКООЧИСТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА...66	66
МОСКАЛЕНКО В.В. ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ДАНИХ.....	75
ПЕТРИЧЕНКО А.В. РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ.....	85
АРТЮХ Р.В. МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	92
РЕФЕРАТЫ.....	98
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СБОРНИКА.....	102

*В.И. ХАХАНОВ, М.Ф. БОНДАРЕНКО, И.П. ЭНГЛЕЗИ, Р. УБАР,
М.В. ЛОБУР, В. МЕЛИКЯН, А.И. ДОХОВ, Е.В. БОДЯНСКИЙ, В.А.
ФИЛАТОВ, А.Д. ТЕВЯШЕВ, В.Ф. ТКАЧЕНКО, О.И. ФИЛИППЕНКО, Д.В.
ШАХОВ, А.Г. СААТЧЯН, С.В. ЧУМАЧЕНКО, Е.И. ЛИТВИНОВА, И.В.
ХАХАНОВА, О.А. ГУЗЬ, Н.В. БЕЛОУС, А.Н. ПОЛЕТАЙКИН, И.Н. ЧУГУРОВ*

ЗЕЛЕНАЯ ВОЛНА – ОБЛАКО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ (Green Wave Traffic on Cloud)

Проект и приглашение к сотрудничеству. Предлагается облачный сервис «Зеленая волна» (интеллектуальная инфраструктура дорожного движения) для мониторинга и управления дорожным движением в реальном масштабе времени на основе использования глобальных систем позиционирования, навигации (GPS, GPRS), дорожных контроллеров, средств радиочастотной идентификации автомобилей в целях повышения качества и безопасности передвижения транспортных средств, а также минимизации временных и материальных затрат при движении автомобилей по заданным маршрутам. Предлагается комплекс инновационных научно-технических решений, в том числе социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем, связанных с созданием и применением облака мониторинга и управления. Все упомянутые технологии и средства интегрируются в автоматные модели интерактивного взаимодействия в реальном времени облаков мониторинга и управления с транспортными средствами и инфраструктурой дорожного движения. Каждый автомобиль имеет виртуальную модель в киберпространстве – индивидуальную ячейку в облаке, инвариантную по отношению к водителям, обслуживающим транспортное средство.

1. Введение

Куда стремится реальный кибернетический мир? Корпоративные сети, персональные компьютеры, а также отдельные сервисы (программные продукты) уходят в облака киберпространства, которые имеют ярко выраженную тенденцию к расслоению интернета по специализированным сервисам (рис. 1). Если сегодня 4 миллиарда пользователей соединяются в интернете ($1 \text{ zettabytes} = 10^{21} = 2^{70}$ байт) посредством 50 миллиардов гаджетов, то через пять лет каждый активный пользователь будет иметь не менее 10 устройств для связи с киберпространством. Становится невозможным использование персональных компьютеров без мультиплицирования информации на все устройства. Но даже процедура простого копирования требует все больше непроизводительного времени на сервисное обслуживание систем и проектов, которое достигает 50 % при наличии нескольких идентичных по функциям устройств или серверов. Непрофессиональное сервисное обслуживание такой аппаратуры создает проблемы надежного сохранения данных, а также несанкционированного доступа к ним. Наряду с этим возникает проблема удаленного доступа к физическим устройствам при перемещении пользователей в пространстве, когда трудно найти необходимые сервисы и информацию среди гаджетов, оставленных дома или в офисе. Экономический фактор эффективного использования приобретенных приложений, размещенных в гаджетах и персональных компьютерах, заставляет пользователя отказываться от их покупки в пользу почти бесплатной аренды сервисов на облаках. Все упомянутое выше является существенным аргументом и неоспоримым доказательством неминуемого перехода всего человечества в киберпространство виртуальных сетей и компьютеров, располагаемых в профессионально надежных облаках сервисов. Достоинства виртуального мира заключаются в том, что микроячейки и макросети в облаках инвариантны по отношению к многочисленным гаджетам каждого пользователя или корпорации. Облачные компоненты снимают практически все упомянутые выше проблемы надежности, безопасности, сервисного обслуживания и практически не имеют недостатков. В связи с глобальным переходом корпораций и пользователей в облака чрезвычайно актуальной и рыночно привлекательной становится проблема защиты информации и компонентов киберпростран-

ства от несанкционированного доступа, деструктивных проникновений, вирусов. Необходимо создавать надежную, тестопригодную и защищенную от несанкционированных проникновений инфраструктуру киберпространства и его компонентов (виртуальные персональные компьютеры и корпоративные сети) по аналогии с существующими сегодня решениями в реальном кибернетическом мире. Таким образом, каждый сервис, разрабатываемый в реальном мире, должен быть помещен в соответствующую ячейку облака, которое объединяет близкие по функциональностям и полезные человеку компоненты. Сказанное непосредственно относится и к сервису дорожного движения, которое имеет цифровое отображение в киберпространстве для последующего моделирования всех процессов на облаке с целью предложить каждому водителю качественные условия передвижения с экономией времени и средств.

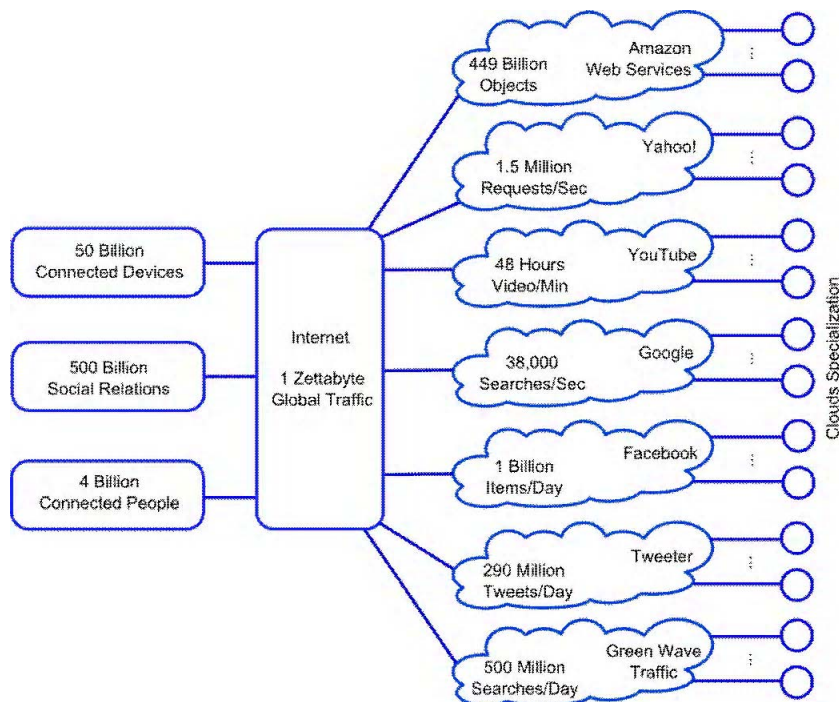


Рис. 1. Виртуализация реального мира

Цель – повышение качества и безопасности дорожного движения за счет создания интеллектуальной инфраструктуры дорожных сообщений, включающей облака мониторинга трафика и квазиоптимального управления движением в реальном масштабе времени на основе применения RFID-паспортов транспортных средств, что дает возможность минимизировать временные и материальные затраты при организации дорожного движения, а также создавать инновационные научно-технические решения социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем мирового сообщества.

Объект исследования – технологии мониторинга и управления транспортными средствами, интегрированные с облачными сервисами, на основе использования существующей инфраструктуры дорожного движения, средств радиочастотной идентификации, радиолокации и радионавигации.

Предмет исследования: транспортные потоки, инфраструктура дорожных сообщений Украины и ее субъектов, современные программно-аппаратные системы радиочастотной идентификации, мониторинга и управления дорожным движением на основе применения уличных контроллеров, глобальных систем позиционирования, навигации (GPS, GPRS) и облачных сервисов в интернете.

Сущность исследования – создание интеллектуальной инфраструктуры дорожного движения (ИИДД) – облачного сервиса мониторинга инфраструктуры и управления дорожным движением в реальном масштабе времени «Зеленая волна» на основе создания облачной виртуальной инфраструктуры дорожного движения (рис. 2), интегрированной с

уличными дорожными контроллерами, средствами радиочастотной идентификации автомобилей в целях повышения качества и безопасности передвижения транспортных средств, минимизации временных и материальных затрат при исполнении заданных маршрутов.

2. Инновационная привлекательность и модели системы

Предлагаемая интеллектуальная система (инфраструктура, транспорт, облако) мониторинга и управления дорожным движением отличается от существующих структурной интеграцией трех взаимосвязанных интерактивных компонентов: 1) сервисы электронной картографии со средствами радиолокации и радионавигации; 2) новый облачный сервис мониторинга и управления дорожным движением на основе дорожных контроллеров; 3) усовершенствованные средства радиочастотной идентификации автомобиля и доступа к облачным сервисам для комфортного и безопасного передвижения по маршруту, оптимизации временных и материальных затрат.

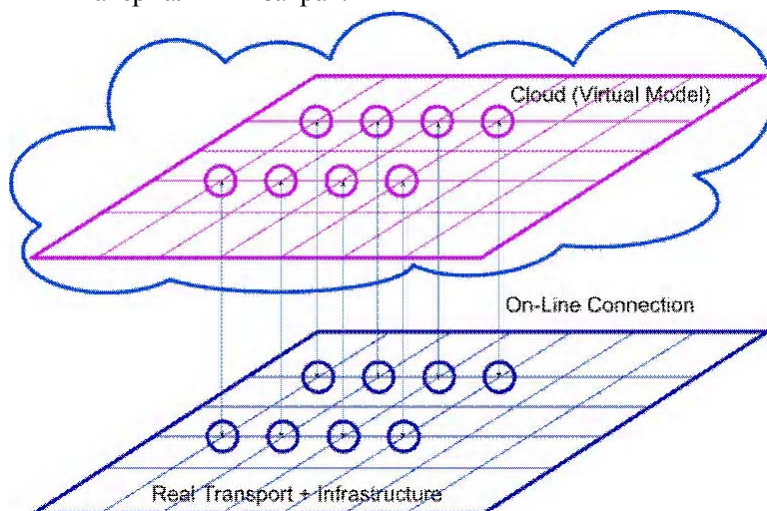


Рис. 2. Отображение инфраструктуры и транспорта в облаке

Научная новизна проекта определяется системной интеграцией облака мониторинга и управления, блоков радиочастотной идентификации транспорта, а также средств мониторинга и управления дорожной инфраструктурой, что дает возможность автоматизировать процессы оптимального управления транспортными средствами и дорожным движением в режиме реального времени для решения социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем.

Автоматная модель взаимодействия облаков мониторинга и управления с транспортными средствами представлена на рис. 3, где автомобили, находясь в режиме on-line, делегируют свои идентификаторы (персональные данные), параметры движения и текущие координаты облаку, а взамен получают в реальном масштабе времени сервисы оптимального (по времени, затратам и качеству) маршрута и режима движения для достижения конечного пункта. Интегральный анализ дорожной обстановки на основе оперативного сбора данных от автомобилей и инфраструктурных мониторов дает возможность в режиме on-line оптимально управлять дорожными контроллерами переключения светофоров.

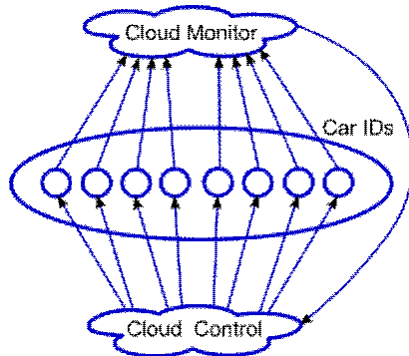


Рис. 3. Структура взаимодействия транспорта и облака

Взаимодействие реального мира (автомобиль и инфраструктура) с облаком формирует два типа отношений, задаваемых автоматными моделями (рис. 4): 1) транспортной инфраструктуры с облаком мониторинга и управления; 2) автомобиля с облаком для оптимизации и эффективности передвижения. Здесь представлены сигналы: X_1, Y_1, X_2, Y_2, C, M – 1) входные условия или операнды, необходимые для исполнения заказанных сервисов; 2) выходные оповестительные сигналы, подтверждающие исполнение сервисных операций; 3) входные управляющие воздействия, формирующие запросы на исполнение сервисов; 4) выходные переменные, формирующие и идентифицирующие состояние системы управления; 5) сигналы умного управления автомобилем или инфраструктурой дорожного движения; 6) оповестительные сигналы об исполнении операционных сервисов. Автоматные модели системы управления дорожным движением и автомобилем в форме взаимодействия переменных представлены функциями переходов и выходов автомата первого рода:

$$CC = \{X, Y, C, M, f, g\},$$

$$\begin{cases} Y(t) = f[(X(t), M(t), Y(t-1))]; \\ C(t) = g[(X(t), M(t), Y(t-1))]. \end{cases}$$

Здесь каждый из двух автоматов взаимодействия инфраструктуры и транспорта с облаком имеет две входные переменные (заказа сервисов и состояния объектов управления), а также два выходных сигнала для мониторинга состояния автомата (облака) и управления облачными сервисами.

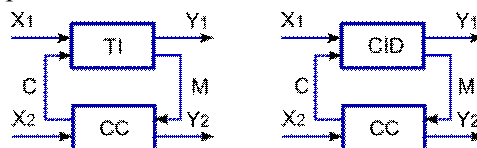


Рис. 4. Взаимодействие инфраструктуры и транспорта с облаком мониторинга и управления

Более детальная картина взаимодействия реальных и виртуальных компонентов с облаком мониторинга и управления транспортом представлена на рис. 5 (буферные компьютеры дорожной инфраструктуры, интеллектуальные уличные светофоры, Интернет, “умная пыль”, Car-ID, спутники навигации, автомобиль, электронная карта, средства защиты ИИДД, специальные сервисы государственным службам, интерфейсы или гаджеты для связи с интернетом).

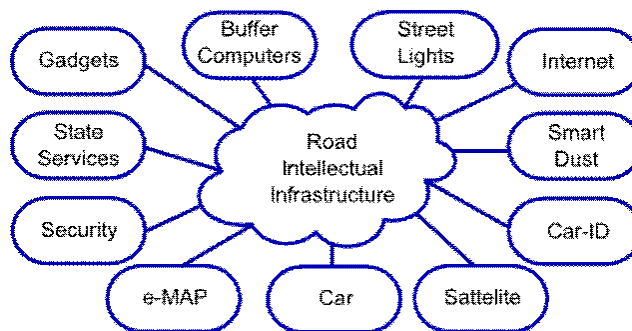


Рис. 5. Интеллектуальная инфраструктура дорожного движения

3. Основания для исследования

1) Рыночная привлекательность. Капитализация бизнес-проекта в пределах Украины после трех лет эксплуатации ИИДД облака может составить 100 млн долларов.

2) Проект ориентирован на предоставление сервисов для 7 миллионов водителей Украины и 8 тысяч компаний. Аналогов таких систем в мире не существует. Имеются отдельные компоненты для создания инфраструктуры: электронные карты, спутниковые системы локации и навигации, специализированные базы данных в облаках, средства мониторинга, сбора и защиты информации. Наличие надежной сотовой связи, предоставляющей часть необходимой инфраструктуры для реализации проекта. Финансовая доступность для води-

телей средств навигации и мониторинга движения транспортных средств. Наличие программных, аппаратных и сетевых средств централизованного управления дорожным движением в масштабах страны. Доступность облачных вычислительных технологий. Постоянное совершенствование и удешевление технологий, применяемых в инфраструктуре дорог и киберпространстве. Возрастание компьютерной, мобильной и интернет грамотности населения.

Существует понимание со стороны государства о необходимости создания и использования интеллектуальной инфраструктуры и облачного сервиса качественного и безопасного дорожного движения.

1) Государственная целевая программа «Безопасность дорожного движения» на период до 2016 года с планируемым бюджетом 5,43 млрд гривен.

2) Теоретические разработки интеллектуальных и мозгоподобных моделей, методов и двигателей анализа киберпространства, связанные с дискретной оптимизацией процессов поиска, распознавания и принятия решений [1-6].

3) Опыт разработки и внедрения встроенных и RFID цифровых систем для мониторинга дорожного движения [7-16, 29, 30].

4) Опыт разработки и внедрения программных продуктов и облачных сервисов для оптимизации маршрутов транспортных средств украинских предприятий в целях минимизации материальных и временных затрат и повышения качества обслуживания пассажиров [17-27].

5) Разработки распределенной системы управления дорожным движением в условиях крупных городов и мегаполисов на основе высоконадежной вычислительной техники фирмы SIEMENS [37-41].

4. Задачи исследования

1) Обзор и сравнительный анализ существующих технологий мониторинга и управления дорожным движением, облачных сервисов и инфраструктуры дорог.

2) Исследование необходимости, возможности и неизбежности создания интеллектуального облачного сервиса мониторинга и управления дорожным движением, оптимизирующего исполнение транспортных маршрутов всеми участниками дорожного движения.

3) Создание интеллектуального дорожного контроллера для управления транспортными потоками на основе программируемого логического контроллера S7-1200 фирмы SIEMENS.

4) Разработка метрик и двигателей для анализа данных о качестве и эффективности виртуальной инфраструктуры дорожного движения при исполнении маршрутов транспортными средствами.

5) Создание интеллектуальных моделей, методов синтеза и анализа виртуальной инфраструктуры для оценивания качества дорожного движения, моделирования трафика, предложения оптимального маршрута с учетом технических, климатических, социальных факторов, качества дорог, количества светофоров, левых поворотов в целях создания новых и реконструкции существующих инфраструктур дорожного движения.

6) Разработка блока RFID для идентификации автомобилей на коротких дистанциях и оснащение транспорта средствами доступа к облачным сервисам, а также оснащение критических точек инфраструктуры автомобильных дорог датчиками дорожного движения для стационарного мониторинга трафика.

7) Предоставление облачных сервисов для автотранспортных предприятий в целях повышения качества обслуживания пассажиров, перевозки грузов, оптимизации временных и материальных затрат.

8) Предоставление облачных сервисов для водителя в целях повышения качества проезда по заданному маршруту и оптимизации временных и материальных затрат.

9) Обеспечение сбора информации о трафике инфраструктуры дорог посредством использования «умной пыли» (RFID автомобиля, светофоры, видеокамеры) для мониторинга дорожного движения.

10) Сбор статистической информации (интеллектуализация глобальной, корпоративной и персональной инфраструктуры) путем накопления истории трафика, изменения его параметров во времени и в пространстве для прокладывания квазиоптимальных маршрутов будущих поездок.

11) Создание виртуальной интеллектуальной облачной инфраструктуры, отображающей и моделирующей процессы передвижения транспортных средств во времени и пространстве, для сервисного обслуживания участников дорожного движения в реальном масштабе времени.

12) Создание средств защиты информации и санкционированного доступа к персональным и корпоративным данным в облаке. Каждый пользователь видит только свой автомобиль в облаке и обезличенные транспортные потоки. Все идентификаторы транспорта могут быть доступны по решению суда или постановлению следственных органов только специальным государственным службам.

5. Преимущества от внедрения облачных сервисов

1) Для государственных структур – милиция, дорожная инспекция – точная идентификация автомобилей, мониторинг позиционирования транспортных средств во времени и пространстве, включая угоны. Существенное снижение аварийности, уменьшение последствий дорожно-транспортных происшествий, повышение безопасности и комфорта участников дорожного движения.

2) Для транспортных компаний – мониторинг позиционирования и передвижения транспортных средств, квазиоптимальное выполнение заказов по перевозке пассажиров и грузов с точки зрения минимизации материальных и/или временных затрат.

3) Для водителя – предоставление сервисов, связанных с прокладыванием квазиоптимальных маршрутов и графика движения с учетом негативных факторов существующей инфраструктуры в целях минимизации материальных и временных затрат в режиме реального времени.

4) Для пассажира – предоставление сервисов по мониторингу позиционирования и движения пассажирских транспортных средств на остановочных или транспортных терминалах посредством использования стационарных мониторов или мобильных гаджетов для связи с соответствующими облачными сервисами. Визуализация на экране в автомобиле критических точек маршрута движения транспортного средства в реальном масштабе времени путем использования камер видеонаблюдения.

6. Технические и функциональные возможности облака

1) Мониторинг реальной скорости движения всех транспортных средств и информирование о зонах скоростного режима. Цифровой мониторинг проезда на запрещающие знаки и сигналы светофоров.

2) Экономия топлива, уменьшение загрязнения окружающей среды, сокращение времени движения, благодаря выбору оптимального маршрута, предоставленного облаком.

3) Уменьшение количества и сложности пробок за счет планирования движения транспортных средств, учитывающего будущие маршруты остальных участников. Корректировка маршрута движения транспортного средства в реальном времени при изменении дорожной ситуации.

4) Интеллектуальное управление циклами переключения светофоров в зависимости от дорожной обстановки на перекрестках.

5) Генерирование аналитических отчетов и рекомендаций по улучшению инфраструктуры дорог, расстановки знаков, светофоров и централизованное программирование циклов их переключения.

6) Противодействие угону транспортного средства и самовольного уезда с места ДТП, благодаря мониторингу местоположения каждого автомобиля.

7) Информирование с помощью тревожной кнопки специальных служб о происшествиях, случившихся на дорогах или с автомобилем.

8) Предупреждение водителя о потенциальной опасности на заказанном маршруте, полученной от облака в процессе движения.

9) Автоматическая регистрация динамики ДТП внутренними средствами идентификационного модуля. Регистрация стиля вождения. (Для страховых компаний).

7. Компоненты облачных сервисов дорожного движения

«Умная пыль» – совокупность взаимосвязанных автономно функционирующих компонентов, образующих микросистему с приемопередатчиком и средствами мониторинга,

предназначенных для сбора информации о состоянии окружающей среды. Задачи «умной пыли»:

1. Мониторинг передвижения транспорта, частота передвижения, скорость, размер движущихся объектов.
2. Взаимодействие между собой движущихся объектов для определения координат, идентификация движущихся объектов, передача информации об объектах, движущихся навстречу друг другу, в облако управления.
3. Формирование электронного паспорта движущегося объекта.
4. Противодействие угонов транспортных средств.
5. Обеспечение высокого уровня защиты электронных идентификаторов от несанкционированного проникновения.
6. Мониторинг окружающей среды (температура, давление, влажность, осадки).

Стоимость метки радиочастотной идентификации обычно составляет не более 1% стоимости объекта идентификации. Ее функциональность заключается в сохранении взаимно-однозначного соответствия между меткой и объектом на протяжении всего жизненного цикла изделия. Реальный мир, нуждаясь в совершенных процессах облачного управления, давно осознал необходимость абсолютно точной радиочастотной цифровой идентификации всей произведенной продукции и природных объектов на планете, включая человека и животных. Следующий шаг – создание облачных цифровых моделей субъектов (объектов) реального мира для точного моделирования, мониторинга и управления любыми возможными отношениями (природными, социальными, техническими, технологическими) между ними.

8. Проблемы, решаемые с помощью RFID

1. Идентификация изделия (объекта или субъекта) в локальной или глобальной системе координат.
2. Сохранение параметров, характеризующих основные свойства объекта.
3. Накопление и сохранение истории жизненного цикла объекта.
4. Передача данной информации по санкционированному требованию в облако управления.

5. Прием санкционированной информации, дающей возможность модифицировать отдельные свойства электронного паспорта объекта.

6. Санкционированное взаимодействие с электронными паспортами других объектов, находящихся в поле радиовидимости объекта.

7. Передача информации о взаимодействии объекта с другими идентификаторами в пределах радиовидимости.

Таким образом, электронный идентификатор объекта является, по сути, автономной цифровой системой на кристалле с приемопередатчиком, который способен хранить информацию об идентифицируемом объекте, модифицировать ее по команде центра управления, а также хранить информацию о взаимодействиях с окружающей средой с возможностью передачи данных в облако управления. Другие варианты ID связаны с использованием: 1) сети мобильной телефонии; 2) спутниковых систем для приема и передачи информации.

Преимущества «умной пыли», основанной на маломощных передатчиках активных RFID:

- 1) Невысокая стоимость микросистем, имплементируемых в электронные устройства автомобиля.
- 2) Достаточно низкая стоимость транспондеров цифрового радиочастотного мониторинга узловых точек инфраструктуры дорожного движения.
- 3) Высокая точность и быстродействие снятия цифровой информации с движущихся автомобилей, включая скорость, номерные знаки, данные о водителе. Номерные знаки становятся ненужными, равно как и многие функции дорожной милиции.
- 4) Мониторинг и предсказание трафика с помощью анализа статистической информации на участках дорог и перекрестках.
- 5) Возможность взаимного общения микросистем движущихся навстречу друг другу транспортных средств с предоставлением информации о трафике на участках дорог маршрута движения.

6) Упрощение проблемы розыска угнанных автомобилей посредством глобального или локального мониторинга транспортных средств.

7) Сигнализация и мониторинг аварий с точным указанием координат места и времени происшествия.

8) Блокирование двигателя в случае угона автомобиля через код доступа владельца.

9. Аргументы против внедрения облака в масштабах страны

1. «Нарушение права на неприкосновенность частной жизни, поскольку теоретически облако осуществляет тотальный мониторинг всех транспортных средств». На самом деле сегодня существует система законного перехвата телекоммуникаций, реализованная в соответствии с международными требованиями. Но возможность перехвата телефонных переговоров любого абонента используется только в ходе следствия и с санкции суда. В том числе имеется возможность отслеживать место нахождения абонента. Данный факт для законопослушных граждан никакой проблемы не создает. 2. «Дополнительные затраты на приобретение аппаратно-программных средств идентификации и взаимодействия транспорта с облаком». Стоимость этих средств невысокая и сопоставима со средней суммой штрафа за нарушения ПДД. Экономические преимущества облака, связанные с экономией топлива и уменьшением времени поездки, компенсируют затраты в течение года.

10. Система управления корпоративными перевозками

Система уже используется для оптимального планирования рейсов по доставке грузов, приводящего к уменьшению временных и материальных затрат за счет: 1) снижения расходов на горюче-смазочные материалы (ГСМ); 2) оптимального распределения заказов между автомобилями; 3) прогнозирования поставок товаров для уменьшения складских издержек; 4) экономии рабочего времени персонала или сокращения штатных сотрудников; 5) уменьшения числа автомобилей для выполнения заданного объема перевозок; 6) мониторинга и оперативного управления автомобилями при доставке грузов в реальном времени.

Рыночная привлекательность облачного сервиса транспортной логистики: оптовые компании, региональные дистрибьюторы продовольственных и промышленных товаров (хлебозаводы, молокозаводы, мясокомбинаты, пивобезалкогольные комбинаты, промышленные предприятия, автотранспортные предприятия, торговые сети, логистические операторы, транспортно-экспедиторские компании, вендинговые компании, скорая помощь, инкассаторские службы, курьерские службы, интернетмагазины, клининговые компании). Более 7500 предприятий только в Украине.

Технологии логистики. Перевозка грузов – это комплексная, многокритериальная задача, включающая большое количество параметров, от которых зависит эффективность выполнения договора с заказчиком, а значит и прибыль предприятия. Транспортная задача является NP-полной, где количество вариантов находится в экспоненциальной зависимости от числа входных значений. Точное решение может быть получено методом полного перебора всех возможных вариантов. Для реальных задач бизнеса используются квазиоптимальные методы, которые не дают точного решения, а значит и максимально возможной экономии денежных средств. Предлагается оптимальный метод решения транспортной задачи на основе оригинального алгоритма, существенно уменьшающего время, которое становится приемлемым для анализа большинства практических ситуаций на картах регионов [28].

Бизнес-модели: 1) Продажа лицензий на использование программного продукта с последующей оплатой сервисного сопровождения. 2) Продажа сервисов в соответствии с абонентской платой за время пользования функциональностями облака дорожного движения.

11. Организация связей «облако – автомобиль» и «облако – инфраструктура»

Важнейшим аспектом технологической (технической) реализации ИИДД является организация связи между четырьмя компонентами системы (рис. 6), интегрированными с облаком: Cloud Servers – серверы, создающие облако долговременного хранения распределенных данных и сервисов; Buffer Computers – буферные компьютеры, обеспечивающие сбор данных от мониторов инфраструктуры и доставку сервисов управления дорожным контроллерам; C-RFID – компьютерные блоки радиочастотной идентификации транспорт-

ных средств; I-CMC – инфраструктурные контроллеры мониторинга и управления дорожным движением на основе радиочастотной идентификации транспортных средств.

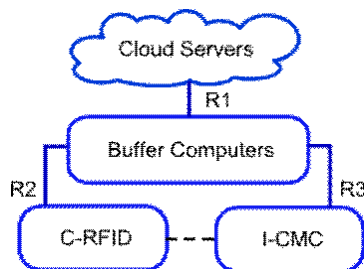


Рис. 6. Структура связей между компонентами ИИДД

Структура коммуникационной интеграции четырех компонентов ИИДД представлена транзакциями: $(R1 \cdot R2) = (SC, BC, C-RFID)$ – доставка облачных сервисов к потребителю; $(R1 \cdot R3) = (SC, BC, I-CMC)$ – доставка сигналов управления к контроллерам дорожного движения. Маршрут первого типа использует традиционные технологии GPRS, HSPA, Wi-Fi, WiMAX на основе сети Internet. Для второго типа транзакций, ввиду их чрезвычайной важности, а также высоких требований к надежности, помехоустойчивости и защищенности, необходимы дополнительные научно-технические исследования в процессе создания масштабируемого прототипа.

Предполагается, что в блоке C-RFID будут записаны индивидуальный код транспортного средства (CID), электронный код регистрации по месту проживания (NID), а также код водителя (DID), выполняющего эксплуатацию данного автомобиля в текущий момент времени. Считывать триаду кодов (CND-ID) должны радиоустройства, которыми будут оснащены все светофорные объекты, мосты, тоннели, железнодорожные переезды и другие пункты улично-дорожной сети, существенные с позиции управления дорожным движением, в том числе некоторые критические контрольные точки. Структура блока C-RFID представлена на рис. 7, где модули (CND-ID, CT, SP, ALB, M, D, CU) обозначают: универсальный код автомобиля, приемопередатчик, модуль защиты, арифметико-логическое устройство, модуль памяти, дисплей и модуль управления.

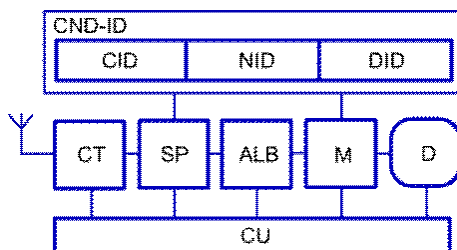


Рис. 7. Структура блока C-RFID

Мировой опыт применения средств радиочастотной идентификации в сфере транспорта позволяет делать оптимистичные прогнозы относительно внедрения подобных технологий в Украине. Так, в 2012 году МВД России успешно провело испытания по постановке RFID-меток на номера автомобилей в рамках проекта “Умный город”. В данном случае чип RFID, производимый питерским ОАО “Авангард”, был интегрирован в табличку с номерным знаком. В Малайзии обязательная постановка RFID-чипа на автомобильный номер введена с 2007 года. Дорожный полицейский здесь может проверить любой автомобиль, даже не останавливая его, как со стационарного поста, так и из мобильной патрульной машины. В США с начала 1990-х годов действовала система 3M GM Automotive Adhesive, которую можно считать прототипом современной технологии радиочастотной идентификации. Отсутствие наклейки с уникальным номером на автотранспортном средстве дает повод для его детальной проверки.

Исследования, проведенные Московским технологическим университетом в 2001 году, показали, что технология RFID позволяет идентифицировать как стационарные объекты, так и движущиеся транспортные средства с достаточно высокой точностью и достоверно-

стью, а также обладает высокой надежностью, долговечностью и защищенностью [29]. Однако наряду с многочисленными преимуществами этой технологии имеют место также ее недостатки. Прежде всего, дальность действия RFID-меток оставляет желать лучшего. Тем не менее, опубликованные в Components & Technologies результаты исследований российских ученых претендуют на дальность до 300 метров. Отмечается также негативное влияние электронных чипов на живую и неживую материю. Так, в июне 2008 года Journal of the American Medical Association опубликовал результаты влияния RFID на медицинскую технику [30]. Электронные помехи от радиометок сбрасывают настройки внутривенных капельниц, перепрограммируют электронные кардиостимуляторы и вносят сбои в работу медицинской техники. Более трети проведенных тестов действительно выявили сбои в работе медицинского оборудования, находившегося на расстоянии от сантиметра до шести метров от источника RFID. В другой трети тестов были зафиксированы серьезные нарушения в работе аппаратов искусственной вентиляции легких, инфузионных насосов, аппараты для гемодиализа, мониторах электрокардиограмм (ЭКГ). Негативное влияние транспондеров на живые организмы и человека время от времени муссируется в СМИ и сети Интернет, что создает определенные трудности реальной перспективы электронной паспортизации населения.

В предлагаемой системе RFID учтены отмеченные выше факторы. Используются активные RFID метки с двумя каналами передачи данных – радиочастотным и оптическим. При применении активной метки дальность действия ограничена, прежде всего, выходной мощностью метки при неизменном коэффициенте направленного действия антенны, чувствительности приемного тракта. Система RFID имеет возможность оперативной регулировки выходной мощности передатчика при обязательном ограничении по максимуму уровнем +4дБм. Это исключает какое-либо влияние на живую и неживую материю, поскольку на несколько порядков меньше нормы допустимой SAR (Specific Absorption Rate) – удельного коэффициента поглощения электромагнитного излучения организмом человека. Измеряется SAR в ваттах на килограмм (Вт/кг). Федеральной комиссией по связи в США (FCC), министерством промышленности Канады (IC), а также регулирующими органами некоторых других стран принята норма SAR равная 1,6 Вт/кг. В странах Европейского Союза принята норма SAR равная 2 Вт/кг. Выходная мощность предлагаемой RFID не превышает единиц милливатт в отличие от мобильных телефонов с выходной мощностью до двух ватт. Кроме того, RFID-модуль устанавливается на значительном удалении от водителя и пассажиров, что полностью исключает негативное влияние высокочастотного излучения.

Что касается помех медицинскому оборудованию, то, во-первых, на автодорогах такое оборудование отсутствует, а в случае реанемобили скорой помощи медицинское оборудование находится внутри экранирующего кузова автомобиля. Во-вторых, помехи делает в основном мощное электромагнитное поле, создаваемое ридером для питания транспондера (метки), и в нашем случае оно отсутствует, поскольку питание транспондеров осуществляется не за счет поля ридера, а за счет бортовой сети автомобиля или резервного аккумулятора транспондера. В крайнем случае, радиоканал транспондера может быть отключен и останется только оптический канал.

Дополнением технологии RFID может стать GPS навигация. Современные GPS приемники на базе чипсета SiRF Star III фиксируют сигнал даже в ангарах и цехах с железобетонным перекрытием. Приемники последнего поколения поддерживают как современную Европейскую систему глобального позиционирования Galileo, так и развивающуюся российскую систему ГЛОНАСС. Недостатком GPS навигации является невозможность передачи данных о позиции ТС на спутник. Таким образом, при разработке подсистемы позиционирования ИИДД можно одновременно реализовать обе указанные технологии в целях их детального исследования для применения к решаемым задачам мониторинга и управления транспортными потоками.

12. Структура автомобильного блока CAR-ID

В основу предлагаемой концепции CAR-ID положены принципы, используемые в системе управления воздушным движением ADS-B [31-33]. Суть CAR-ID состоит в том, что транспондер транспортного средства периодически передает широкополосное сообщение

ние, которое включает идентификационную информацию и данные о координатах и скорости транспортного средства, получаемых от встроенного GPS приемника. Кроме того, контроллер CAR-ID ведет протокол динамики движения транспортного средства, получая информацию от датчика ускорений.

Сообщение передается по двум каналам – беспроводному и/или оптическому. Сообщения принимаются транспортными средствами или стационарными станциями, которые находятся в зоне оптической или радиовидимости. Стационарные станции объединены в сеть и расположены в местах, где имеется электропитание (светофоры). При приеме сообщения контроллер CAR-ID проверяет его наличие в «истории» и в случае отсутствия добавляет его в память контроллера. При попадании в зону действия стационарного монитора (станции) происходит сброс всей информации, накопленной с момента предыдущего считывания, из памяти контроллера в память станции. Она формирует информационные пакеты и периодически передает их в облако.

Для обеспечения высокой помехозащищенности, структурной скрытности сигнала и исключения влияния помех другим радиотехническим средствам блок CAR-ID использует технологию прямого расширения спектра DSSS [34]. Модуль может работать в нелицензируемом ISM диапазоне с выходной мощностью 0 – 4 дБм. Этого достаточно для обеспечения зоны радиовидимости до 100 метров при применении ненаправленных антенн.

Вся информация, передаваемая по открытым каналам, предварительно кодируется. В качестве антиколлизийного метода в блоке применяется метод Slotted – ALOHA [35]. При необходимости вся информация, накопленная контроллером за сутки, может быть считана полицейскими или другими фискальными службами при наличии специального ридера. Таким образом, создается распределенная интеллектуальная беспроводная сеть на основе использования блока RFID (рис. 8), преимуществом которой является наличие устройств распределенного хранения и оперативного обмена информацией [36].

Структура блока CAR-ID содержит следующие модули: Optical front-end – оптический интерфейс; RF front-end – радиочастотный интерфейс; Synchrogenerator – генератор частот; Baseband processor – обработка сигналов после демодулирования; GPS – модуль позиционирования; Cryptomodule – модуль криптозащиты; Controller, OP-code detect, EEPROM control, Mode control – система управления блоком; Test connector – переключатель тестирования модулей; Test logic (Test points) – модуль управления тестированием и программированием; Memory (EEPROM crypto key, ID code) – модуль памяти для хранения данных и служебной информации; MEMS sensors – модуль сенсорных датчиков.

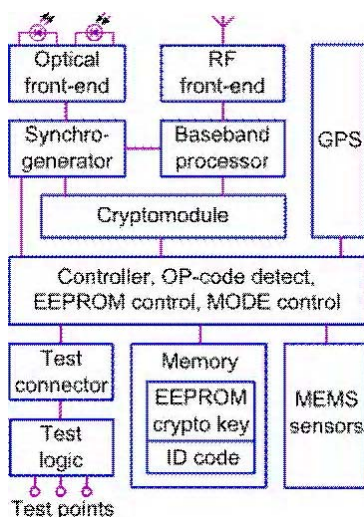


Рис. 8. Детальная структура блока C-RFID

13. Средства мониторинга и управления дорожным движением

Современные крупные города имеют сложную дорожную инфраструктуру, где дорожное движение управляется посредством светофорного регулирования с применением систем управления дорожным движением (СУДД), включающих в себя сотни светофорных

объектов. Здесь под светофорным объектом будем понимать подсистему СУДД, обеспечивающую мониторинг и управление транспортными потоками на отдельном участке улично-дорожной сети. Центральную часть этой подсистемы (рис. 9) составляет дорожный контроллер, как правило, специализированный со встроенными коммутируемыми силовыми цепями для управления светофорами. Следует заметить, что контроллеры SITRAFFIC C800 [37] в состоянии опрашивать до 84 детекторов транспорта индуктивного типа и управлять 48 группами сигналов суммарной мощностью 4 кВт в режиме реального времени с максимальным допустимым циклом в 300 секунд. Контроллер C800VX поддерживает использование до 120 таких модулей в одном сегменте управления, каждый сегмент способен функционировать автономно, интегрируется в сеть СУДД на основе беспроводных технологий (GPRS, WiMAX) и централизованно управляется из центра управления движением [38].

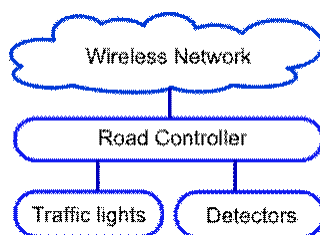


Рис. 9. Общая структура светофорного объекта

При сохранении существующих тенденций разрастания дорожной инфраструктуры становится ясно, что использование подобных решений ставит под угрозу надежность эксплуатации таких систем. Известно, что с ростом структуры СУДД (фактически это выражается в увеличении числа светофорных объектов, контролируемых системой) ее надежность падает [39]. Поэтому актуальной научной и производственной задачей является разработка более надежных структур СУДД, среди которых особое место занимает структура распределенной автоматизации. Более дешевый и значительно более гибкий вариант организации СУДД по такому принципу предложен в [40], где проведенное авторами исследование имеет целью повышение качества организации дорожного движения за счет распределенной автоматизации основных процессов и построения системы распределенного управления дорожным движением. При этом установлено, что для повышения надежности системы наряду с обеспечением информационных и управляющих функций облака целесообразно организовать СУДД по централизованно-децентрализованному принципу. В таком случае буферный компьютер ИИДД на рис. 6 выполняет функции сервера данных и обеспечивает связь с периферийными рабочими станциями, управляющими несколькими контроллерами, вся совокупность которых сегментируется (10 – 20 светофорных объектов на сегмент) по географическому принципу. Такая архитектура СУДД позволяет расположить серверы в любой точке города и организовать мобильный центр управления, что обеспечивает сохранение координированной работы всех дорожных контроллеров на объекте при выходе из строя центральной части системы. Структура компонента I-CMC (см. рис. 6) представлена в виде матрицы (см. рис. 10), элементами которой являются дорожные контроллеры (R-PLC), а столбцы соответствуют сегментам улично-дорожной сети, контролируемым серверами сегмента (RSS), которые управляются буферным компьютером ИИДД.

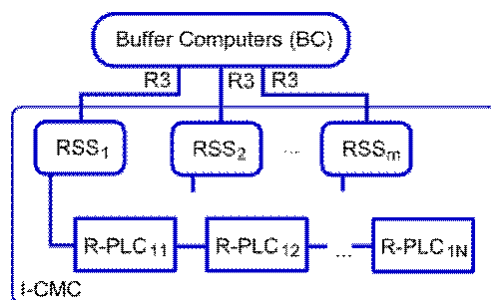


Рис. 10. Структура блока I-CMC из рис. 6

Здесь модуль RSS представляет надежный компьютер промышленного исполнения, а компонент R-PLC построен на базе компактного и достаточно мощного программируемого логического контроллера SIMATIC S7-1200 фирмы SIEMENS для программирования технологических процессов [41] для решения задач автоматического регулирования и управления движением. Характеристика PLC S7-1200: 1) высокая надежность, среднее время наработки на отказ - более 30 лет; 2) возможность перепрограммирования во время работы контроллера; 3) сервисное обслуживание по месту расположения объекта; 4) производительность - 10^5 команд в секунду с периодом 15 нс; язык программирования STEP-7 Basic со встроенными средствами нечеткой логики.

14.Телеметрический модуль “SHERLOCK”

Предназначен для построения распределенных систем контроля и управления объектами, включая мобильные. Представляет собой электронное изделие, построенное на основе использования трех новейших технологий Mobile-to-Mobile, GPS и GPRS.

Задачи, решаемые с помощью модуля: 1) Автоматическое определение местоположения транспортных средств (AVL). 2) Управление автотранспортным парком, логистика. 3) Автоматизация служб такси. 4) Мониторинг маршрута и расписания движения транспорта. 5) Мониторинг режимов эксплуатации транспортных средств. Технические характеристики: GPS – многоканальный приемник с высокой чувствительностью и малым энергопотреблением, специально предназначен для работы в условиях городской застройки и наличия отраженных сигналов. GSM – трехдиапазонный GSM/GPRS модуль, работает во всех существующих в Украине GSM сетях. Входы – 8 цифровых / 1 аналоговый. Выходы – 7 цифровых (открытый коллектор). Интерфейсы – CAN 2.0 шина для подключения к бортовой сети транспортного средства, управления исполнительными устройствами и опроса дополнительных датчиков. Память – 512 кБ встроенной памяти для хранения телеметрической информации. Встроенный датчик температуры. Встроенный аппаратный самоконтроль. Автомобильный диапазон рабочих температур и питающих напряжений.

Телеметрический модуль “SHERLOCK” конструктивно выполнен в малогабаритном пластиковом корпусе, имеет один 24-контактный системный разъем для подключения к источнику питания, исполнительным устройствам и датчикам. Два высокочастотных SMA разъема предназначены для подключения GPS и GSM антенн. Телеметрический контроллер для работы в режиме GPRS требует конфигурации имени точки доступа (APN, Access Point Name), имени или IP-адреса сервера и номера порта.

Функционирование модуля: Попытки выхода на связь при помощи GPRS предпринимаются каждые 10 мин. Данные об изменении координат, принимаемых GPS приемником, передаются на сервер с интервалом от 10 до 90 секунд в зависимости от скорости движения объекта, на котором установлено устройство. Удаленное управление устройством осуществляется при помощи SMS-команд: 1) Запрос состояния устройства. 2) Конфигурация режимов работы по GSM/GPRS. 3) Управление выходами. 4) Запрос на выполнение USSD команд. 5) Онлайн сервис мониторинга.

Доступ к онлайн сервису мониторинга осуществляется круглосуточно со странички <http://gps.rfid.com.ua>. Для получения доступа к сервису пользователь должен авторизоваться при помощи логина и пароля. На главной странице сервиса большую часть площади экрана занимает окно с картой, на которую накладываются данные о местоположении мобильных объектов. Для визуализации используется картографическая информация компании ВИЗИКОМ. Вверху главной страницы предусмотрены элементы управления, при помощи которых возможен выбор одного, двух или всех принадлежащих пользователю объектов, и временного диапазона, для которого необходимо просмотреть информацию о перемещении. При визуализации на карте пиктограммами отображается состояние объектов и маршрут движения за выбранный интервал времени, а также продолжительные стоянки. Размер и положение карты можно изменять при помощи мыши и элементов управления. В нижней части главной страницы располагаются элементы управления, позволяющие быстро переключаться между частями маршрута и между объектами, а также статистическая информация. При выборе отображения только одного объекта доступна функция расчета расстояния.

Настройки: На странице настроек пользователь может ввести информацию о своем электронном адресе, изменить пароль, размер карты и просмотреть сводную информацию о настройках объектов, рассылок. Объекты: С данной странички возможно изменение названия, описания объектов, а также их параметров. Правила рассылки: Пункт меню, предназначенный для задания правил рассылки сообщения о перемещении объектов между отдельными географическими областями, введенными пользователями в систему. Позволяет в интерактивном режиме добавлять правила рассылки в ответ на такие события, как вхождение объекта в область, выход из нее, а также переход из одной области в другую. Области: В данном пункте меню пользователю предлагается задать замкнутые области на карте, которые могут быть использованы при конфигурации рассылок. Координаты: На данной странице отображается сводная статистическая информация о местоположении мобильных объектов в текущий момент времени, а также информация о ближайшем географическом объекте, известном системе. В базе данных системы находится информация о координатах нескольких десятков тысяч адресов по городу Киеву. Связь: Данный пункт меню предназначен для получения статистической информации о работе системы. В табличном виде отображаются последние координаты мобильных объектов, время, прошедшее с момента их получения, другая телеметрическая информация, а также информация от геокодера об области, в которой находится каждый из объектов. Комплект поставки телеметрического модуля: антенна GPS; антенна GSM; кабель соединительный; инструкция по эксплуатации; SIM-карта.

15. Научная новизна, рыночная привлекательность и социальная значимость

Трудно предсказать и перечислить все социальные, технологические и технические позитивные последствия революционного преобразования существующего мира после внедрения сервисов облака дорожного движения. В пределе, через 10 лет, следует ожидать появления сервиса автоматического движения автомобиля по заданному маршруту без водителя. Тем не менее, на пути к полной автоматизации ниже представлены отдельные и очевидные доказательные инновационные научно-технические решения социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем, связанные с появлением облака мониторинга и управления.

Научная новизна заключается в системной интеграции трех компонентов: облака мониторинга и управления, блоков радиочастотной идентификации транспорта, а также средств мониторинга и управления дорожной инфраструктуры, что дает возможность автоматизировать процессы оптимального управления транспортом и дорожным движением в режиме реального времени для решения социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем.

Практическая значимость:

1. Сервис специального управления переключением дорожных светофоров в режиме on-line для автоматического обеспечения беспрепятственного движения по заданному маршруту специализированных машин или кортежей (перевозка детей, важные государственные чиновники, скорая помощь, пожарная служба, военные колонны, опасные грузы).

2. Сервис оптимального управления светофорами в режиме on-line на дорогах и перекрестках с помощью точного цифрового мониторинга дорожного движения путем использования RFID меток автомобиля, дающий возможность минимизировать время прохождения маршрута всеми участниками дорожного движения.

3. Сервис планирования оптимального маршрута для достижения одного или нескольких пунктов назначения автомобилем во времени и в пространстве, дающий возможность уменьшить временные и материальные затраты при заданном качестве комфорта (время суток, года, дорожное покрытие, левые повороты, погодные условия, пробки, ремонтные работы) передвижения транспортного средства.

4. Сервис интеллектуальной истории передвижения автомобиля, имеющего виртуальную модель в киберпространстве – индивидуальную ячейку в облаке, инвариантную по отношению к водителям, обслуживающим транспортное средство, что дает возможность отследить любые передвижения транспортного средства в прошлом, а также прогнозировать желаемые маршруты и поездки в будущем без участия водителя.

5. Сервис интеллектуального управления контроллером светофора, когда сигналы переключения формируются в зависимости от наличия (количества) транспортных средств, посылающих запросы от автомобильных блоков радиочастотной идентификации C-RFID.

6. Сервис облачного мониторинга меток радиочастотной идентификации транспортных средств в режиме on-line устраняет автомобильные номера из системы учета, что дает возможность: 1) Исключить непосредственное участие дорожной милиции в фиксации нарушений правил дорожного движения (превышение скорости, проезд на запрещающие сигналы светофоров, нарушение правил маневрирования). 2) Сэкономить тысячи тонн металла на изготовление номеров и упростить регистрацию автомобилей при покупке с нескольких дней до нескольких минут. 3) Автоматизировать оформление ДТП без участия сотрудников дорожной милиции путем цифрового мониторинга цифровой карты происшествия, скопированного с облака. 4) Существенно (x2-x5) сократить численный состав дорожной милиции, поскольку история перемещений автомобиля и его дорожных нарушений становится абсолютно прозрачной для облака, что позволит автоматически списывать со счетов водителя стоимость нарушения в соответствии с законодательством данной страны. 5) Полностью исключить коррупцию в отношениях водителя с дорожной полицией, благодаря невозможности стереть информацию о нарушении в облаке. 6) Практически ликвидировать криминалитет в области угона автомобилей благодаря встроенному в машину блока радиочастотной идентификации, что обеспечивает круглосуточную наблюдаемость транспорта в режиме on-line, если автомобиль физически не уничтожен. 7) Упростить легализацию водителя путем идентификации водительской лицензии (driver's license) в списке разрешенных лиц блока радиочастотной идентификации автомобиля по протоколу "blue tooth", что позволяет устранить изготовление бумаг и доверенностей на вождение автомобиля другими лицами. 8) В несколько раз уменьшить количество ДТП и существенно повысить качество жизни водителей и пассажиров благодаря тотальному мониторингу нарушений и неотвратимости наказаний за них. 9) Уменьшить на 30 % автомобильные выбросы углекислого газа за счет уменьшения времени простоев на перекрестках и выбора оптимальных режимов и маршрутов передвижения транспорта. 10) Обеспечить высокую рыночную привлекательность облака путем продажи сервисов компаниям и частным лицам, что гарантирует получение высокой прибыли – от сотен миллионов до десятков миллиардов долларов, масштабируемой в зависимости от площади покрытия сервисами: города, области, страны, всего мира. При наличии в стране 10 миллионов автомобилей и стоимости одной метки RFID, равной 100 долларов, затраты на оснащение всего транспортного парка равны 1 миллиарду долларов. Затраты на создание масштабируемого прототипа ИИДД – 10 миллионов долларов плюс накладные расходы по технической поддержке и эксплуатации инфраструктуры – 10 миллионов долларов в год. Годовая стоимость продажи облачного сервиса – не более 100 долларов для каждого автомобиля. Это составляет почти 2 миллиарда долларов прибыли после трех лет эксплуатации облака. Срок окупаемости ИИДД – 1,5 года. 11) Недалекое будущее. Реальный мир нуждается в совершенных и точных процессах облачного мониторинга и управления. Проблема будет решена только с помощью радиочастотной цифровой идентификации всей произведенной продукции и природных объектов на планете, включая человека и животных. Следующие шаги – создание облачных виртуальных цифровых моделей субъектов (объектов) реального мира и всех возможных отношений (природных, социальных, технических, технологических) между ними для создания сервисов точного цифрового моделирования, мониторинга и управления процессами и явлениями на планете.

Список литературы: 1. Бондаренко М.Ф., Хаханов В.И., Литвинова Е.И. Структура логического ассоциативного мультипроцессора // Автоматика и телемеханика. 2012. № 10. С. 71-92. 2. Хаханов В.И., Литвинова Е.И., Чумаченко С.В., Гузь О.А. Логический ассоциативный вычислитель // Электронное моделирование. 2011. № 1(33). С. 73-89. 3. Hahanov V., Wajeb Gharibi, Litvinova E., Chumachenko S. Information analysis infrastructure for diagnosis // Information an int. interdisciplinary journal. 2011. Japan. Vol.14. № 7. P. 2419-2433. 4. Хаханов В.И., Литвинова Е.И. Мультипроцессор для анализа информационного пространства. 1. Архитектура логического ассоциативного мультипроцессора // Вестник Томского государственного университета. 2011. №1. С. 95-108. 5. Хаханов В.И., Чумаченко С.В. Мультипроцессор для анализа информационного пространства. 2 // Инфраструктура векторно-логического анализа. Вестник Томского государственного университета. 2011. №2. С. 108-116. 6. Хаханов В.И., Мурад Али А.,

Литвинова Е.И., Гузь О.А., Хаханова И.В. Квантовые модели вычислительных процессов // Радиоэлектроника и информатика. 2011. № 3. С.35-40. 7. *Chen Xue-Mei, Wei Zhong-Hua*. Vehicle management system based on multi-node RFID cards // 30th Chinese Control Conference (CCC). 2011. P. 5497-5499. 8. *Jiang Ling-ying, Wang Shuai, Zhang Heng, Tan Han-qing*. Improved Design of Vehicle Management System Based on RFID // International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA). 2010. Vol. 1. P. 844-847. 9. *Manikonda P., Yerrapragada A.K., Annasamudram S.S.* Intelligent traffic management system // IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT). 2011. P. 119-122. 10. *Lu Antao, Li Yushan, Sun Yufang, Cao Chongzhen, Gao Kuigang, Xu Jing*. Research on the Integrated Management of Highway Based on Radio Frequency Identification Technology // Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA). 2011. Vol.3. P. 116-119. 11. *Enzhan Zhang, Weili Jiang, Yujun Kuang, Umer M.A.* Active RFID positioning of vehicles in road traffic // 11th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT). 2011. P. 222-227. 12. *Pandit A.A., Talreja J., Mundra A.K.* RFID Tracking System for Vehicles (RTSV) // First International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks. 2009. P.160-165. 13. *Preradovic S., Karmakar N.* Chipless RFID for intelligent traffic information system // IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI). 2011. P. 992-995. 14. *Esker F.* RFID in Vehicles. NetWorld Alliance LLC. 2012. 3 p. 15. *Fung B., Al-Hussaeni K., Cao M.* Preserving RFID data privacy // IEEE International Conference on RFID. 2009. P. 200-207. 16. *Hallowell S.F., Jankowski P.Z.* Transportation security technologies research and development // IEEE Military Communications Conference. 2005. Vol. 3. P. 1753-1756. 17. *Oka T., Inoue S., Kakuda Y.* An adaptive automobile control system using scheduling by imprecise computation and multiagent-based traffic information exchange and its experimental evaluation // 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. 2004. P. 610. – 615. 18. *Samad T.* Perspectives in Control Engineering Technologies, Applications, and New Directions. Intelligent Transportation Systems: Roadway Applications. Wiley-IEEE Press. 2001. P. 348 -369. 19. *Schutte J.* Recent trends in automatic train controls // IEEE Intelligent Transportation Systems. 2001. P. 813 -819. 20. *Tewolde G.S.* Sensor and network technology for intelligent transportation systems // IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT). 2012. P. 1-7. 21. *Guzzella L.* The Automobile of the Future. Options for Efficient Individual Mobility // IEEE Control Applications, (CCA) & Intelligent Control, (ISIC). Plenary talk. 2009. 22. *Khodayari A., Ghaffari A., Nouri M., Salehinia S., Alimardani F.* Model Predictive Control system design for car-following behavior in real traffic flow // IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES). 2012. P. 87-92. 23. *Sunghan Lim.* Road Management System of National Highway ITS // Fourth International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology. 2009. P. 624-626. 24. *Gavrila D.M.* Smart Cars for Safe Driving // IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP). Keynote Lecture. 2012. 25. *Zingirian N., Valenti C.* Sensor clouds for Intelligent Truck Monitoring // IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). 2012. P. 999-1004. 26. *Branisso L.B., Kato E.R.R., Pedrino E.C., Morandin O., Tsunaki R.H.* An Intelligent Autonomous Vehicle Management System // Second Brazilian Conference on Critical Embedded Systems (CBSEC). 2012. P. 42-47. 27. *Brizgalov V.V., Chukhantsev V., Fedorkin E.* Architecture of traffic control systems using cloud computing // International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). 2010. P. 215-216. 28. *Шахов, Д.В.* Проблема P=NP/ Официальный сайт компании НОВАКО. http://novako.ucoz.ru/files/pvsnp/P_eq_NP_publication.pdf. 29. *Дудников С., Боечко И.* Бесконтактная идентификация транспорта, основанная на RFID // Компоненты и технологии №1. 2007. – http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2007_01_140.pdf 30. *Remko van der Togt.* Electromagnetic Interference From Radio Frequency Identification Inducing Potentially Hazardous Incidents in Critical Care Medical Equipment // Journal of the american medical association June 25, 2008, Vol 299, No. 24. <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=182113> 31. *Aeronautical* Telecommunications Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems, International Civil Aviation Organization. 2002. 213p. 32. *Surveillance* Transition Scenario for German Airspace. Results of the DFS ADS-B Study Group. DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. Heribert Lafferton, Dr. Roland Mallwitz. January 31, 2007. 33. *RTCA* Special Committee 186, Working Group 3, ADS-B 1090 MOPS, Revision B, Meeting #30, 1090-WP30-12, August 18-21, 2009, 47p. 34. *Ipatov V.* Spread Spectrum and CDMA Principles and Applications, // Valery P. Ipatov /, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. 2005. 383p. 35. *Finkenzeller K.* RFID-Handbuch, // K. Finkenzeller /, John Wiley & Sons Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom. 2010. 480p. 36. *Shih-Lin Wu*, Wireless ad hoc networking // Shih-Lin Wu, Yu-Chee Tseng /, Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487 2742. 2007. 660 p. 37. *Verkehrssteuergeräte* SITRAFFIC C900/C800: Erfolgreiche Referenzen auf drei Kontinenten / Siemens AG, Мюнхен, 2007 // Die Quelle der Daten: http://transportation.siemens.com/shared/data/pdf/www/infrastructure_logistics/verkehrssteuerger_e4te_20sitraffic_20c900-c800.pdf 38. *Энглез И.П., Полетайкин А.Н.* Немецкий опыт организации и обеспечения безопасности дорожного движения в крупных городах // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. Донецк, 2012. №3. С. 49–57. 39. *Денисенко В.В.* Компьютер-

ное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия-Телеком. 2009. 258 с. **40.** Белов Ю.В., Гузь О.А., Полетайкин А.Н. Трехуровневая архитектура системы распределенной автоматизации управления дорожным движением // Обеспечение безопасности и комфорта дорожного движения: проблемы и пути решения / Материалы международной научно-практической конференции. Харьков: ХНУРЭ, ХНАДУ, 2011. С. 123 – 126. **41.** Гузь О.А., Полетайкин А.Н., Дунаев А.А. Организация распределенного управления светофорными объектами на основе контроллеров SIMATIC S7-1200 // Логистика промышленных регионов: Материалы III Международной научно-практической конференции. Донецк, Святогорск, 2011: Сборник научных работ / ДААТ, ПДТУ. Донецк: ЛАН-ДОН-XXI, 2011. С. 454 – 457.

Поступила в редколлегию 20.09.2012

Хаханов Владимир Иванович, д-р техн. наук, декан факультета КИУ, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Бондаренко Михаил Федорович, д-р техн. наук, проф., член-корреспондент АН Украины, ректор ХНУРЭ. Научные интересы: мозгоподобные структуры. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, e-mail: rector@kture.kharkov.ua

Энглез Ирина Павловна, канд. техн. наук, доцент, ректор Донецкой академии автомобильного транспорта. Научные интересы: интеллектуальные инфраструктуры дорожного движения. Адрес: Украина, Донецк, ул. Артема, 1, e-mail: rector@diat.edu.ua

Убар Раймунд, д-р техн. наук, профессор Таллинского технологического университета. Научные интересы: design&test. Адрес: Эстония, Таллинн, ул. Райа, 15.

Лобур Михаил Васильевич, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. систем автоматизированного проектирования Национального университета “Львовская политехника”. Научные интересы: проектирование МЭМС. Адрес: Украина, 79013, Львів, вул. Степана Бандери, 12, тел. +38 (032) 258-26-74, e-mail: mlobur@polynet.lviv.ua

Меликян Вазген, д-р техн. наук, профессор Государственного инженерного университета Армении. Научные интересы: design&test. Адрес: Армения, Ереван, ул. Теряна, 105, тел: (374 10) 524 629.

Дохов Александр Иванович, канд. техн. наук, профессор, начальник НИЧ ХНУРЭ. Научные интересы: радиоэлектронные системы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Бодянский Евгений Владимирович, д-р техн. наук, профессор, зав. ПНИЛ АСУ ХНУРЭ. Научные интересы: интеллектуальные системы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Филатов Валентин Александрович, д-р техн. наук, профессор, научный руководитель ЦИСТ ХНУРЭ. Научные интересы: информационные системы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Тевяшев Андрей Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: инфраструктура коммуникационных сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Ткаченко Владимир Филиппович, канд. техн. наук, профессор, зав. каф. медиасистем и технологий ХНУРЭ. Научные интересы: геоинформационные системы и технологии (включая системы мониторинга подвижных объектов). Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина 14, тел. (057)702-18-91. E-mail: tvfil@mail.ru.

Филиппенко Олег Игоревич, канд. техн. наук, доцент кафедры телекоммуникационных систем ХНУРЭ. Научные интересы: системы с шумоподобными сигналами, телеметрические системы, системы управления. Увлечения: радиолюбитель, тяжелая музыка, велоспорт. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380635906001, E-mail: oleg.filippenko@rambler.ru.

Шахов Дмитрий Валерьевич, частный предприниматель, разработка программного обеспечения. Научные интересы: разработка алгоритмов решения NP-полных задач. Адрес: Украина, 61032, Харьков, пр. Московский, 294, тел.097-365-50-40. E-mail: dmitriyshahov@gmail.com

Саатчян Армен Георгиевич, соискатель ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Чумаченко Светлана Викторовна, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование, теория рядов, методы дискретной оптимизации. Увлечения: путешествия, любительское фото. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: ri@kture.kharkov.ua.

Литвинова Евгения Ивановна, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: плавание, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: kiu@kture.kharkov.ua.

Хаханова Ирина Витальевна, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование цифровых систем и сетей на кристаллах. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Гузь Олеся Алексеевна, канд. техн. наук, доцент, проректор Донецкой академии автомобильного транспорта. Научные интересы: интеллектуальные инфраструктуры дорожного движения. Адрес: Украина, Донецк, ул. Артема, 1.

Белоус Наталья Валентиновна, канд. техн. наук, профессор кафедры программной инженерии ХНУРЭ. Научные интересы: интеллектуальные инфраструктуры управления. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail:

Полетайкин Алексей Николаевич, старший преподаватель кафедры специализированных компьютерных систем Донецкой академии автомобильного транспорта. Научные интересы: интеллектуальные системы на транспорте, современные компьютерные средства анализа дорожно-транспортной аварийности, прогрессивные информационные технологии в сфере образования. Увлечения: практическая психология, плавание, пчеловодство. Адрес: Украина, 83086, Донецк, пр. Дзержинского, 7, тел. (066) 728-82-64, e-mail: alex.poletaykin@gmail.com.

Чугуров Игорь Николаевич, предприниматель, руководитель веб-студии Eclips-design. Научные интересы: оптимизация киберпространства. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, комн. 318, тел. 70-21-326, e-mail: igorchugurov@gmail.com.

КВАНТОВЫЙ ПРОЦЕССОР ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

Предлагаются кубитные (квантовые) структуры данных и вычислительных процессов для существенного повышения быстродействия при решении задач дискретной оптимизации. Описываются аппаратно-ориентированные модели параллельного (за один цикл) вычисления булеана (множества всех подмножеств) на универсуме из n примитивов для решения задач покрытия, минимизации булевых функций, сжатия данных, синтеза и анализа цифровых систем за счет реализации процессорной структуры в форме диаграммы Хассе.

1. Введение

Цель создания кубит-процессора – существенное уменьшение времени при решении задач оптимизации путем параллельного вычисления векторных логических операций [1-3] над множеством всех подмножеств от примитивных компонентов за счет увеличения памяти для хранения промежуточных данных.

Задачи: 1) Определение структур данных для взятия булеана при решении задачи покрытия столбцов матрицы $M = \|M_{ij}\|, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ единичными значениями строк. В частности, при $m = n = 8$ необходимо выполнить параллельно-логическую операцию над 256 вариантами всех возможных сочетаний векторов (строк матрицы), составляющих булеан. 2) Система команд процессора должна включать следующие операции (and, or, xor) над векторами (словами) размерности m . 3) Разработка архитектуры кубит-процессора для параллельного вычисления $2^n - 1$ вариантов сочетаний, направленных на оптимальное решение NP-полной задачи покрытия. 4) Реализация прототипа кубит-процессора на базе программируемой логики PLD и верификация (валидация) аппаратного решения [2-13] на примерах минимизации булевых функций. 5) Приведение других практических задач дискретной оптимизации к форме задачи покрытия для последующего решения на кубит-процессоре.

В качестве примера предлагается решить задачу поиска оптимального единичного покрытия всех столбцов минимальным числом строк матрицы M , представленной ниже:

M	1	2	3	4	5	6	7	8
a	1	.	.	.	1	.	.	.
b	.	.	1	.	.	1	.	.
c	1	.	.	.	1	.	1	.
d	.	1	.	1	.	.	.	1
e	.	1	.	.	1	.	.	.
f	1	.	1	.	.	1	1	.
g	.	1	.	1	.	.	.	1
h	.	.	1	.	1	.	.	.

Для этого необходимо сделать перебор всех 255 сочетаний: из восьми по одной строке, по двум, трем, четырем, пяти, шести, семи и восьми. Минимальное количество примитивов (строк), формирующее покрытие, есть оптимальное решение. Таких решений может быть несколько. Диаграмма Хассе есть компромиссное предложение относительно времени и памяти, или такая стратегия решения задачи покрытия, когда ранее полученный результат впоследствии используется для создания более сложной суперпозиции. Поэтому для каждой таблицы покрытия, содержащей n примитивов (строк), необходимо генерировать собственную мультипроцессорную структуру в форме диаграммы Хассе, которая далее должна быть использована для почти параллельного решения NP-полной задачи. Например, для четырех строк таблицы покрытия диаграмма Хассе – структура мультипроцессора – будет иметь вид, представленный на рис. 1.

Оптимальные решения задачи покрытия для матрицы M , которая генерирует 255 вариантов возможных сочетаний, представлены строками в форме ДНФ: $C = fgh \vee efg \vee cdf$.

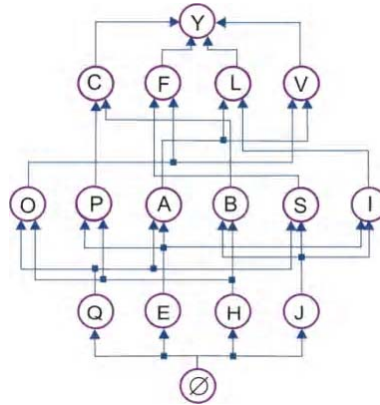


Рис. 1. Квантовая структура вычислительных процессов

Автомат управления вычислительным процессом для квантовой структуры путем восходящего анализа вершин графа основан на последовательном выполнении следующих шагов:

1. Занесение информации о примитивах в регистры (матрицы) $L_i^1 = P_i$ первого уровня с последующим анализом качества покрытия каждым примитивом в двоичном формате (1 – есть покрытие, 0 – нет покрытия). Если один из примитивов организует покрытие $\bigwedge_{j=1}^m L_{ij}^1 = 1$, процесс анализа структуры Хассе заканчивается. Иначе – выполнение перехода ($r = r + 1$)

на следующий уровень графа: $L_i^1 = P_i \rightarrow \bigwedge_{j=1}^m L_{ij}^1 = \begin{cases} 0 \rightarrow n = n + 1; \\ 1 \rightarrow \text{end.} \end{cases}$

2. Инициирование команды обработки очередного (второго) уровня. Последовательное выполнение векторных (матричных) операций ($\text{or } L_i^r = L_{ij}^{r-1} \bigwedge_{j=1}^m L_{tj}^{r-1}$, and $\bigwedge_{j=1}^m L_{tj}^r = 1$) в целях анализа покрывающей способности сочетаний примитивных элементов r -уровня. Здесь $t = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, m}$, $r = \overline{1, n}$, n – число ярусов или количество строк в таблице покрытия, m – число столбцов в ней. Если существует сочетание на рассматриваемом уровне, создающее полное покрытие, которое формирует оценку, равную 1, то обработка всех последующих уровней процессора не выполняется. В противном случае выполняется переход для анализа следующего уровня процессорной структуры:

$$L_i^r = L_{ij}^{r-1} \bigwedge_{j=1}^m L_{tj}^{r-1} \rightarrow \bigwedge_{j=1}^m L_{tj}^r = \begin{cases} 0 \rightarrow r = r + 1; \\ 1 \rightarrow \text{end.} \end{cases}$$

Для поиска оптимального покрытия всегда достаточно двух элементов нижнего уровня, что означает – все операционные вершины имеют два регистровых (матричных) входа, что существенно уменьшает стоимость аппаратных затрат. Количество временных тактов для обработки структуры процессора в худшем случае равно n . Можно создать алгоритм поиска оптимального покрытия путем нисходящего анализа вершин графа. В этом случае при нахождении полного покрытия в одном из ярусов необходим еще один спуск по структуре, чтобы убедиться в отсутствии в нижнем соседнем ярусе полного покрытия. При положительном ответе на данный вопрос полученное решение является оптимальным. Иначе – необходимо выполнять спуск до такого уровня, когда более нижний, соседний ярус не будет содержать полного покрытия. Вершины процессорной структуры могут иметь более одной бинарной (унарной) регистровой логической операции. Тогда необходимо создавать простейший дешифратор команд для активизации, например, операций: and, or, xor, not. Таким образом, достоинства кубитного Хассе процессора (Quantum Hasse Processor – QHP) заключаются в возможности использовать не более, чем двухвходовые схемы векторных логических операций (and, or, xor), а значит, в существенном

уменьшении стоимости по Квайну реализации процессорных элементов (вершин) и памяти за счет применения последовательных вычислений и незначительного увеличения времени обработки всех вершин графа Хассе. Для каждой вершины используется критерий качества покрытия – наличие всех единиц в координатах вектора-результата. Если критерий качества выполняется, то все остальные вычисления можно не производить, поскольку диаграмма Хассе есть строго иерархическая структура по числу сочетаний в каждом ярусе. Это означает, самое лучшее решение находится на более низком уровне иерархии. Варианты одного уровня равнозначны по реализации (стоимости), поэтому полученное

первое качественное покрытие ($Q = \sum_{i=1}^n q_i = n$) есть лучшее решение, предполагающее оставку всех последующих вычислений по стратегии диаграммы Хассе. Учитывая последовательно-параллельную стратегию, анализ вершин графа, время (цикл) обработки всех примитивов QН-процессора определяется числом уровней иерархии (количеством битов (примитивов, строк в таблице покрытия) в кубитной переменной), умноженным на время анализа одной вершины: $T = \log_2 2^n \times t = t \times n$. При этом длина m строки таблицы покрытия не влияет на оценку быстродействия. Анализ вершины включает две команды: логическую (and, or, xor) и операцию вычисления критерия качества покрытия в форме скаляра путем применения функции and ко всем разрядам вектора-результата:

$$m_{ir,j} = M_{i,j} \vee M_{r,j}, (j = \overline{1, n}; \{i \neq r\} = \overline{1, m});$$

$$m_{ir}^s = \wedge m_{ir,j} = \wedge (M_{i,j} \vee M_{r,j}).$$

Аппаратные затраты на реализацию QН-процессора зависят от суммарного числа вершин графа Хассе и от количества битов (разрядов) в строке таблицы покрытия: $N = 2^n \times k \times m$, где k – коэффициент аппаратной реализации (сложности) одного разряда бинарной векторной логической операции и последующей команды вычисления критерия качества покрытия. Таким образом, высокое быстродействие решения задачи покрытия достигается существенным повышением аппаратных затрат (в $2^n \times k \times m / k \times m \times n = 2^n / n$ раз по сравнению с последовательной обработкой графовых вершин), которое обеспечивает компромиссный вариант между полностью параллельной структурой вычислительных процессов (здесь затраты аппаратуры определяются числом примитивов в каждой вершине $N = k \times m \times n \times 2^n$, а увеличение аппаратуры составляет 2^n раз) и последовательными вычислениями однопроцессорного компьютера (здесь быстродействие обработки графа Хассе равно $T = t \times 2^n$, а аппаратные затраты равны $N^* = k \times m \times n$). Уменьшение аппаратуры по сравнению с параллельным вариантом обработки графа составляет $Q^H = k \times m \times n \times 2^n / k \times m \times n \times 2^n = n$. Как следствие существенной аппаратной избыточности, уменьшение времени анализа вершин графа по сравнению с последовательной обработкой

структуры имеет следующую оценку: $Q^T = \frac{t \times 2^n}{t \times n} = \frac{2^n}{n}$.

Таким образом, выше описаны аппаратно-ориентированные модели параллельного (за один цикл) вычисления булеана (множества всех подмножеств) на универсуме из n примитивов для решения задач покрытия, минимизации булевых функций, сжатия данных, синтеза и анализа цифровых систем за счет реализации процессорной структуры в форме диаграммы Хассе.

2. Метод Windows-декомпозиции для решения задачи покрытия

Сущность проблемы заключается в большой размерности таблицы покрытия, например 1000×1000 , когда практически невозможно за приемлемое время получить оптимальное решение задачи покрытия, имеющей экспоненциальную сложность. Тогда необходимо идти по пути квазиоптимизации, что позволяет существенно уменьшить временной фактор и сделать его приемлемым для практики. Ниже предлагается несколько стратегий для снижения временных затрат при обработке таблиц покрытия большой размерности.

1) Метод декомпозиции таблицы покрытия на сегменты строк:

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n\}, C_i = (C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{ij}, \dots, C_{im}).$$

Каждый сегмент содержит m строк, при условии, что размерность таблицы равна

$|C| = n \times m \times k$, а сегмента – $|C_{ij}| = m \times k$. Здесь m – количество строк в сегменте или число переменных в процессоре Хассе, k – длина строки таблицы покрытия, которая должна обрабатываться параллельно, n – число сегментов. Операция дизъюнкции выполняется над всеми строками в каждом сегменте, по окончании которой размерность таблицы понижается в m раз. Если размерность полученной таблицы сегментов больше чем количество входов Хассе процессора, то к ней опять применяется процедура декомпозиции. Таким образом, исходная таблица покрытия превращается в многоуровневую пирамиду, где верхняя площадка определяется числом строк, не большим, чем количество входов процессора Хассе. Например, если процессор имеет 8 переменных для параллельной обработки восьми строк таблицы покрытия, то предыдущие (нижние) уровни должны увеличиваться в 8 раз:

Level	m
1	8
2	64
3	512
4	4096
5	32768
...	...

Это означает, что для параллельной обработки таблицы размерностью 32768×32768 необходимо выполнить всего 5 циклов обработки матрицы мультипроцессорной системой Хассе. При этом на каждом уровне выбираются сегменты, которые участвуют в формировании покрытия, задекларированного на более высоком уровне. Следует иметь в виду, что предварительно выполняется сегментирование всего пространства строк таблицы покрытия до тех пор, пока на последнем уровне не останется число сегментов, меньшее или равное восьми, например:

Level	m
1	32768
2	4096
3	512
4	64
5	8

На каждом уровне выполняется вычисление векторов качества покрытия сегментов более высокого уровня на основе применения векторной or -операции:

$$C_{ij} = \bigoplus_{r=1}^k C_{ijr}.$$

Например, для обработки таблицы покрытия, имеющей размерность 16 на 16:

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1
b	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	1	.	.
c	1	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
d	.	.	1	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.
e	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.
f	1	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.
g	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
h	.	.	1	.	1	.	.	1	.	1	.	1	.	1	.	.
i	1	.	1	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1
j	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.
k	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
l	.	1	.	1	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.
m	1	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.
n	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
p	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
q	.	.	1	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	1	.	.

необходимо выполнить ее разбиение на 4 сегмента, где в каждом из них имеется 4 вектора:

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.
b	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	1	.
c	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
d	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.
e	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.
f	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	1
g	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
h	.	.	1	.	1	.	.	.	1	.	1	.	1	.	1	.
i	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1
j	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.
k	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
l	.	1	.	1	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.
m	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.
n	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
p	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
q	.	.	.	1	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	1	.
	1	.	1	1	1	.	1	1	1	.	1	.	1	.	1	1
	1	.	1	1	1	.	1	1	1	.	1	.	1	1	1	1
	.	1	1	.	.	1	.	1	1	.	1	1	.	.	.	1
	.	.	1	1	1	1	.	1	1	1	1	.	1	.	1	.

После этого выполняется операция дизъюнкции над всеми s-векторами каждого сегмента, а результат заносится в (s+1)-вектор соответствующего сегмента. Все такие векторы далее используются для решения задачи покрытия, но уже на уровне векторов более высокой иерархии.

2) Метод декомпозиции таблицы покрытия на двумерные сегменты:

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
a	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.
b	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
c	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.
d	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.
e	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
f	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.
g	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
h	.	.	1	.	1	.	.	.	1	.	1	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
i	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.
j	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
k	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
l	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
m	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.
n	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.
p	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
q	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
r	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	1	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.
s	.	1	1	.	.	1	.	.	1	.	1	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
t	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
u	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.
v	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
w	1	.	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
x	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
y	.	1	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
q1	1	.	1	1	1	.	1	1	1	.	1	1	1	1	1	1	1	.	.	1	1	1	1	1	1
q2	.	1	.	.	.	1	.	1	.	.	1	1	.	1	1	.	.	1	1	1	.	1	1	1	1
q3	1	1	1	.	1	1	.	1	1	1	.	1	1	.	1	.	.	1	1	1	1	.	.	.	.

После оконного разбиения выполняется построение (s+1,t+1)-векторов на основе векторной операции дизъюнкции над всеми s-векторами каждого t-окна, а результат заносится в (s+1,t+1)-вектор соответствующего (s+1,t+1)-окна. Все такие векторы далее используются для решения задачи покрытия на более высоком уровне (s+1,t+1)-векторов.

Разбиение таблицы на сегменты и на окна имеют преимущества, связанные с уменьшением времени решения задачи за счет распараллеливания, где все сегменты (окна) обрабатываются одновременно. Недостаток определяется получением квазиоптимального решения, которое может отличаться от минимального покрытия. Ниже представлены численные оценки затрат и преимуществ от внедрения двух стратегий предложенного метода оптимизации:

$$H^r = \frac{2^n}{(2^{n_1} + 2^{n_2} + \dots + 2^{n_i} + \dots + 2^{n_k}) + 2^{n/u}},$$

$$H^u = \frac{2^n}{[(2^{n_1} + 2^{n_2} + \dots + 2^{n_i} + \dots + 2^{n_k}) + 2^{n/u}] \times \frac{r}{u}},$$

$$n = 1000; n_1 = n_2 = \dots = n_i = \dots = n_{10} = 10; r = 1000; u = 100 \rightarrow ,$$

$$H^r = \frac{2^{1000}}{10 \times 2^{100} + 2^{\frac{1000}{100}}} = \frac{2^{1000}}{10 \times 2^{100} + 2^{10}},$$

$$H^u = \frac{2^{1000}}{(10 \times 2^{100} + 2^{\frac{1000}{100}}) \times \frac{1000}{10}} = \frac{2^{1000}}{(10 \times 2^{100} + 2^{10}) \times 100} = \frac{2^{1000}}{1000 \times 2^{100} + 100 \times 2^{10}}.$$

Здесь первая оценка – выигрыш во временных затратах решения задачи покрытия при разбиении таблицы на k сегментов, вторая – когда дополнительно и строка, длиной r ,

разбивается на сегменты, длиной u , где число сегментов равно $\frac{r}{u}$. Выигрыш формируется

за счет одновременной обработки сегментов или окон, после чего задача приводится к покрытию таблицы сегментами. Затем формируется точный результат в форме строк сегментов, участвующих в покрытии исходной таблицы. Здесь метод ориентирован на параллельную обработку всех квадрантов (окон) процессорами Хассе, число которых определяется количеством квадрантов. Таким образом, платой за высокое быстродействие параллельной обработки является аппаратная избыточность, зависящая от числа окон на самом низком уровне иерархии таблицы покрытия.

3. Аппаратная реализация QН-процессора

Для генерации кода моделей мультипроцессора Хассе различной конфигурации по числу входов или битов в кубите разработан программный генератор. На основе задания исходных данных: количества входных векторов, их разрядности и современных технологий [4-18] выполняется генерация Verilog-кода. Программа написана с использованием языка Python 2.7, и содержит 255 строк кода.

Структура классов, разработанная с помощью инструмента ArgoUML, представлена на рис. 2. Она включает основной класс Generator, а также генератор индексов внутренних регистров модели, который выделен в отдельный класс genIndex.

Переменные класса genIndex: levels – количество уровней модели (соответствует числу входов процессора Хассе), level – текущий уровень для генерирования индексов регистров, ind_list – список строковых значений индексов. Два метода класса: genLevel() и getIndList() генерируют и возвращают список индексов. Объекты класса genIndex используются в методах создания описания и реализации регистров класса Generator.

Класс Generator содержит поля: numInputs – число входов модели процессора Хассе, numBits – разрядность входных/выходных векторов, file_name – имя файла модели, inter_output – позволяет при необходимости отключать генерирование выходов признаков для регистров внутренних уровней. Метод инициализации переменных задает их значения по умолчанию.

```
def __init__(self, numInputs = 4, numBits = 8, file_name = "model.v",
             inter_output = True):
```

Любой из параметров может быть изменен при создании экземпляра класса Generator, например:

```

numInputs = 16
numBits = 8
obj1 = Generator(numInputs, numBits, "model"+str(numInputs)+".v", False).

```

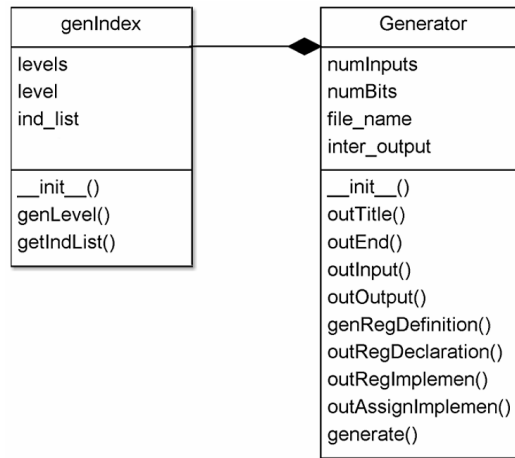


Рис. 2. Структура классов программы(ArgoUML)

Деление Verilog-модели на составляющие представлено на рис 3. Для реализации каждой части модели создан отдельный метод класса Generator: outTitle(),outInput(), outOutput(), outRegDeclaration(), outRegImplemen(), outAssignImplemen() и outEnd() соответственно. Метод genRegDefinition(name1, name2, vec = True) вызывается из outRegDeclaration(). Метод generate(), используя остальные методы класса, выполняет генерацию целой модели устройства и запись ее в файл.

Кроме того, функции outTitle() и outEnd() открывают и закрывают внешний файл:

```

def outTitle(self):
    self.f = open(self.file_name, 'w')
    self.f.write("module device\n (input clk, rst,\n")
def outEnd(self):
    self.f.write("\nendmodule")
    self.f.close()

```

Заголовок
Декларация входов
Декларация выходов
Декларация регистров
Реализация регистров
Присвоение значений выходов
Завершение

Рис. 3. Организация Verilog-модели

Таблица иллюстрирует увеличение числа внешних линий устройства с возрастанием количества входов (numInputs). При этом очевидно, что разрядность входных сигналов (numBits) несущественно влияет на общее число входов и выходов модели.

Таблица

Зависимость количества внешних линий модели от числа входов (numInputs) и их разрядности (numBits)

numInputs	numBits							
	4	8	12	16	20	24	28	32
4	31	55	79	103	127	151	175	199
6	83	115	147	179	211	243	275	307
8	279	319	359	399	439	479	519	559
10	1 051	1 099	1 147	1 195	1 243	1 291	1 339	1 387
12	4 127	4 183	4 239	4 295	4 351	4 407	4 463	4 519
14	16 419	16 483	16 547	16 611	16 675	16 739	16 803	16 867
16	65 575	65 647	65 719	65 791	65 863	65 935	66 007	66 079
18	262 187	262 267	262 347	262 427	262 507	262 587	262 667	262 747

Модель устройства, с конфигурацией из 16 входов, где разрядность входов равна 8 битам, реализована с использованием микросхемы фирмы Xilinx серии Spartan-3E: xc3s1200e.

При этом полученная схема содержит 3 337 триггеров FF и 3 233 4-входовых таблиц преобразования LUT:

Logic Utilization:

Number of Slice Flip Flops:	3,337 out of 17,344	19%
Number of 4 input LUTs:	3,233 out of 17,344	18%

Для 16 входов квантового процессора генератор, созданный с помощью языковых средств Python 2.7, синтезировал 288738 строк (16 килобайт) кода языка Verilog за 65 секунд на двухядерном процессоре Интел с тактовой частотой 2,1 ГГц.

Исходя из результатов статического временного анализа (рис. 4), минимальный рабочий период синхросигнала равен 9.2 ns, что соответствует частоте 108 МГц.

Clock clk to Pad				
Destination	clk (edge)	to PAD	Internal Clock(s)	Clock Phase
o15<0>		7.280 (R) clk_BUF		0.000
o15<1>		7.512 (R) clk_BUF		0.000
o15<2>		6.999 (R) clk_BUF		0.000
o15<3>		8.072 (R) clk_BUF		0.000
o15<4>		7.866 (R) clk_BUF		0.000
o15<5>		8.242 (R) clk_BUF		0.000
o15<6>		7.884 (R) clk_BUF		0.000
o15<7>		9.186 (R) clk_BUF		0.000
o16		7.680 (R) clk_BUF		0.000

Clock to Setup on destination clock clk				
Source Clock	Src: Rise	Src: Fall	Src: Rise	Src: Fall
clk	4.250			

Рис. 4. Временные параметры Хассе процессора на 16 бит

Интерфейс GUI программы генератора кодов, разработанный для генерирования масштабируемых моделей Хассе мультипроцессора, приведен на рис. 5.

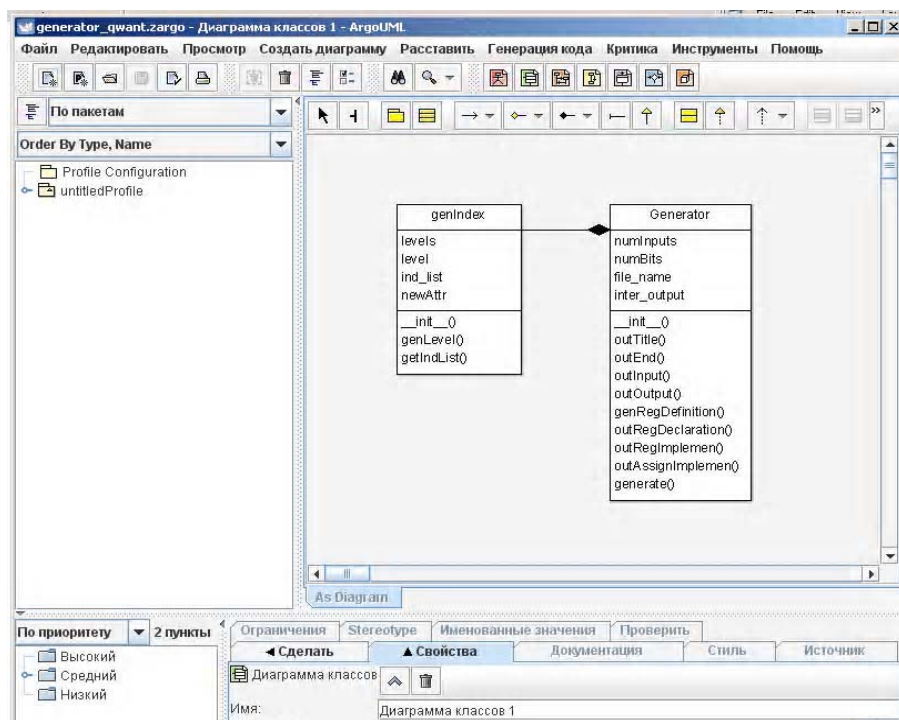


Рис.5. Временные параметры Хассе процессора на 16 бит

Интерфейс позволяет осуществлять автоматическое генерирование кода на языке описания аппаратуры Verilog, задавать и вычислять основные характеристики проекта, связанные с числом входов, длиной или разрядностью регистров, а также переходить к фазе RTL-синтеза проекта и последующей его верификации.

Синтез, мэппинг, трассировка и размещение проекта Хассе процессора выполнен на основе использования открытого программного продукта ISE Xilinx. Результат его работы в течение 5,5 часов на процессоре Интел, тактовая частота 2,1 ГГц, представлен в виде топологии микросхемы xc3s1200e двумя компонентами на рис. 6: а – общий план микросхемы после выполнения процедур Place and Rout; б – увеличенный фрагмент кристалла, а именно – левого нижнего угла.

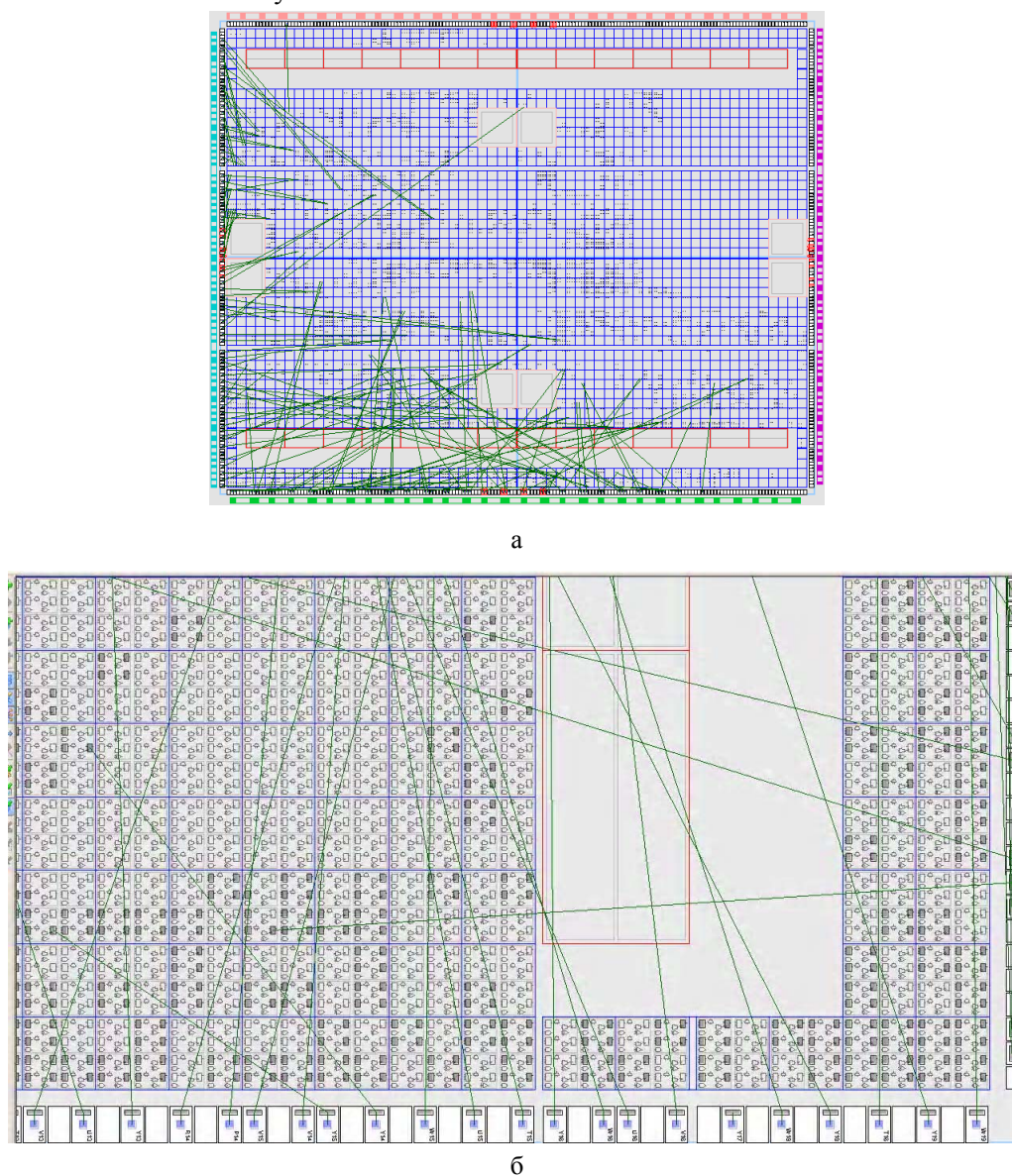


Рис. 6. Размещение устройства в микросхеме xc3s1200e

4. Заключение

Научная новизна. Предложены кубитные структуры данных и квантовая модель вычислительных процессов на основе использования диаграммы Хассе, что дает возможность существенно ($\times 10$ - $\times 100$) повысить быстродействие при решении задач дискретной оптимизации. Предложен квазиоптимальный метод решения задачи покрытия для таблиц большой размерности, который отличается от аналогов фазой предварительного разбиения матрицы на сегменты или окна, что дает возможность существенно уменьшить время

поиска покрытия путем применения параллельных регистровых логических операций над строками таблицы. Описаны аппаратно-ориентированные модели параллельного (за один цикл) вычисления булеана (множества всех подмножеств) на универсуме из n примитивов для решения задач покрытия, минимизации булевых функций, сжатия данных, синтеза и анализа цифровых систем за счет реализации процессорной структуры в форме диаграммы Хассе.

Практическая значимость. Аппаратная имплементация Хассе мультипроцессора в аппаратуру кристалла Xilinx серии Spartan-3E: xc3s1200e позволяет существенно уменьшить время при решении задач оптимизации путем параллельного вычисления векторных логических операций за счет увеличения числа процессорных элементов и памяти для хранения промежуточных данных. Создан автоматический генератор кода в среде Python, который дает возможность существенно ($\times 3$ - $\times 5$) уменьшить время проектирования кода на языке Verilog при создании масштабируемых моделей Хассе процессора для их последующей имплементации в FPGA-кристаллы микросхем компании Xilinx.

Список литературы: 1. Хаханов В.И., Хаханова И.В. и др. Verilog&SystemVerilog. Харьков: Новое слово, 2010. 528с. 2. Хаханов В.И., Хаханова И.В. VHDL+Verilog = синтез за минуты. Харьков: Смит, 2006. 264 с. 3. Бондаренко М.Ф., Хаханов В.И., Литвинова Е.И. Структура логического ассоциативного мультипроцессора. Автоматика и телемеханика. 2012. № 10. С. 71-92. 4. Bergeron, Janick. Writing testbenches: functional verification of HDL models. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001. 354 p. 5. Samir Palnitkar. Verilog HDL. A guide to digital design and synthesis. SunSoft Press. 1996. 396p. 6. Bhasker, J. Verilog HDL Synthesis. Practical Primer. Allentown: Star Galaxy Publishing, 1998. 215 p. 7. Donald E. Thomas. Philip R. Moorby. The Verilog Hardware Description Language. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers. 2002. 404 p. 8. James M. Lee, VERILOG QUICKSTART. A Practical Guide to Simulation and Synthesis in Verilog. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers. 2002. 378 p. 9. Janick Bergeron, Eduard Cerny, Alan Hunter, Andrew Nightingale. Verification Methodology Manual for SystemVerilog. New York: Springer. 2005. 338 p. 10. Bhasker J. Verilog HDL, Third Edition. Star Galaxy Publishing. 2005. 568 p. 11. IEEE Std 1364.1-2002. IEEE Standard for Verilog® Register Transfer Level Synthesis. IEEE Computer Society Sponsored by the Design Automation Standards Committee. Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York. 2002. 109 p. 12. IEEE Std 1364-1995. IEEE Standard Hardware Description Language Based on the Verilog Hardware Description Language– IEEE Standard Verilog Hardware Description Language.– IEEE Computer Society Sponsored by the Design Automation Standards Committee.– Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street, New York, NY 10017-2394, USA 1996. 675 p. 13. IEEE Std 1364-2001. (Revision of IEEE Std 1364-1995). IEEE Standard Verilog Hardware Description Language.– IEEE Computer Society Sponsored by the Design Automation Standards Committee.– Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA. 2001. 791p. 14. <http://www.xilinx.com>. 15. <http://www.xilinx.com/products/design-tools/ise-design-suite/>. 16. <http://www.python.org> (Python Programming Language – Official Website). 17. Kenneth A. Lambert. Fundamentals of Python: From First Programs Through Data Structures. Boston : Course Technology, 2010. 945p. 18. Лутц М. Программирование на Python, том I, 4-е издание. СПб.: Символ-Плюс, 2011. 992с.

Поступила в редколлегию 19.09.2012

Хаханова Ирина Витальевна, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование цифровых систем и сетей на кристаллах. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛА С ПРОИЗВОЛЬНЫМИ МАСШТАБАМИ ПО ОСЯМ КООРДИНАТ ОТНОСИТЕЛЬНО СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ЕМУ ЭТАЛОНА

Рассматривается задача распознавания сигнала по соответствующему ему эталону. Сигнал и эталон могут отличаться произвольными масштабами и сдвигами по осям координат. Предлагается метод решения данной задачи, использующий функцию относительной непропорциональности. Приводятся результаты распознавания фрагментов эталонов в анализируемом сигнале, показывающие эффективность предложенного метода при решении поставленной задачи.

Введение

Существует класс задач, целью которых является обнаружение в анализируемом сигнале фрагмента одного или нескольких эталонных сигналов из заданного множества [1,2]. На практике часто встречаются случаи, когда анализируемый сигнал отличается от эталонного не только по амплитуде, но и масштабом по оси абсцисс. Например, имеет место сжатие во времени. Поэтому актуальной является задача разработки методов для распознавания фрагментов эталонных сигналов в анализируемом при указанных условиях. Широко используемые корреляционные методы требуют наблюдения за анализируемым сигналом. Кроме того, если эталон и анализируемый сигнал отличаются масштабом по оси абсцисс, то необходимо подбирать значение этого масштаба, обеспечивающего максимум взаимной корреляции. Использование корреляционных методов ещё более усложняется в случае необходимости осуществлять оперативный анализ сигнала по его текущему значению.

1. Постановка задачи

Входной анализируемый сигнал $f(x)$ может содержать фрагменты эталонных сигналов $g_i(x)$, ($i = 1, 2, \dots, N$), где i – порядковый номер эталона, N – общее количество эталонов. Соответствующие фрагменты входного сигнала и эталона отличаются друг от друга на заранее неизвестные масштабные множители по осям абсцисс и ординат. Кроме того, анализируемый сигнал и эталон могут быть смещены относительно друг друга по оси абсцисс. Величина сдвига также неизвестна. В этом случае входной сигнал имеет вид:

$$f(x) = A \cdot g_i(\alpha \cdot x + \beta), \quad (1)$$

где A , α – неизвестные множители; β – неизвестное смещение по оси абсцисс. Их значения постоянные.

В более общем виде может также иметь место произвольное смещение сигнала по отношению к эталону не только вдоль оси абсцисс, но и вдоль оси ординат. Тогда анализируемый сигнал описывается выражением:

$$f(x) = A \cdot g_i(\alpha \cdot x + \beta) + C, \quad (2)$$

здесь C – неизвестное смещение по оси ординат. Такую форму представления входного сигнала можно встретить, например, в [3].

Предполагается, что входной сигнал $f(x)$ и эталоны $g_i(x)$ имеют первые две производные в случае, когда $f(x)$ имеет вид (1), или первые три производные, если $f(x)$ имеет вид (2).

Ставится задача распознать фрагменты эталонов $g_i(x)$ ($i = 1, 2, \dots, N$) для анализируемых сигналов как в виде (1), так и в виде (2), или констатировать их отсутствие.

Для решения поставленной задачи в качестве инвариантных характеристик анализируемого сигнала и эталонов предлагается использовать функции непропорциональности [4]. В связи с необходимостью учитывать различия в масштабах одновременно по осям абсцисс и ординат, наиболее подходящей является относительная непропорциональность числовых функций [5].

2. Свойства относительной непропорциональности числовых функций

Для числовой функции $y = f(x)$ её относительная непропорциональность первого порядка по x обозначается как $@N_x^{(1)}y$ (читается «эт N один y по x»). Символ @ обозначает операцию определения непропорциональности, N показывает, что она относительная. Этот вид непропорциональности вычисляется по формуле:

$$@N_x^{(1)}y = 1 - \frac{x}{y} \cdot \frac{dy}{dx}. \quad (3)$$

Для функций $y(t)$ и $x(t)$, заданных параметрически, непропорциональность (3) функции $y(t)$ по $x(t)$ описывается выражением:

$$@N_{x(t)}^{(1)}y(t) = 1 - \frac{x(t)}{y(t)} \cdot \frac{y'_t(t)}{x'_t(t)}. \quad (4)$$

Непропорциональность (4) безразмерная и равна нулю в случае пропорциональной зависимости между $y(t)$ и $x(t)$ независимо от значения коэффициента пропорциональности.

Для решения поставленной задачи в случае, когда сигнал представлен выражением (1), предлагается использовать относительную непропорциональность первого порядка (4) функции $f(x)$ по её первой производной. Необходимость вычисления первой производной возникает вследствие появления множителя α при дифференцировании, которое имеет место в формуле (4). Подставив $f(x)$ и $f'(x)$ в выражение (4), получим:

$$@N_{f'(x)}^{(1)}f(x) = 1 - \frac{f'(x)}{f(x)} \cdot \frac{f''(x)}{f'(x)} = 1 - \frac{(g_i'(\alpha \cdot x + \beta))^2}{g_i(\alpha \cdot x + \beta) \cdot g_i''(\alpha \cdot x + \beta)}. \quad (5)$$

В работе [6] показано, что изменение масштаба и смещение сигнала (1) вдоль оси абсцисс приводит к точно такому же изменению масштаба и смещению относительной непропорциональности (5). Так как оценка (5) не зависит от масштаба по оси ординат, то для эталона и его фрагмента в анализируемом сигнале она принимает одинаковые значения, но, в общем случае, при разных значениях аргумента. Это позволяет осуществлять оперативное распознавание входного сигнала (1) путём нахождения значения его текущей оценки (5) среди предварительно вычисленных значений оценок (5) для эталонов. Такой подход делает метод решения поставленной задачи инвариантным к произвольным смещениям и масштабам по осям абсцисс и ординат.

Если входной сигнал имеет вид (2), предлагается использовать относительную непропорциональность первого порядка (4) производной $f'(x)$ по второй производной $f''(x)$. В результате из (2) исключается неизвестное слагаемое C . Подставив $f'(x)$ и $f''(x)$ в (4), получим:

$$@N_{f''(x)}^{(1)}f'(x) = 1 - \frac{f''(x)}{f'(x)} \cdot \frac{f'''(x)}{f''(x)} = 1 - \frac{(g_i''(\alpha \cdot x + \beta))^2}{g_i'(\alpha \cdot x + \beta) \cdot g_i'''(\alpha \cdot x + \beta)}. \quad (6)$$

3. Алгоритм распознавания фрагментов эталонов в анализируемом сигнале

При проведении оперативного анализа входного сигнала в распоряжении системы распознавания может находиться ограниченное число его значений. Это обстоятельство необходимо учитывать, если осуществляется компьютерная обработка входного сигнала, так как для вычисления первых трёх производных необходима последовательность из семи значений анализируемого сигнала [7]. Однако в случае использования аналоговых вычислительных устройств значения производных могут быть получены в реальном времени.

В процессе распознавания значение относительной непропорциональности сигнала $f(x)$ при заданном аргументе может быть равным одновременно нескольким значениям относительной непропорциональности эталона и при разных значениях его аргумента. Для уменьшения множества случайных совпадений оценок (5) или (6) сигнала и эталонов предлагается дополнительно производить проверку знаков первых производных относительных непропорциональностей в соответствующих точках.

Если для анализа доступно несколько значений входного сигнала $f(x)$, то становится возможным определение конкретного эталона, фрагментом которого они являются. В

таком случае важную роль играет решающее правило. Его можно представить так: считать входной сигнал фрагментом i -го эталона, если порядок следования и отношения интервалов одинаковые между аргументами соответствующих значений относительных непропорциональностей сигнала и эталона.

Необходимо также отметить, что если определены две пары соответствующих значений аргументов входного сигнала и эталона, то можно вычислить их смещение и растяжение (сжатие) относительно друг друга. Это даёт возможность сопоставлять последующие значения входного сигнала с преобразованным эталоном и окончательно определить, является ли сигнал его фрагментом.

В случае, когда входной сигнал имеет вид (1), а для анализа доступны только текущие значения этого сигнала и его производных, алгоритм распознавания следующий:

1. Считываются эталонные сигналы $g_i(x)$.
2. Вычисляются первые две производные сигналов $g_i(x)$.
3. По формуле (5) вычисляются относительные непропорциональности

$$G_i(x) = @N_{g_i'(x)}^{(1)} g_i(x) \text{ функции } g_i(x) \text{ по её первой производной, } i = 1, 2, \dots, N.$$

4. В текущий момент времени $x_{\text{тек}}$ считывается значение сигнала $f(x_{\text{тек}})$ и определяются его первые две производные.

5. Вычисляется относительная непропорциональность в текущий момент времени сигнала $f(x)$ по его первой производной: $F(x_{\text{тек}}) = @N_{f'(x_{\text{тек}})}^{(1)} f(x_{\text{тек}})$.

6. Выбирается первый из эталонов $g_i(x)$, $i = 1$.

7. Производится поиск значения $F(x_{\text{тек}})$ среди значений функции $G_i(x)$ выбранного i -го эталонного сигнала. Соответствующее значение аргумента присваивается переменной $x_{\text{эт}}$. Если значение $F(x_{\text{тек}})$ не было найдено, переход к п. 11, иначе – к п. 8.

8. Если в п. 7 было найдено сразу несколько значений $F(x_{\text{тек}})$, то последующие п. 9-10 необходимо выполнить для каждого из них в отдельности.

9. Производится проверка $F'(x_{\text{тек}}) \cdot G_i'(x_{\text{эт}}) > 0$. Если условие выполняется — переход к п. 10, иначе — к п. 11.

10. Согласно решающему правилу принимается решение о наличии фрагмента рассматриваемого i -го эталона в анализируемом сигнале.

11. Выбирается следующий эталон: $i = i + 1$. Если $i < N$, то переход к п. 7, иначе останов.

В случае, когда анализируемый сигнал представлен в виде (2), алгоритм распознавания подобный уже описанному. Но в отличие от него, относительные непропорциональности вычисляются по формуле (6) как для входного сигнала, так и для каждого эталона. Для их нахождения дополнительно вычисляются третьи производные $f'''(x)$ и $g_i'''(x)$.

4. Пример распознавания сигнала

Для иллюстрации работы алгоритма распознавания рассмотрим следующий пример. Пусть имеется два эталонных сигнала:

$$g_1(x) = 0,16e^{0,5x} \log(0,7x) + 0,5, \quad g_2(x) = e^{0,5x} \sin(0,1x) + 0,7.$$

Входной сигнал $f(x)$ представлен в виде:

$$f(x) = -0,01e^{2x+0,18} \log(2,8x + 0,18) + 1,8.$$

и фактически является эталоном $g_1(x)$, умноженным по оси абсцисс на 4,0 и смещённым по этой оси на -0,18; а по оси ординат – умноженным на -0,0625 и смещённым на 1,3.

На рис. 1 приведены графики входного сигнала $f(x)$ (сплошная линия), эталонного сигнала $g_1(x)$ (пунктирная линия) и эталонного сигнала $g_2(x)$ (штрихпунктирная линия).

Из рис. 1 визуально можно предположить, что входной сигнал $f(x)$ не является фрагментом ни $g_1(x)$, ни $g_2(x)$.

На рис. 2 приведены графики относительных непропорциональностей входного сигнала $f(x)$ и эталонных сигналов, вычисленных по формуле (6).

Предположим, что значения сигнала и его производных известны только в момент времени $x_{\text{тек}} = 0,3$. Относительная непропорциональность в этой точке равна $F(x_{\text{тек}}) = 0,848$. Значения $F(x_{\text{тек}})$ и $G_i(x)$ совпадают в двух точках: при $x_{\text{эт}} = 0,705$ и $x_{\text{эт}} = 1,456$, а поиск

значения $F(x_{\text{тек}})$ среди значений $G_2(x)$ результатов не дал. После проверки знаков первых производных в точках $F'(0,3)$, $G_1'(0,705)$ и $G_1'(1,456)$ из рассмотрения было исключено значение $G_1(0,705)$, так как $F'(0,3) \cdot G_1'(0,705) < 0$.

В результате установлено, что входной сигнал $f(x)$ в точке $x = x_{\text{тек}} = 0,3$ является фрагментом первого из эталонов $g_1(x)$, а соответствующее значение $x_{\text{эт}} = 1,456$.

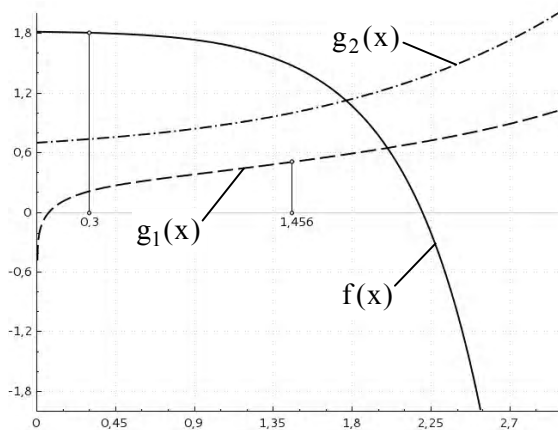


Рис.1. Графики входного и эталонных сигналов

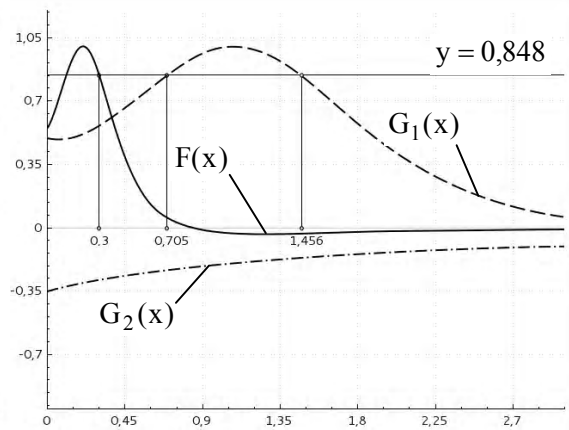


Рис.2. Графики относительных непропорциональностей

Выводы

Относительная непропорциональность первого порядка является ещё одной характеристикой числовой функции. Её инвариантность к изменению масштаба и смещению функции вдоль оси ординат позволяет создавать эффективные методы оперативного, локального распознавания анализируемого сигнала.

Предложенный метод является инвариантным к изменению масштаба и к смещению функции как по оси абсцисс, так и по оси ординат. Описанный алгоритм и пример показывают относительную простоту и эффективность данного метода в условиях, когда распознавание сигнала производится по данным, взятым на ограниченном интервале времени.

Список литературы: 1. Васильев В.И. Распознающие системы. Справочник. К.: Наук. думка, 1983. 424 с. 2. Синтез и распознавание речи. Современные решения [электронный ресурс] / А.В. Фролов, Г.В. Фролов // Электронная библиотека книг братьев Фроловых (2003). Режим доступа: <http://www.frolov-lib.ru/books/hi/ch05.html>. 3. Shape recognition in a sum of two signals: Rapport de recherche, Novembre 2010 / Hervé Rix [электронный ресурс] // ISRN I3S/RR-2010-12-FR. Режим доступа: <http://www.i3s.unice.fr/~mh/RR/2010/RR-10-12-H.RIX.pdf>. 4. Авраменко В.В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение. Деп. в ГНТБ Украины 19.01.98, №59 – Ук 98. 5. Авраменко В.В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение при решении задач диагностики // Вісник СумДУ. 2000. №16. С. 12 – 20. 6. Карпенко А.П. Оцінки розходження між зображеннями та методи їх застосування в задачах розпізнавання образів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.23 «Системи та засоби штучного інтелекту» / А.П. Карпенко. Харків. 2003. 20 с. 7. Мелентьев П.В. Приближенные вычисления / П.В. Мелентьев. М. : Физматгиз, 1962. 388 с.

Поступила в редколлегию 06.09.2012

Авраменко Виктор Васильевич, канд. техн. наук, доцент Сумского государственного университета. Научные интересы: системы оперативного контроля и диагностики, инвариантные характеристики числовых функций, распознавание образов. Адрес: Украина, 40007, Сумы, ул. Р.-Корсакова, 2, тел. (0542) 770-827, 335-786.

Волков Роман Сергеевич, аспирант Сумского государственного университета. Научные интересы: распознавание контурных изображений, инвариантные характеристики числовых функций. Адрес: Украина, 40007, Сумы, ул. Р.-Корсакова, 2, тел. (0542) 770-827, 335-786, +38 068 652 51 05. E-mail: roman.email@yandex.ru

Карпенко Анжела Петровна, канд. техн. наук, ст. преп. Сумского государственного университета. Научные интересы: распознавание образов, инвариантные характеристики числовых функций. Адрес: Украина, 244013, Сумы, ул. Котляревского, 1/1 кв. 20, тел. +380 50 4015481.

ИНФРАСТРУКТУРА PenTestING И УПРАВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЬЮ

Предлагается математический аппарат создания инфраструктуры программно-аппаратных телекоммуникационных информационных кибернетических систем (КС), ориентированной на защиту от несанкционированного доступа к сервисам, определенным в спецификации системы, путем проникновения через легальные интерфейсы взаимодействия компонентов, обладающие уязвимостями. Инфраструктура защитных сервисов создается вместе с киберсистемой и сопровождает последнюю в течение всего жизненного цикла, обслуживая все последующие модификации КС, и сама постоянно повышает свой интеллект путем пополнения истории и библиотек конструктивных и деструктивных компонентов.

1. Введение

Понятия, определяемые словами «проникновение» и «уязвимость», являются взаимодополняющими друг друга. Если есть уязвимость, то в нее, как в дырку, возможно проникновение деструктивности, которая вписывается в функциональность киберсистемы. Верно и обратное, если зафиксировано проникновение, то оно случилось вследствие наличия в системе уязвимости (дырки). Проблема защиты киберсистемы от несанкционированного доступа заключается в «невозможности» различить деструктивность от «конструктивности» или валидного пользователя. Тем не менее, существуют методики, технологии, программные средства и системы, способные эффективно решать вопросы защиты корпоративного или персонального киберпространства с наперед заданной вероятностью проникновения. Существующие публикации по данному направлению оперируют следующими терминами.

Тест проникновений – совокупность внешних и внутренних деструктивных воздействий, направленных на обнаружение уязвимостей доступа к сервисам КС путем моделирования или анализа проникновений на модели киберсистемы.

Качество теста определяется его полнотой, выраженной в процентах, относительно проверки всех возможных типов уязвимостей, генерируемых вручную или автоматически для каждой конкретной киберсистемы.

Результат тестирования реальной системы (System Under Penetration Test – SUPT) формирует количественную оценку уязвимости, а также список структурных уязвимостей наперед заданных типов, обнаруженных в процессе тестового эксперимента.

Если процесс тестирования зафиксировал непустой список деструктивностей (уязвимостей), то необходимо выполнять диагностирование на основе использования тестов в целях определения места, причины и вида уязвимости с наперед заданной глубиной поиска деструктивностей.

После точного определения всех уязвимостей выполняются процедуры их устранения путем частичной или полной реконструкции киберсистемы на основе использования проверенных библиотечных структурных решений.

Все процедуры, упомянутые выше, используют три библиотеки: 1) негативную, описывающую все возможные типы уязвимостей; 2) позитивную, где каждой уязвимости ставится в соответствие верное программно-аппаратное решение, устраняющее деструктивность; 3) непроверенные решения, составляющие потенциал «интеллекта» КС, который доопределяется в процессе эксплуатации киберсистемы. Все три библиотеки необходимо пополнять как в процессе проектирования КС, так и на стадии эксплуатации в реальном времени.

Задачи инфраструктуры защитного сервиса киберсистемы:

- 1) Синтез (дедуктивной) модели КС для тестирования, диагностирования и восстановления неуязвимости киберсистемы.
- 2) Генерирование тестов проверки и диагностирования уязвимостей, близких к 100% полноте.

3) Создание алгоритмов поиска уязвимостей с наперед заданной глубиной диагностирования.

4) Создание генераторов тестов проверки и диагностирования уязвимостей, близких к 100% полноте.

5) Тестопригодное проектирование (модификации) неуязвимых киберсистем, «свободных» от уязвимостей на текущий момент развития технологической и математической культуры.

6) Разработка встроенной инфраструктуры защитного сервиса для киберсистем, ориентированных на мониторинг, тестирование, диагностирование и восстановление неуязвимости в реальном масштабе времени в процессе эксплуатации.

7) Разработка специализированных маршрутов (алгоритмов, планов) мониторинга, тестирования, диагностирования и восстановления неуязвимости КС в реальном масштабе времени в процессе эксплуатации.

8) Верификация инфраструктурных тестопригодных решений, разработанных для реальных КС.

Объект тестирования – кибернетическая система взаимодействующих программно-аппаратных, телекоммуникационных, информационных компонентов, ориентированная на предоставление качественных сервисов через стандартные интерфейсы санкционированному пользователю в реальном масштабе времени. Все типы уязвимостей (проникновений) не выводят объект тестирования за границы заданной функциональности киберсистемы, представленной булевой функцией: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$, $X_i, Y \in \{0, 1\}$. Поэтому модель уязвимостей накладывается на графовую структуру функциональных модулей, имеющих входные и выходные транзакционные переменные. Транзакционный граф представлен дугами – функциональностями (сервисами) с мониторами (ассерциями), а также вершинами, формирующими состояния киберсистемы, посредством переменных, памяти, интерфейсных портов ввода-вывода информации, приемопередатчиков, терминалов, компьютеров: $F = (A * B) \times S$, где $S = \{S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_m\}$ – вершины или состояния КС при моделировании тестовых сегментов. Каждое состояние $S_i = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{ip}\}$ определяется значениями существенных переменных КС (переменные, память, терминалы, компьютеры). Ориентированные дуги графа есть функциональные блоки:

$$B = (B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n), \bigcup_{i=1}^n B_i = B; \bigcap_{i=1}^n B_i = \emptyset,$$

где каждому из них может быть поставлена в соответствие ассерция $A_i \in A = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$ для мониторинга функциональностей во времени и в пространстве.

Существуют базовые технологии тестирования безопасности киберсистем: OSSTMM – The Open Source Security Methodology Manual; NIST Guideline on Network Security Testing; ISACA Switzerland – Testing IT Systems Security With Tiger Teams; Draft Guideline on Network Security Testing; NIST Special Publication 800-26 Security Self-Assessment Guide for Information Technology Systems; Cybersecurity Vulnerability Assessment Methodologies (Cybersecurity VAMs); Information Systems Security Assessment Framework, OISSG.

Функция цели представлена повышением эффективности сервисного обслуживания на основе стандартов тестирования, граничного сканирования и специальных технологий диагностирования и восстановления неуязвимости КС, которая определяется минимальным значением уровня уязвимости, времени восстановления работоспособности Т и нефункциональной программно-аппаратной избыточности Н:

$$E = F(L, T, H) = \min\left[\frac{1}{3}(L + T + H)\right],$$

$$Y = (1 - P)^n;$$

$$L = 1 - Y^{(1-k)} = 1 - (1 - P)^{n(1-k)};$$

$$T = \frac{(1 - k) \times H^s}{H^s + H^a}; H = \frac{H^a}{H^s + H^a},$$

где L – дополнение к уровню неустойчивости Y , которое зависит от тестопригодности КС k , вероятности P существования уязвимостей и числа необнаруженных деструктивов n . Время тестирования и диагностирования зависит от тестопригодности архитектуры k , умноженной на число структурных компонентов инфраструктуры, отнесенные к общему количеству элементов КС. Избыточность находится в зависимости от структурной сложности тестопригодной надстройки, деленной на программно-аппаратную сложность КС. Избыточность инфраструктуры обеспечивает заданную глубину диагностирования уязвимостей за время, определяемое заказчиком.

2. Математический аппарат инфраструктуры защитного сервиса

Здесь рассматриваются метрика, алгебра, структуры данных и модели оценивания качества взаимодействия процессов, явлений, объектов и компонентов в киберпространстве и киберсистемах, необходимые при создании эффективных движков для вычислительных процедур анализа данных в процессах тестирования проникновений и восстановления неустойчивости.

Критерии взаимодействия объектов тестирования основываются на использовании бета-метрики измерения расстояний в киберпространстве. Киберпространство – дискретное векторно-логическое пространство – совокупность взаимодействующих по соответствующей метрике информационных процессов и явлений, описываемых векторами логических переменных и использующих в качестве носителя компьютерные системы и сети. Метрика – способ измерения расстояния в пространстве между компонентами процессов или явлений, описанных векторами логических переменных. Расстояние (булева производная, степень изменения, различия или близости) в киберпространстве определяется хог-отношением векторов (матриц), обозначающих компоненты процесса или явления, что отличает его от кодового расстояния по Хэммингу. Процедуры сравнения, измерения, оценивания, распознавания, тестирования, диагностирования оперируют хог-отношением объектов или их компонентов. Компонент пространства представлен k -мерным вектором $a = (a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_k)$, $a_j \in \{0, 1\}$, где каждая его координата определена в двоичном алфавите, 0 – «ложь», 1 – «истина». Нуль-вектор есть k -мерный кортеж, все координаты которого равны нулю: $a_j = 0, j = \overline{1, k}$.

Метрика β кибернетического пространства определяется равенством $\beta = \bigoplus_{i=1}^n d_i = 0$, ко-

торое формирует нуль-вектор для хог-суммы расстояний d_i между ненулевым и конечным числом объектов, замкнутых в цикл. Здесь n – количество расстояний между компонентами (векторами) пространства, составляющими цикл $D = (d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_n)$, d_i – есть вектор расстояния, соответствующий ребру цикла, соединяющему два компонента (вектора) a, b пространства, который далее обозначается без индекса как $d(a, b)$. Расстояние между двумя объектами a и b есть производный вектор: $d(a, b) = (a_j \oplus b_j)_1^k$. Векторному значению расстояния соответствует норма (скаляр), определяемая кодовым расстоянием по Хэммингу между двумя векторами в виде числа единиц вектора $d(a, b)$. Метрика β векторного логического двоичного пространства есть равная нуль-вектору хог-сумма расстояний между конечным числом вершин графа, образующих цикл. Теперь можно дать более формальное определение киберпространства, как векторно-логическое, нормируемое β -метрикой, где хог-сумма расстояний между конечным числом точек цикла равна нуль-вектору. Определение метрики через отношения позволяет сократить систему аксиом (рефлексивности, симметричности и транзитивности, треугольного замыкания) с трех до одной и распространить ее действие на сколь угодно сложные структуры n -мерного логического пространства. Классическое задание метрики для определения взаимодействия одной, двух и трех точек в векторном логическом пространстве является частным случаем β -метрики при $i = 1, 2, 3$ соответственно:

$$M \subset \beta = \begin{cases} d_1 = 0 \leftrightarrow a = b; \\ d_1 \oplus d_2 = 0 \leftrightarrow d(a, b) = d(b, a); \\ d_1 \oplus d_2 \oplus d_3 = 0 \leftrightarrow d(a, b) \oplus d(b, c) = d(a, c). \end{cases}$$

Векторно-логический транзитивный треугольник имеет полную аналогию численному измерению расстояния в метрическом М-пространстве, которое задается системой аксиом, определяющей взаимодействие одной, двух и трех точек в любом пространстве:

$$M = \begin{cases} d(a, b) = 0 \leftrightarrow a = b; \\ d(a, b) = d(b, a); \\ d(a, b) + d(b, c) \geq d(a, c). \end{cases}$$

Специфика аксиомы треугольника (метрического) М-пространства заключается в численном (скалярном) сравнении расстояний трех объектов. При этом интервальная неопределенность ответа – две стороны треугольника могут быть больше либо равны третьей – малоприспособна для определения точной длины последней стороны. Бета-метрика устраняет данный недостаток и исключает неопределенность бинарного отношения детерминированных процессов или явлений. Третья сторона треугольника в векторном логическом пространстве определяется двоичным вектором-расстоянием между двумя вершинами путем вычисления хог-суммы расстояний двух других сторон треугольника: $d(a, b) \oplus d(b, c) = d(a, c) \rightarrow d(a, b) \oplus d(b, c) \oplus d(a, c) = 0$.

Метрика β кибернетического многозначного векторно-логического пространства есть вектор, равный значению $\emptyset$ по всем координатам, полученный путем применения симметрической разности расстояний между конечным числом точек, образующих цикл: $\beta = \bigwedge_{i=1}^n d_i = \emptyset$.

Здесь каждая координата вектора, соответствующего объекту, определена в алфавите, составляющем булеан на универсуме примитивов мощностью p : $a_j = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r, \dots, \alpha_m\}$, $m = 2^p$.

На основе введенной метрики анализа киберпространства вводятся критерии оценивания взаимодействия конечного числа объектов между собой. Скалярный критерий взаимодействия двух объектов (процессов) в дискретном булевом пространстве, представленных k -мерными многозначными векторами

$m = (m_1, m_2, \dots, m_j, \dots, m_k)$, $m_j \in \{0, 1, x\}$; $A = (A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_k)$, $A_j \in \{0, 1, x\}$, необходим для сравнения и последующего выбора, лучшего в некотором смысле, решения. Степень принадлежности m -вектора к A -вектору обозначается как $\mu(m \in A)$ непринадлежности – $\bar{\mu}(m \in A)$. Существует 5 типов теоретико-множественного взаимодействия двух векторов: 1) $m = A$; 2) $m \subset A$; 3) $A \subset m$; 4) $m \cap A \neq \{m, A, \emptyset\}$; 5) $m \cap A = \emptyset$.

Цель скалярного критерия – оценить любое из указанных взаимодействий интервальной оценкой $[0, 1]$ путем совместного использования трех параметров: кодового расстояния $d(m, A)$ и двух функций непринадлежности $\bar{\mu}(m \in A) = 1 - \mu(m \in A)$, $\bar{\mu}(A \in m) = 1 - \mu(A \in m)$:

$$Q = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{k} d(m, A) + [1 - \mu(m \in A)] + [1 - \mu(A \in m)] \right],$$

$$d(m, A) = \text{card} \left(m_i \bigcap_{i=1}^k A_i = \emptyset \right);$$

$$\mu(m \in A) = 2^{c-a};$$

$$\mu(A \in m) = 2^{c-b};$$

$$a = \text{card} (A_i = x), i = \overline{1, k};$$

$$b = \text{card} (m_i = x), i = \overline{1, k};$$

$$c = \text{card} \left(m_i \bigcap_{i=1}^k A_i = x \right).$$

Здесь $d(m, A) = \text{card} (m_i \cap A_i = \emptyset)_{i=1}^k$ – мощность или количество пустых координатных пересечений двух взаимодействующих векторов, составляющих расстояние по Хэммингу; $\mu(m \in A) = 2^{c-a}$ ($\mu(A \in m) = 2^{c-b}$) – отношение общего для m и A пространства к пространству вектора A (m), что формирует указанную функцию принадлежности. Операции координатного пересечения (and), симметрической разности (xor) определены для символов алфавита Кантора $A = \{0, 1, x = \{0, 1\}, \emptyset\}$, кодируемых векторами (01, 10, 11, 00) соответственно:

$\cap$	0	1	x	$\emptyset$	$\wedge$	01	10	11	00	Δ	0	1	x	$\emptyset$	$\oplus$	0	1	x	$\emptyset$
0	0	$\emptyset$	0	$\emptyset$	01	01	00	01	00	0	$\emptyset$	x	1	0	0	00	11	10	01
1	$\emptyset$	1	1	$\emptyset$	10	00	10	10	00	1	x	$\emptyset$	0	1	1	11	00	01	10
x	0	1	x	$\emptyset$	11	01	10	11	00	x	1	0	$\emptyset$	x	x	10	01	00	11
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	00	00	00	00	00	$\emptyset$	0	1	x	$\emptyset$	$\emptyset$	01	10	11	00

Нормирование параметров критерия (кодowego расстояния и функций непринадлежности) позволяет оценить уровень взаимодействия векторов в численном интервале $[0, 1]$. С учетом изоморфизма теоретико-множественных и логических операций критерий качества можно трансформировать к виду:

$$Q = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{k} d(m, A) + [1 - \mu(m \in A)] + [1 - \mu(A \in m)] \right],$$

$$d(m, A) = \text{card} (m_i \oplus A_i = U)_{i=1}^k;$$

$$\mu(m \in A) = \text{card} (A_i = U) - \text{card} (m_i \wedge A_i = U)_{i=1}^k;$$

$$\mu(A \in m) = \text{card} (m_i = U) - \text{card} (m_i \wedge A_i = U)_{i=1}^k;$$

$$U = \begin{cases} 1 \leftarrow \{m_i, A_i\} \in \{0, 1\}; \\ x \leftarrow \{m_i, A_i\} \in \{0, 1, x\}. \end{cases}$$

Если векторы m и A – двоичные по всем координатам, то переменная $U=1$ и вычисления проводятся по правилам двоичной $\oplus$ –операции. Если векторы m и A определены в троичном алфавите, то переменная $U=x$ инициирует вычисления на основе использования теоретико-множественной операции симметрической разности π .

Первый компонент $\frac{1}{n} d(m, A)$ критерия формирует степень несовпадения k -мерных векторов в виде кодowego расстояния по Хэммингу, отнесенного к длине вектора, путем выполнения операции xor над всеми координатами; второй и третий компоненты $[1 - \mu(m \in A)] + [1 - \mu(A \in m)]$ определяют степени непринадлежности результата конъюнкции к пространству каждого из двух взаимодействующих векторов. Если такие степени равны нулю

$\frac{1}{n} d(m, A) = 0$, $[1 - \mu(m \in A)] = 0$, $[1 - \mu(A \in m)] = 0$, то объекты идентичны друг другу. Понятия принадлежности и непринадлежности являются взаимодополняющими, но в данном случае технологичнее вычислять непринадлежность, поскольку общепринятым в литературе является понятие нулевого расхождения объектов, свидетельствующее об их полной идентичности. Данный критерий работает в интервале $[0, 1]$. Полное совпадение двух объектов $d(m, A) = 0$, $\mu(m \in A) = 1$, $\mu(A \in m) = 1$ характеризуется нулевой оценкой критерия

$Q = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{k} 0 + [1 - 1] + [1 - 1] \right] = 0$. Противоположным вариантом оценивания является мак-

симальное несовпадение двух объектов: $d(m, A) = k$, $\mu(m \in A) = 0$, $\mu(A \in m) = 0$, которое

определяется оценкой взаимодействия: $Q = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{k} k + [1 - 0] + [1 - 0] \right] = 1$. Если параметры

взаимодействия равны $d(m, A) = 0$, $\mu(m \in A) = \frac{1}{2}$, $\mu(A \in m) = \frac{1}{2}$, то критерий будет иметь

следующую оценку: $Q = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{k} 0 + [1 - \frac{1}{2}] + [1 - \frac{1}{2}] \right] = \frac{1}{3}$. Взаимодействие (пересечение) двух

векторов: $A = (XXX1X)$ и $m = (XX0X0)$ дает общее пространство, равное $(XX010) = \{00010, 01010, 10010, 11010\}$. Критерий качества взаимодействия при параметрах

$d(m, A) = 0$, $\mu(m \in A) = \frac{1}{2}$, $\mu(A \in m) = \frac{1}{4}$ будет иметь следующую оценку:

$$Q = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{k} 0 + [1 - \frac{1}{2}] + [1 - \frac{1}{4}] \right] = \frac{1}{4}.$$

Достоинство введенного критерия (непринадлежности, различия) заключается в линейности изменения его численного значения от 0 до 1 по мере увеличения «расстояния» от полного совпадения двух объектов до максимально возможного, когда кодовое расстояние равно $d(m, A) = k$.

Критерий может быть использован в задачах отслеживания цели, движения по заданному маршруту, тестирования и диагностирования функциональных нарушений и уязвимостей, поиска, распознавания и принятия решений. Критерий качества Q , применяемый для выполнения регуляторной функции при оценивании взаимодействия объектов в реальном масштабе времени, необходимо минимизировать.

Тем не менее, скалярная оценка имеет только интегральные свойства взаимодействия двух объектов, что позволяет осуществлять сравнение нескольких расстояний, чаще меры близости одного объекта по отношению к конечному множеству других. Недостатком интегральной оценки является неоднозначность ее приведения к исходному векторному эквиваленту, как и любого другого функционального отношения: прямая импликация однозначна, обратная – многозначна. Поэтому полная картина анализа взаимодействия объектов должна содержать не только интегральный скалярный критерий Q , но и результат их векторного отношения $Q(m, A) = m \oplus A$, который более информативен для последующей коррекции направления решения задач синтеза или анализа процессов взаимодействия в рамках существующей системы. Как получить векторный критерий качества взаимодействия двух объектов? Формула скалярного критерия качества после проведения векторных операций использует процедуры вычисления трех компонентов: кодовое расстояние, определяемое числом единиц в координатах результирующего вектора, полученного на основе хог-операции, $d(m, A) = m \oplus A$ и две функции принадлежности $\mu = \mu(m \in A) \vee \mu(A \in m) = (A \wedge m \wedge A) \vee (m \wedge m \wedge A)$, которые в совокупности также определяются хог-операцией, в общем случае на замкнутом теоретико-множественном алфавите:

$$\begin{aligned} \mu &= (A \wedge m \wedge A) \vee (m \wedge m \wedge A) = [A \wedge (\overline{m} \vee \overline{A})] \vee [m \wedge (\overline{m} \vee \overline{A})] = \\ &= [(A \wedge \overline{m}) \vee (A \wedge \overline{A}) \vee (m \wedge \overline{m}) \vee (m \wedge \overline{A})] = \\ &= (A \wedge \overline{m}) \vee (m \wedge \overline{A}) = m \oplus A. \end{aligned}$$

Логическое объединение двух векторных функций, формирующих кодовое расстояние и взаимную принадлежность друг другу, дает, естественно, искомый результат: $Q = d(m, A) \vee [\mu(m \in A) \vee \mu(A \in m)] = (m \oplus A) \vee (m \oplus A) = m \oplus A$.

Это означает, что по существу взаимодействие любых объектов в киберпространстве определяется выполнением симметрической разности в многозначном алфавите (хог-операции в двоичном):

Δ	0	1	x	$\emptyset$						$\oplus$	0	1	x	$\emptyset$					
0	$\emptyset$	x	1	0						0	00	11	10	01					
1	x	$\emptyset$	0	1						1	11	00	01	10					
x	1	0	$\emptyset$	x						x	10	01	00	11					
$\emptyset$	0	1	x	$\emptyset$						$\emptyset$	01	10	11	00					

0=01; 1=10
x=11; $\emptyset$ =00

Но при кодировании символов алфавита двоичными векторами-примитивами операция симметрической разности между символами в координатах векторов превращается в хог-операцию двоичных векторов. Другие логические операции при формировании векторной оценки взаимодействия объектов в киберпространстве, согласно приведенным выше формулам, не используются. В качестве примера ниже предложены процедуры выполнения операции симметрической разности и хог над двумя формами объектов, представленными в виде символов алфавита Кантора и двоичных кодов:

m =	x	x	x	x	1	0	1	0
A =	1	0	0	x	x	x	1	0
Δ =	0	1	1	$\emptyset$	0	1	$\emptyset$	$\emptyset$
m =	11	11	11	11	10	01	10	01
A =	10	01	01	11	11	11	10	01
$\oplus$ =	01	10	10	00	01	10	00	00

Второй пример иллюстрирует вычисление взаимодействия векторов в двухтактном алфавите описания автоматных переменных $B^2(Y)$ в форматах символьного и двоичного описания координат:

m =	Y	A	B	S	P	L	E	Q
A =	H	S	J	L	E	L	F	C
Δ =	L	B	H	E	H	$\emptyset$	Y	Y
m =	1111	1100	0011	1001	0110	1101	0100	1000
A =	0010	1001	0001	1101	0100	1101	1011	0111
$\oplus$ =	1101	0101	0010	0100	0010	0000	1111	1111

Здесь интересен факт, что в кубитном формате описания символьных переменных теоретико-множественные, в общем случае последовательно выполняемые, операции над элементами множеств заменяются параллельными операциями, что существенно повышает быстродействие вычислительных процессов анализа моделей за счет соответствующего увеличения объема памяти. Для создания кубитных структур данных вычислительных процессов необходимо определить: 1) универсум примитивов (процессов или явлений) с последующим их унитарным кодированием в пределах кубита; 2) компактную систему (структуру) отношений (функциональных), задающих поведение объекта; 3) последовательность обработки компонентов структуры на основе параллельного выполнения векторных логических операций, заменяющих теоретико-множественные, последовательные во времени, вычислительные процедуры.

Две формы (скалярная и векторная) существования критерия качества $q = \{Q, Q(m, A)\}$ направлены на выбор лучшего решения (для пользователя) и детализацию различий между объектами (для компьютера) соответственно. Численный эквивалент удобен для человека, который не способен оперировать лингвистическими (многозначными) переменными при оценке взаимодействия объектов, представленных векторами. К тому же две одинаковые численные оценки не означают идентичности двух расстояний при взаимодействии трех объектов в пространстве. Например: $d(a, b) = 0011 = 2$, $d(a, c) = 1100 = 2$, при $a = 0000$, $b = 1100$, $c = 0011$. Поэтому к скалярной оценке необходимо иметь векторный эквивалент критерия качества взаимодействия, который показывает структуру сходства и различия по всем параметрам (переменным) векторов.

Вычислить критерий – значит определить степень принадлежности или непринадлежности данного процесса или явления, в том числе, к некоторому классу объектов. Такая классификация путем сравнения анализируемого объекта с семейством, но представленным в форме одного обобщенного вектора, дает возможность существенно повысить быстродействие задач анализа структур данных. Для этого необходимо создавать иерархические форматы структур данных, ориентированные на компактное представление специальным образом закодированных объектов. При представлении объекта киберпростран-

ства совокупностью теоретико-множественных или кубитных переменных структура вектора делится на сегменты, соответствующие кубиту. Кубитная переменная (кубит) – совокупность n двоичных разрядов, необходимых для унитарного кодирования n примитивов и булеана порожденных символов. Формы представления вектора кубитных переменных: символьная и/или кубитно-двоичная ориентированы на параллельное выполнение теоретико-множественных операций ($\cap, \cup, \tilde{m}$) с помощью алгебры векторной логики ($\wedge, \vee, \bar{m}$) [101]. Примеры таких операций в упомянутых форматах имеют вид:

$m =$	Y	A	B	S	P	L	E	Q
$A =$	H	S	J	L	E	L	F	C
$\cap =$	H	Q	J	S	E	L	$\emptyset$	$\emptyset$
$m =$	1111	1100	0011	1001	0110	1101	0100	1000
$A =$	0010	1001	0001	1101	0100	1101	1011	0111
$\vee =$	0010	1000	0001	1001	0100	1101	0000	0000
$m =$	Y	A	B	S	P	L	E	Q
$\tilde{m} =$	$\emptyset$	B	A	P	S	H	F	C
$m =$	1111	1100	0011	1001	0110	1101	0100	1000
$\bar{m} =$	0000	0011	1100	0110	1001	0010	1011	0111

При анализе кубитно-двоичных форм представления объектов в целях определения расстояний между ними необходимо учитывать: 1) Кодовое расстояние формируется при наличии хотя бы одного кубита, равного нулю по всем его координатам. 2) В противном случае вычисляются функции принадлежности на основании подсчета общего числа единиц, полученного при выполнении векторной операции конъюнкции, отнесенных к количеству единиц каждого из векторов, соответствующих двум различным объектам киберпространства. 3) Хог-сумма расстояний объектов, составляющих цикл, равна вектору, составленному из нулевых кубитов. 4) Хог-сумма всех примитивов кубита равна вектору, имеющему все единичные координаты. 5) Формирование многозначных сигнатур на основе кубитных структур данных может существенно расширить область применения аппарата хог-полиномов с нелинейными обратными связями. 6) Неструктурированное множество примитивов, самоорганизующееся в процессе моделирования или решения конкретной задачи, существенно уменьшает объем моделей и время их создания. 7) Реализация дерева классификации и процедур его анализа значительно сокращает объем структур данных, а также время решения соответствующих задач. Пример такого дерева представлен на рис. 1, которое, благодаря бинарности, выполняет классификацию (спуск по дереву) за минимальное число шагов вычислительной процедуры.

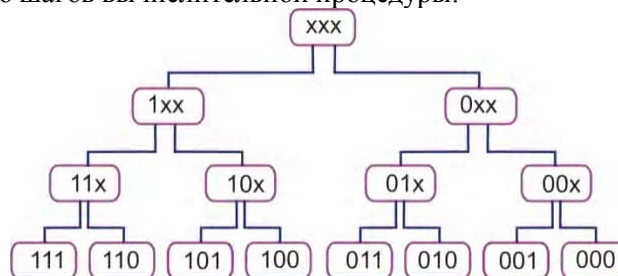


Рис. 1. Пример классификационного бинарного дерева

Процедура классификации: 1) Анализ i -го разряда входного вектора m :

$$P = \begin{cases} P^0 \leftarrow m_i \oplus A_i = 0; \\ P^1 \leftarrow m_i \oplus A_i = 1 \end{cases}$$

для выбора левой или правой ветви вершины дерева. Здесь множество A определяет обобщенные коды-сигнатуры, а также конечные вершины дерева. 2) Анализ заканчивается положительно, если обработаны все разряды входного вектора, который идентифицирован существующим аналогом в библиотеке. В противном случае объект не может быть идентифицирован в рамках системы, которая должна быть расширена. 3) Если результат анализа имеет неоднозначность по отношению к 0 и 1, то объект идентифицируется уже не примитивом, а классом (подклассом). Время выполнения процедуры классификации опре-

деляется выражением: $T = \log_2 N$, что является заслугой избыточных вершин, позволяющих систему из N отношений (нижний уровень кодов) представить в виде древовидной структуры.

Таким образом, предложена модифицированная модель критерия скалярного и векторного качества оценивания бинарных отношений, которая отличается использованием функции непринадлежности и кодового расстояния Хэмминга, что обеспечивает линейность изменения численного значения критерия от 0 до 1 по мере увеличения «расстояния» от полного совпадения двух объектов до максимально возможного, когда кодовое расстояние равно $d(m, A) = k$. Критерий может быть использован при оценивании взаимодействия объектов в реальном масштабе времени в задачах тестирования, диагностирования функциональных нарушений, уязвимостей.

3. Аппарат булевых производных для синтеза тестов

Аппарат предназначен для проверки существенности переменных и компонентов КС, включая и анализ существенности деструктивов (уязвимости и проникновения) для состояния киберсистемы. Рассматриваются методы взятия булевых производных по таблице истинности, дизъюнктивной форме или кубическому покрытию для создания условий активизации на входных переменных при синтезе тестов для проверки уязвимостей (проникновений). Исследование метода предлагается выполнить с помощью следующих трех примеров логических функций: 1) $f(x) = x_1 \vee x_1 \bar{x}_2$. 2) $f(x) = x_1 x_2 \vee \bar{x}_1 x_3$. 3) $f(x) = \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3$.

Вопросы, подлежащие решению: 1) Определение всех производных первого порядка по аналитической, кубической и табличной форме задания логической функции. 2) Верификация полученных условий активизации путем их моделирования на одной из форм описания функциональности. 3) Синтез тестов активизации переменных логической функции на основе вычисления производных.

Пример 1. Определить все производные первого порядка по аналитической форме логической функции $f(x) = x_1 \vee x_1 \bar{x}_2$.

Применение формулы вычисления

$$f'(x_i) = \frac{df(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)}{dx_i} = f(x_1, x_2, \dots, x_i = 0, \dots, x_n) \oplus f(x_1, x_2, \dots, x_i = 1, \dots, x_n)$$

определяет булеву производную первого порядка как сумму по модулю для нулевой и единичной остаточных функций.

Для рассматриваемой функции получается:

$$\begin{aligned} \frac{df(x_1, x_2)}{dx_1} &= f(0, x_2) \oplus f(1, x_2) = (0 \vee 0 \bar{x}_2) \oplus (1 \vee 1 \bar{x}_2) = 0 \oplus 1 = 1; \\ \frac{df(x_1, x_2)}{dx_2} &= f(x_1, 0) \oplus f(x_1, 1) = \\ &= (x_1 \vee x_1 \cdot \bar{0}) \oplus (x_1 \vee x_1 \cdot \bar{1}) = (x_1 \vee x_1 \cdot 1) \oplus (x_1 \vee x_1 \cdot 0) = (x_1 \vee x_1) \oplus (x_1 \vee 0) = x_1 \oplus x_1 = 0. \end{aligned}$$

Нулевое значение производной означает отсутствие условий активизации переменной x_2 , что дает основания считать ее несущественной, а следовательно, убрать из числа переменных, формирующих функциональность.

Пример 2. Определить все производные первого порядка по аналитической форме логической функции $f(x) = x_1 x_2 \vee \bar{x}_1 x_3$. Для рассматриваемой функции выполняются следующие вычисления:

$$\begin{aligned} \frac{df(x_1, x_2, x_3)}{dx_1} &= f(0, x_2, x_3) \oplus f(1, x_2, x_3) = \\ &= (0 \cdot x_2 \vee \bar{0} \cdot x_3) \oplus (1 \cdot x_2 \vee \bar{1} \cdot x_3) = (0 \vee 1 \cdot x_3) \oplus (x_2 \vee 0 \cdot x_3) = x_3 \oplus x_2 = x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 x_3; \\ \frac{df(x_1, x_2, x_3)}{dx_2} &= f(x_1, 0, x_3) \oplus f(x_1, 1, x_3) = \bar{x}_1 x_3 \oplus (x_1 \vee x_3) = \\ &= \bar{x}_1 x_3 (x_1 \vee x_3) \vee \bar{x}_1 x_3 (\overline{x_1 \vee x_3}) = (x_1 \vee \bar{x}_3)(x_1 \vee x_3) \vee \bar{x}_1 x_3 \bar{x}_1 \bar{x}_3 = x_1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{df(x_1, x_2, x_3)}{dx_3} &= f(x_1, x_2, 0) \oplus f(x_1, x_2, 1) = x_1 x_2 \oplus (\bar{x}_1 \vee x_2) = \\ &= \overline{x_1 x_2 (\bar{x}_1 \vee x_2)} \vee x_1 x_2 (\bar{x}_1 \vee x_2) = (\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2) (\bar{x}_1 \vee x_2) \vee x_1 x_2 x_1 \bar{x}_2 = \bar{x}_1.\end{aligned}$$

Для трех переменных получены 4 условия активизации, которые соответствуют четырем логическим путям в схемной структуре дизъюнктивной формы данной функции.

Пример 3. Определить все производные первого порядка по кубической форме логической функции:

$$f(x) = \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3 =$$

x_1	x_2	x_3	Y
X	0	0	1
1	1	1	1
X	0	1	0
X	1	0	0
0	1	X	0

$$=$$

$x_2 x_3$	00	01	11	10
x_1				
0	1	0	0	0
1	1	0	1	0

$$=$$

x_1	x_2	x_3	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Процесс-модель вычисления производной по переменной x_i для функции, заданной табличной формой, имеет следующие пункты: 1) Моделирование по таблице истинности (кубическому покрытию) входных наборов для определения столбца Y_i^0 , где переменная x_i имеет только нулевое значение для всех строк таблицы истинности. Число таких наборов всегда равно $q = 2^{n-1}$, n – число переменных. 2) Вычисление координат столбца Y_i^1 с единичным значением переменной x_i для всех строк таблицы. 3) Вычисление столбца $Y_i^\oplus = Y_i^0 \oplus Y_i^1$ с учетом правила $0 \oplus X \vee 1 \oplus X = X$. 4) Формирование дизъюнктивной формы производной функции по единичным значениям столбца $Y_i^\oplus$ без переменной x_i , по которой берется производная. Иначе, фиксируются строки таблицы, соответствующие единичным значениям столбца $Y_i^\oplus$, который определяет производную функции. Аналитическая модель процесса взятия производной по функции, представленной таблицей, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}\frac{df}{dx_i} &= f(x_1, x_2, \dots, x_i = 0, \dots, x_n) \oplus f(x_1, x_2, \dots, x_i = 1, \dots, x_n); \\ Y_i^\oplus &= [Y_i^0 = f(x_1, x_2, \dots, x_i = 0, \dots, x_n)] \oplus [Y_i^1 = f(x_1, x_2, \dots, x_i = 1, \dots, x_n)].\end{aligned}$$

Для двух различных табличных форм результат вычисления производной по первой переменной представлен ниже:

$$\frac{df}{dx_1} =$$

x_1	x_2	x_3	Y	Y_1^0	Y_1^1	$Y_1^\oplus$
X	0	0	1	1	1	0
1	1	1	1	0	1	1
X	0	1	0	0	0	0
X	1	0	0	0	0	0
0	1	X	0	0	X	1

$$= x_2 \vee x_2 x_3 = x_2 x_3;$$

$$\frac{df}{dx_1} =$$

x_1	x_2	x_3	Y	Y_1^0	Y_1^1	$Y_1^\oplus$
0	0	0	1	1	1	0
0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	1	1	1	0
1	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1

$$= x_2 x_3.$$

При неоднозначном значении производной для функции, заданной кубическим покрытием, выбирается терм, имеющий максимальное число переменных. Минимизация производной функции на основе тождества $a \vee ab = a$ не сохраняет условия активизации переменной, по которой берется производная. В самом деле, значение функции от трех переменных при условиях $\overline{ab} \vee ab$ может быть равно нулю (единице), что означает возможность отсутствия изменения функции при активизации переменной «с» (последний столбец карты Карно):

$\frac{ab}{c}$	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	1	0	1	0

Лемма непересекаемости кубов. Возможность корректного взятия производной для получения теста активизации по переменной x_i ограничивается такой минимальной структурой кубического покрытия или аналитической дизъюнктивной (конъюнктивной) нормальной формой, где пересечение любых кубов (строк таблицы истинности) или термов ДНФ (КНФ) дает пустое множество:

$$\frac{df}{dx_i} = f(x_1, x_2, \dots, x_i = 0, \dots, x_n) \oplus f(x_1, x_2, \dots, x_i = 1, \dots, x_n) \in T \leftrightarrow \forall i, j (C_i \cap C_j = \emptyset); i, j = \overline{1, n}; i \neq j.$$

В самом деле, если покрытие, представленное выше, записать по правилам непересекаемости кубов, то все производные будут валидными для синтеза тестов без дополнительной проверки:

$$f(x) = \overline{x}_2 \overline{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3 = \begin{array}{c|ccc} x_1 & x_2 & x_3 & Y \\ \hline X & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ X & 0 & 1 & 0 \\ X & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & X & 0 \end{array} \rightarrow \begin{array}{c|ccc} x_1 & x_2 & x_3 & Y \\ \hline X & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ X & 0 & 1 & 0 \\ X & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{array}$$

Чтобы получить такое кубическое покрытие, необходимо выполнять минимизацию всеми существующими методами (карты Карно, Квайна, существенных переменных, неопределенных коэффициентов, бинарного графа) с учетом правила: покрытия нулевых и единичных координат таблицы истинности в процессе минимизации не должны пересекаться. В рассматриваемом случае, когда функциональность переписана с учетом данного правила, даже общее число кубов не изменилось, в то время как покрытие приобрело качество непересекаемости (как у таблицы истинности) для синтеза тестов активизации переменных:

$$\frac{df}{dx_1} = \begin{array}{c|cccc|ccc} x_1 & x_2 & x_3 & Y & Y_2^0 & Y_2^1 & Y_2^\oplus \\ \hline X & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ X & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ X & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} = x_2 x_3; \quad \frac{df}{dx_1} = \begin{array}{c|cccc|ccc} x_1 & x_2 & x_3 & Y & Y_2^0 & Y_2^1 & Y_2^\oplus \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{array} = x_2 x_3.$$

Вычисление производных по всем входным переменным дает возможность построить тест активизации для функциональности, заданной уже не таблицей истинности, а кубическим покрытием, что может существенно уменьшить время синтеза тестов. Для второй переменной функции $f(x) = \overline{x}_2 \overline{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3$ процесс вычисления производных для трех различных форм (кубической, табличной и аналитической) имеет следующий вид:

$$\frac{df}{dx_2} = \begin{array}{c|cccc|ccc} x_1 & x_2 & x_3 & Y & Y_2^0 & Y_2^1 & Y_2^\oplus \\ \hline X & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ X & 0 & 1 & 0 & 0 & X & X \\ X & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} = \bar{x}_3 \vee x_1 x_3 \vee \bar{x}_3 = \bar{x}_3 \vee x_1 x_3;$$

$$\begin{array}{c|cccc|ccc} x_1 & x_2 & x_3 & Y & Y_2^0 & Y_2^1 & Y_2^\oplus \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{array} = \vee \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee x_1 \bar{x}_3 \vee x_1 x_3 = \bar{x}_3 \vee x_1 x_3 .$$

Аналогичный результат получен путем определения производной по дизъюнктивной нормальной форме логической функции:

$$\begin{aligned} \frac{df(x_1, x_2, x_3)}{dx_2} &= f(x_1, 0, x_3) \oplus f(x_1, 1, x_3) = (\bar{x}_3) \oplus (x_1 x_3) = (x_3) (x_1 x_3) \vee (\bar{x}_3) (\overline{x_1 x_3}) = \\ &= (x_1 x_3) \vee (\bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_3) = x_1 x_3 \vee \bar{x}_3. \end{aligned}$$

Для третьей переменной функции $f(x) = \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3$ производные от трех различных форм (кубической, табличной и аналитической) представлены в следующем виде:

$$\frac{df}{dx_3} = \begin{array}{c|cccc|ccc} x_1 & x_2 & x_3 & Y & Y_3^0 & Y_3^1 & Y_3^\oplus \\ \hline X & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ X & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ X & 1 & 0 & 0 & 0 & X & X \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} = \bar{x}_2 \vee x_1 x_2;$$

$$\begin{array}{c|cccc|ccc} x_1 & x_2 & x_3 & Y & Y_3^0 & Y_3^1 & Y_3^\oplus \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{array} = \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee x_1 \bar{x}_2 \vee x_1 x_2 = \bar{x}_2 \vee x_1 x_2;$$

$$\begin{aligned} \frac{df(\bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3)}{dx_3} &= f(x_1, x_2, 0) \oplus f(x_1, x_2, 1) = (\bar{x}_2) \oplus (x_1 x_2) = (x_2) (x_1 x_2) \vee (\bar{x}_2) (\overline{x_1 x_2}) = \\ &= (x_1 x_2) \vee (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_2 \bar{x}_2) = x_1 x_2 \vee \bar{x}_2. \end{aligned}$$

Таким образом, все результаты по вычислению производных от трех форм задания функции идентичны. Наиболее технологичным является метод взятия производной по таблице истинности. Но использование кубического покрытия имеет меньшую вычислительную сложность в силу компактного представления функциональности за счет введения избыточности (символа X) в двоичный алфавит. Использование аналитической формы

предполагает существенное повышение сложности алгоритмов, связанной с применением законов булевой алгебры и минимизации функций, что ограничивает ее применение для решения практических задач.

Процесс-модель получения теста $T = [T_{ij}]$, $i = \overline{1, k}$; $j = \overline{1, n}$ комбинационной функциональности:

$$1) f'(x_i) = f(x_1, x_2, \dots, x_i = 0, \dots, x_n) \oplus f(x_1, x_2, \dots, x_i = 1, \dots, x_n);$$

$$2) T = \bigcup_{i=1}^n [f'(x_i) * (x_i = 0) \vee (x_i = 1)];$$

$$3) T_{ij} = T_{i-1, j} \leftarrow T_{ij} = X; T_{1j} = 1 \leftarrow T_{1j} = X;$$

$$4) T = T \setminus T_i \leftarrow T_i = T_{i-r}, r = \overline{1, i-1}, i = \overline{2, n}.$$

1) Вычисление производных по всем n переменным функциональности путем использования одной из форм: аналитической табличной, кубической. 2) Объединение всех условий (векторов) активизации в таблицу, где каждому вектору путем конкатенации (*) ставится в соответствие изменение переменной, по которой была взята производная, что означает удвоение числа тестовых наборов по отношению к общему количеству (k) условий активизации. 3) Доопределение символа $X = \{0, 1\}$ в координате путем присвоения двоичного значения одноименной координаты в предыдущем векторе для получения теста минимальной длины. 4) Минимизация тестовых векторов путем удаления повторяющихся входных последовательностей.

Рис. 2 иллюстрирует таблицы процесса получения теста в соответствии с пунктами 2-4 алгоритма для функциональности $f = \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3$, представленной схемной структурой.

$$T = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & Y \\ \hline 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ X & 0 & 0 & 1 \\ X & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ X & 0 & 0 & 1 \\ X & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & Y \\ \hline 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & Y \\ \hline 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Рис. 2. Таблицы тестов и схемная структура булевой функции

Полученный тест по количеству и качеству идентичен входным наборам, синтезированным ранее с помощью $F \oplus L$ -метода, следовательно, он имеет одинаковые свойства по покрытию неисправностей и глубине поиска дефектов.

Предложенная процесс-модель синтеза тестов для тестирования и диагностирования уязвимостей может быть использована в качестве встроенного компонента инфраструктуры сервисного обслуживания КС.

4. Дедуктивный метод поиска уязвимостей в КС

Основная идея дедуктивного метода заключается в анализе сопоставления входных и выходных данных киберсистемы с целью обнаружить деструктивные проникновения или уязвимости путем выполнения процедур сравнения между заведомо штатными (функциональными) режимами и ситуациями, вызывающими подозрение. Для имплементации метода в инфраструктуру защитных сервисов необходимо иметь графовую модель логики функционирования киберсистемы, которая достаточно просто может быть трансформирована к системе логических уравнений, пригодной для дедуктивного анализа. Далее предлагается модель дедуктивно-параллельного синхронного анализа уязвимостей (проникновений) киберсистемы (объекта), которая позволяет за одну итерацию обработки структуры

Здесь дедуктивные функции L_1, L_2 записаны в виде дизъюнктивной нормальной формы по конstituентам единицы таблиц транспортирования деструктивов.

С учетом разбиения теста на составляющие векторы уравнение (1) получения ДФ для $T_t \in T$ принимает следующий вид: $L_t = T_t \oplus F$. Если функциональное описание КС представлено компонентами (примитивами), формирующими состояния всех линий (соединений) КС, то в качестве формулы преобразования исправной модели примитива F_i на тест-векторе T_t в дедуктивную функцию L_{ti} выступает следующее выражение:

$$L_{ti} = T_t \oplus F_i = f_{ti}[(X_{i1} \oplus T_{t1}), (X_{i2} \oplus T_{t2}), \dots, (X_{ij} \oplus T_{tj}), \dots, (X_{ini} \oplus T_{tini})] \oplus T_{ti}, \quad (4)$$

которое является основой дедуктивного анализа деструктивных нарушений КС [3, 6].

Пример 4. Получить дедуктивные функции параллельного моделирования уязвимостей на исчерпывающем тесте для базиса функциональных элементов And, Or, Not. С учетом выражения (4) выполняются следующие очевидные преобразования для функции And:

$$\begin{aligned} L_{\text{and}}[T = (00,01,10,11), F = (X_1 \wedge X_2)] &= \\ &= L\{(\bar{x}_1\bar{x}_2 \vee \bar{x}_1x_2 \vee x_1\bar{x}_2 \vee x_1x_2) \wedge [(X_1 \oplus T_{t1} \wedge X_2 \oplus T_{t2}) \oplus T_{t3}]\} = \\ &= (\bar{x}_1\bar{x}_2)\{[(X_1 \oplus 0) \wedge (X_2 \oplus 0)] \oplus 0\} \vee (\bar{x}_1x_2)\{[(X_1 \oplus 0) \wedge (X_2 \oplus 1)] \oplus 0\} \vee \\ &\vee (x_1\bar{x}_2)\{[(X_1 \oplus 1) \wedge (X_2 \oplus 0)] \oplus 0\} \vee (x_1x_2)\{[(X_1 \oplus 1) \wedge (X_2 \oplus 1)] \oplus 1\} = \\ &= (\bar{x}_1\bar{x}_2)(X_1 \wedge X_2) \vee (\bar{x}_1x_2)(X_1 \wedge \bar{X}_2) \vee (x_1\bar{x}_2)(\bar{X}_1 \wedge X_2) \vee (x_1x_2)(X_1 \vee X_2). \end{aligned}$$

Аналогично выполняются вычисления для функции Or:

$$\begin{aligned} L_{\text{or}}[T = (00,01,10,11), F = (X_1 \vee X_2)] &= \\ &= L\{(\bar{x}_1\bar{x}_2 \vee \bar{x}_1x_2 \vee x_1\bar{x}_2 \vee x_1x_2) \wedge [(X_1 \oplus T_{t1} \vee X_2 \oplus T_{t2}) \oplus T_{t3}]\} = \\ &= (\bar{x}_1\bar{x}_2)\{[(X_1 \oplus 0) \vee (X_2 \oplus 0)] \oplus 0\} \vee (\bar{x}_1x_2)\{[(X_1 \oplus 0) \vee (X_2 \oplus 1)] \oplus 1\} \vee \\ &\vee (x_1\bar{x}_2)\{[(X_1 \oplus 1) \vee (X_2 \oplus 0)] \oplus 1\} \vee (x_1x_2)\{[(X_1 \oplus 1) \vee (X_2 \oplus 1)] \oplus 1\} = \\ &= (\bar{x}_1\bar{x}_2)(X_1 \vee X_2) \vee (\bar{x}_1x_2)(\bar{X}_1 \wedge X_2) \vee (x_1\bar{x}_2)(X_1 \wedge \bar{X}_2) \vee (x_1x_2)(X_1 \wedge X_2). \end{aligned}$$

Здесь $T_t = (T_{t1}, T_{t2}, T_{t3}), (t = \overline{1,4})$ – тест-вектор, имеющий 3 координаты, где последняя из них определяет состояние выхода двухвходового элемента And (Or). В следующем преобразовании $T_t = (T_{t1}, T_{t2}), (t = \overline{1,2})$ – тест-вектор, имеющий 2 координаты, где вторая – состояние выхода инвертора:

$$\begin{aligned} L_{\text{not}}[T = (0,1), F = \bar{X}_1] &= L\{(\bar{x}_1 \vee x_1)[(\bar{X}_1 \oplus T_{t1}) \oplus T_{t2}]\} = \\ &= \bar{x}_1[(\bar{X}_1 \oplus 0) \oplus 1] \vee x_1[(\bar{X}_1 \oplus 1) \oplus 0] = \bar{x}_1\bar{\bar{X}}_1 \vee x_1\bar{\bar{X}}_1 = \bar{x}_1X_1 \vee x_1\bar{X}_1. \end{aligned}$$

Последнее выражение иллюстрирует инвариантность инверсии к входному набору для транспортирования уязвимостей. Она трансформируется в повторитель. Поэтому данная функция не фигурирует на выходах дедуктивных элементов. Совместная аппаратная реализация ДФ для оставшихся двухвходовых элементов And, Or на исчерпывающем тесте представлена универсальным функциональным примитивом (рис. 3) дедуктивно-параллельного анализа неисправностей.

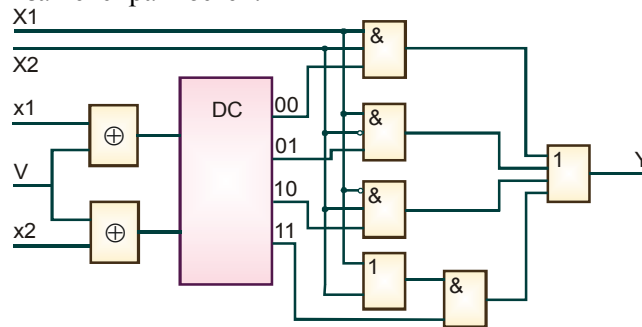


Рис. 3. Симулятор неисправных примитивов

В симуляторе представлены булевы (x1,x2) и регистровые (X1,X2) для кодирования уязвимостей входы, переменная выбора типа исправной функции (AND, OR), выходная регистровая переменная Y. Состояния двоичных входов x1,x2 и переменная выбора элемента определяют одну из четырех дедуктивных функций для получения вектора Y проверяемых неисправностей.

Для иллюстрации параллельного моделирования входных 8-разрядных векторов уязвимостей в целях получения на выходе Y множества проверяемых деструктивов для логических элементов 2And, 2Or используется следующая таблица:

(V, x1, x2) =	000	100	011	111	010	110
X1(RG)	01110001	01110001	10110110	00111011	00101010	10111001
X2(RG)	01111000	01111000	10110101	00110100	10111001	00101010
Y(RG)	01110000	01111001	10110111	00110000	10010001	10010001

Применение такого симулятора дает возможность трансформировать функциональную модель F корректного поведения КС в дедуктивную L, которая инвариантна в смысле универсальности тестовым наборам и не предполагает в процессе моделирования использовать модель F. Поэтому симулятор, как аппаратная модель ДФ, является эффективным двигателем дедуктивно-параллельного моделирования КС, повышающим быстродействие анализа киберсистем в 10 - 1000 раз по сравнению с программной реализацией. Но при этом соотношение объемов моделей корректного моделирования и анализа уязвимостей составляет 1:10. Подход аппаратного анализа деструктивов направлен на расширение функциональных возможностей встроенных средств моделирования, которые можно хранить на облаке и постоянно ими пользоваться для верификации инфраструктуры защиты КС. Вычислительная сложность обработки проекта, состоящего из n компонентов, равна $Q = (2n^2\tau)/W$, где τ – время выполнения регистровой операции (And, Or, Not); W – разрядность регистра.

Для аппаратной реализации дедуктивно-параллельного моделирования на основе предложенного симулятора может быть использована вычислительная структура, представленная на рис. 4. Особенность схемной реализации заключается в совместном выполнении двух операций: однобитовой – для эмуляции функций логических элементов And, Or и параллельной – для обработки многоразрядных векторов неисправностей путем выполнения операций логического умножения, отрицания и сложения.

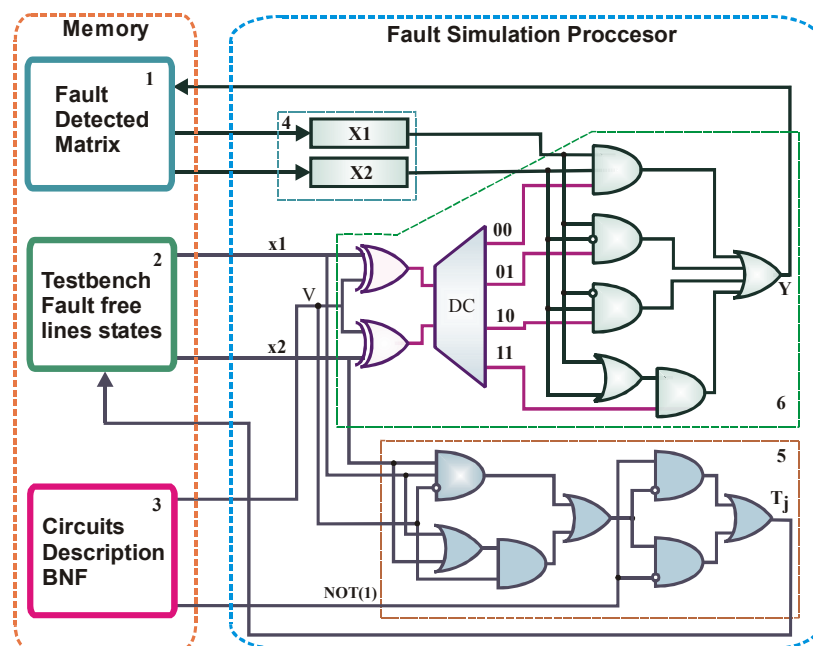


Рис. 4. HFS-структура аппаратного моделирования

Функциональное назначение основных блоков (память и процессор): 1. $M = [M_{ij}]$ – квадратичная матрица моделирования деструктивных проникновений (ДП), где $i, j = 1, q$; q – общее число линий в обрабатываемой КС. 2. Векторы сохранения состояний корректного моделирования, определенные в моменты времени $t-1$ и t , необходимые для формирования дедуктивных функций примитивов. 3. Модуль памяти для хранения описания КС в виде структуры логических элементов. 4. Буферные регистры, размерностью q , для хранения операндов и выполнения регистровых параллельных операций над векторами ДП, считанных из матрицы M . 5. Блок корректного моделирования для определения двоичного состояния выхода очередного обрабатываемого логического элемента. 6. Дедуктивно-параллельный симулятор, обрабатывающий за один такт две регистровых переменных $X1, X2$ в целях определения вектора ДП, транспортируемых на выход логического элемента Y .

Достоинство предложенной структуры моделирования ДП. 1. Существенное уменьшение количества моделируемых ДП, определяемых только числом сходящихся разветвлений, которое составляет до 20 % от общего числа линий. 2. Снижение объема памяти, необходимого для хранения матрицы моделируемых ДП. 3. Простота реализации Hardware Vulnerability Simulator (HVS) в аппаратном исполнении, что позволяет на порядок увеличить быстродействие моделирования ДП. 4. Использование HVS в качестве первой фазы дедуктивно-топологического метода, который основывается на результате обработки сходящихся разветвлений для быстродействующего анализа древовидных структур.

Маршрут моделирования КС с предварительным разбиением модели устройства на две структурные части (сходящиеся разветвления и древовидные подграфы) представлен на рис. 5.

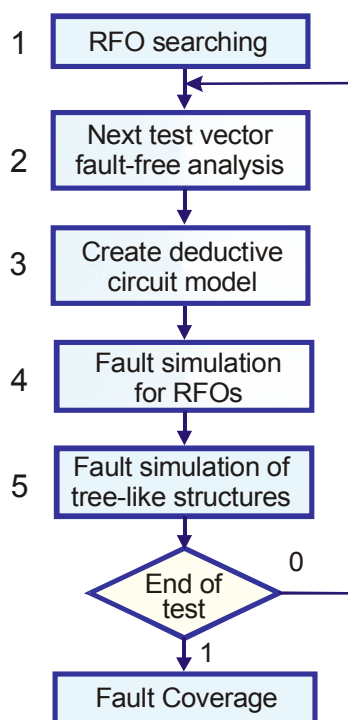


Рис. 5. Модель процесса дедуктивно-параллельного моделирования

Итоги предложенной технологии моделирования с предварительным разбиением КС на сходящиеся разветвления и древовидные подграфы. Дедуктивно-параллельный анализ ДП на основе их обратного прослеживания требует практически линейных затрат памяти и времени, зависящих от числа линий КС. Затраты времени для обработки сходящихся разветвлений имеют квадратичную зависимость от их числа:

$$Q = (r^2 / W) + n_r + n_p + (n - r - r^0).$$

Здесь (r^2 / W) – время моделирования ДП r сходящихся разветвлений, число которых определяется как $r = 0.2 \times n$; $n_r = n$ – время реконфигурирования примитивов схемы на входном наборе; $n_p = n$ – время поиска подграфов линий, соответствующих непроверяемым сходящимся разветвлениям; $(n - r - r^0) = n - 0.2 \times n - 0.4 \times n = 0.4 \times n$ – время выполнения суперпозиции решений на множестве линий КС без сходящихся разветвлений и предшественников для непроверяемых сходящихся разветвлений. Учитывая значения параметров функции от числа линий, можно получить оценку быстродействия дедуктивно-параллельного метода [6,2,7]: $Q = [(0.2 \times n)^2 / W] + n + n + (n - 0.2 \times n - 0.4 \times n) = [(0.2 \times n)^2 / W] + 2.4 \times n$.

Таким образом, выигрыш в быстродействии предложенного метода тем больше, чем меньше процент сходящихся разветвлений в КС.

Для сравнения: параллельный алгоритм имеет вычислительную сложность C_p , определяемую функциональной зависимостью от числа неэквивалентных ДП (b), длины компьютерного слова (W), количества эквивалентных вентилях (G): $C_p = (b^2 / W) \times G^3$. Дедуктивный алгоритм имеет отличия в формуле оценки быстродействия: $C_d = b^2 \times Q \times G^2 \big|_{Q=G} = b^2 G^3$, где Q – среднее число активизированных ДП вентилях. Дедуктивно-параллельный метод без разбиения схемы имеет быстродействие, определяемое выражением: $C_{dp} = G^2 + (b^2 / W) \times G^2$. Первое слагаемое задает время корректного моделирования, второе – время анализа ДП, линии которого не ранжированы. Для комбинационной ранжированной структуры быстродействие метода имеет оценку $C_{dp}^r = G + (b^2 / W) \times G$. Быстродействие дедуктивно-параллельного метода выше параллельного и дедуктивного ($C_{dp}^r \ll \{C_p, C_d\}$), благодаря разделению фаз корректного и ДП моделирования.

Предложенная технология программно-аппаратного дедуктивно-параллельного моделирования ДП ориентирована на создание моделей дедуктивных примитивов компонентов и связей КС в целях тестирования уязвимостей (проникновений). Представлена структурная модель аппаратного симулятора и устройства моделирования в целом, которые ориентированы на существенное повышение быстродействия средств моделирования КС большой размерности путем разделения функций корректного анализа и вычисления списков проверяемых уязвимостей на тестовых наборах.

Метод дедуктивно-параллельного моделирования дает возможность оценивать качество (полноту) предложенных тестов, а также определять все потенциально возможные места существования уязвимостей в целях их последующего устранения.

5. Выводы

1. Представлена структурная модель отношений на множестве из четырех основных компонентов тестирования и диагностики (функциональность, КС, тест, уязвимости), которая характеризуется полным хог-взаимодействием всех вершин графа и транзитивной обратимостью каждой триады отношений, что позволяет определить и классифицировать пути решения практических задач, включая синтез тестов, моделирование и поиск уязвимостей.

2. Предложены усовершенствованные методы синтеза тестов для функциональностей, заданных матричными формами описания поведения компонентов КС, которые отличаются параллелизмом векторных операций над таблицами, что дает возможность существенно ($\times 2$) повысить быстродействие вычислительных процедур.

3. Процесс-модели и методы синтеза тестов для функциональностей и диагностирования ФН могут быть использованы в качестве встроенных компонентов инфраструктуры сервисного обслуживания КС с применением стандартов тестопригодности.

Список литературы: 1. Бондаренко М.Ф., Хаханов В.И., Литвинова Е.И. Структура логического ассоциативного мультипроцессора // Автоматика и телемеханика. 2012. № 10. С. 71-92. 2. Hahanov V., Wajeb Gharibi, Litvinova E., Chumachenko S. Information analysis infrastructure for diagnosis // Information an international interdisciplinary journal. 2011. Japan. Vol.14. № 7. P. 2419-2433. 3. Bishop M. About Penetration Testing // IEEE Security & Privacy. 2007. Vol. 5, Iss. 6. P. 84 – 87. 4. Mainka C., Somorovsky J., Schwenk J. Penetration Testing Tool for Web Services Security // 2012 IEEE Eighth World Congress on Services

(SERVICES). 2012. P. 163 – 170. **5.** *Salas P.A.P., Padmanabhan Krishnan, Ross K.J.* Model-based Security Vulnerability Testing // 18th Australian Software Engineering Conference. 2007. P. 284 – 296. **6.** *Bau Jason, Bursztein Elie, Gupta Divij, Mitchell John.* State of the Art: Automated Black-Box Web Application Vulnerability Testing // 2010 IEEE Symposium on Security and Privacy. 2010. P. 332 – 345. **7.** *Shahriar H., Zulkernine M.* Automatic Testing of Program Security Vulnerabilities // 33rd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference. 2009. Vol. 2. P. 550 – 555. **8.** *Sedaghat S., Adibniya F., Sarram M.-A.* The investigation of vulnerability test in application software // International Conference on the Current Trends in Information Technology (CTIT). 2009. P.1 – 5. **9.** *Wilhelm T.* Professional Penetration Testing. Syngress. 2009. 524 p. **10.** *Shakeel A., Heriyanto T.* BackTrack 4: Assuring Security by Penetration Testing. Packt Publishing. 2011. 392 p.

Поступила в редколлегию 07.09.2012

Хаханов Владимир Иванович, д-р техн. наук, декан факультета КИУ, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Чумаченко Светлана Викторовна, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование, теория рядов, методы дискретной оптимизации. Увлечения: путешествия, любительское фото. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: ri@kture.kharkov.ua.

Anders Carlsson, Lecturer, COM School of Computing, Blekinge Institute of Technology (BTH). Address: Room H454D, Blekinge Institute of Technology, SE-37179 Karlskrona, Sweden.

УДК 681.324:519.613

В.И. ХАХАНОВ, К.Е. ГЕРАСИМЕНКО

ОБОСНОВАНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ МНОГОРАЗРЯДНОЙ ЛОГИКИ ЗАЩИТ В КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Обосновывается контролепригодность разработанного математического аппарата и метода реализации логических элементов защит в критических системах на базе многоразрядной логики. Отличительной особенностью метода от существующих является использование логических элементов защит, построенных на базе арифметических операций с интегральной оценкой значений входных сигналов в диапазоне $[0;1]$, без использования логических операций и операций отношения. Это позволяет контролировать работоспособность данных элементов по их реакции на изменения входного непрерывного сигнала от канала ввода в АЦП через все логические элементы защит, в которых используется данный сигнал, до дискретного выходного элемента, формирующего команду защиты на конкретный исполнительный механизм. Данный метод позволяет обеспечить контроль и диагностирование целого ряда неисправностей типа «несрабатывание», относящихся к категории скрытых в существующих реализациях оборудования защит, которые используют логические операции и операции отношения.

1. Введение

Проблема повышения контролепригодности критических систем управления является актуальной задачей и предметом различного рода исследований и конструкторских решений [1-5].

Цель данного исследования – обоснование контролепригодности математического аппарата и метода, позволяющего создавать и тестировать схемы логических элементов без использования традиционной бинарной арифметики, за счет многомерного(многоразрядного) представления входных, выходных данных и процессов их обработки в критических системах.

2. Анализ контролепригодности метода

Метод, предполагающий изменение структуры элементов защит, как средство повышения эффективности контроля (проверки) и диагностирования скрытых неисправностей на несрабатывание, предложен в [9-10]. Основная идея данного метода – функциональный элемент защит на базе арифметических операций формирует значение на всем диапазоне

(SERVICES). 2012. P. 163 – 170. **5.** *Salas P.A.P., Padmanabhan Krishnan, Ross K.J.* Model-based Security Vulnerability Testing // 18th Australian Software Engineering Conference. 2007. P. 284 – 296. **6.** *Bau Jason, Bursztein Elie, Gupta Divij, Mitchell John.* State of the Art: Automated Black-Box Web Application Vulnerability Testing // 2010 IEEE Symposium on Security and Privacy. 2010. P. 332 – 345. **7.** *Shahriar H., Zulkernine M.* Automatic Testing of Program Security Vulnerabilities // 33rd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference. 2009. Vol. 2. P. 550 – 555. **8.** *Sedaghat S., Adibniya F., Sarram M.-A.* The investigation of vulnerability test in application software // International Conference on the Current Trends in Information Technology (CTIT). 2009. P.1 – 5. **9.** *Wilhelm T.* Professional Penetration Testing. Syngress. 2009. 524 p. **10.** *Shakeel A., Heriyanto T.* BackTrack 4: Assuring Security by Penetration Testing. Packt Publishing. 2011. 392 p.

Поступила в редколлегию 07.09.2012

Хаханов Владимир Иванович, д-р техн. наук, декан факультета КИУ, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Чумаченко Светлана Викторовна, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование, теория рядов, методы дискретной оптимизации. Увлечения: путешествия, любительское фото. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: ri@kture.kharkov.ua.

Anders Carlsson, Lecturer, COM School of Computing, Blekinge Institute of Technology (BTH). Address: Room H454D, Blekinge Institute of Technology, SE-37179 Karlskrona, Sweden.

УДК 681.324:519.613

В.И. ХАХАНОВ, К.Е. ГЕРАСИМЕНКО

ОБОСНОВАНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ МНОГОРАЗРЯДНОЙ ЛОГИКИ ЗАЩИТ В КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Обосновывается контролепригодность разработанного математического аппарата и метода реализации логических элементов защит в критических системах на базе многоразрядной логики. Отличительной особенностью метода от существующих является использование логических элементов защит, построенных на базе арифметических операций с интегральной оценкой значений входных сигналов в диапазоне $[0;1]$, без использования логических операций и операций отношения. Это позволяет контролировать работоспособность данных элементов по их реакции на изменения входного непрерывного сигнала от канала ввода в АЦП через все логические элементы защит, в которых используется данный сигнал, до дискретного выходного элемента, формирующего команду защиты на конкретный исполнительный механизм. Данный метод позволяет обеспечить контроль и диагностирование целого ряда неисправностей типа «несрабатывание», относящихся к категории скрытых в существующих реализациях оборудования защит, которые используют логические операции и операции отношения.

1. Введение

Проблема повышения контролепригодности критических систем управления является актуальной задачей и предметом различного рода исследований и конструкторских решений [1-5].

Цель данного исследования – обоснование контролепригодности математического аппарата и метода, позволяющего создавать и тестировать схемы логических элементов без использования традиционной бинарной арифметики, за счет многомерного(многоразрядного) представления входных, выходных данных и процессов их обработки в критических системах.

2. Анализ контролепригодности метода

Метод, предполагающий изменение структуры элементов защит, как средство повышения эффективности контроля (проверки) и диагностирования скрытых неисправностей на несрабатывание, предложен в [9-10]. Основная идея данного метода – функциональный элемент защит на базе арифметических операций формирует значение на всем диапазоне

от 0 до 1. При этом в нем отсутствуют какие-либо ветвления (условные переходы), определяющие отличия режима ожидания от режима срабатывания защит. Функция работает одинаково в обоих из этих режимов, что позволяет непрерывно контролировать работоспособность соответствующего функционального элемента. Все функции, которые используются в элементах, строятся на базе арифметических операций (сложение, вычитание, умножение, деление), без применения логических операций и операций отношения, за исключением выходных пороговых элементов формирования команд на исполнительные механизмы (ИМ), что связано с физическими принципами работы приводов ИМ.

В настоящей работе представлены результаты дальнейшего исследования метода, предложенного в [6-8], в части обоснования его контролепригодности на базе работ [9,10], с учетом использования естественных «фоновых» флуктуаций входных аналоговых сигналов в процессе штатной работы критической системы АЭС для функционального диагностирования логических элементов, реализующих алгоритм защит. Анализ контролепригодности предлагается выполнить для одной из наиболее ответственных систем – управляющей системы безопасности (УСБ) АЭС в такой последовательности:

- 1) определение динамических характеристик изменения входных сигналов применительно к выходному цифровому коду типового АЦП (15 разрядов);
- 2) выбор типового логического элемента на базе многоразрядной логики для имитации в нем различных типов неисправностей на различных наборах (последовательностях) входных данных от объекта;
- 3) исследование контролепригодности при единичных неисправностях в данном элементе;
- 4) исследование контролепригодности при кратных неисправностях в данном элементе;
- 5) формирование выводов и рекомендаций по результатам анализа.

Анализ архивных данных со значениями измерительных каналов оборудования защит УСБ в типовых номинальных режимах работы энергоблока на предмет динамики изменения входных сигналов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа динамических характеристик измерительных каналов по архивным данным

№	Тип измерительного канала	Тип первичного измерительного преобразователя	Среднее отношение амплитуд шумовых колебаний к диапазону измерения параметра за 1 минуту, %*	Среднее количество изменений, превышающих разрешение АЦП (15 разрядов) за 1 минуту, шт.*
			*Характеристика оценивается по значению входного параметра после элемента демпфирования (проектное значение $T_d=2s$)	
1	Давление, перепад давлений, уровень	Сафир	0,003-0,2	50
2	Расход	Сафир	0,003-1,6	1500
3	Температура	Термометр сопротивления (ТСР, ТСМ). Термо-э.д.с	0,003	7

По результатам анализа могут быть сделаны следующие выводы:

- 1) в стационарных режимах работы энергоблока в оборудовании защит УСБ значения входных параметров, представленных непрерывными входными сигналами, подвержены периодическим шумовым колебаниям, имеющим как «технологическую» природу (изменения параметров среды – давления, температуры и др.), так и «электрическую» природу (нестабильность работы ПИП, нестабильность работы АЦП, помехи по электрическим цепям);

2) характеристики шумовых колебаний входных сигналов обеспечивают возможность контроля состояния оборудования защит в непрерывном режиме с помощью контроля отклика (реакции) оборудования УСБ на изменение входных сигналов, с учетом всех типов первичных преобразователей (преобразователи сигналов давления, термосопротивления, термо-э.д.с).

Анализ логических элементов («и», «или», «2 из 3» и др.), разработанных в [4-5], показывает, что общим подходом к их построению является использование интегральной оценки (среднего арифметического) от входных переменных, при этом для тестирования в режиме неисправностей наиболее подходящим является элемент «и» (AND), как наиболее простой, с одной стороны, и показательный – с другой:

$$y = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}, \quad x_1, \dots, x_n, y \in [0, \dots, 1].$$

Для исследования контролепригодности при единичных неисправностях рассмотрим аналитические выражения, моделирующие поведения входов и выходов элемента AND в оборудовании защит (А) и в оборудовании диагностирования (В):

$$y_A = \frac{x_{A1} + \dots + x_{Ai} + \dots + x_{An}}{n}; \quad y_B = \frac{x_{B1} + \dots + x_{Bi} + \dots + x_{Bn}}{n}.$$

При отсутствии неисправностей по входам и выходам имеем следующие зависимости:

$$\begin{aligned} x_{A1} &= x_{B1}; \dots x_{Ai} = x_{Bi}; \dots x_{An} = x_{Bn}; \quad y_A = y_B; \\ \Delta x_{A1} &= \Delta x_{B1}; \dots \Delta x_{Ai} = \Delta x_{Bi}; \dots \Delta x_{An} = \Delta x_{Bn}; \\ \Delta y_A &= \Delta y_B = \frac{\Delta x_{A1} + \dots + \Delta x_{Ai} + \dots + \Delta x_{An}}{n} = \frac{\Delta x_{B1} + \dots + \Delta x_{Bi} + \dots + \Delta x_{Bn}}{n}; \\ r_y &= \Delta y_A - \Delta y_B = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, при отсутствии неисправностей рассогласование r_y между выходами y в А и В равно 0.

При появлении одиночной константной неисправности по любому входу i имеем такие зависимости:

$$\begin{aligned} \Delta x_{A1} &= \Delta x_{B1}; \dots \Delta x_{Ai} \neq \Delta x_{Bi}; \dots \Delta x_{An} = \Delta x_{Bn}; \\ \Delta y_A &= \frac{\Delta x_{A1} + \dots + \Delta x_{Ai} + \dots + \Delta x_{An}}{n}; \quad \Delta y_B = \frac{\Delta x_{B1} + \dots + \Delta x_{Bi} + \dots + \Delta x_{Bn}}{n}; \\ r_y &= \Delta y_A - \Delta y_B = \frac{\Delta x_{Ai} - \Delta x_{Bi}}{n} \neq 0 \end{aligned}$$

При появлении одиночной константной неисправности по выходу имеем следующие зависимости:

$$\begin{aligned} \Delta x_{A1} &= \Delta x_{B1}; \dots \Delta x_{Ai} = \Delta x_{Bi}; \dots \Delta x_{An} = \Delta x_{Bn}; \\ \Delta y_A \neq \Delta y_B &= \frac{\Delta x_{A1} + \dots + \Delta x_{Ai} + \dots + \Delta x_{An}}{n} = \frac{\Delta x_{B1} + \dots + \Delta x_{Bi} + \dots + \Delta x_{Bn}}{n}; \\ r &= \Delta y_A - \Delta y_B \neq 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Из приведенных выше аналитических моделей (зависимостей) следует, что применение модификации дедуктивного метода для многоразрядной логики позволяет обнаруживать:

- единичную неисправность по входу элемента при появлении изменения сигнала на данном входе;
- единичную неисправность по выходу элемента при появлении изменения сигнала по любому из n входов или их комбинации.

Также из (1) и (2) следует, что для комбинаций кратных неисправностей по входам (или входам и выходу) возможна ситуация, когда неисправности взаимно компенсируют друг друга относительно выходного значения y в оборудовании А и В и рассогласование r при этом равно 0, что является вполне прогнозируемым свойством для интегральной схемы обработки.

Схема тестирования логического элемента на появление одиночной константной неисправности по входу, на примере AND3, приведена в табл. 2 и показывает обнаружение неисправности по входу x1 при изменении значения входного сигнала (между тактом i и i+1) на величину младшего разряда АЦП (для упрощения взят пример 8-разрядного АЦП). В левом столбце показаны разряды АЦП по трем входам в оборудовании А и В, в правом - они же, переведенные в десятичный формат float (при этом в скобках указаны эти же значения, приведенные к диапазону 0-1), ненулевое значение рассогласования r в такте i+1 между y в оборудовании А и В указывает на обнаружение неисправности.

Результаты проведенного исследования показывают:

1) интегральная обработка (среднее арифметическое) входных переменных дает контролепригодный результат для всех случаев единичных неисправностей в логическом элементе, построенном на многоразрядной логике. В случае неисправности, связанной с ошибкой микросхемы памяти по записи-чтению данных по одному входу (переменной), для ее обнаружения достаточно одного изменения сигнала по данному входу на любую величину, превышающую значение «младшего» бита АЦП, при этом неисправность обнаруживается по рассогласованию значения выхода элемента AND3 (y) между оборудованием защит (А) и оборудованием диагностирования (В). Для обнаружения неисправности процессора, связанной с обработкой значений входных переменных, достаточно аналогичного изменения сигнала по любому из входов;

Таблица 2

Реакция выходов элемента AND3 в оборудовании защит А и в диагностическом оборудовании В на изменение входного сигнала при константной неисправности по данному входу (тип неисправности - отсутствие изменения значения по входу x1 в А при его фактическом изменении на величину младшего разряда АЦП)

Двоичное представление входных сигналов после АЦП (разрядность=k, пример k=8). Значение $2^k - 1 = 2^8 - 1 = 255$ соответствует срабатыванию уставки				Десятичное представление в формате float (десятичное представление, приведенное к диапазону 0-1, т.е. деленное на величину срабатывания уставки $2^k - 1 = 2^8 - 1 = 255$)	
	Такт i		Такт i+1	Такт i	Такт i+1
X1	A	1001 0011	1001 0011	147,000 (0,5765)	147,000 (0,5765)
	B	1001 0011	1001 0010	147,000 (0,5765)	146,000 (0,5804)
X2	A	1110 1110	1110 1110	238,000 (0,9333)	238,000 (0,9333)
	B	1110 1110	1110 1110	238,000 (0,9333)	238,000 (0,9333)
X3	A	0111 1001	0111 1001	121,000 (0,4745)	121,000 (0,4745)
	B	0111 1001	0111 1001	121,000 (0,4745)	121,000 (0,4745)
Y	A	$y = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$		168,6667 (0,6614)	168,6667 (0,6614)
	B			168,6667 (0,6614)	168,3333 (0,6601)
				r=0 (0)	r=0,3334 (0,0013)
				Отсутствие неисправности	Обнаружение неисправности

2) для случаев кратных неисправностей теоретически возможна ситуация, когда две или более неисправности будут компенсировать взаимовлияние на итоговый интегральный результат, т.е. рассогласование значения выхода элемента AND3 (y) между оборудованием защит (А) и оборудованием диагностирования (В) равно 0, что есть признак отсутствия неисправностей. Вероятность такого случая может быть определена выражением:

$$L = \frac{1}{2^r} * \lambda^2,$$

где λ – интенсивность потока неисправностей по одному входу в блоке элементов, реализующем указанную функцию, $1/\tau$ (для типовых микросхем оценивается в диапазоне от 10

(-6) до 10(-9)); r – разрядность АЦП, шт.; $\frac{1}{2^r}$ – делитель, учитывающий многозначное

представление входных параметров.

Соответственно для типового АЦП с разрешением (значашие разряды) $r=15$ вероятность наличия взаимокомпенсирующих неисправностей на двух входах можно оценить как:

$$L = \frac{1}{2^{15}} * \lambda^2.$$

Данное выражение показывает, что для минимизации вероятности таких совпадений необходимо минимизировать количество входных переменных в используемых элементах, т.е. нежелательно использовать сложные элементы с большим количеством входов (и, следовательно, большим значением потока неисправностей λ), а целесообразнее разбить их на более мелкие элементы (микросхемы). Кардинальным методом решения данной проблемы может быть использование контроля не только выхода элементов, но и всех внутренних переменных, т.е. переменных, значения которых используются при расчете выходного значения логического элемента, таким образом контролируются соответствующие ячейки памяти, из которых берутся значения переменных при расчете выхода. Данный подход показывает обнаружение кратных неисправностей по несравнению значений внутренних элементов x_1 и x_3 при наличии их взаимной компенсации (нулевое расхождение между оборудованием защит А и диагностическим оборудованием В по выходе элемента AND3).

4. Заключение

Обоснована контролепригодность математического аппарата и метода, позволяющего создавать и тестировать схемы логических элементов без использования традиционной бинарной арифметики, за счет многомерного(многоразрядного) представления входных, выходных данных и процессов их обработки в критических системах.

Выполнен анализ контролепригодности метода реализации логических элементов защит в критических системах на базе многоразрядной логики с учетом использования естественных «фоновых» флуктуаций входных аналоговых сигналов в процессе штатной работы АЭС для функционального диагностирования логических элементов, реализующих алгоритм защит; исследована контролепригодность при единичных неисправностях в данном элементе; исследована контролепригодность при кратных неисправностях в данном элементе.

Показано, что обеспечивается контроль прохождения любого изменения значения входного сигнала, в пределах разрешающей способности используемых АЦП, от входа через все функциональные элементы («сравнение с пороговым значением», «и», «или», «2 из 3» и др.), в которых участвует данный сигнал, до дискретного элемента управления исполнительным механизмом.

Список литературы: 1. НП 306.2.141-2008. Общие положения безопасности атомных станций. К: ГКАРП, 2008. 42 с. 2. *Protecting against common cause failures in Digital I&C Systems of Nuclear Power Plants: Nuclear Energy Series / International Atomic Energy Agency.* Vienna: IAEA, 2009. No. NP-T-1.5. – 65 p. 3. Ястребенецкий М.А. Информационные и управляющие системы АЭС Украины: результаты и проблемы / М.А. Ястребенецкий // Проблемы обеспечения безопасности информационных и управляющих систем АЭС. Одесса: «Астропринт», 2010. С. 9-19. 4. *Modern Instrumentation and Control for Nuclear Power Plants: Technical Reports Series / International Atomic Energy Agency.* -Vienna: IAEA, 1999. No. 387. 629 p. 5. *Application of the Single Failure Criterion: Safety Series / International Atomic Energy Agency.* Vienna: IAEA, 1990. No. 50-P-1. 134 p. 6. Бондаренко М.Ф., Кривуля Г.Ф., Рябцев В.Г., Фрадков С.А., Хаханов В.И. Проектирование и диагностика компьютерных систем и сетей. К.: НМЦ ВО. 2000. 306 с. 7. Хаханов В.И., Литвинова Е.И., Чумаченко С.В., Гузь О.А. Логический ассоциативный вычислитель // Электронное моделирование. 2011. № 1(33). С. 73-89. 8. Hahanov V., Wajeb Gharibi, Litvinova E., Chumachenko S. Information analysis infrastructure for diagnosis // Information an international interdisciplinary journal. 2011. Japan. Vol.14. № 7. P. 2419-2433. 9. Герасименко К.Е. Методы непрерывного контроля и диагностирования оборудования управляющих систем безопасности энергоблоков АЭС по функции защит / К.Е. Герасименко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2010. №3 (44). С. 152-

156. **10. Герасименко К.Е.** Использование непрерывных функций в элементах оборудования защит АЭС для диагностирования неисправностей типа «несрабатывание по требованию» / К.Е. Герасименко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2011. №1 (49). С. 29-33. **11. Хаханов В.И., Герасименко К.Е.** Метод повышения контролепригодности критических систем управления / В.И. Хаханов, К.Е. Герасименко // *Радиоелектроника и информатика*. 2012. №3. С.45-52.

Поступила в редколлегию 25.09.2012

Хаханов Владимир Иванович, д-р техн. наук, декан факультета КИУ, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Герасименко Константин Евгеньевич, заведующий отделом информационно-управляющих систем ЧАО «СНПО «Импульс»». Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем управления объектами с повышенными требованиями к безопасности и надежности. Адрес: Украина, 93405, Северодонецк, пл. Победы, 2, тел. 60194. E-mail: gerasymenko.k.e@yandex.ua.

УДК 331.1

А.В. ПРОНЮК, Н.М. ШИШОВ

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ «РАБОТНИК-ПРЕДПРИЯТИЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СИНЕРГЕТИКИ

Анализируется открытая система «работник-предприятие» с точки зрения сохранения эмоционального здоровья работника и мотивации безопасности его труда. Рассматриваются возможные состояния этой системы и различные последствия ее выхода из стационарного состояния, также представлены характер и последствия возникновения точек бифуркации. Изложенные методы позволяют оценить систему мотивации труда на предприятии в целях повышения качества использования человеческих ресурсов и предотвращения эмоционального угнетения работников. Подчеркивается, что выполнение любой работы в безопасной и комфортной обстановке на предприятии возможно только при обеспечении определенных условий труда, при этом эффективная система стимулирует производительность и повышает эффективность работы персонала.

1. Актуальность проблемы

Задачей деятельности предприятия, связанной с охраной труда, является обеспечение определенных условий на предприятии, которые делают возможным выполнение работы в безопасной и комфортной обстановке. Эмоциональное самочувствие работника является важным составляющим общего его здоровья и зависит от множества факторов. Специальные мероприятия, связанные с повышением эмоционального состояния работника, принято называть трудовой мотивацией.

Трудовая мотивация – это процесс стимулирования отдельного исполнителя или группы людей к деятельности, направленный на достижение целей организации, к продуктивному выполнению принятых решений или намеченных работ.

Целью анализа системы «работник-предприятие» является теоретическое исследование методов оценки эффективности мероприятий, связанных с мотивацией труда на предприятии, и вывод зависимостей эмоционального состояния работника от мотивации его труда.

Неэффективная система мотивации может вызвать у работников неудовлетворенность, что всегда влечет снижение производительности труда. С другой стороны, эффективная система стимулирует производительность персонала, повышает эффективность человеческих ресурсов.

С возникновением научного направления «синергетика» появились новые подходы и методы для изучения характеров развития процессов в различных системах. Всевозможные системы в природе можно разделить на изолированные и открытые. В изолированных системах не происходит обмен с окружающей средой ни массой, ни энергией, а в открытых системах такой обмен происходит. Изолированные системы – это идеализация, в природе их практически нет. В своей работе по синергетике К. Майнцер пишет, что «...основные

156. **10. Герасименко К.Е.** Использование непрерывных функций в элементах оборудования защит АЭС для диагностирования неисправностей типа «несрабатывание по требованию» / К.Е. Герасименко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2011. №1 (49). С. 29-33. **11. Хаханов В.И., Герасименко К.Е.** Метод повышения контролепригодности критических систем управления / В.И. Хаханов, К.Е. Герасименко // *Радиоелектроника и информатика*. 2012. №3. С.45-52.

Поступила в редколлегию 25.09.2012

Хаханов Владимир Иванович, д-р техн. наук, декан факультета КИУ, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Герасименко Константин Евгеньевич, заведующий отделом информационно-управляющих систем ЧАО «СНПО «Импульс»». Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем управления объектами с повышенными требованиями к безопасности и надежности. Адрес: Украина, 93405, Северодонецк, пл. Победы, 2, тел. 60194. E-mail: gerasymenko.k.e@yandex.ua.

УДК 331.1

А.В. ПРОНЮК, Н.М. ШИШОВ

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ «РАБОТНИК-ПРЕДПРИЯТИЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СИНЕРГЕТИКИ

Анализируется открытая система «работник-предприятие» с точки зрения сохранения эмоционального здоровья работника и мотивации безопасности его труда. Рассматриваются возможные состояния этой системы и различные последствия ее выхода из стационарного состояния, также представлены характер и последствия возникновения точек бифуркации. Изложенные методы позволяют оценить систему мотивации труда на предприятии в целях повышения качества использования человеческих ресурсов и предотвращения эмоционального угнетения работников. Подчеркивается, что выполнение любой работы в безопасной и комфортной обстановке на предприятии возможно только при обеспечении определенных условий труда, при этом эффективная система стимулирует производительность и повышает эффективность работы персонала.

1. Актуальность проблемы

Задачей деятельности предприятия, связанной с охраной труда, является обеспечение определенных условий на предприятии, которые делают возможным выполнение работы в безопасной и комфортной обстановке. Эмоциональное самочувствие работника является важным составляющим общего его здоровья и зависит от множества факторов. Специальные мероприятия, связанные с повышением эмоционального состояния работника, принято называть трудовой мотивацией.

Трудовая мотивация – это процесс стимулирования отдельного исполнителя или группы людей к деятельности, направленный на достижение целей организации, к продуктивному выполнению принятых решений или намеченных работ.

Целью анализа системы «работник-предприятие» является теоретическое исследование методов оценки эффективности мероприятий, связанных с мотивацией труда на предприятии, и вывод зависимостей эмоционального состояния работника от мотивации его труда.

Неэффективная система мотивации может вызвать у работников неудовлетворенность, что всегда влечет снижение производительности труда. С другой стороны, эффективная система стимулирует производительность персонала, повышает эффективность человеческих ресурсов.

С возникновением научного направления «синергетика» появились новые подходы и методы для изучения характеров развития процессов в различных системах. Всевозможные системы в природе можно разделить на изолированные и открытые. В изолированных системах не происходит обмен с окружающей средой ни массой, ни энергией, а в открытых системах такой обмен происходит. Изолированные системы – это идеализация, в природе их практически нет. В своей работе по синергетике К. Майнцер пишет, что «...основные

проблемы человечества отличаются глобальностью, сложностью и нелинейностью. Линейное мышление хорошо работает лишь в ограниченных условиях. В прошлом оно иногда приводило к неправильным и даже опасным представлениям в естественных науках, экономике, политике и культуре».

2. Постановка задачи

В настоящее время необходим новый взгляд на организацию управления охраной труда, в котором делался акцент не на разработку технических методов, а на повышение мотивации безопасности каждого работника. Изучение эмоционального состояния человека следует вести, основываясь на рассмотрении его как открытой системы, которая обменивается энергией и энтропией с окружающей средой. Энтропия системы описывает направление обмена энергией $\Delta S > 0$. В изолированных системах процессы идут так, что энтропия всегда растет, т.е. (это направление обмена), а энергия сохраняется.

При описании открытой системы бельгийский физик И. Р. Пригожин обратил внимание на поведение её энтропии, которую предложил представить как сумму из производства энтропии в системе ΔS_i и её обмен ΔS_e с окружающей средой. Символ Δ говорит об изменении, а индексы «i» и «e» обозначают производство и обмен с внешней средой соответственно.

Итак, общее изменение энтропии ΔS открытой системы равно сумме: $\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e$.

Если рассматривать изолированную систему, то знак производства энтропии всегда положителен, т.е. $\Delta S_i > 0$, а знак обмена энтропией может быть как положительным $\Delta S_e > 0$ (приток энтропии из окружающей среды), так и отрицательным $\Delta S_e < 0$ (отток энтропии из системы). Таким образом, возможны случаи, когда общая энтропия системы может уменьшаться или равняться нулю: $\Delta S < 0$.

Возможны четыре следующие ситуации:

1) Энтропия поступает из окружающей среды, т.е. $\Delta S_e > 0$, так как $\Delta S_i > 0$, то сумма этих величин также положительна $\Delta S > 0$.

2) Отток энтропии во внешнюю среду $\Delta S_e < 0$, но его абсолютная величина $|\Delta S_e| < \Delta S_i$. Следовательно, $\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e > 0$.

3) Отток энтропии во внешнюю среду $\Delta S_e < 0$, и абсолютная его величина равна производству энтропии $|\Delta S_e| = \Delta S_i$, тогда $\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e = 0$.

4) Отток энтропии из системы в среду $\Delta S_e < 0$ и его абсолютная величина больше производства энтропии в системе $|\Delta S_e| > \Delta S_i$. Следовательно, в этом случае $\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e < 0$, т.е. их сумма оказалась отрицательной.

Открытая система находится в идеальном «стационарном» состоянии при выполнении условия: $\Delta S_i + \Delta S_e = 0$.

Иными словами, «для поддержания стационарного неравновесного состояния необходимо постоянно направлять в систему отрицательный поток энтропии, равный по величине внутреннему производству потока энтропии».

3. Результаты и их обсуждение

Для открытой системы эмоционального состояния работника отрицательной энтропией можно считать совокупность таких энтропий как:

- социальное обеспечение ΔS_c ;
- отношение с коллегами и начальством ΔS_r ;
- заработная плата ΔS_p .

Тогда каждое предприятие характеризуется набором значений показателей: ΔS_c , ΔS_r , ΔS_p . Эти показатели имеют разную «важность» для разных работников. Поэтому целесообразно ввести соответствующие коэффициенты: μ_c , μ_r , μ_p , которые усиливают или уменьшают значимость соответствующих энтропий.

Используя описанные выше обозначения, минимальное требование работника к предприятию можно записать в виде формулы:

$$H_d = \mu_c \Delta S_{cd} + \mu_r \Delta S_{rd} + \mu_p \Delta S_{pd},$$

где ΔS_{cd} , ΔS_{rd} , ΔS_{pd} — минимальные требования к соответствующим энтропиям предприятия.

Предлагаемые предприятием работнику условия можно оценить, вычислив формулу:

$$H_f = \mu_c \Delta S_{cf} + \mu_r \Delta S_{rf} + \mu_p \Delta S_{pf}.$$

Для обеспечения эмоционального равновесия работника на предприятии необходимо, чтобы соблюдалось следующее условие:

$$H_f \geq H_d \text{ или } \mu_c \Delta S_{cf} + \mu_r \Delta S_{rf} + \mu_p \Delta S_{pf} \geq \mu_c \Delta S_{cd} + \mu_r \Delta S_{rd} + \mu_p \Delta S_{pd}.$$

Из этого неравенства следует, что:

$$H_f = H_d + K, \quad (1)$$

где K – величина, определяющая уровень сверхмотивации сотрудника на предприятии. Выразив K из уравнения (1), получим:

$$K = \mu_c (\Delta S_{cf} - \Delta S_{cd}) + \mu_r (\Delta S_{rf} - \Delta S_{rd}) + \mu_p (\Delta S_{pf} - \Delta S_{pd}).$$

Значение величин H_f и H_d могут изменяться во времени (рис. 1). Эти изменения могут быть обусловлены: снижением или повышением заработной платы, повышением требований к предприятию работником и др.

При возникновении ситуации, когда $H_f < H_d$, возможно появление в жизни работника так называемой точки бифуркации. В этой точке работник может выбрать другой путь дальнейшего развития, отличный от предыдущего. Примеры вариантов развития:

- работник снижает требования к предприятию и продолжает работать на нем;
- работник не снижает требований к предприятию и увольняется с него;
- предприятие повышает мотивацию работника. Работник продолжает работать на предприятии.

Для предотвращения ситуаций возникновения точек бифуркации системы «работник-предприятие» необходимо соблюдение предприятием следующих условий:

На рис. 2 приведен график устойчивого состояния системы «работник-предприятие».

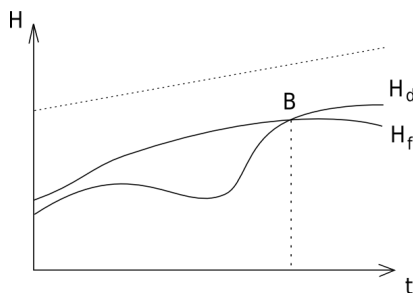


Рис. 1. График зависимости значений H_f и H_d от времени в неустойчивой системе «работник-предприятие»

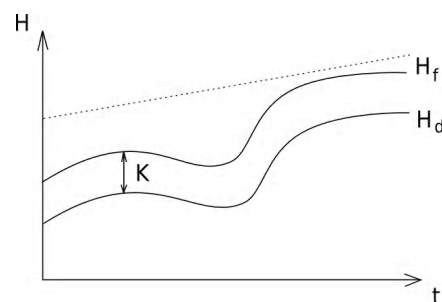


Рис. 2. График зависимости значений H_f и H_d от времени в устойчивой системе «работник-предприятие»

Изучение и применение систем мотивации труда на предприятии позволяет повысить эффективность человеческих ресурсов и сохранить эмоциональное здоровье работников.

Таким образом, применение синергетики при решении задач повышения эффективности управления охраной труда на предприятии будет содействовать росту социальной активности работников и совершенствованию производственных отношений по вопросам охраны труда как профилактической системы.

Список литературы: 1. Дульнев Г.Н., Крашенюк А.И. От синергетики к информационной медицине // Институт биосенсорной психологии, 2010. 168с. 2. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Либроком, 2012. 314с. 3. Аршинов В.И., Буданов В.Г., Войцехович В.Э. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 536 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2012

Пронюк Анна Валерьевна, канд.техн.наук, доцент кафедры охраны труда ХНУРЭ. Научные интересы: моделирование эргатических систем, организация охраны труда. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +38(067) 1219295.

Шишов Николай Михайлович, магистрант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: построение специализированных компьютерных систем и компонентов, техническая диагностика. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +38(066) 8713601.

ОБЩАЯ МОДЕЛЬ СЛОВОИЗМЕНЕНИЯ ИМЕН ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ РУССКОГО ЯЗЫКА

Описывается разработанная общая модель словоизменения имен прилагательных русского языка. При построении математической модели использовались методы моделирования мозгоподобных структур. Визуально разработанная модель представляется в виде реляционной сети. Строится модель с использованием аппарата алгебры конечных предикатов.

1. Введение

На протяжении многих лет предпринимались попытки автоматизации процесса анализа естественного языка. В частности, на примере русского языка с помощью аппарата алгебры конечных предикатов [1-3] были построены модели склонения имен прилагательных. Отдельно модели склонения полных непряжательных и притяжательных имен прилагательных, полная модель склонения непряжательных имен прилагательных представлены в звуковой форме [4-8].

Осуществим следующий шаг к процессу автоматизации, а именно, построим общую модель словоизменения прилагательных русского языка, объединяющую полные, устные и краткие модели имен прилагательных.

2. Общая модель словоизменения имен прилагательных русского языка

Для построения общей модели словоизменения необходимо представить предметные переменные.

Для полной модели склонения непряжательных имен прилагательных и для устной модели склонения полных непряжательных имен прилагательных x_1 – род формы слова со значениями М – мужской, Ж – женский, С – средний; x_2 – число формы слова со значениями Е – единственное, М – множественное; x_3 – падеж формы слова со значениями И – именительный, Р – родительный, Д – дательный, В – винительный, Т – творительный, П – предложный; x_4 – признак одушевленности формы слова со значениями О – одушевленный, Н – неодушевленный; x_5 – признак современности формы слова со значениями С – современный, А – архаичный; r – номер влияния контекста, s – тип склонения слова; y_1 – последняя буква основы слова, y_2 – признак ударности слова, y_3 – признак смягчения слова, z – окончание формы слова, где z_n – левая часть окончания, z_n – правая часть окончания. Левая часть окончания состоит из первой буквы окончания. Правая часть состоит из двух компонентов – второй и третьей букв окончания.

Для модели кратких имен прилагательных: x_2 – род формы слова со значениями М – мужской, Ж – женский, С – средний; x_1 – число формы слова со значениями Ед. – единственное, Мн. – множественное; p – номер ячейки таблицы; z_k – окончание формы слова кратких имен прилагательных: *,ь,о,е,а,я,ы,и,ё'; z_{0k} – признак ударности окончания; y – главная буква основы; y_k – двойное ударение [9].

Продemonстрируем предметные переменные разработанных отдельно полной модели склонения непряжательных имен прилагательных, которая содержит $P_1 - P_{17}$ отношений; полной модели непряжательных имен прилагательных, представленных в звуковой форме, которая содержит $P_1 - P_{11}$ отношений; краткой модели прилагательных русского языка, у которой существует $P_1 - P_6$ отношений. Остановимся на разработке общей модели словоизменения прилагательных русского языка и формализуем ее.

$$\begin{aligned}
P_1(x_1, r) &= x_1^M (r^1 \vee r^4 \vee r^5) \vee (x_1^M \vee x_1^C) (r^2 \vee r^3 \vee r^6 \vee r^7) \vee x_1^K (r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12}) \vee x_1^C r^{13} \vee \\
&\vee (x_1^M \vee x_1^K \vee x_1^C) (r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}), \\
P_2(x_2, r) &= x_2^E (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{12} \vee r^{13}) \vee x_2^M (r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}) \\
P_3(x_3, r) &= x_3^H (r^1 \vee r^8 \vee r^{14}) \vee x_3^P r^2 \vee x_3^H (r^3 \vee r^{16}) \vee x_3^B (r^4 \vee \\
&\vee r^5 \vee r^{10} \vee r^{17} \vee r^{18}) \vee x_3^T (r^6 \vee r^7 \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{19}) \vee (x_3^P \vee x_3^H \vee x_3^B) r^9 \vee (x_3^H \vee x_3^B) r^{13} \vee (x_3^P \vee x_3^B) r^{15}, \\
P_4(x_4, r) &= x_4^H (r^4 \vee r^{17}) \vee x_4^O (r^5 \vee r^{18}) \vee (x_4^H \vee x_4^O) (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee \\
&\vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{19}), \\
P_5(x_5, r) &= x_5^C r^{11} \vee x_5^A r^{12} \vee (x_5^C \vee x_5^A) (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee \\
&\vee r^{10} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}).
\end{aligned}$$
$$\begin{aligned} P_6(Z_n, r) = & (Z_n^b \vee Z_n^u \vee Z_n^v \vee Z_n^e)(r^1 \vee r^4) \vee (Z_n^3 \vee Z_n^c \vee Z_n^o \vee Z_n^{o'} \vee Z_n^8) \vee \\ & \vee (r^2 \vee r^3 \vee r^5 \vee r^7 \vee r^9 \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13}) \vee (Z_n^b \vee Z_n^v \vee Z_n^{b'} \vee Z_n^{u'}) (r^6 \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}) \vee \\ & \vee (Z_n^a \vee Z_n^q \vee Z_n^{a'} \vee Z_n^{q'}) r^8 \vee (Z_n^y \vee Z_n^{10} \vee Z_n^{y'} \vee Z_n^{10'} \vee Z_n^x) r^{10} . \end{aligned}$$
$$P_7(z_n, r) = z_n^{\text{ii}}(r^1 \vee r^4 \vee r^9 \vee r^{11}) \vee (z_n^{\text{bo}} \vee z_n^{\text{ro}})(r^2 \vee r^5) \vee z_n^{\text{my}} r^3 \vee \\ \vee z_n^{\text{m}}(r^6 \vee r^7 \vee r^{16}) \vee (z_n^{\text{ia}} \vee z_n^{\text{a}}) r^8 \vee z_n^{\text{io}}(r^{10} \vee r^{12}) \vee z_n^{\text{ie}}(r^{13} \vee r^{14} \vee r^{17}) \vee z_n^{\text{x}}(r^{15} \vee r^{18}) \vee z_n^{\text{mi}} r^{19}.$$
$$\begin{aligned} P_8(z_{\Pi}, z) &= z_{\Pi}^{a_{\text{я}} \vee z_{\Pi}^{a' \vee a'' \vee z_{\Pi}^{\text{я}} \vee z_{\Pi}^y \vee z_{\Pi}^{y' \vee y'' \vee z_{\Pi}^{\text{ю}} \vee \\ &\vee z_{\Pi}^o \vee z_{\Pi}^{\text{о} \vee z_{\Pi}^{\text{ой}} \vee z_{\Pi}^{\text{ом}} \vee z_{\Pi}^{\text{ого}} \vee z_{\Pi}^{\text{ому}} \vee z_{\Pi}^{\text{ою}}) \vee z_{\Pi}^{o'} (z_{\Pi}^{o'e} \vee z_{\Pi}^{o'i} \vee z_{\Pi}^{o'm} \vee z_{\Pi}^{o'ro} \vee \\ &\vee z_{\Pi}^{o'my} \vee z_{\Pi}^{o'yo}) \vee z_{\Pi}^e (z_{\Pi}^{ee} \vee z_{\Pi}^{ei} \vee z_{\Pi}^{em} \vee z_{\Pi}^{ego} \vee z_{\Pi}^{emy} \vee z_{\Pi}^{eyo}) \vee \\ &\vee z_{\Pi}^{ы} (z_{\Pi}^{ый} \vee z_{\Pi}^{ым} \vee z_{\Pi}^{ые} \vee z_{\Pi}^{ых} \vee z_{\Pi}^{ыми}) \vee z_{\Pi}^{ы'} (z_{\Pi}^{ы'm} \vee z_{\Pi}^{ы'e} \vee z_{\Pi}^{ы'x} \vee z_{\Pi}^{ы'ми}) \vee \\ &\vee z_{\Pi}^и (z_{\Pi}^{ии} \vee z_{\Pi}^{им} \vee z_{\Pi}^{ие} \vee z_{\Pi}^{их} \vee z_{\Pi}^{ими}) \vee z_{\Pi}^{и'} (z_{\Pi}^{и'm} \vee z_{\Pi}^{и'e} \vee z_{\Pi}^{и'x} \vee z_{\Pi}^{и'ми}). \\ P_9(z_{\Pi}, z) &= z_{\Pi}^{\text{я}} (z_{\Pi}^{\text{ая}} \vee z_{\Pi}^{a' \vee a'' \vee z_{\Pi}^{\text{я}}) \vee z_{\Pi}^{\text{ю}} (z_{\Pi}^{\text{ую}} \vee z_{\Pi}^{y' \vee y'' \vee z_{\Pi}^{\text{ю}} \vee z_{\Pi}^{\text{ою}} \vee z_{\Pi}^{o' \vee o'' \vee z_{\Pi}^{\text{ею}}) \vee z_{\Pi}^e (z_{\Pi}^{\text{ое}} \vee z_{\Pi}^{o'e} \vee z_{\Pi}^{\text{ее}} \vee \\ &\vee z_{\Pi}^{\text{ье}} \vee z_{\Pi}^{e'e} \vee z_{\Pi}^{\text{ие}} \vee z_{\Pi}^{e'e}) \vee z_{\Pi}^й (z_{\Pi}^{\text{ой}} \vee z_{\Pi}^{o'й} \vee z_{\Pi}^{\text{ей}} \vee \\ &\vee z_{\Pi}^{\text{ый}} \vee z_{\Pi}^{\text{ий}}) \vee z_{\Pi}^м (z_{\Pi}^{\text{ом}} \vee z_{\Pi}^{o'm} \vee z_{\Pi}^{\text{ем}} \vee z_{\Pi}^{\text{ым}} \vee z_{\Pi}^{\text{им}} \vee \\ &\vee z_{\Pi}^{и'm}) \vee z_{\Pi}^го (z_{\Pi}^{\text{ого}} \vee z_{\Pi}^{o'го} \vee z_{\Pi}^{\text{его}}) \vee z_{\Pi}^му (z_{\Pi}^{\text{ому}} \vee z_{\Pi}^{o'my} \vee z_{\Pi}^{\text{ему}}) \vee z_{\Pi}^х (z_{\Pi}^{\text{ых}} \vee z_{\Pi}^{ы'х} \vee z_{\Pi}^{\text{их}} \vee z_{\Pi}^{и'х}) \vee \\ &\vee z_{\Pi}^ми (z_{\Pi}^{\text{ыми}} \vee z_{\Pi}^{ы'ми} \vee z_{\Pi}^{\text{ими}} \vee z_{\Pi}^{и'ми}). \end{aligned}$$
[illegible]

P_{12} и P_{13} связывают правую часть окончания z_n со второй z_2 и третьей z_3 буквами окончания:

$$P_{12}(z_n, z_2) = z_n^a z_2^a \vee z_n^{io} z_2^{io} \vee z_n^e z_2^e \vee z_n^{\ddot{u}} z_2^{\ddot{u}} \vee z_n^{ro} z_2^r \vee z_n^x z_2^x \vee (z_n^M \vee z_n^{My} \vee z_n^{Mn}) z_2^M.$$

$$P_{13}(z_n, z_3) = (z_n^a \vee z_n^{io} \vee z_n^e \vee z_n^{\ddot{u}} \vee z_n^x \vee z_n^M) z_3^* \vee z_n^{ro} z_3^o \vee z_n^{Mn} z_3^n \vee z_n^{My} z_3^y.$$

Знак * при переменной z_3 означает отсутствие третьей буквы в окончании.

Левая часть окончания z_n связывается с типами склонения отношением P_{14} для полной модели склонения непряжательных имен прилагательных русского языка:

$$P_{14}(s, z_n) = s^1 (z_n^a \vee z_n^y \vee z_n^o \vee z_n^{\ddot{u}}) \vee s^2 (z_n^a \vee z_n^y \vee z_n^o \vee z_n^{\ddot{u}}) \vee \\ \vee s^3 (z_n^a \vee z_n^y \vee z_n^e \vee z_n^{\ddot{u}}) \vee s^4 (z_n^a \vee z_n^y \vee z_n^e \vee z_n^{\ddot{u}}) \vee s^5 (z_n^a \vee z_n^{io} \vee z_n^e \vee z_n^{\ddot{u}}) \vee \\ \vee s^6 (z_n^{a'} \vee z_n^{y'} \vee z_n^{o'} \vee z_n^{\ddot{u}'}) \vee s^7 (z_n^{a'} \vee z_n^{y'} \vee z_n^{o'} \vee z_n^{\ddot{u}'}).$$

Тип склонения s определяется последней буквой основы слова y_1 , признаком ударности слова y_2 и признаком смягчения слова y_3 .

Отношения P_{15} , P_{16} , P_{17} связывают предметные переменные y_1 , y_2 , y_3 соответственно и s , где отношение P_{16} соответствует устной модели склонения непряжательных имен прилагательных:

$$P_{15}(y_1, s) = (y_1^b \vee y_1^v \vee y_1^l \vee y_1^3 \vee y_1^n \vee y_1^m \vee y_1^n \vee y_1^r) (s^1 \vee s^6) \vee (y_1^n \vee y_1^p \vee y_1^c) (s^1 \vee s^5 \vee s^6) \vee \\ \vee (y_1^k \vee y_1^q \vee y_1^w \vee y_1^{\ddot{u}}) (s^4 \vee s^7) \vee y_1^n s^3 \vee (y_1^r \vee y_1^k \vee y_1^x) (s^2 \vee s^7).$$

$$P_{16}(y_2, s) = y_2^y (s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5) \vee s_2^b (s^6 \vee s^7 \vee s^8 \vee s^9 \vee s^{10})$$

$$P_{17}(y_3, s) = y_3^T (s^1 \vee s^3 \vee s^6 \vee s^7) \vee y_3^M (s^2 \vee s^4 \vee s^5)$$

Тип склонения для устной модели склонения непряжательных имен прилагательных в сравнении с полной моделью склонения непряжательных имен прилагательных имеет идентичное представление в виде отношения, но различное буквенное значение. Классы последних букв основы слова при полной модели склонения непряжательных имен прилагательных имеют 7 номеров типов склонения s , а при звуковой модели склонения полных непряжательных имен прилагательных – 10 номеров типов склонения соответственно. Связано это с тем, что в звуковой модели рассматривается последний звук основы, который имеет больше буквенных вариаций. Следовательно, имеем:

$$P_{18}(s_{\text{звук}}, z_n) = s^1 (z_n^{\ddot{u}} \vee z_n^o \vee z_n^a \vee z_n^y) \vee s^2 (z_n^{\ddot{u}} \vee z_n^3 \vee z_n^a \vee z_n^y) \vee \\ \vee (s^3 \vee s^4) (z_n^{\ddot{u}} \vee z_n^e \vee z_n^a \vee z_n^{io}) \vee s^5 (z_n^{\ddot{u}} \vee z_n^o \vee z_n^a \vee z_n^y) \vee (s^6 \vee s^8) (z_n^{\ddot{u}'} \vee z_n^{o'} \vee z_n^{a'} \vee z_n^{y'}) \vee \\ \vee s^7 (z_n^{\ddot{u}'} \vee z_n^{o'} \vee z_n^{a'} \vee z_n^{y'}) \vee (s^9 \vee s^{10}) (z_n^{\ddot{u}'} \vee z_n^{\ddot{e}} \vee z_n^{a'} \vee z_n^{io'}).$$

Отношения P_{19} , P_{20} , связывающие переменные y_1 , y_3 и номер типа склонения $S_{\text{звук}}$ имеют вид:

$$P_{19}(y_1, S_{\text{звук}}) = (y_1^b \vee y_1^v \vee y_1^l \vee y_1^3 \vee y_1^n \vee y_1^m \vee y_1^n \vee y_1^p \vee y_1^c \vee y_1^r \vee y_1^{\ddot{u}}) \wedge \\ \wedge (s^1 \vee s^3 \vee s^6 \vee s^9) \vee (y_1^q \vee y_1^w \vee y_1^{\ddot{u}} \vee y_1^{\ddot{u}}) (s^4 \vee s^{10}) \wedge (y_1^r \vee y_1^k \vee y_1^n \vee y_1^x) (s^5 \vee s^7) \vee (y_1^k \vee y_1^n \vee y_1^w) (s^2 \vee s^8)$$

$$P_{20}(y_3, S_{\text{звук}}) = y_3^T (s^1 \vee s^2 \vee s^6 \vee s^7 \vee s^8) \vee y_3^M (s^3 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^9 \vee s^{10}).$$

Для общей модели словоизменения необходимо произвести перенумерацию отношений краткой модели словоизменения, состоящую из P_1 – P_6 отношений, для корректности вывода результатов. Таким образом, поскольку максимальное количество отношений на данном этапе разработки 20, продолжим нумерацию отношений так: $P_1 = P_{21}$, $P_2 = P_{22}$, $P_3 = P_{23}$, $P_4 = P_{24}$, $P_5 = P_{25}$, $P_6 = P_{26}$. Получаем следующее:

$$P_{21}(x_1, p) = x_1^M p^1 \vee x_1^J p^2 \vee x_1^C p^3 \vee (x_1^M \vee x_1^J \vee x_1^C) p^4, P_{22}(x_2, p) = x_2^{El} (p^1 \vee p^2 \vee p^3) \vee x_2^{Mn} p^4.$$

$$P_{23}(p, z_k) y_k^* = p^1(z_k^* \vee z_k^b) \vee p^2(z_k^a \vee z_k^g) \vee p^3(z_k^o \vee z_k^c \vee z_k^{e'}) \vee p^4(z_k^{bl} \vee z_k^h)$$

$$P_{24}(y, z_k) = (y^e \vee y^o \vee y^a \vee y^g \vee y^y \vee y^h)(z_k^a \vee z_k^g \vee z_k^o \vee z_k^c \vee z_k^{e'} \vee z_k^b \vee z_k^{bl} \vee z_k^h) \vee (y^e \vee y^o \vee y^a \vee y^g \vee y^y)(z_k^o) \vee (y^a \vee y^o) z_k^a.$$

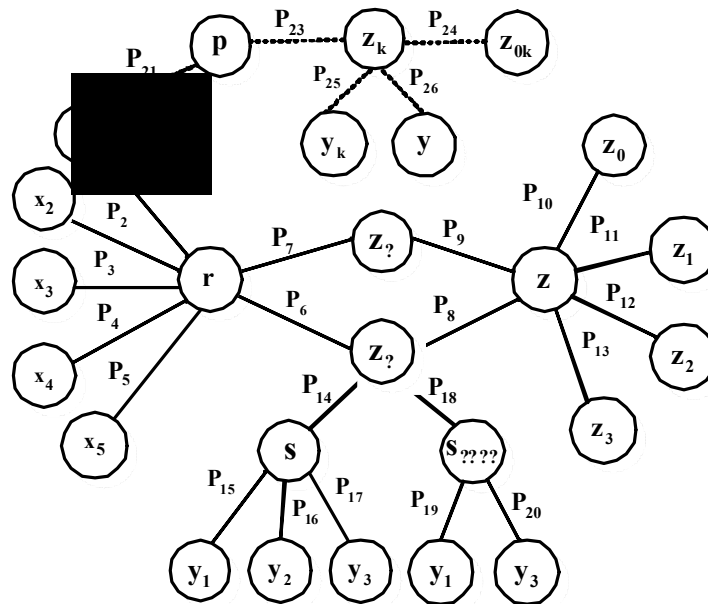
$$P_{25}(y_k, z_k) = y_k^{OCH/OK} (z_k^o \vee z_k^a \vee z_k^{bl} \vee z_k^h \vee z_k^*) y_k^* (z_k^* \vee z_k^b \vee z_k^o \vee z_k^c \vee z_k^{e'} \vee z_k^a \vee z_k^g \vee z_k^{bl} \vee z_k^h)$$

$$P_{26}(z_k, z_{0k}) = z_{0k}^* (z_k^* \vee z_k^b \vee z_k^o \vee z_k^c \vee z_k^a \vee z_k^g \vee z_k^{bl} \vee z_k^h) \vee z_{0k}' (z_k^{e'})$$

Построена общая математическая модель словоизменения имен прилагательных русского языка. Она характеризуется системой бинарных отношений P_1 - P_{26} , задаваемых формулами соответствующих предикатов. В результате получаем предикат модели вида:

$$\begin{aligned} P(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, p, r, s, s_{звук}, y_1, y_2, y_3, y_k, y, z_l, z_n, z, z_0, z_1, z_2, z_3, z_k, z_{0k}) = \\ = P_1(x_1, r) \wedge P_2(x_2, r) \wedge P_3(x_3, r) \wedge P_4(x_4, r) \wedge P_5(x_5, r) \wedge P_6(z_l, r) \wedge \\ \wedge P_7(z_n, r) \wedge P_8(z_l, z) \wedge P_9(z_n, z) \wedge P_{10}(z_l, z_0) \wedge P_{11}(z_l, z_1) \wedge P_{12}(z_n, z_2) \wedge \\ \wedge P_{13}(z_n, z_3) \wedge P_{14}(s, z_l) \wedge P_{15}(y_1, s) \wedge P_{16}(y_2, s) \wedge P_{17}(y_3, s) \wedge P_{18}(z_l, s_{звук}) \wedge \\ \wedge P_{19}(y_1, s_{звук}) \wedge P_{20}(y_3, s_{звук}) \wedge P_{21}(x_1, p) \wedge P_{22}(x_2, p) \wedge P_{23}(z_k, p) \wedge P_{24}(z_k, z_0) \wedge P_{25}(z_k, y_k) \wedge P_{26}(z_k, y). \end{aligned}$$

Предикату модели соответствует отношение модели p , которая связывает между собой предметные переменные. Отношение модели необходимо изобразить в виде логической реляционной сети. На рисунке представлена общая модель словоизменения имен прилагательных русского языка.



3. Выводы

Впервые предложена общая модель словоизменения прилагательных русского языка, в которую входят: полная модель склонения непритяжательных имен прилагательных, модель склонения непритяжательных имен прилагательных, представленная в звуковой форме, и модель кратких имен прилагательных русского языка для автоматизации процесса склонения полных непритяжательных имен прилагательных и словоизменения для кратких имен прилагательных русского языка.

Практическое значение: позволяет решать конкретные практические задачи обработки текстов естественного языка (анализа, синтеза и нормализации) в области искусственного интеллекта.

Перспективы исследования: разработать модель кратких имен прилагательных в звуковой форме, что позволит расширить возможности процесса словоизменения модели.

Список литературы: 1. *Бондаренко М.Ф.* Теория интеллекта / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Теория интеллекта: Учебник. Х.: ООО «Компания СМИТ», 2006. 576 с. 2. *Бондаренко М.Ф.* Мозгоподобные структуры / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Мозгоподобные структуры: Справочное пособие. Том первый / Под ред. НАН Украины И.В. Сергиенко. К.: Наукова думка, 2011. 460 с. 3. *Бондаренко М.Ф.* Алгебра предикатов и предикатных операций / М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, Н.Т. Процай, В.В. Черкашин, В.А. Чикина, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Радиоэлектроника и информатика. 2000. № 4. С. 15–23. 4. *Мельникова Р.В.* Алгебраические модели морфологии и их применение в логических сетях. Дис. ... канд. техн. наук. Х.: ХНУРЭ, 2005. 152 с. 5. *Лецинский В.А.* Модели бинарных логических сетей и их применение в искусственном интеллекте. Дис. ... канд. техн. наук. Х.: ХНУРЭ, 2006. 157 с. 6. *Дударь З.В.* Математические модели флексивной обработки словоформ и их использование в системах автоматической обработки текста русского языка. Дис. ... канд. техн. наук. Х.: ХИРЭ, 1984. 215 с. 7. *Русакова Н.Е.* Моделирование мозгоподобных структур и их применение в искусственном интеллекте. Дис. ... канд. техн. наук. Х.: ХНУРЭ, 2012. 157 с. 8. *Каменева И.В.* Анализ флексии письменной и устной моделей полных напорительных имен прилагательных русского языка / И. В. Каменева // Біоніка інтелекту. 2012. № 1. С. 35–40. 9. *Каменева И.В.* Побудова реляційної мережі коротких прикметників російської мови. / І.В Каменева, А.С. Афанасьєв // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. 2012. № 5. С. 195–202.

Поступила в редколлегию 10.09.2012

Каменева Ирина Витальевна, аспирантка каф. ПИ ХНУРЭ. Научные интересы: искусственный интеллект, интеллектуальная обработка данных. Хобби: изучение иностранных языков. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-16-46, e-mail: irina.kamenieva@gmail.com.

Афанасьев Анатолий Сергеевич, студент каф. ПИ ХНУРЭ. Научные интересы: искусственный интеллект, программирование на языках C++, C#. Хобби: кулинария. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-16-46, e-mail: tolya.afanasev@gmail.com.

УДК 631.31; 519.71

С.А. ЛЯШЕНКО, А.С. ЛЯШЕНКО, И.С. БЕЛЯЕВА

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕАРИЗИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОКООЧИСТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассматриваются тепло - и массообменные процессы, осуществляющиеся при очистке диффузионного сока в сокоочистительном отделении сахарного завода. На основе уравнений баланса для массо- и теплообменных частей преддефектора и подогревателей, которые, в основном, задают температурный режим работы отделения, получены линеаризованные математические модели этого оборудования, необходимые для использования в автоматизированных системах управления технологическими процессами сокоочистительного отделения.

1. Введение

Процесс очистки диффузионного сока характеризуется значительной степенью неопределенности, большой размерностью векторов входных возмущений и координат возмущений, а также множеством других помех. Качество поддержания технологических параметров в регламентных режимах определяется факторами, действие которых сложно учитывать, используя традиционные методы моделирования и управления технологическим процессом.

Полная технологическая схема очистки сока представляет собой совокупность разного сокоочистительного оборудования, согласно технологии, объединенного в соответствии с целью производства получением очищенного диффузионного сока. Следовательно, машинно-аппаратная схема процесса очистки диффузионного сока имеет распределенную структуру, содержащую как последовательно, так и параллельно соединенные

Список литературы: 1. *Бондаренко М.Ф.* Теория интеллекта / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Теория интеллекта: Учебник. Х.: ООО «Компания СМІТ», 2006. 576 с. 2. *Бондаренко М.Ф.* Мозгоподобные структуры / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Мозгоподобные структуры: Справочное пособие. Том первый / Под ред. НАН Украины И.В. Сергиенко. К.: Наукова думка, 2011. 460 с. 3. *Бондаренко М.Ф.* Алгебра предикатов и предикатных операций / М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, Н.Т. Процай, В.В. Черкашин, В.А. Чикина, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Радиоэлектроника и информатика. 2000. № 4. С. 15–23. 4. *Мельникова Р.В.* Алгебраические модели морфологии и их применение в логических сетях. Дис. ... канд. техн. наук. Х.: ХНУРЭ, 2005. 152 с. 5. *Лецинский В.А.* Модели бинарных логических сетей и их применение в искусственном интеллекте. Дис. ... канд. техн. наук. Х.: ХНУРЭ, 2006. 157 с. 6. *Дударь З.В.* Математические модели флексивной обработки словоформ и их использование в системах автоматической обработки текста русского языка. Дис. ... канд. техн. наук. Х.: ХИРЭ, 1984. 215 с. 7. *Русакова Н.Е.* Моделирование мозгоподобных структур и их применение в искусственном интеллекте. Дис. ... канд. техн. наук. Х.: ХНУРЭ, 2012. 157 с. 8. *Каменева И.В.* Анализ флексии письменной и устной моделей полных напругательных имен прилагательных русского языка / И. В. Каменева // Біоніка інтелекту. 2012. № 1. С. 35–40. 9. *Каменева І.В.* Побудова реляційної мережі коротких прикметників російської мови. / І.В. Каменева, А.С. Афанасьєв // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. 2012. № 5. С. 195–202.

Поступила в редколлегию 10.09.2012

Каменева Ирина Витальевна, аспирантка каф. ПИ ХНУРЭ. Научные интересы: искусственный интеллект, интеллектуальная обработка данных. Хобби: изучение иностранных языков. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-16-46, e-mail: irina.kamenieva@gmail.com.

Афанасьев Анатолий Сергеевич, студент каф. ПИ ХНУРЭ. Научные интересы: искусственный интеллект, программирование на языках C++, C#. Хобби: кулинария. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-16-46, e-mail: tolya.afanasev@gmail.com.

УДК 631.31; 519.71

С.А. ЛЯШЕНКО, А.С. ЛЯШЕНКО, И.С. БЕЛЯЕВА

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕАРИЗИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОКООЧИСТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассматриваются тепло- и массообменные процессы, осуществляющиеся при очистке диффузионного сока в сокоочистительном отделении сахарного завода. На основе уравнений баланса для массо- и теплообменных частей преддефектора и подогревателей, которые, в основном, задают температурный режим работы отделения, получены линеаризованные математические модели этого оборудования, необходимые для использования в автоматизированных системах управления технологическими процессами сокоочистительного отделения.

1. Введение

Процесс очистки диффузионного сока характеризуется значительной степенью неопределенности, большой размерностью векторов входных возмущений и координат возмущений, а также множеством других помех. Качество поддержания технологических параметров в регламентных режимах определяется факторами, действие которых сложно учитывать, используя традиционные методы моделирования и управления технологическим процессом.

Полная технологическая схема очистки сока представляет собой совокупность различного сокоочистительного оборудования, согласно технологии, объединенного в соответствии с целью производства получением очищенного диффузионного сока. Следовательно, машинно-аппаратная схема процесса очистки диффузионного сока имеет распределенную структуру, содержащую как последовательно, так и параллельно соединенные

элементы, а также участки с обратными связями. Поэтому отделение очистки сока с точки зрения анализа, синтеза и управления относится к сложным химико-технологическим системам.

Для достижения высокого выхода товарного сахара диффузионный сок подвергают химической и физико-химической обработке в целях удаления несахаров и доведения до слабощелочного раствора.

Эффективный выход продукции производства зависит от системы управления отделением дефекосатурации, основанной на базе современных технических средств. Современные средства автоматизации на базе программно-технических комплексов (ПТК) обеспечивают управление технологическим процессом в отделении дефекосатурации на основе централизованно обработанной в микропроцессоре информации по заданным технологическим и экономическим критериям, определяющим качественные и количественные результаты выработки сока. Современная АСУТП включает в себя технические средства, программное обеспечение и оператора (человека), роль которого в автоматизированном процессе производства сводится к наладке, регулировке, обслуживании средств автоматизации и наблюдению за их действием.

АСУТП отделения дефекосатурации представляет собой РСУ малого масштаба, включающую подсистемы сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

Автоматизированная система управления отделением дефекосатурации предоставляет оператору подробную информацию о протекании технологического процесса, производит архивирование основных технологических параметров, ведёт протокол событий, позволяет формировать отчёты в табличной и графической форме и имеет возможность самодиагностики. Эти свойства повышают надёжность, удобство и безопасность эксплуатации системы.

При помощи АСУТП в отделении дефекосатурации достигается: улучшение термоустойчивости сока на последующих стадиях производства; улучшение скорости осаждения и фильтрования взвешенных веществ в диффузионном соке; повышение эффективности очистки сока, снижение потерь сахара на участке очистки и последующих участках производства; сокращение расхода извести, сатурационного газа и сопутствующих расходов; стабилизация соковых потоков и синхронизация производительности участка очистки сока с производительностью участка диффузии (или клеровки). Кроме того, повышается производительность, безопасность труда и улучшаются условия работы обслуживающего персонала [1].

Важное место в системе управления технологическим процессом занимает алгоритм управления. Под алгоритмом управления понимается описание процедуры обработки информации о наблюдаемых переменных состояния в целях определения управляющих воздействий, реализуемых для получения требуемых показателей управляемого процесса как в установившемся, так и в переходном режиме.

Алгоритм управления должен давать четкое представление о том, какую последовательность действий нужно произвести, чтобы наилучшим образом решить поставленную задачу. Он составляется технологом для упрощения задачи программиста при написании программного обеспечения для контроллера.

Исходным этапом построения модели является расчет и анализ статистики процесса, т.е. рассмотрение данных о равновесии, на основе которых определяют направление протекания и возможные пределы осуществления процесса. Исходя из знания значений и параметров технологического процесса получения сахара (на всех этапах производства (диффузия, дефекация, выпарка, кристаллизация)), на основании законов сохранения массы и энергии составляются уравнения материального и энергетического баланса. Зная эти уравнения, можно определить кинетику процесса и скорость его протекания при различных изменениях.

В сахарном производстве технологический процесс получения сахара постоянно меняется в зависимости от изменения качества продукции.

2. Основной материал

По закону сохранения массы количество поступающих веществ $\sum G_n$ должно равняться количеству отводимых $\sum G_k$, получаемых в результате проведения процесса, с учетом потерь $\sum G_n$:

$$\sum G_n = \sum G_k + \sum G_n. \quad (1)$$

Материальный баланс составляют для процесса в целом или для отдельных его стадий. Баланс может быть составлен для всех веществ, участвующих в процессе, или лишь для одного из компонентов, если обрабатываемая смесь является двух- или многокомпонентной. Баланс составляют за единицу времени (за час или за сутки) в расчете на единицу количества исходных или конечных продуктов.

При производстве сахарной продукции известны значения и параметры перерабатываемого сырья на всех этапах производства, полученные на основе материального баланса и с учетом критерия экономической эффективности производства. Для сахарного производства материальный баланс на всех этапах и по всему производству определяется, в основном, по выходу продукции за определенное время (час, сутки). В итоге вычисляется выход продукции по отношению к величине затраченного сырья (количество свеклы или сахара) в процентах.

Энергетический баланс составляют на основе закона сохранения энергии, согласно которому количество энергии, введенной в процесс, равно количеству выделившейся энергии, т.е. приход энергии равен расходу. При проведении химических реакций большое значение может иметь их тепловой эффект.

Частью энергетического баланса является тепловой, который в общем можно представить в виде:

$$\sum Q_n = \sum Q_k + \sum Q_n. \quad (2)$$

При этом количество вводимого тепла определяется соотношением

$$\sum Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (3)$$

где Q_1 – количество тепла, вводимое с исходными веществами; Q_2 – количество тепла, подводимого извне, например с теплоносителем, обогревающим аппарат; Q_3 – тепловой эффект физических и химических превращений [2].

Количество отводимого тепла $\sum Q_k$ складывается из тепла, удаляемого с конечным продуктом и отводимого с теплоносителем, а также из тепловых потерь $\sum Q_n$.

Количество тепла, которое вводится с исходными веществами, подводится извне, получаемое при химических превращениях, а также отводится или выпадает в осадок, представляется в общем виде следующим выражением:

$$Q = GC\theta, \quad (4)$$

где G, C, θ – расход, теплоемкость и температура рассматриваемых растворов [3].

В энергетическом балансе, кроме тепла, учитывается приход и расход всех видов энергии, например *затраты механической энергии* на перемешивание жидкостей или сжатие и транспортирование жидкостей и газов.

На основании теплового баланса находят расход водяного пара, воды и других теплоносителей, а по данным энергетического баланса – общий расход энергии на осуществление процесса.

Для расчета любой системы составляется математическое описание протекающих в ней физических процессов, т.е. строится её математическая модель. При этом в системе могут быть предварительно выделены простые подсистемы или элементы в соответствии с их функциональным назначением. Иногда более целесообразным является разделение системы не по функциональному признаку элементов, а по физическим процессам (в диффузионном и сокоочистительном отделениях происходят, в основном (более важные),

тепловые процессы, а в выпарном и кристаллизационном отделениях - энергетические и материальные). Часто такие процессы представляются в виде совокупности процессов, каждый из которых имеет более простое математическое описание.

При любом из этих подходов используют величины двух видов:

- переменные величины, зависящие от времени, которые являются своего рода координатами, определяющими в обобщенном смысле этого понятия движение системы (расход пара, воды, температуры сред...);

- величины, параметры которых характеризуют физические свойства и условия работы элементов системы (геометрические размеры, вязкость, масса, давление, температура, если они не изменяются по времени).

Для производства сахарной продукции наиболее целесообразно производить расчеты на основании тепловых балансов, так как на всех этапах производства присутствуют жесткие ограничения по температурным режимам.

Для решения задачи оптимизации необходимо получить математические модели теплообменных частей, массообменных и смесительных частей оборудования, которое имеется в сокоочистительном отделении сахарного завода (преддефекатор, дефекатор, подогреватели, сатураторы). Наиболее важным оборудованием в отделении является преддефекатор – он задает режим очистки сока, и подогреватели – они поддерживают температурные режимы работы процесса очистки сока.

3. Математическая модель процесса преддефекации

Важнейшим этапом очистки сока является преддефекация - химическая очистка сока путем коагуляции, осаждения и разложения несахаров.

Процесс преддефекации заключается в следующем: диффузионный сок поступает в нижнюю часть аппарата, заполняет первую секцию и через отверстие в конусной перегородке поступает во вторую секцию и далее постепенно проходит все секции. В последнюю секцию подается известковое молоко в количестве, необходимом для поддержания pH сока в пределах 11,0-11,3. При открывании заслонок регулирующего устройства часть сока с помощью турбинки и цилиндра возвращается из шестой секции в пятую, где смешивается с потоками сока из четвертой секции, имеющего меньшую щелочность. В результате этого pH сока в пятой секции снижается. Из пятой секции часть щелочного сока возвращается в четвертую, из четвертой в третью и т.д.

Исходя из знания физики процесса преддефекации, можно получить математическую модель преддефекатора, для построения модели тепло-массообменной части которого необходимо рассматривать процесс массообмена (разделение диффузионного сока и других поступающих растворов в секции преддефекатора) и тепловой процесс при преддефекации диффузионного сока и других растворов.

При рассмотрении материального баланса процесса разделения составляющих диффузионного сока и других растворов на преддефекованный сок и осадок, при отсутствии потерь перерабатываемого сока, необходимо рассмотреть уравнение материального баланса:

по общему количеству вещества (сока)

$$G_c = G_{nc} + G_{oc}, \quad (5)$$

по взвешенным частицам

$$G_c \cdot X_c = G_{nc} \cdot X_{nc} + G_{oc} \cdot X_{oc}, \quad (6)$$

где G_c, G_{nc}, G_{oc} – количество перерабатываемого сока, преддефекованного сока, осадка в соке, кг; X_c, X_{nc}, X_{oc} – содержание взвешенных частиц в перерабатываемом соке, преддефекованном соке и осадке.

Расход перерабатываемого сока, поступающего в секции преддефекатора, определяется следующим образом:

$$G_c = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + \dots + G_{16}, \quad (7)$$

где G_1 – расход диффузионного сока, поступающего в первую секцию преддефекатора;

G_2 – расход сока, поступающего в первую секцию преддефекатора после первой сатура-

ции; G_3 – расход суспензии, поступающей во вторую и третью секции преддефекатора после второй сатурации; G_4 – расход известкового молока с соком, поступающим в шестую секцию преддефекатора и далее противотоком через все секции к первой; $G_5 - G_{16}$ – смешанные расходы, поступающие в последующие и возвращающиеся в предыдущие секции преддефекатора.

Решение уравнений (5) и (6) позволяет определить количество преддефекованного сока $G_{\text{пс}}$ и осадка $G_{\text{ос}}$:

$$G_{\text{пс}} = G_{\text{с}} \cdot \frac{X_{\text{ос}} - X_{\text{с}}}{X_{\text{пд}} - X_{\text{ос}}}, \quad (8)$$

$$G_{\text{ос}} = G_{\text{с}} \cdot \frac{X_{\text{с}} - X_{\text{пс}}}{X_{\text{ос}} - X_{\text{пс}}}. \quad (9)$$

Зная количество преддефекованного сока и осадка, получаемого при преддефекации, определим уравнение теплообмена для каждой из шести секций преддефекатора “Бригелль Мюллер”, для чего составим уравнения теплового баланса для каждой секции, согласно (2):

$$Q = Q_{\text{н}}^i = Q_{\text{к}}^i + Q_{\text{н}}^i, \quad i = \overline{1,6}, \quad (10)$$

здесь i – количество секций преддефекатора.

Соответственно, уравнение теплового баланса для первой секции преддефекатора будет иметь вид:

$$Q = Q_{\text{н}}^1 = Q_{\text{к}}^1 + Q_{\text{н}}^1,$$

где $Q_{\text{н}}^1 = Q_{\text{н1}} + Q_{\text{н2}} + Q_{\text{н3}} + Q_{\text{н4}}$ – тепло, поступающее в первую секцию преддефекатора от различных источников.

Соответственно расходы и теплоемкости растворов, поступающих от различных источников в первую секцию, будут иметь обозначения $G_1^{01}, G_2^{001}, G_3^{21}, G_4^{21}, C_1^{01}, C_2^{001}, C_3^{21}, C_4^{21}$; во вторую секцию – $G_5, G_6, G_7, C_5, C_6, C_7$; в третью секцию – $G_8, G_9, G_{10}, C_8, C_9, C_{10}$; в четвертую секцию – $G_{11}, G_{12}, C_{11}, C_{12}$; в пятую секцию – $G_{13}, G_{14}, C_{13}, C_{14}$; в шестую – $G_{15}, G_{16}, C_{15}, C_{16}$.

При этом $Q_{\text{н1}}$ – тепло, получаемое с диффузионным соком, поступающим в первую секцию; $Q_{\text{н2}}$ – тепло, получаемое с соком, полученным после первой сатурации, поступающим в первую секцию преддефекатора; $Q_{\text{н3}}$ – тепло, получаемое с суспензией, полученной после второй сатурации, поступающей из второй секции в первую секцию преддефекатора; $Q_{\text{н4}}$ – тепло, получаемое от возврата сока с известковым молоком, поступающим из шестой секции преддефекатора, противотоком через все секции, в первую секцию.

Соответственно

$$Q_{\text{н1}} = G_1^{01} C_1^{01} \theta_0, \quad (11)$$

где $G_1^{01}, C_1^{01}, \theta_0$ – расход, теплоемкость и температура диффузионного сока на входе в первую секцию преддефекатора;

$$Q_{\text{н2}} = G_2^{001} C_2^{001} \theta_{00}, \quad (12)$$

здесь $G_2^{001}, C_2^{001}, \theta_{00}$ – соответственно расход, теплоемкость и температура сока, полученного после первой сатурации, в первую секцию преддефекатора;

$$Q_{\text{н3}} = G_3^{21} C_3^{21} \theta_2, \quad (13)$$

где G_3^{21}, C_3^{21} – соответственно расход и теплоемкость суспензии, полученной после второй сатурации, поступающей в первую секцию преддефекатора из второй; θ_2 – температура преддефекованного сока во второй секции преддефекатора;

$$Q_{н4} = G_4^{21} C_4^{21} \theta_2, \quad (14)$$

здесь G_4^{21}, C_4^{21} – соответственно расход, теплоемкость сока с известковым молоком, поступающим из шестой секции преддефекатора в первую секцию противотоком.

Количество отводимого тепла, удаляемого с преддефекованным соком из первой секции преддефекатора, определяется следующим образом;

$$Q_{1к}^1 = G_{nc}^{12} C_{nc}^{12} \theta_1, \quad (15)$$

G_{nc}^{12}, C_{nc}^{12} – соответственно расход, теплоемкость преддефекованного сока на выходе из первой во вторую секцию преддефекатора; θ_1 – температура преддефекованного сока в первой секции преддефекатора.

Количество тепла, удаляемого с осадком из первой секции преддефекатора, определяем из уравнения

$$Q_{1н}^1 = G_{oc}^{10} C_{oc}^{10} \theta_1, \quad (16)$$

где G_{oc}^{10}, C_{oc}^{10} – соответственно расход и теплоемкость осадка в первой секции преддефекатора.

Следовательно, уравнение теплового баланса для первой секции преддефекатора можно представить в виде

$$G_1^{01} C_1^{01} \theta_0 + G_2^{001} C_2^{001} \theta_{00} + G_3^{21} C_3^{21} \theta_2 + G_4^{21} C_4^{21} \theta_2 = G_{nc}^{12} C_{nc}^{12} \theta_1 + G_{oc}^{10} C_{oc}^{10} \theta_1. \quad (17)$$

При нарушении теплового баланса уравнение (17) примет вид:

$$V_1 \rho c_1 \frac{d\theta_1}{d\tau} = \Delta \left(G_1^{01} C_1^{01} \theta_0 + G_2^{001} C_2^{001} \theta_{00} + G_3^{21} C_3^{21} \theta_2 + \right. \\ \left. + G_4^{21} C_4^{21} \theta_2 - G_{nc}^{12} C_{nc}^{12} \theta_1 - G_{oc}^{10} C_{oc}^{10} \theta_1 \right), \quad (18)$$

где V_1, ρ, c_1 – объем, плотность и теплоемкость преддефекованного сока в первой секции преддефекатора.

Отклонения переменных в первой секции, с учетом линеаризации, примут следующий вид:

$$\frac{d\theta_1}{d\tau} = \frac{1}{V_1 \rho c_1} (G_{1_0}^{01} C_1^{01} \Delta\theta_0 + C_1^{01} \theta_{0_0} \Delta G_1^{01} + G_{2_0}^{001} C_2^{001} \Delta\theta_{00} + C_2^{001} \theta_{00_0} \Delta G_2^{001} + \\ + G_{3_0}^{21} C_3^{21} \Delta\theta_2 + C_3^{21} \theta_{2_0} \Delta G_3^{21} + G_{4_0}^{21} C_4^{21} \Delta\theta_2 + C_4^{21} \theta_{2_0} \Delta G_4^{21} - G_{nc_0}^{12} C_{nc}^{12} \Delta\theta_1 - \\ - C_{nc}^{12} \theta_{1_0} \Delta G_{nc}^{12} - G_{oc_0}^{10} C_{oc}^{10} \Delta\theta_1 - C_{oc}^{10} \theta_{1_0} \Delta G_{oc}^{10}), \quad (19)$$

где $\Delta\theta_0, \Delta\theta_{00}, \Delta\theta_2, \Delta\theta_1$ – соответственно отклонения температуры диффузионного сока на входе в первую секцию преддефекатора, сока, полученного после первой сатурации и поступающего в первую секцию преддефекатора, во второй и первой секциях преддефекатора; $\Delta G_1^{01}, \Delta G_2^{001}, \Delta G_3^{21}, \Delta G_4^{21}, \Delta G_{nc}^{12}, \Delta G_{oc}^{10}$ – соответственно отклонения расхода диффузионного сока, сока, полученного после первой сатурации, суспензии, поступающей во вторую и третью секции, полученной после второй сатурации из второй секции в первую, сока с известковым молоком, поступающим из шестой секции преддефекатора в первую секцию противотоком, а также преддефекованного сока и осадка.

Рассматривая аналогичным образом остальные секции преддефекатора, получаем следующую математическую модель теплообменной части преддефекатора:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\theta_1}{d\tau} = & \frac{1}{V_1\rho c_1} (G_{10}^{01} C_1^{01} \Delta\theta_0 + C_1^{01} \theta_{00} \Delta G_1^{01} + G_{20}^{001} C_2^{001} \Delta\theta_{00} + C_2^{001} \theta_{000} \Delta G_2^{001} + \\ & + (G_{30}^{21} C_3^{21} + G_{40}^{21} C_4^{21}) \Delta\theta_2 + C_3^{21} \theta_{20} \Delta G_3^{21} + C_4^{21} \theta_{20} \Delta G_4^{21} - \\ & - (G_{nc0}^{12} C_{nc}^{12} + G_{oc0}^{10} C_{oc}^{10}) \Delta\theta_1 - C_{nc}^{12} \theta_{10} \Delta G_{nc}^{12} - C_{oc}^{10} \theta_{10} \Delta G_{oc}^{10}), \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\theta_2}{d\tau} = & \frac{1}{V_2\rho c_2} (G_{50}^{12} C_5^{12} \Delta\theta_1 + C_5^{12} \theta_{10} \Delta G_5^{12} + G_{60}^{0002} C_6^{0002} \Delta\theta_{000} + \\ & + C_6^{0002} \theta_{0000} \Delta G_6^{0002} + G_{70}^{32} C_7^{32} \Delta\theta_3 + C_7^{32} \theta_{30} \Delta G_7^{32} - \\ & - (G_{nc0}^{23} C_{nc}^{23} + G_{oc0}^{21} C_{oc}^{21}) \Delta\theta_2 - C_{nc}^{23} \theta_{20} \Delta G_{nc}^{23} - C_{oc}^{21} \theta_{20} \Delta G_{oc}^{21}), \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\theta_3}{d\tau} = & \frac{1}{V_3\rho c_3} (G_{80}^{23} C_8^{23} \Delta\theta_2 + C_8^{23} \theta_{20} \Delta G_8^{23} + G_{90}^{0003} C_9^{0003} \Delta\theta_{000} + \\ & + C_9^{0003} \theta_{0000} \Delta G_9^{0003} + G_{100}^{43} C_{10}^{43} \Delta\theta_4 + C_{10}^{43} \theta_{40} \Delta G_{10}^{43} - (G_{nc0}^{34} C_{nc}^{34} + \\ & + G_{oc0}^{32} C_{oc}^{32}) \Delta\theta_3 - C_{nc}^{34} \theta_{30} \Delta G_{nc}^{34} - C_{oc}^{32} \theta_{30} \Delta G_{oc}^{32}), \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\theta_4}{d\tau} = & \frac{1}{V_4\rho c_4} (G_{110}^{34} C_{11}^{34} \Delta\theta_3 + C_{11}^{34} \theta_{30} \Delta G_{11}^{34} + G_{120}^{54} C_{12}^{54} \Delta\theta_5 + C_{12}^{54} \theta_{50} \Delta G_{12}^{54} - \\ & - (G_{nc0}^{45} C_{nc}^{45} + G_{oc0}^{43} C_{oc}^{43}) \Delta\theta_4 - C_{nc}^{45} \theta_{40} \Delta G_{nc}^{45} - C_{oc}^{43} \theta_{40} \Delta G_{oc}^{43}), \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\theta_5}{d\tau} = & \frac{1}{V_5\rho c_5} (G_{130}^{45} C_{13}^{45} \Delta\theta_4 + C_{13}^{45} \theta_{40} \Delta G_{13}^{45} + G_{140}^{65} C_{14}^{65} \Delta\theta_6 + C_{14}^{65} \theta_{60} \Delta G_{14}^{65} - \\ & - (G_{nc0}^{56} C_{nc}^{56} + G_{oc0}^{54} C_{oc}^{54}) \Delta\theta_5 - C_{nc}^{56} \theta_{50} \Delta G_{nc}^{56} - C_{oc}^{54} \theta_{50} \Delta G_{oc}^{54}), \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\theta_6}{d\tau} = & \frac{1}{V_6\rho c_6} (G_{150}^{56} C_{15}^{56} \Delta\theta_5 + C_{15}^{56} \theta_{50} \Delta G_{15}^{56} + G_{160}^{00006} C_{16}^{00006} \Delta\theta_{0000} + \\ & + C_{16}^{00006} \theta_{00000} \Delta G_{16}^{00006} - (G_{nc0}^{60} C_{nc}^{60} + G_{oc0}^{65} C_{oc}^{65}) \Delta\theta_6 - C_{nc}^{60} \theta_{60} \Delta G_{nc}^{60} - C_{oc}^{65} \theta_{60} \Delta G_{oc}^{65}). \end{aligned} \quad (25)$$

4. Математическая модель подогревателя

Кроме преддефекации, на всех этапах переработки сока при преддефекации присутствует процесс подогрева, который характеризуется жесткими температурными требованиями. Процесс подогрева сока на всех технологических этапах очистки сока необходим для получения максимального качественного продукта.

Математическая модель подогревателя определяется на основе уравнения теплового баланса.

Определим уравнение теплообмена для подогревателя дефекованного сока, для чего составим уравнение теплового баланса исходя из того, что при нагревании сока паром в рекуперативных подогревателях необходимо учитывать, что

$$\sum Q_n = \sum Q_k + \sum Q_{тп}, \quad (26)$$

при этом количество вводимого тепла определяется соотношением:

$$\sum Q_n = Q_c + Q_n + Q_b, \quad (27)$$

где Q_c – количество тепла, вводимое с соком; Q_n – количество тепла, подводимого извне от пара, обогревающим аппарат; Q_b – тепловой эффект физических и химических превращений не учитывается при подогреве.

Количество отводимого тепла $\sum Q_k$ складывается из тепла, удаляемого с конечным продуктом (соком) и отводимого с теплоносителем (паром), а также тепловых потерь- $\sum Q_{\text{тп}}$ (для нашего случая – не более 3-5%).

Следовательно, (26) будет иметь вид $\sum Q_n = \sum Q_k$.

Для нашего случая $\sum Q_n = Q_n$, а $\sum Q_k = Q_c$, тогда уравнение теплового баланса для подогревателя, с учетом (4), можно представить в виде

$$G_n C_n \theta_{\text{пн}} + G_c C_c \theta_{\text{сн}} = G_n C_n \theta_{\text{пк}} + G_c C_c \theta_{\text{ск}} \quad (28)$$

или

$$G_n C_n \theta_{\text{пн}} - G_n C_n \theta_{\text{пк}} = G_c C_c \theta_{\text{ск}} - G_c C_c \theta_{\text{сн}}. \quad (29)$$

При отсутствии потерь в окружающую среду количество теплоты Q_n , передаваемой горячим теплоносителем, равняется количеству теплоты, получаемой холодным теплоносителем Q_c :

$$Q^i = Q_n^i = Q_c^i = G_n^i C_n^i (\theta_{\text{пн}}^i - \theta_{\text{пк}}^i) = G_c^i C_c^i (\theta_{\text{ск}}^i - \theta_{\text{сн}}^i), \quad (30)$$

где $Q^i = Q_n^i = Q_c^i$ – количество теплоты равняется количеству теплоты, передаваемой паром, и количеству теплоты, получаемой соком в i – подогревателе; $G_n^i; C_n^i; G_c^i; C_c^i$ – соответственно расход и теплоемкость пара и сока в i – подогревателе; $\theta_{\text{пн}}^i; \theta_{\text{пк}}^i; \theta_{\text{ск}}^i; \theta_{\text{сн}}^i$ – начальные и конечные температуры пара и сока в i – подогревателе соответственно.

Значения горячего теплоносителя (пара) Q_n^i можно представить в виде равенства

$$Q_n = kF\Delta\theta = kF(\theta_n - \theta_c), \quad (31)$$

здесь k – коэффициент теплопередачи, определяющий среднюю скорость передачи тепла вдоль всей поверхности теплообмена; F – площадь нагрева труб нагревателя ($F = \pi dl$); θ_n и θ_c – температура пара и сока соответственно.

Тогда уравнение (30) с учетом (31) будет иметь вид

$$Q^i = k^i F^i (\theta_n^i - \theta_c^i) = G_c^i C_c^i (\theta_{\text{ск}}^i - \theta_{\text{сн}}^i). \quad (32)$$

При нарушении теплового баланса возникает изменение количества тепла в подогревателе со скоростью, зависимой от дисбаланса:

$$V^i \rho c^i \frac{d\theta_c^i}{d\tau} = \Delta (kF^i (\theta_n^i - \theta_c^i) - G_c^i C_c^i (\theta_{\text{ск}}^i - \theta_{\text{сн}}^i)), \quad (33)$$

где V^i, ρ, c^i – объем, плотность и теплоемкость сока в подогревателе.

Отклонения переменных, с учетом линеаризации, примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_c^i}{d\tau} = \frac{1}{V^i \rho c^i} (kF^i \Delta\theta_n^i - kF^i \Delta\theta_c^i - G_c^i C_c^i \Delta\theta_{\text{ск}}^i - C_c^i \theta_{\text{ск}_0}^i \Delta G_c^i + \\ + G_c^i C_c^i \Delta\theta_{\text{сн}}^i + C_c^i \theta_{\text{сн}_0}^i \Delta G_c^i). \end{aligned} \quad (34)$$

Определим уравнение теплообмена паровой камеры подогревателя сока в сокоочистительном отделении:

$$G_n^i r^i = kF^i (\theta_n^i - \theta_c^i), \quad (35)$$

G_n^i, r^i – расход пара в паровую камеру и теплота парообразования.

При изменении баланса тепла будет изменяться и количество тепла в емкости со скоростью, которая зависит от дисбаланса:

$$V^i c_n^i \frac{d\theta_n^i}{d\tau} = \Delta(G_n^i r^i - kF\theta_n^i + kF\theta_c^i), \quad (36)$$

где V^i, c_n^i – объем паровой камеры и теплоемкость пара.

Определим отклонения переменных в уравнении, которое описывает процесс изменения тепла в паровой камере:

$$\frac{d\theta_n^i}{d\tau} = \frac{1}{V^i c_n^i} (r^i \Delta G_n^i - kF\Delta\theta_n^i + kF\Delta\theta_c^i), \quad (37)$$

В результате получаем математическую модель теплообменной части подогревателей сока в сокоочистительном отделении:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\theta_c^i}{d\tau} &= \frac{1}{V^i \rho c^i} \left(kF^i \Delta\theta_n^i - kF^i \Delta\theta_c^i - G_{c_0}^i C_{c_0}^i \Delta\theta_{ck}^i - \right. \\ &\quad \left. - \Delta G_{c_0}^i (C_{c_0}^i \theta_{ck_0}^i - C_{c_0}^i \theta_{cn_0}^i) + G_{c_0}^i C_{c_0}^i \Delta\theta_{cn}^i \right); \\ \frac{d\Delta\theta_n^i}{d\tau} &= \frac{1}{V^i c_n^i} (r^i \Delta G_n^i - kF\Delta\theta_n^i + kF\Delta\theta_c^i), \end{aligned} \quad (38)$$

где $\Delta\theta_n^i, \Delta\theta_c^i, \Delta\theta_{cn}^i, \Delta\theta_{ck}^i$ – соответственно отклонения температуры пара, сока, сока на входе и сока на выходе из нагревательного аппарата; $\Delta G_{c_0}^i, \Delta G_n^i$ – отклонения расхода сока и пара соответственно.

5. Выводы

Анализ отделения очистки сока сахарного производства свидетельствует о том, что данное отделение относится к сложным химико-технологическим системам. Для сокоочистительного отделения сахарного завода наиболее характерны физико-химические процессы смешения, тепло – и массообмена. Из уравнения теплового и материального баланса получены линеаризованные математические модели теплообменных частей преддефекатора и подогревателей, необходимые для реализации алгоритмов управления данными процессами. С учетом линейности полученных соотношений для синтеза системы управления могут быть использованы эффективные подходы, основанные, например, на описании моделей в пространстве состояний.

Список литературы: 1. *Ляшенко С.О., Фесенко А.М., Беляева И.С., Ляшенко О.С.* Шляхи покращання умов праці при виробництві цукру// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: «Механізація сільськогосподарського виробництва». Харків. 2012. Том. 2. С.439-443. 2. *Дідур В.А., Стручаєв М.І.* Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / За заг. ред. В.А. Дідура. К.: Аграрна освіта, 2008. 233с. 3. *Иванец В.Н., Бакин И.А., Ратников С.А.* Процессы и аппараты пищевых производств: Учебное пособие. Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Кемерово, 2004. 180с.

Поступила в редколлегию 11.09.2012

Ляшенко Сергей Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры БЖ ХНТУСХ им. П.Василенко. Научные интересы: моделирование сложных систем управления. Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Артема, 44, тел. 732-76-26.

Ляшенко Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизированные системы управления. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-54.

Беляева Ирина Сергеевна, специалист 1-й категории ННИДЗН ХНТУСХ им. П. Василенко. Научные интересы: моделирование систем управления. Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Артема, 44, тел. 732-76-26.

ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ДАНИХ

Розглядається метод кластеризації даних, що ґрунтується на інформаційно-екстремальному навчанні та модифікації методу k -середніх для бінарного простору ознак розпізнавання. При цьому оптимізація параметрів кластеризації, включаючи кількість кластерів та мінімальну кількість векторів-реалізацій в кластерах, здійснюється на основі модифікованого інформаційного критерію функціональної ефективності за Кульбаком. З метою підвищення функціональної ефективності кластеризації будуються гіпереліпсоїдні вирішальні правила.

Вступ

Одним із перспективних напрямів підвищення функціональної ефективності керування слабоформалізованими процесами, що функціонують за умов апіорної невизначеності та дії зовнішніх неконтрольованих факторів, є розробка та впровадження здатних самонавчатися систем підтримки прийняття рішень (СППР), що базуються на ідеях і методах машинного навчання та розпізнавання образів [1,2]. При цьому важливого значення набуває розроблення алгоритмів кластер-аналізу вхідних даних, які за результатами моніторингу керованого процесу формують алфавіт класів розпізнавання та систему вирішальних правил. Оскільки на практиці спостерігається нечіткість (розмитість) кластерів у просторі ознак розпізнавання і часто вони мають складні форми і взаємне розміщення, то це ускладнює, а інколи унеможлиблює побудову чітких вирішальних правил в евклідовому просторі засобами параметричної статистики, що є основною задачею інформаційного синтезу СППР [3,4].

Задача трансформації апіорно нечіткого розбиття в чітке розбиття еквівалентності класів розпізнавання вирішується в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технологія), в якій контейнери класів розпізнавання відновлюються в бінарному просторі ознак розпізнавання [5]. При цьому інформаційний критерій функціональної ефективності (КФЕ) інформаційно-екстремального навчання доцільно вважати загальним критерієм якості розбиття даних на кластери, оскільки він дозволяє реалізувати механізми відносної валідації результату кластеризації даних та оптимізації параметрів алгоритму кластеризації [6,7].

У статті розглядається алгоритм кластеризації даних на базі інформаційно-екстремального навчання та модифікації методу k -середніх для бінарного простору ознак розпізнавання за умови максимізації кількості кластерів та мінімальної кількості векторів-реалізацій в кластерах при забезпеченні високої достовірності чітких гіпереліпсоїдних вирішальних правил.

1. Постановка задачі

Розглянемо СППР, що самонавчається в режимі кластер-аналізу. Нехай відома апіорно неклаसифікована багатовимірна навчальна матриця $\|y_i^{(j)}\|$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, n}$, де N, n – кількість ознак розпізнавання і реалізацій образів відповідно. Необхідно в режимі кластер-аналізу перетворити вхідну некласифіковану навчальну матрицю в нечітку класифіковану і побудувати чітке розбиття простору ознак розпізнавання на класи розпізнавання $\{X_m^0 \mid m = \overline{1, M}\}$, які характеризують функціональні стани керованого процесу, шляхом оптимізації координат структурованого вектора параметрів функціонування СППР:

$$g = \langle M, n_{\min}, X_B^0, \delta, x_{m1}, x_{m2}, d_m \rangle, \quad (1)$$

де M – кількість кластерів для алгоритму кластер-аналізу (одночасно і потужність алфавіту класів розпізнавання); $n_{\min}$ – мінімальна кількість векторів-реалізацій в кластерах, що не може бути меншою за мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки для одного

класу; X_B^0 – базовий кластер, що відповідає одному з кластерів розбиття, відносно якого будується система контрольних допусків (СКД) на ознаки розпізнавання; δ – параметр поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання; x_{m1}, x_{m2} – двійкові вектори, що визначають координати першого та другого фокусів гіпереліпсоїдного контейнера кластера X_m^0 в бінарному просторі ознак Ω_B , які при нульовій фокальній відстані визначають геометричний центр кластера; d_m – велика піввісь контейнера кластера X_m^0 в просторі ознак Ω_B .

При цьому задано обмеження:

$$\begin{cases} 2 \leq M \leq n / n_{\min}, n_m \geq n_{\min}, \\ c_m < d_m, c_m \leq N / 2, \\ d(x_{c1} \oplus x) + d(x_{c2} \oplus x) - 2c_c > 0, \forall x \in \{x : d(x_{m1} \oplus x) + d(x_{m2} \oplus x) = 2d_m\}, \\ \delta \in [0; \delta_H / 2], \end{cases} \quad (2)$$

де n_m – кількість реалізацій, що належать кластеру X_m^0 ; c_m – фокальна відстань гіпереліпсоїдного контейнера кластера X_m^0 ; $d(x_{c1} \oplus x), d(x_{c2} \oplus x)$ – кодові відстані від першого та другого фокусів контейнера сусіднього класу X_c^0 до вектора x , що належить поверхні кластера X_m^0 відповідно; c_c – фокальна відстань гіпереліпсоїдного контейнера сусіднього кластера X_c^0 ; $d(x_{m1} \oplus x), d(x_{m2} \oplus x)$ – кодові відстані від першого та другого фокусів контейнера кластера X_m^0 до вектора x відповідно; δ_H – нормоване поле допусків, що визначає область значень параметра δ .

Необхідно в процесі навчання СППР визначити оптимальні значення координат вектора параметрів функціонування (1), що забезпечують максимальне значення усередненого за множиною кластерів розбиття КФЕ:

$$\bar{E} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{\{k\}} E_m, \quad (3)$$

де E_m – інформаційний КФЕ СППР розпізнавати реалізації кластера X_m^0 ; $\{k\}$ – впорядкована множина кроків самонавчання.

У режимі екзамену, тобто безпосередньо у робочому режимі СППР, необхідно прийняти рішення про належність реалізацій образу, що характеризують поточний функціональний стан процесу, до відповідного кластера побудованого на етапі самонавчання розбиття $\mathcal{R}^{[M]}$.

2. Алгоритм самонавчання

Розглянемо основні етапи реалізації базового алгоритму інформаційно-екстремальної кластеризації даних:

1. Обчислення початкових центрів кластерів у евклідовому просторі. Якщо при першому запуску базового алгоритму або при попередніх його запусках була відсутня робоча область визначення інформаційного КФЕ, то розрахунок початкових центрів здійснюють за правилом рівномірного розподілу центрів у гіперкубі вхідних даних:

$$y_{m,i} = y_i^{(j_1)} + \frac{m-1}{M-1} (y_i^{(j_2)} - y_i^{(j_1)}), \quad m = \overline{1, M}, \quad i = \overline{1, N},$$

де $y^{(j_1)}, y^{(j_2)}$ – два найбільш віддалені в евклідовій метриці вектори-реалізації, що належать вхідній неклаифікованій матриці $\{y_i^{(j)} \mid i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}\}$.

В протилежному випадку вже існує розбиття даних на кластері і початкові координати центру кожного кластера можна визначити, як вибіркове середнє значення i -ї ознаки у векторах-реалізаціях кластера:

$$y_{m,i} = \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} y_{m,i}^{(j)}, \quad m = \overline{1, M}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (4)$$

2. Зміна нумерації центрів кластерів таким чином, щоб центр базового кластера нумерувався першим, тобто $X_1^0 \leftrightarrow X_B^0$.

3. Ініціалізація лічильника, що визначає поточний номер кластера: $m := 0$.

4. $m := m + 1$.

5. Якщо $m = 1$ (базовий кластер), то здійснюється обчислення значень нижнього $A_{HK,i}$ та верхнього $A_{BK,i}$ контрольних допусків для кожної ознаки розпізнавання за формулами

$$A_{HK,i} = \begin{cases} y_{1,i}(1 - \frac{\delta_i}{100}), & \text{if } y_{1,i}(1 - \frac{\delta_i}{100}) \leq A_{H,i}; \\ A_{H,i}, & \text{if else;} \end{cases} \quad (5)$$

$$A_{BK,i} = \begin{cases} y_{1,i}(1 + \frac{\delta_i}{100}), & \text{if } y_{1,i}(1 + \frac{\delta_i}{100}) \geq A_{B,i}; \\ A_{B,i}, & \text{if else;} \end{cases} \quad (6)$$

де $y_{1,i}$ – i -та координата центру базового кластера X_1^0 , відносно якого будується СКД; δ_i – параметр поля контрольного допуску для i -ї ознаки розпізнавання; $A_{H,i}$, $A_{B,i}$ – нижній та верхній нормовані допуски для i -ї ознаки розпізнавання.

Формування бінарної матриці вхідних даних $\|x_i^{(j)}\|$ здійснюється за правилом

$$x_i^{(j)} = \begin{cases} 1, & \text{if } A_{HK,i} \leq y_i^{(j)} \leq A_{BK,i}; \\ 0, & \text{if else.} \end{cases} \quad (7)$$

6. Обчислення значень координат двійкового еталонного вектора x_m . При цьому у випадку наявності розбиття даних (кластер X_m^0 містить n_m агрегованих векторів-реалізацій) обчислення здійснюються за правилом

$$x_{m,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} x_{m,i}^{(j)} > 0,5; \\ 0, & \text{if else;} \end{cases} = x_{m1,i} = x_{m2,i}, \quad (8)$$

де x_{m1}, x_{m2} – двійкові вектори, що відповідають значенням фокусів контейнера до початку гіпереліпсоїдної корекції.

В протилежному випадку – за правилом

$$x_{m,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } A_{HK,i} \leq y_{m,i} \leq A_{BK,i}; \\ 0, & \text{if else;} \end{cases} = x_{m1,i} = x_{m2,i}.$$

7. Ініціалізація лічильника кроків зміни радіуса для контейнера кластера X_m^0 : $d_m := 0$.

8. $d_m := d_m + 1$.

9. Ініціалізація динамічного масиву A_{n_m} , що зберігає значення n_m для кожної ітерації центрування кластера X_m^0 : $A_{n_m} := \{\}^\Lambda$. Початок центрування контейнера кластера.

10. Додавання в динамічний масив A_{n_m} поточного значення n_m .

11. Очищення розмітки векторів-реалізацій кластера X_m^0 для здійснення нової розмітки.

12. Об'єднання в кластер некластеризованих (нерозмічених) двійкових векторів-реалізацій, для яких виконується умова $d(x_m \oplus x^{(j)}) \leq d_m$, де $d(x_m \oplus x^{(j)})$ – кодова відстань між двійковими векторами x_m та $x^{(j)}$.

13. Обчислення нового центру кластера X_m^0 в евклідовому просторі за формулою (4).

14. Якщо $m = 1$ (базовий кластер), то здійснити обчислення верхніх та нижніх контрольних допусків за формулами (5), (6) та бінарної матриці вхідних даних за правилом (7).

15. Обчислення двійкового еталонного вектора x_m за правилом (8).

16. Якщо в динамічному масиві A_{n_m} не зустрічається значення n_m , що відповідає новому об'єднанню векторів-реалізацій в кластер, то здійснюється перехід до пункту 10, інакше – перехід до пункту 17 для зупину центрування кластера X_m^0 з метою уникнення автоколивального процесу.

17. Якщо $d_m < N$, то перехід до пункту 18, інакше – до пункту 19.

18. Якщо $n_m \geq n_{\min}$, то перехід до пункту 19, інакше – до пункту 8.

19. Якщо $m < M$, то перехід до пункту 5, інакше – до пункту 20.

20. Обчислення усередненого інформаційного КФЕ $\bar{E}$ (3).

21. ЗУПИН.

Як КФЕ кластеризації використовується модифікована інформаційна міра Кульбака, в якій розглядається відношення повної ймовірності правильного прийняття рішень P_t до повної ймовірності помилкового прийняття рішень P_f . Для двохальтернативних гіпотез модифікований критерій Кульбака має вигляд

$$E_m^{(k)} = \left[P_{t,m}^{(k)} - P_{f,m}^{(k)} \right] \cdot \log_2 \frac{P_{t,m}^{(k)}}{P_{f,m}^{(k)}} = \left[\begin{array}{l} P_{t,m}^{(k)} = p(\mu_1) \cdot D_{1,m}^{(k)} + p(\mu_2) \cdot D_{2,m}^{(k)} \\ P_{f,m}^{(k)} = p(\mu_1) \cdot \alpha_m^{(k)} + p(\mu_2) \cdot \beta_m^{(k)} \\ p(\mu_1) = \frac{n_1}{n_1 + n_2}; p(\mu_2) = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \\ \alpha_m^{(k)} = 1 - D_{1,m}^{(k)}; D_{2,m}^{(k)} = 1 - \beta_m^{(k)} \end{array} \right] =$$

$$= \frac{[n_2 - n_1 + 2 \cdot (n_1 \cdot D_{1,m}^{(k)} - n_2 \cdot \beta_m^{(k)})]}{n_1 + n_2} \cdot \log_2 \left(\frac{n_2 + (n_1 \cdot D_{1,m}^{(k)} - n_2 \cdot \beta_m^{(k)})}{n_1 - (n_1 \cdot D_{1,m}^{(k)} - n_2 \cdot \beta_m^{(k)})} \right), \quad (9)$$

де $D_{1,m}^{(k)}$ – перша достовірність, обчислена для m -го кластера на k -му кроці оптимізації параметрів СППР; $D_{2,m}^{(k)}$ – друга достовірність; $\alpha_m^{(k)}$ – помилка першого роду; $\beta_m^{(k)}$ – помилка другого роду; n_1, n_2 – кількість реалізацій, що розмежовуються гіперповерхнею контейнера кластера X_m^0 .

Нормовану модифікацію критерію (9) представимо у вигляді

$$\hat{E}_m^{(k)} = \frac{E_m^{(k)}}{E_{\max}}, \quad (10)$$

де $E_{\max}$ – значення критерію при $D_{1,m} = 1$ і $\beta_m = 0$.

При цьому робоча область визначення функції інформаційного КФЕ обмежена як умовами (2), так і нерівностями $D_1 \geq 0,5$ і $D_2 \geq 0,5$.

Оптимізацію СКД на ознаки розпізнавання доцільно здійснювати за паралельно-последовним алгоритмом, що забезпечує прийнятну оперативність та високу точність обчислення КФЕ. При цьому за алгоритмом паралельної оптимізації СКД визначаються квазіоп-

тимальні контрольні допуски на ознаки розпізнавання, які для послідовного алгоритму приймаються як стартові.

Розглянемо основні етапи реалізації алгоритму навчання з оптимізацією СКД на ознаки розпізнавання:

1. Реалізується процедура паралельної оптимізації системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання [5]:

$$\delta^* = \arg \max_{G_\delta} \{ \max_{G_E} \bar{E} \}, \quad (11)$$

де $\bar{E}$ – усереднений КФЕ для розбиття $\mathfrak{R}^{[M]}$; G_δ – область допустимих значень контрольних допусків на ознаки розпізнавання; G_E – область допустимих значень інформаційного КФЕ.

2. Одержані за процедурою (11) квазіоптимальні допуски приймаються як стартові для процедури послідовної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

3. Реалізується ітераційна процедура послідовної оптимізації поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання:

$$\{\delta_{K,i}^*\} = \arg \{ \bigotimes_{s=1}^S \max_{G_{\delta_i}} \{ \max_{G_E} \bar{E}^{(s)} \} \}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (12)$$

де $\bar{E}^{(s)}$ – усереднений КФЕ кластеризації, обчислений на s -му прогоні послідовної процедури оптимізації; G_{δ_i} – область допустимих значень поля контрольних допусків для i -ї ознаки; G_E – область допустимих значень критерію оптимізації; $\bigotimes$ – символ операції повторення.

4. При оптимальному полі СКД на ознаки $\{\delta_{K,i}^* \mid i = \overline{1, N}\}$ здійснюється запуск процедури гіпереліпсоїдної корекції вирішальних правил.

Перевагу застосування процедури гіпереліпсоїдної корекції вирішальних правил у порівнянні з гіперсферичними вирішальними правилами ілюструє рис. 1.

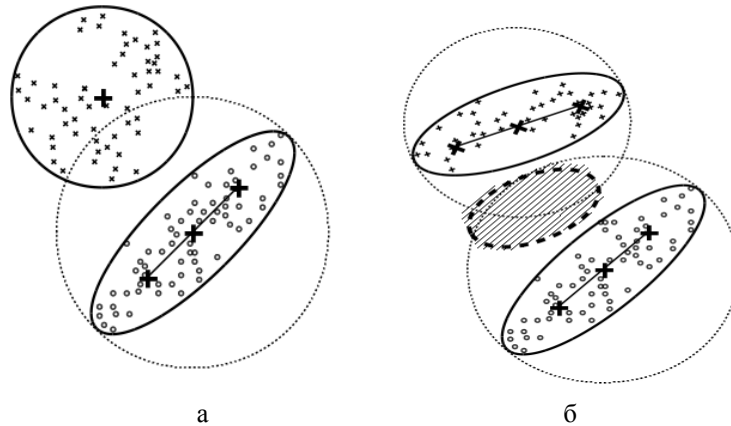


Рис. 1. Схеми застосування гіпереліпсоїдних і гіпереліпсоїдних контейнерів кластерів: а – підвищення КФЕ кластеризації; б – виявлення нового класу для донавчання

На рис.1,а показано, що застосування гіпереліпсоїдної корекції вирішального правила дозволяє через відсутність перетину кластерів підвищити КФЕ і відповідно достовірність розпізнавання, а на рис.1,б показано, що гіпереліпсоїдна корекція форми контейнерів підвищує ефективність виявлення нових функціональних станів у вигляді нового класу розпізнавання.

Розглянемо основні етапи реалізації алгоритму гіпереліпсоїдної корекції вирішальних правил, що відновлюються в бінарному просторі ознак розпізнавання:

1. Ініціалізація лічильника, що визначає поточний номер класу: $m := 0$.

2. $m := m + 1$.

3. Обнулення лічильника кроків зміни фокального радіусу: $c_m = 0$.
4. Формування для еталонного вектора x_m множини $\{x_m^{(v)} \mid v = \overline{1, N}\}$, що складається з N оточуючих його двійкових векторів з кодовою відстанню $d(x_m \oplus x_m^{(v)}) = c_m$, шляхом послідовних N зсувів вліво на один розряд операції інверсії над послідовно розміщеними c_m розрядами в еталонному векторі x_m .
5. Розбиття множини векторів $\{x_m^{(v)} \mid v = \overline{1, V}\}$ на p пар фокусів $\{X_{m,p}^{[2]} \mid p = \overline{1, P}\}$. При цьому для кожної пари $X_{m,p}^{[2]} = \langle x_{m1}^{(p)}, x_{m2}^{(p)} \rangle$ повинна виконуватись умова $d(x_{m1}^{(p)} \oplus x_{m2}^{(p)}) = 2c_m$.
6. Обнулення лічильника пар фокусів $p = \overline{1, P}$: $p := 0$.
7. $p := p + 1$.
8. Ініціалізація фокусів координатами пари векторів $\langle x_{m1}^{(p)}, x_{m2}^{(p)} \rangle$.
9. Обчислення інформаційного КФЕ E_m за формолою (10).
10. Якщо $p < P$, то виконується пункт 7, інакше – пункт 11.
11. Визначення оптимальної пари фокусів контейнера класу X_m^0 :
$$\langle x_{m1}, x_{m2} \rangle^* = \arg \max_{\{p\}} E_m^*(\langle x_{m1}^{(p)}, x_{m2}^{(p)} \rangle).$$
12. $c_m := c_m + 1$.
13. Якщо $c_m < d_m$ та $c_m \leq N/2$, то виконується пункт 4, інакше – пункт 14.
14. Визначення оптимального значення фокальної відстані: $c_m^* = \arg \max_{\{c_m\}} E_m^*$.
15. Якщо $m < M$, то виконується пункт 2, інакше – пункт 16.
16. ЗУПИН.

Оптимізація вибору кількості кластерів розбиття M , базового кластера $X_B^0 \in \{X_m^0 \mid m = \overline{1, M}\}$ та мінімальної кількості векторів-реалізацій в кластері $(40 \leq n_{\min} \leq n/M)$ здійснюється шляхом пошуку глобального максимуму КФЕ в робочій області визначення його функції. При збільшенні з певним кроком $n_{\min}$ на етапі паралельної оптимізації СКД може бути відсутня робоча область КФЕ. В такому разі як квазіоптимальний вектор СКД для алгоритму послідовної оптимізації СКД можна використати вектор СКД з попереднього кроку за умови вибору того самого базового кластера. Вибір значення $n_{\min}$ впливає на ступінь узагальнення вхідних даних їх розбиттям лінійною структурою кластерів і на кількість некластеризованих даних. Одночасна оптимізація M та $n_{\min}$ здійснює оптимальне розбиття на кластери з однаковим ступенем узагальнення даних.

Таким чином, алгоритм самонавчання інформаційно-екстремальної СППР полягає в ітераційній процедурі наближення глобального максимуму інформаційного КФЕ (10) до його граничного значення шляхом оптимізації параметрів функціонування СППР.

3. Приклад реалізації здатної самонавчатися системи підтримки прийняття рішень

Запропоновані алгоритми реалізовано у вигляді інтелектуальної СППР, що є складовою частиною АСК процесом вирощування великогабаритних сцинтиляційних монокристалів за модифікованим методом Чохральського на установці типу «РОСТ 5», яка експлуатується в науково-технічному комплексі “Інститут монокристалів” (м. Харків, Україна) [8].

Технологічний цикл вирощування поділений на інтервали аналізу даних, для кожного з яких проводиться окреме самонавчання СППР. У прикладі розглянемо самонавчання

СППР на часовому інтервалі від моменту досягнення довжини кристала 25 см і до моменту досягнення довжини 40 см із завданням стабілізації діаметра монокристала, який дорівнює 55 см.

Обсяг неклаसифікованої навчальної матриці складає $n = 450$, а розмірність структурованих векторів-реалізацій, що визначає кількість ознак розпізнавання, становить $N = 30$. При цьому 15 первинних ознак характеризують різні параметри теплових умов вирощування і стану локальних регуляторів, а як вторинні ознаки використовуються різниці першого та другого порядків над послідовностями найбільш інформативних трендів основних ознак.

Для найбільш достовірної оцінки ефективності розробленого методу кластеризації та обґрунтованості отриманих структур кластерів використовується зовнішня валідація результату кластеризації за статистикою Ренда, суть якої полягає в порівнянні результату кластеризації з ручним розбиттям даних на класи [4,9]. Експертна апріорна класифікація навчальної вибірки з архівних даних вирощування монокристалів здійснювалась за оцінками лабораторного контролю оптичних характеристик (рентгено-дефектоскопія), за вимірами відхилень діаметра монокристала від норми та за даними історії аварійних ситуацій. У результаті вхідну некласифіковану матрицю було розбито на п'ять класів по 90 векторів-реалізацій в кожному. Ці класи характеризували якість монокристалу і відповідні функціональні стани АСК.

Вибір оптимальної кількості кластерів для алгоритму кластеризації здійснювався за максимумом усередненого КФЕ, а зовнішня валідація такого вибору здійснювалась за максимумом індексу Ренда, що показано на рис.2. Заштрихована ділянка графіка (тут і далі) позначає робочу область визначення інформаційного КФЕ.

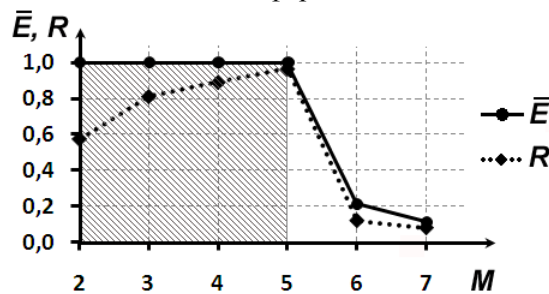


Рис. 2. Графік залежності усередненого нормованого інформаційного КФЕ та індексу Ренда від заданої кількості кластерів розбиття

Аналіз рис. 2 показує, що алгоритм ефективно вирішує задачу визначення кількості кластерів. При цьому за оптимальну кількість кластерів обирається максимальне їх число, що забезпечує максимум КФЕ навчання, тобто $M = 5$.

Вибір оптимального значення $n_{\min}$ мінімальної кількості векторів-реалізацій в кластері здійснюється за максимумом усередненого КФЕ (3), а зовнішня валідація результату кластеризації для кожного значення $n_{\min}$ здійснюється за максимумом індексу Ренда. Залежність КФЕ від параметра $n_{\min}$ при кількості кластерів $M = 5$ показано на рис.3.

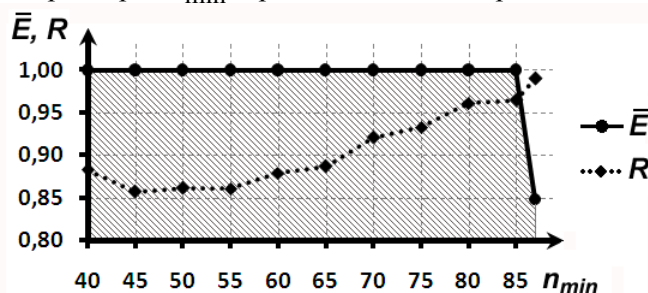


Рис.3. Графік залежності усередненого нормованого КФЕ та індексу Ренда від значення мінімальної кількості векторів-реалізацій в кластері при гіперсферичних вирішальних правилах для кількості кластерів $M = 5$

Аналіз рис. 3 показує, що при $n_{\min} = 87$ критерій валідації Ренда досягає свого максимуму, проте гіперсферичні вирішальні правила не забезпечують побудову чіткого розбиття простору ознак на кластери. Тому для прийняття $n_{\min} = 87$ за оптимальне значення необхідно здійснити гіпереліпсоїдну корекцію вирішального правила з метою отримання безпомилкового класифікатора.

Процес оптимального вибору базового кластера розглянемо при $n_{\min} = 80$. Гістограму залежності усередненого нормованого інформаційного КФЕ при паралельній оптимізації СКД за гіперсферичними вирішальними правилами показано на рис.4.

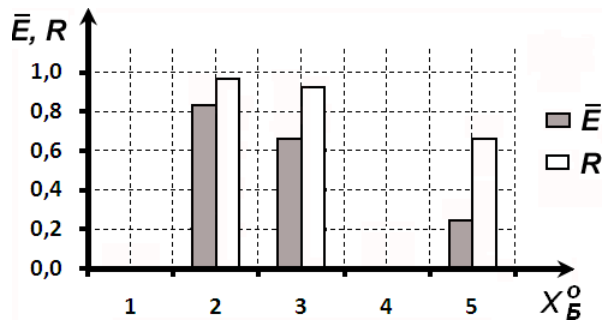


Рис.4. Гістограма залежності усередненого нормованого КФЕ та індексу Ренда від вибору базового кластера X_B^0 при $M = 5$ і гіперсферичних вирішальних правилах

Аналіз рис. 4 показує, що оптимальним є вибір $X_B^0 \leftrightarrow X_2^0$. Процес паралельної та послідовної оптимізації СКД при $M = 5$, $X_B^0 \leftrightarrow X_2^0$ і $n_{\min} = 80$ показано на рис. 5.

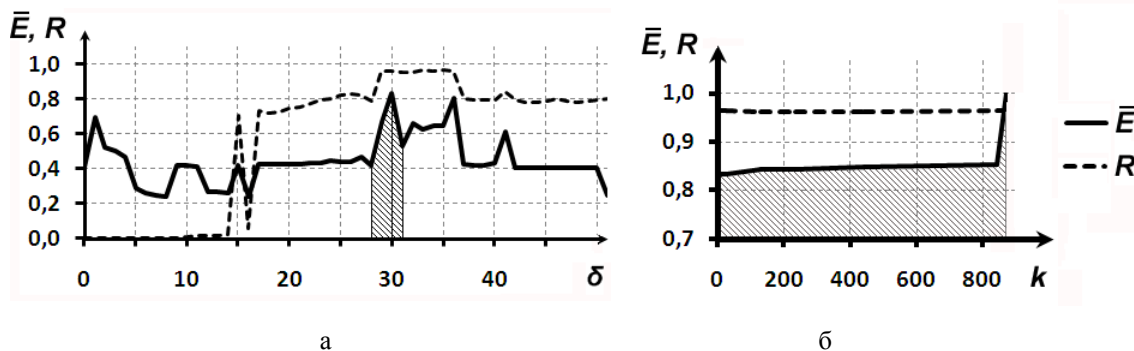


Рис. 5. Графіки залежності КФЕ та індексу Ренда від зміни параметра δ при $M = 5$, $n_{\min} = 80$ і $X_B^0 \leftrightarrow X_2^0$: а – паралельна оптимізація СКД; б – послідовна оптимізація СКД

Аналіз рис. 5,а показує, що на етапі паралельної оптимізації СКД було отримано квазіоптимальне значення $\delta_i = 30$, при якому КФЕ приймає максимальне значення $\bar{E}^* = 0,833$. Аналіз рис. 5,б показує, що алгоритму послідовної оптимізації СКД, який стартує при $\delta_i = 30$, на ітерації $k = 863$ вдалося побудувати безпомилкові вирішальні правила.

При подальшому збільшенні $n_{\min}$ на етапі паралельної оптимізації СКД відсутня робоча область, тому як стартове значення СКД для алгоритму послідовної оптимізації використано $\delta_i = 30$. Динаміку зміни інформаційного КФЕ та індексу Ренда в процесі послідовної оптимізації при $n_{\min} = 85$ і $n_{\min} = 87$ показано на рис.6.

Аналіз рис. 6 показує, що при $M = 5$, $X_B^0 \leftrightarrow X_2^0$ для $n_{\min} = 85$ вдалося побудувати безпомилкові гіперсферичні вирішальні правила, а для $n_{\min} = 87$ – не вдалося, але індекс Ренда майже досягає свого максимального значення і дорівнює $R = 0,99$. При цьому процес послідовної оптимізації і знаходження глобального максимуму інформаційного КФЕ складався відповідно з 245 і 611 ітерацій, що є порівняно високою оперативністю.

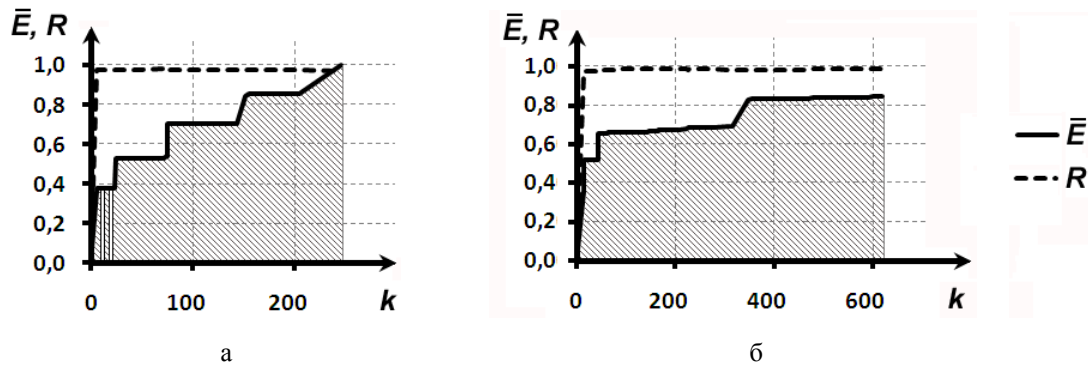


Рис. 6. Графіки зміни інформаційного КФЕ та індексу Ренда в процесі послідовної оптимізації СКД

при $M = 5$, $X_B^0 \leftrightarrow X_2^0$: а – $n_{\min} = 85$; б – $n_{\min} = 87$

Для підвищення ефективності вирішальних правил було реалізовано процес гіпереліпсоїдної корекції вирішальних правил. На рис.7 показано процес оптимізації фокальної відстані контейнера кожного класу з обмеженнями $c_m < d_m$ і $c_m \leq N/2$.

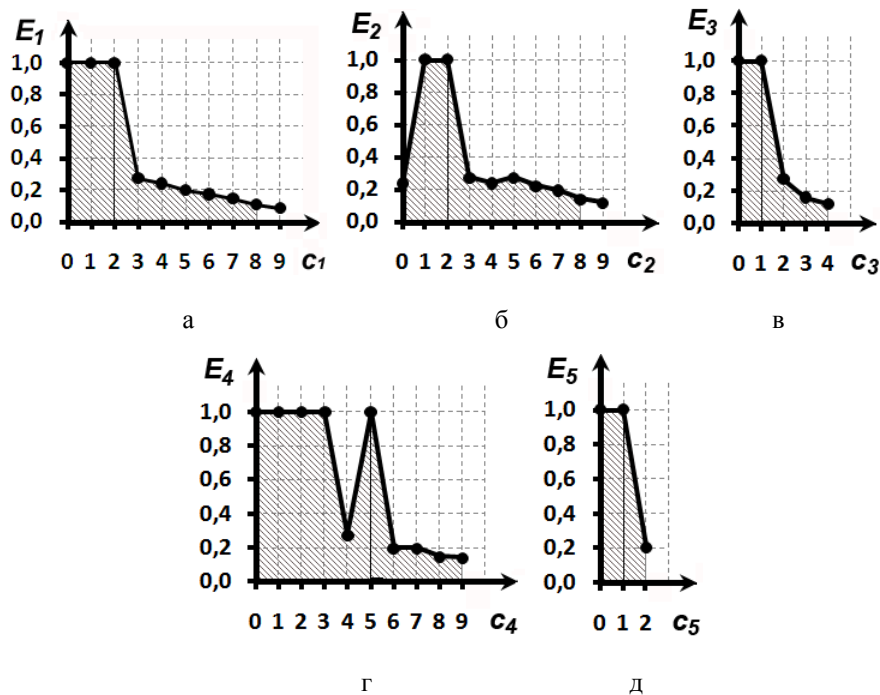


Рис. 7. Графіки залежності інформаційного КФЕ для кожного кластера від фокальної відстані його контейнера при $M = 5$, $X_B^0 \leftrightarrow X_2^0$, $n_{\min} = 87$: а – клас X_1^0 ; б – клас X_2^0 ; в – клас X_3^0 ; г – клас X_4^0 ; д – клас X_5^0

Аналіз рис.7 показує, що оптимальні фокальні відстані для контейнерів кластерів відповідно дорівнюють $c_1^* = 2$, $c_2^* = 2$, $c_3^* = 2$, $c_4^* = 2$, $c_5^* = 2$. При цьому в результаті гіпереліпсоїдної корекції контейнера кластера X_2^0 вдалося отримати безпомилкові вирішальні правила і високий показник зовнішньої валідації результату кластеризації. Процес оптимального вибору пар фокусів для контейнера кластера X_2^0 при оптимальній фокальній відстані $c_2^* = 2$ при $M = 5$, $X_B^0 \leftrightarrow X_2^0$, $n_{\min} = 87$ показано на рис. 8.

Аналіз рис.8 показує, що для знаходження оптимальної пари фокусів на фокальній відстані $c_2^* = 2$ контейнера кластера X_2^0 алгоритму гіпереліпсоїдної корекції довелося перебрати 122 пари фокусів.

Таким чином, в результаті кластеризації даних за інформаційно-екстремальним алгоритмом вдалося побудувати чітке розбиття простору ознак на кластери, практично ідентичне

розбиттю, побудованому в бінарному просторі ознак розпізнавання за апіорно класифікованою навчальною матрицею, що містить аналогічні реалізації кластерів.

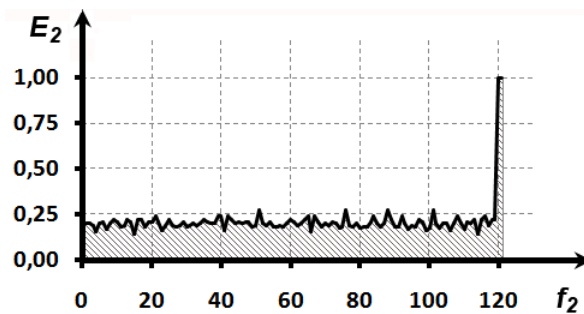


Рис. 8. Графік залежності нормованого інформаційного КФЕ для кластера X_2^0 від вибору пар фокусів контейнера на оптимальній фокусній відстані

Висновки

Запропонований алгоритм інформаційно-екстремального самонавчання СППР, що функціонує в режимі кластер-аналізу, дозволив, використовуючи модифікацію методу k -середніх для бінарного простору ознак розпізнавання, здійснити кластеризацію вхідних даних і побудувати чітке розбиття простору ознак розпізнавання на кластери. Фізичне моделювання за даними архівної історії вирощування скінтіляційних монокристалів показало, що використання розроблених алгоритмів для оптимізації параметрів навчання СППР, яка є складовою частиною АСК процесу вирощування великогабаритних скінтіляційних монокристалів з розплаву, забезпечило високу ступінь збіжності розбиття вхідних даних, побудованого за апіорно класифікованою навчальною матрицею, з розбиттям, побудованим в процесі інформаційно-екстремальної кластеризації.

Список літератури: 1. Симаков В.С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов / В. С. Симаков, Е. В. Луценко. Краснодар: техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та. 1999. 318 с. 2. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень: Навч. посіб. / В. Ф. Ситник. К.: КНЕУ, 2004. 614 с. 3. Турбович И. Т. Опознавание образов. Детерминированно-статистический подход / И. Т. Турбович, В. Г. Гитис, В. К. Маслов. М.: Наука, 1971. 246 с. 4. Xu R., Wunsch II D.C. (2009) Clustering, Wiley and Sons. 5. Довбиш А. С. Основи проектування інтелектуальних систем: Навч. посібник / А. С. Довбиш. Суми: Видавництво Сум ДУ. 2009. 171 с. 6. Москаленко В.В. Інформаційно-екстремальне навчання системи підтримки прийняття рішень з адаптивною кластеризацією даних / В.В. Москаленко // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. 2012. №3. С.80-95. 7. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизация автоматизированных систем контроля и управления / И.В. Кузьмин. М.: Сов. радио, 1971. 296 с. 8. Суздаль В.С. Скінтіляційні монокристали: автоматизированное выращивание / В.С. Суздаль, П.Е. Стадник, Л.И. Герасимчук, Ю.М. Епифанов. Х. : ИСМА, 2009. 260 с. 9. Maria Halkidi, Yannis Batistakis, Michalis Vazirgiannis, "On Clustering Validation Techniques", Journal of Intelligent Information Systems, Volume 17 Issue 2-3, December 2001. P. 107–145.

Надійшла до редколегії 19.09.2012

Москаленко В'ячеслав Васильович, аспірант кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету. Наукові інтереси: інтелектуальні системи керування технологічними процесами. Адреса: Україна, 40035, Суми, вул. Н.-Сироватська, 66, кв. 84, м.т. +380664291318, e-mail: systemscoders@gmail.com.

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ

Рассматривается модифицированная технология формирования электронных документов на основании документов-шаблонов. Как развитие данного подхода предлагается модель перехода между различными моделями представления такой структуры, что позволяет формировать выходные документы в формате произвольных процедурных и описательных языков разметки на основании документов-шаблонов, представленных описательным языком разметки.

1. Актуальность исследования

Актуальность темы обусловлена в первую очередь стремительным развитием web-базированных информационных систем, а также многообразием существующих форматов электронных документов (ЭД), которые используются при работе с такими системами. Быстрота разработки и постоянного развития систем такого класса требует постоянного вовлечения заказчика в процесс их развития в целом и формирования документов-шаблонов для их использования в рамках систем. Сложность процесса вовлечения заказчика обусловлена тем, что формат документов-шаблонов в существующих технологиях формирования ЭД является специфическим и требует специальных знаний для формирования их структуры, а также ограниченным набором используемых форматов. Применение произвольного языка разметки выходного документа позволяет на этапе проектирования максимально вовлечь заказчика, а также расширить спектр устройств, при помощи которых осуществляется доступ к web-базированным информационным системам, и использовать для просмотра ЭД то программное обеспечение, которое установлено.

2. Постановка задачи и цель

Предложенная в [1] модифицированная технология формирования ЭД предполагает их создание на основании документов-шаблонов, форматом которых является произвольный описательный язык разметки (ОЯР). В связи с этим для представления структуры документа-шаблона в [2] разработана унифицированная модель, которая не зависит от ОЯР, используемого в качестве формата документа-шаблона. Такая модель позволяет формально представить структуру документа-шаблона и разработать методы ее преобразования. Форматом выходных документов могут быть произвольные языки разметки описательного и процедурного типов. При этом для формирования выходного документа в формате произвольного ОЯР используется измененная структура документа-шаблона, представленная унифицированной моделью. Однако такая модель не позволяет формировать выходные документы в формате произвольного процедурного языка разметки (ПЯР). Это связано с отличиями между процедурными и описательными языками разметки. Для реализации задачи формирования выходных документов в формате произвольного ПЯР разработана модель представления структур ЭД с абсолютным позиционированием элементов, рассмотренная в [3]. Измененная структура документа-шаблона, представленная такой моделью, используется для формирования выходных документов в формате произвольного ПЯР.

Для решения поставленной задачи процесс формирования выходного документа в модифицированной технологии представляется последовательностью преобразования моделей представления структуры документа-шаблона. Изначально документ-шаблон представлен моделью, которая соответствует ОЯР, являющегося его форматом, а затем структура документа-шаблона представляется унифицированной моделью. После преобразования такой структуры возможны два варианта. Первый вариант предполагает получение модели структуры модифицированного документа-шаблона, соответствующей ОЯР, в формате которого должен быть сформирован выходной документ. Во втором варианте осуществля-

ется переход к структуре модифицированного документа-шаблона, которая представлена моделью с абсолютным позиционированием документов, что позволяет получить модель представления структуры документа-шаблона, соответствующей ПЯР, в формате которого должен быть сформирован выходной документ. Целью данного исследования является разработка модели перехода между различными моделями представления структур ЭД, для достижения которой необходимо решить задачу построения такой модели, а также описать процесс перехода между моделями представления ЭД в модифицированной технологии.

3. Модель перехода между различными моделями представления структур ЭД

Представим обобщенную модель структуры электронного документа C_{DM} в следующем виде:

$$C_{DM} = (Ob_{DM}, \Phi_{DM}), \quad (1)$$

где Ob_{DM} – объекты, представленные моделями; Φ_{DM} – отображения между объектами.

В модифицированной технологии формирования ЭД используются следующие модели представления структур ЭД:

- модели представления структур ЭД, форматом которых является произвольный ОЯР;
- унифицированная модель M_1 представления структуры ЭД, не зависящая от ОЯР, который является его форматом;
- модель M_p представления структуры ЭД с абсолютным позиционированием элементов, не зависящая от ПЯР, который является его форматом;
- модели представления структур ЭД, форматом которых является произвольный ПЯР.

Модели M_1 и M_p подробно рассмотрены в [1] и [3] соответственно. Опишем модели представления структур ЭД, форматом которых являются произвольные ОЯР Descriptive Markup Language (DML) и ПЯР.

Тогда модель представления структуры ЭД в сигнатуре модели M_a , форматом которого является язык DML, опишем следующим образом:

$$M_{DML} = \langle \overline{O_{DML}}, \overline{\Phi_{DML}} \rangle, \quad (2)$$

где M_{DML} – модель представления структуры ЭД, форматом которого является язык DML; $\overline{O_{DML}}$ – множество объектов, составляющих структуру ЭД, представленного моделью M_{DML} ; $\overline{\Phi_{DML}}$ – множество отображений между объектами множества $\overline{O_{DML}}$.

Определим множества $\overline{O_{DML}}$ и $\overline{\Phi_{DML}}$ на основании спецификации языка разметки DML и представим следующим образом:

$$\begin{aligned} \overline{O_{DML}} &= \langle \overline{O_{DML_1}}, \overline{O_{DML_2}}, \dots, \overline{O_{DML_a}}, \dots, \overline{O_{DML_n}} \rangle, a = \overline{1, n}; \\ \overline{\Phi_{DML}} &= \langle \overline{\Phi_{DML_1}}, \overline{\Phi_{DML_2}}, \dots, \overline{\Phi_{DML_b}}, \dots, \overline{\Phi_{DML_m}} \rangle, b = \overline{1, m}; \end{aligned} \quad (3)$$

здесь $\overline{O_{DML_a}}$ – множество объектов типа «а», каждый из элементов множества $\overline{O_{DML_a}}$ представляет собой некоторый объект структуры ЭД, форматом которого является язык DML; n – количество типов элементов в спецификации языка DML; $\overline{\Phi_{DML_b}}$ – множество отображений типа "b", относящихся к паре объектов множества $\overline{O_{DML}}$; m – количество типов отображений между парами объектов множества $\overline{O_{DML}}$ в спецификации языка DML.

Соответственно обозначим некоторый ПЯР Procedural Markup Language (PML). Тогда модель представления структуры ЭД в сигнатуре модели M_a , форматом которого является язык PML, опишем следующим образом:

$$M_{PML} = \langle \overline{O_{PML}}, \overline{\Phi_{PML}} \rangle, \quad (4)$$

где M_{PML} – модель представления структуры ЭД, форматом которого является язык PML; $\overline{O_{PML}}$ – множество объектов, составляющих структуру ЭД, представленного моделью M_{PML} ; $\overline{\Phi_{PML}}$ – множество отображений между объектами множества $\overline{O_{PML}}$.

Определим множества $\overline{O_{PML}}$ и $\overline{\Phi_{PML}}$ на основании спецификации языка разметки DML и представим следующим образом:

$$\begin{aligned} \overline{O_{PML}} &= \langle \overline{O_{PML_1}}, \overline{O_{PML_2}}, \dots, \overline{O_{PML_k}}, \dots, \overline{O_{PML_q}} \rangle, k = \overline{1, q}; \\ \overline{\Phi_{PML}} &= \langle \overline{\Phi_{PML_1}}, \overline{\Phi_{PML_2}}, \dots, \overline{\Phi_{PML_l}}, \dots, \overline{\Phi_{PML_r}} \rangle, l = \overline{1, r}; \end{aligned} \quad (5)$$

здесь $\overline{O_{PML_k}}$ – множество объектов типа "k", определяющих модель представления структуры M_{PML} ; q – количество типов элементов в спецификации языка PML; $\overline{\Phi_{PML_l}}$ – множество отображений типа "l", относящиеся к паре объектов множества $\overline{O_{PML}}$; r – количество типов отображений между парами типами объектов множества $\overline{O_{PML}}$ в спецификации языка PML.

Определим множество объектов Ob_{DM} модели C_{DM} (1) более подробно следующим образом, учитывая, что документ-шаблон может быть представлен произвольным ОЯР, а выходной документ – произвольным ПЯР или ОЯР в модифицированной технологии формирования ЭД:

$$Ob_{DM} = \langle \{M_{DML_i}\}, M_1, M_p, \{M_{PML_j}\} \rangle, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (6)$$

где $\{M_{DML_i}\}$ – модели представления структур ЭД, форматом которого является произвольный ОЯР; M_1 – унифицированная модель представления ЭД; M_p – модель представления структуры ЭД с абсолютным позиционированием элементов; $\{M_{PML_j}\}$ – модели представления структур ЭД, форматом которого является произвольный ПЯР.

Пусть ОЯР DML' – формат документа-шаблона, структура которого представлена моделью $M_{DML'}$. Предположим, что выходной документ необходимо сформировать в двух форматах ПЯР PML' и ОЯР DML'' , структуры которых представлены моделями $M_{PML'}$ и $M_{DML''}$ соответственно. Тогда в рамках модифицированной технологии формирования ЭД для создания выходного документа в формате DML'' на основании документа-шаблона, форматом которого является DML' , необходимо последовательное преобразование модели $M_{DML'}$ в унифицированную модель M_1 , а затем M_1 – в модель $M_{DML''}$. В случае формирования выходного документа в формате $M_{PML'}$, помимо преобразования $M_{DML'}$ в M_1 , необходимо преобразование M_1 в модель M_p представления структуры ЭД с абсолютным позиционированием элементов, а затем M_p в модель $M_{PML'}$. Исходя из сказанного выше, необходимо сформировать функциональную взаимосвязь между описанными моделями. Определим следующие функциональные отображения:

- множество отображений $\{f_{DP_i}\}$ между множеством моделей $\{M_{DML_i}\}$ и моделью M_1 – (DP – Document Pattern);
- отображения f_{LM} между моделями M_1 и M_p – (LM – Layout Model);
- множество отображений $\{f_{ODD_i}\}$ между моделью M_1 и множеством моделей $\{M_{DML_i}\}$ – (ODD – Output Document Descriptive);
- множество отображений $\{f_{ODP_i}\}$ между моделью M_p и множеством моделей $\{M_{PML_i}\}$ – (ODP – Output Document Procedural).

Рассмотрим указанные функциональные отображения более подробно. Благодаря множеству отображений $\{f_{DP_i}\}$ в рамках модифицированной технологии формирования ЭД существует возможность перейти от некоторой модели $M_{DML'}$ представления структуры документа-шаблона, которая зависит от языка разметки, являющегося его форматом, к унифицированной модели M_1 , не зависящей от ОЯР исходного документа-шаблона. Покажем функциональную связь между моделями $M_{DML'}$ и M_1 . В [1] подробно рассмотрены объекты, которые составляют иерархическую структуру ЭД в рамках модели M_1 . Среди таких объектов отметим следующие: E_d – объект, представляющий документ в целом; E_s – объект, представляющий секции документа; E_l – логический объект; E_{pc} – контейнер физических объектов; E_p – физический объект. Основным структурным элементом модели M_1 является логический объект E_l , который может соответствовать любому структурному элементу, образующему иерархическую структуру в рамках модели $M_{DML'}$. Стиль (контейнер свойств) S объекта E_l позволяет конкретизировать тип объекта в рамках модели $M_{DML'}$, например, параграф, таблица, ячейка таблицы и т.д. В свою очередь физический объект E_p также может иметь несколько прототипов в рамках модели $M_{DML'}$, например, текст, рисунок и т.д. Все необходимые свойства объекта E_p содержатся в стиле S контейнера физических объектов E_{pc} . В [1] определены отображения между описанными объектами. Для описания отображений между моделями $M_{DML'}$ и M_1 важны следующие отображения: отображение $\Phi_{E_s}^{E_d}$, которое определяет, что секция E_s является частью документа E_d ; отображение $\Phi_{E_l}^{E_s}$, которое показывает, что объект E_l является дочерним элементом относительно объекта E_s ; отображение $\Phi_{E_{pc}}^{E_l}$, которое показывает, что объект E_{pc} является дочерним элементом относительно объекта E_l ; отображение $\Phi_{E_p}^{E_{pc}}$ определяет, что физический объект E_p является дочерним элементом относительно объекта E_{pc} ; отображения $\Phi_S^{E_l}$ и $\Phi_S^{E_{pc}}$, которые показывают, что стиль S принадлежит логическому объекту E_l или контейнеру физических объектов E_{pc} соответственно.

Объектами модели $M_{DML'}$ являются: DO'_{DML} – объект, который соответствует документу в целом; SO'_{DML} – объект, который соответствует секции документа; LO'_{DML} , LO''_{DML} – структурные объекты в рамках модели $M_{DML'}$; PO'_{DML} , PO''_{DML} – физические объекты в рамках модели $M_{DML'}$. Между указанными выше объектами модели $M_{DML'}$

выделим следующие отображения: $\Phi_{SO'_{DML}}^{DO'_{DML}}$ – отображение между объектами DO'_{DML} и

SO'_{DML} , которое определяет принадлежность секций к документу; $\Phi_{LO'_{DML}}^{SO'_{DML}}$, $\Phi_{LO''_{DML}}^{SO'_{DML}}$ –

отображения между объектами SO'_{DML} и LO'_{DML} , LO''_{DML} , которые определяют принадлежность структурных объектов к секции, определяя тем самым иерархическую структуру

секции ЭД; $\Phi_{PO'_{DML}}^{LO'_{DML}}$, $\Phi_{PO''_{DML}}^{LO''_{DML}}$ – отображения между структурными объектами LO'_{DML} , LO''_{DML} и физическими PO'_{DML} , PO''_{DML} , которые определяют порядок следования физических объектов в иерархической структуре ЭД. Отразим функциональную связь между объектами и отображениями моделей $M_{DML'}$ и M_1 посредством отображения f'_{DP} , принадлежащего множеству $\{f_{DP_i}\}: M_{DML'}$ (рис.1).

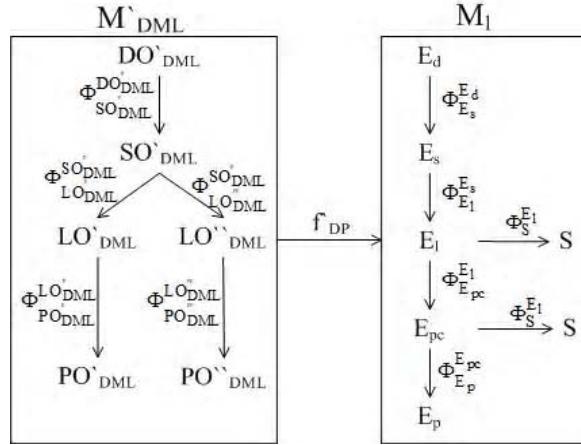


Рис. 1 Функциональная связь между моделями M_1 и $M_{DML'}$

Определим отображение f'_{DP} следующим образом:

$$f'_{DP} : M_{DML'} \rightarrow M_1, \quad (7)$$

Отображение f'_{DP} устанавливает следующие функциональные связи между объектами и отображениями моделей M_1 и $M_{DML'}$: объекту E_d соответствует DO'_{DML} ; объекту E_s соответствует SO'_{DML} ; отображению $\Phi_{E_s}^{E_d}$ соответствует $\Phi_{SO'_{DML}}^{DO'_{DML}}$; объекту E_l в совокупности со своим стилем S и отображением $\Phi_S^{E_l}$ соответствуют объекты LO'_{DML} и LO''_{DML} ; объекту E_{pc} в совокупности со своим стилем S и отображением $\Phi_S^{E_{pc}}$, а также дочерним физическим объектом E_p , определяемому на основании отображения $\Phi_{E_p}^{E_{pc}}$, соответствуют объекты PO'_{DML} и PO''_{DML} ; отображению $\Phi_{E_{pc}}^{E_l}$ соответствуют отображения $\Phi_{PO'_{DML}}^{LO'_{DML}}$, $\Phi_{PO''_{DML}}^{LO''_{DML}}$.

На основании изложенного выше можно утверждать, что любому объекту или отображению модели $M_{DML'}$ соответствует объект или отображение в модели M_1 , что подтверждает функциональную связь между указанными моделями. В общем виде отображение между моделями из множества $\{M_{DML_i}\}$ в модель M_1 может быть представлено как:

$$f_{DP_i} : M_{DML_i} \rightarrow M_1, i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Отображения из множеств $\{f_{ODD_i}\}$ (между моделью M_1 и моделями из множества $\{M_{DML_i}\}$) и $\{f_{ODP_j}\}$ (между моделью M_p и множеством моделей $\{M_{PML_j}\}$) раскрываются по аналогии с отображениями из множества $\{f_{DP_i}\}$ и в общем виде могут быть представлены следующим образом:

$$f_{ODD_i} : M_1 \rightarrow M_{DML_i}, i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

$$f_{ODP_j} : M_p \rightarrow M_{PML_j}, j = \overline{1, m}. \quad (10)$$

Рассмотрим более подробно отображение f_{LM} , которое определяет функциональную связь между моделями M_1 и M_p . Объекты и отображения модели M_p описаны в [3], из которых необходимо выделить следующие: O_d представляет собой объект в целом в рамках модели M_p ; объект O_s представляет собой страницу ЭД; объект область печати O_{pa} является основным логическим элементом структуры ЭД в рамках модели M_p ; физический объект O_p ; отображение $\Phi_{O_s}^{O_d}$ определяет, из каких элементов O_s состоит ЭД документ, представленный O_d ; отображение $\Phi_{O_{pa}}^{O_s}$ определяет, из каких дочерних элементов O_{pa} состоит O_s ; отображение $\Phi_{O_p}^{O_{pa}}$ определяет, из каких дочерних элементов O_p состоит O_{pa} ; отображения $\Phi_S^{O_{pa}}$ и $\Phi_S^{O_p}$ определяют связь между объектами O_{pa} и O_p и их стилями S соответственно.

Отразим функциональную связь между объектами и отображениями моделей M_1 и M_p посредством отображения f_{LM} следующим образом (рис.2).

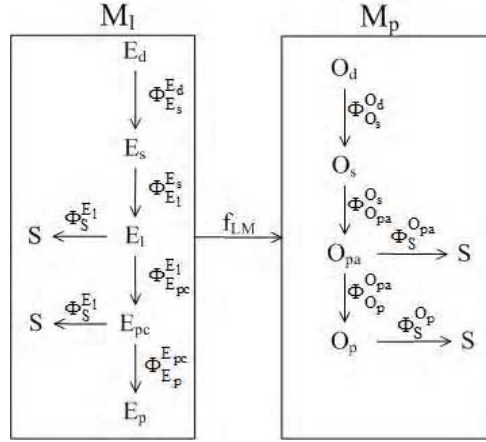


Рис. 2. Функциональная связь между моделями M_1 и M_p

Определим отображение f_{LM} следующим образом:

$$f_{LM} : M_1 \rightarrow M_p. \quad (11)$$

Отображение f_{LM} устанавливает следующие функциональные связи между объектами и отображениями между моделями M_1 и M_p : объекту E_d соответствует O_d ; объекту E_s соответствует O_s ; отображению $\Phi_{E_s}^{E_d}$ соответствует $\Phi_{O_s}^{O_d}$; объекту E_1 в совокупности со своим стилем S и отображением $\Phi_S^{E_1}$ соответствует объект O_{pa} в совокупности со своим стилем S и отображением $\Phi_S^{O_{pa}}$; объекту E_{pc} в совокупности со своим стилем S и отображением $\Phi_S^{E_{pc}}$, а также дочерним физическим объектом E_p , определяемому на основании отображения $\Phi_{E_p}^{E_{pc}}$, соответствует объект O_p в совокупности со своим стилем S и отображением $\Phi_S^{O_p}$.

На основании сказанного выше отображения Φ_{DM} модели C_{DM} можно представить следующим образом:

$$\Phi_{DM} = \langle \{f_{DPi}\}, f_{LM}, \{f_{ODDi}\}, \{f_{ODPi}\} \rangle, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \quad (12)$$

Используя ранее введенные обозначения, отразим переход между моделями представления структур ЭД и модифицированной технологией формирования ЭД на следующей диаграмме (рис.3):

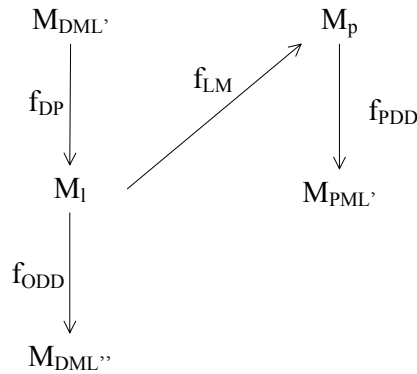


Рис. 3. Диаграмма, отражающая процесс перехода между моделями представления ЭД в модифицированной технологии формирования ЭД

Для перехода от структуры документа-шаблона, форматом которого является ОЯР DML', к выходному документу, форматом которого является ОЯР DML'', необходимо применить композицию отображений:

$$MT_{DML''}^{DML'} = f_{DP} \times f_{ODD} \cdot \quad (13)$$

А для формирования выходного документа в формате ПЯР PML':

$$MT_{PML'}^{DML'} = f_{DP} \times f_{LM} \times f_{PDD} \cdot \quad (14)$$

Таким образом, на основании полученных отображений $MT_{DML''}^{DML'}$ и $MT_{PML'}^{DML'}$ можно представить переход между моделями представления ЭД в модифицированной ИТ формирования ЭД. Такие отображения представляют частный случай формирования ЭД на основании конкретного формата документа-шаблона и заданного формата выходного документа. Однако определенные в модели C_{DM} объекты и морфизмы позволяют сформировать выходной документ в произвольном ОЯР или ПЯР на основании документа-шаблона, форматом которого является произвольный ОЯР.

Научные и практические результаты и выводы

На основании проведенного анализа и исследований разработана модель перехода между различными представлениями структуры электронного документа, которая составляет основу модифицированной технологии и позволяет формировать выходные документы в формате произвольных процедурных и описательных языков разметки на основании документов-шаблонов, представленных ОЯР. Полученная модель перехода позволила реализовать программные модули, соответствующие разработанным моделям представления структур ЭД и методам их преобразования, что в свою очередь дало возможность использовать данные разработки при проектировании web-базируемых информационных систем различного класса.

Список литературы: 1. Чалый С.Ф., Кравченко Д.Л., Моспан Е.А. Разработка модели модифицированной технологии формирования электронных документов на основании шаблонов в WEB-ориентированных информационных системах // Сборник научных трудов Харьковского университета воздушных сил. 2008. Вип. 3 (18). С. 135-138. 2. Левыкин В. М., Моспан Е. А. Разработка унифицированной модели представления структур электронных документов // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. 2010. № 663. С. 39 - 45. 3. Петриченко О. В., Моспан С. О. Разработка модели представления структур электронных документов с абсолютным позиционированием элементов. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2009. № 3(37). С. 92-97.

Поступила в редколлегию 02.09.2012

Петриченко Александр Вячеславович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры ИУС ХНУРЭ. Научные интересы: web-базируемые информационные системы, управление проектами. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-51.

МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Предлагается метод оценивания характеристик последовательного технологического процесса с использованием математического аппарата систем массового обслуживания, который позволяет имитировать выполнение модели производственных процессов с учетом занятости временных ресурсов и наличия необходимого количества материальных ресурсов. Рассматриваются две стоимостные модели массового обслуживания, которые направлены на достижение компромисса между прибылью, получаемой от реализации запланированного к производству объема продукции, и потерями прибыли, обусловленными задержками в производственном процессе и возможными ограничениями на объем производства.

Введение

Технологический менеджмент направлен на решение задачи выбора конкретных видов технологических процессов и обеспечения определенного технологического потенциала, необходимого предприятию для выпуска продукции в настоящее время и на долгосрочную перспективу. Основное содержание стратегии развития производства заключается в установлении интегрированного баланса между используемым оборудованием, рабочей силой и выпускаемой продукцией [1].

При развитии производства возникает вопрос о производственных мощностях, в частности, об определении объемов и типов мощностей, которые необходимо иметь дополнительно или сократить в определенный период. Они могут возникать в ситуации роста, когда продукция пользуется спросом.

Таким образом, к числу основных факторов, обеспечивающих реализацию стратегии развития производства, относят [2]:

- настоящий и будущий баланс производственных мощностей,
- степень использования существующих технологий и оборудования.

При разработке технологического процесса на изготовление нового изделия либо модернизацию существующего необходимо с одной стороны максимально использовать существующий парк оборудования и оснастки, с другой – обеспечить сжатые сроки и снизить стоимость процесса производства. Возникает задача поиска наилучшего решения для различных типов технологического процесса (ТП) изготовления продукции с использованием разного состава оборудования и оснастки и вытекающими из этого различными сроками и расходами на реализацию планов развития.

Таким образом, вопросы разработки методов оценивания временных и стоимостных характеристик технологических процессов с учетом имеющегося оборудования являются *актуальными*, так как позволяют обосновать выбор эффективных вариантов организации производства для принятия решений по планированию развития предприятия.

Постановка задачи

Основной целью данных исследований является разработка метода оценки характеристик последовательного технологического процесса, который позволяет сравнивать варианты производственного процесса с учетом характеристик оборудования на основе анализа временных и стоимостных параметров процесса.

Необходимо представить производственный процесс изготовления изделия набором последовательно связанных моделей отдельных технологических процессов и оценивать такие характеристики как производительность, ритмичность, оснащенность, загрузку, межцеховую и внутрицеховую маршрутизацию. Смоделировав структуру производственного процесса, можно выявить «слабые» места в системе или осознать необходимость введения в нее каких-либо дополнительных элементов. Меняя различные параметры процесса,

можно достигать требуемого соотношения времени производственного цикла и стоимости выпускаемой продукции в различных вариантах ТП.

Упорядоченная последовательность выполнения технологических операций определяет внутрицеховую и межцеховую организацию маршрутизации потока заготовок, деталей, инструментов и т.п., в зависимости от варианта ТП и характера операций. Моделирование производственного процесса позволит выявить «слабые» места в системе и принять решение о необходимости введения в нее каких-либо дополнительных элементов.

Моделирование потоковой составляющей производственного процесса позволит оценить его функционирование по технико-экономическим критериям, таким как объем выпуска, объем незавершенного производства, количество оборудования и т.п. При решении этой задачи эффективно применение теории систем массового обслуживания (СМО) для получения соответствующих характеристик, таких как интенсивность потока заявок, длина очереди, время обслуживания и т.д.

При оценке реализуемости процесса изготовления планируемой продукции на предпроектной стадии использование перечисленной выше информации позволяет определить качественные и количественные характеристики требуемого оборудования и оснастки, с учетом которых производится анализ возможных вариантов ТП и выбор предпочтительного по заданным критериям, таким как затраты, сроки, объемы выпуска и др.

С позиции предпроектного анализа динамики процесса производства необходимо решить две задачи: определить производительность существующей технологической линии и выбрать способ дооснащения существующей линии (расширить «узкие места») для выпуска новых видов продукции. Аппарат СМО может быть использован для построения моделей, позволяющих рассматривать варианты решения сформулированных задач.

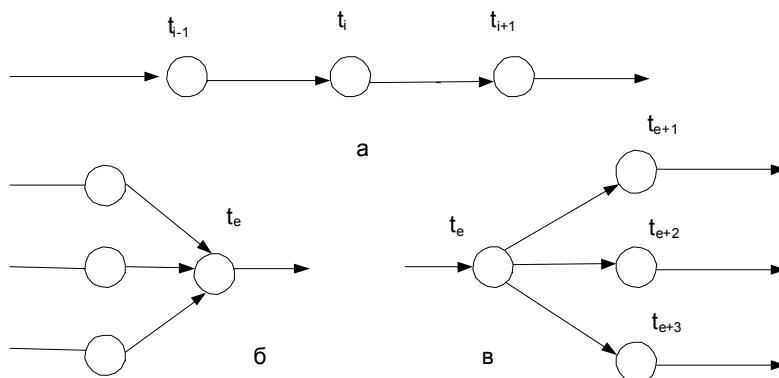
Вторая группа задач связана с управлением и контролем применения технологического оборудования и устройств, которые обеспечивают протекание производственного процесса в требуемом режиме [3]. Для этого необходимо построить модель процессов производства, которая позволяет оценить динамику функционирования на основе выбранных вариантов структур ТП.

Поэтому в данной работе решаются следующие задачи:

1. Определение критерия оценки функциональных параметров вариантов технологических процессов.
2. Анализ характеристик моделей однофазной и многофазной систем массового обслуживания.
3. Определение стоимостных характеристик систем массового обслуживания для оценки вариантов технологических процессов.
4. Разработка метода оценивания характеристик последовательных технологических процессов на основе указанных выше моделей.

Решение задачи

Выбор формата маршрута при производстве изделий частично зависит от структуры производства и частично — от состава операций конкретного ТП [5]. На практике в большинстве случаев встречаются маршрутные ситуации таких типов: последовательная, сборка и разветвленная (рисунок).



Типовые структуры производственных маршрутов

Меняя различные входные параметры процесса, можно сформировать множество вариантов. Выбор варианта, наиболее близкого к планируемым параметрам производства, осуществляется на основе критерия соотношения времени производственного цикла и стоимости выпускаемой продукции.

При моделировании для каждого ТП рассчитываются следующие характеристики:

- среднее время ожидания обработки детали;
- среднее время простоя оборудования;
- максимальная длина очереди (объема продукции незавершенного производства);
- коэффициент использования оборудования;
- среднее время технологической операции;
- максимальное время технологической операции.

Для представления технологического процесса в виде последовательности операций, которые могут выполняться как на одной единице оборудования, так и на нескольких параллельно работающих единицах, интерес представляют характеристики следующих типов СМО:

- однофазная модель одноканальная или многоканальная,
- многофазная одноканальная модель.

Рассмотрим модель однофазной системы массового обслуживания с параллельными узлами.

Проанализируем структуру, в которой параллельно функционирует c узлов (единиц оборудования) [6]. При этом единицы оборудования, используемые параллельно для одной технологической операции, с точки зрения быстрогодействия предполагаются эквивалентными.

На основе этой модели можно определить:

- суммарную производительность блока обслуживания, при которой очередь не превысит заданного значения с различными характеристиками входного потока, определяемого производительностью;
- очередь на имеющемся оборудовании при различных объемах выпускаемой продукции.

Рассмотрим модель типа $(M/D/c):(GD/N/\infty)$. В соответствии с принятыми обозначениями модель характеризует СМО с пуассоновским входным потоком (M), фиксированным временем обслуживания (D) и c параллельно функционирующими узлами обслуживания. Дисциплина очереди не регламентирована (GD). Независимо от того, сколько требований поступает на вход обслуживающей системы, данная система не может вместить более N требований, т.е. заявки, не попавшие в блок ожидания, вынуждены обслуживаться в другом месте (это ограничение на планируемый объем производства). Источник, порождающий заявки на обслуживание, имеет неограниченную емкость (∞), что соответствует отсутствию ограничения на производственные ресурсы.

Будем рассматривать следующие операционные характеристики: p_n – вероятность того, что в процессе обработки находится n изделий; L_s – среднее число обрабатываемых изделий (объемная характеристика производительности); L_q – среднее число изделий на промежуточном складе (объем незавершенного производства); W_s – средняя продолжительность обработки изделия (временная характеристика производительности); W_q – средняя продолжительность пребывания изделия на промежуточном складе (суммарное производственное время).

$$\text{По определению } L_s = \sum_{n=0}^{\infty} n p_n, L_q = \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) p_n.$$

Если частота поступлений в систему заявок на обслуживание равняется λ (плановая производительность – ритм производства), то мы имеем $L_s = \lambda W_s$, $L_q = \lambda W_q$.

Введем параметр $\lambda_{\text{эфф}}$ – эффективная частота поступлений, т.е. количество требований, действительно допущенных в блок ожидания обслуживающей системы, в единицу времени: $\lambda_{\text{эфф}} = \beta \lambda$, $0 < \beta < 1$.

Если средняя скорость обслуживания (количество обработанных изделий) равняется μ и, следовательно, средняя продолжительность обслуживания (производительность оборудования) равняется $1/\mu$, то справедливо следующее соотношение: $W_s = W_q + 1/\mu$.

Умножая левую и правую части этого соотношения на λ , получаем $L_s = L_q + \lambda/\mu$.

При этом если λ заменить на $\lambda_{\text{эфф}}$, можно записать $\lambda_{\text{эфф}} = \mu(L_s - L_q)$.

Зная p_n , можно определить значение всех основных операционных характеристик:

$$p_n \rightarrow L_s = \sum_{n=0}^{\infty} np_n \rightarrow W_s = \frac{L_s}{\lambda} \rightarrow W_q = W_s - \frac{1}{\mu} \rightarrow L_q = \lambda W_q.$$

Рассмотрим обобщенную одноканальную модель, в которой как интенсивность входного потока, так и скорость обслуживания зависели бы от n , при этом следует использовать величины λ_n и μ_n .

При наличии в системе n требований (в интервале h) для одноканальной модели справедливы следующие утверждения:

а) если не происходит ни одного поступления, $p_n = 1 - \lambda_n h$,

б) если не происходит ни одного выбытия, $p_n = 1 - \mu_n h$.

Для многофазных СМО осуществляется оценка показателей качества обслуживания трафика – задержки и/или потери заявок. Определим такие характеристики:

– среднее значение времени задержки заявок (обработки изделий);

– функцию распределения длительности задержки заявок.

Рассмотрим одноканальную многофазную СМО. В этой системе входной поток – интенсивность поступления деталей на обработку обозначим μ_2 . Параллельно с одинаковой интенсивностью μ_1 функционирует производство и готовые изделия поступают на склад. Необходимые ресурсы также поступают со склада.

Рассмотрим случай, когда потери заявок недопустимы, а агрегаты-устройства не приступают к выполнению следующего цикла, если результат предшествующего не использован, происходит простой оборудования в ожидании окончания предыдущей операции.

Агрегаты-источники считаем однотипными как и агрегаты-устройства $k = \overline{1, N_1}$ обслуживания. В качестве переменной состояния $i, i = \overline{0, N_1 + N_2}$, выберем сумму числа простаивающих агрегатов-источников и занятых агрегатов-устройств обслуживания.

Если $i \geq N_1$, то число занятых устройств обслуживания равно i , а число простаивающих источников равно нулю. Если $i < N_1$, то все N_1 устройств обслуживания заняты, а число простаивающих источников равно $(i - N_1)$. Тогда

$$\lambda_i = \begin{cases} N_2 \mu_2, & 0 \leq i \leq N_1, \\ (N_1 + N_2 - i) \mu_2, & N_1 < i \leq N_1 + N_2; \end{cases}$$

$$\nu_i = \begin{cases} i \mu_1, & 1 \leq i \leq N_1, \\ N_1 \mu_1, & N_1 \leq i \leq N_1 + N_2. \end{cases}$$

Предельная интенсивность работы агрегата-источника потока заявок, если она может выбираться, ограничена пропускной способностью агрегата-устройства обслуживания и

нормативом $\bar{g}_c$ так, что $\mu_2 \leq \frac{\bar{g}_c}{1 + \bar{g}_c} \mu_1$.

Приведенный анализ динамики функционирования процесса для различных вариантов структурного построения нуждается в оценке вариантов по стоимостным характеристикам.

Стоимостные модели массового обслуживания направлены на определение такого уровня функционирования производственной системы, при котором достигается «компромисс» между следующими показателями:

а) прибылью, получаемой за счет производства (и реализации) изделий;

б) потерями прибыли, обусловленными задержками в производственном процессе.

Рассмотрим модели оценки технических характеристик технологического процесса для различных вариантов структур ТП и разных производственных заданий [7].

1. Задача определения состава оборудования для обеспечения заданной производительности.

Решение этой задачи связано с нахождением компромисса в условиях, когда повышение производительности за счет нового оборудования или расширения парка существующего приводит к значительному росту затрат.

Рассмотрим одноканальную модель массового обслуживания со средней частотой поступления требований (соответствует планируемому объему производства), равной λ , и со средней скоростью обслуживания, равной μ . Предполагается, что скорость обслуживания поддается регулированию путем модернизации оборудования или увеличения его количества. Введем следующие обозначения: C_1 – выраженный в стоимостной форме выигрыш за счет увеличения на единицу значения μ в течение единичного интервала времени; C_2 – «цена» ожидания в единицу времени и в расчете на одно изделие (т.е. экономические потери, обусловленные простоем оборудования и как следствие – уменьшением объема производства); $TC(\mu)$ – стоимостный показатель, определяемый следующим образом: $TC(\mu) = C_1\mu - C_2L_s$ или $TC(\mu) = C_1\mu - C_2\lambda / (\mu - \lambda)$.

Для оптимального значения μ имеем $\mu = \lambda + \sqrt{C_2\lambda / C_1}$.

2. Задача определения необходимого количества однотипного оборудования связана с получением компромиссного решения, с учетом того, что увеличение количества оборудования влечет рост затрат на их содержание, но при этом одновременно возникает экономия вследствие уменьшения простоев другого оборудования в технологической цепи, возникает возможность увеличить объем производства.

Рассмотрим многоканальную модель. Предполагается, что значения λ и μ фиксированы. Интегральная стоимость показателей задается формулой $TC(c) = cC_1 - C_2L_s(c)$, где C_1 – отнесенные к единице времени затраты на обеспечение функционирования одной дополнительной единицы оборудования, $L_s(c)$ – среднее число находящихся в обработке изделий.

Оптимальное значение c находим из условий $TC(c-1) \geq TC(c)$ и $TC(c+1) \geq TC(c)$, что эквивалентно неравенству $L_s(c) - L_s(c+1) \leq C_2 / C_1 \leq L_s(c-1) - L_s(c)$.

Величина C_2 / C_1 является указателем того, где должен начинаться поиск оптимального значения c .

Сформулируем основные этапы предложенного метода с применением приведенных выше моделей.

1. Определить среднее количество изделий в очереди при исходном количестве оборудования с использованием многофазной модели массового обслуживания.

2. Определить потери рабочего времени в стоимостном выражении с использованием стоимостной модели.

3. Сделать предположение об увеличении оборудования на одну единицу (замене единицы оборудования на более производительное).

4. Определить время ожидания в очереди (на промежуточном складе) с учетом проведенных изменений.

5. Сравнить затраты на использование дополнительного оборудования с сэкономленным временем на выполнение ТП.

6. Если сэкономленное время дает больший эффект – принять вариант оборудования в качестве предпочтительного.

7. Повторить п. 3 – 5 до тех пор, пока эффект от дооснащения производства будет сохранять положительную тенденцию. В противном случае в качестве предпочтительного выбрать предыдущий вариант.

Выводы

Получил дальнейшее развитие метод оценивания характеристик последовательных технологических процессов на основе систем массового обслуживания для анализа производ-

ственных показателей технологических процессов, что позволяет оценить временные и стоимостные параметры для принятия решений по выбору варианта их реализации. Метод предполагает изменение различных параметров технологического процесса и позволяет достичь оптимального соотношения времени и стоимости технологических процессов. Он также позволяет использовать две стоимостные модели массового обслуживания, которые направлены на достижение компромисса между прибылью, получаемой от реализации запланированного к производству объема продукции, и потерями прибыли, обусловленными задержками в производственном процессе и возможными ограничениями на объем производства.

Практическая значимость результатов состоит в том, что приведенные модели и предложенный метод доведен до инженерной методики, которая может быть использована в системах информационной поддержки принятия управленческих решений для оценивания и оптимизации вариантов модернизации и развития производства. Метод оценивания характеристик процесса производства на основе аппарата систем массового обслуживания имеет практическое значение для решения прикладных задач оценки временных и стоимостных критериев оценивания процессов.

Дальнейшие исследования предполагается производить в направлении использования предложенного метода для оценивания характеристик производственных процессов с учетом организационного фактора – квалификации и возможностей персонала.

Список литературы: 1. *Ходаков В.Е.* Управління розвитком підприємства в умовах ризику / В.Е. Ходаков, Д.В. Ходаков // Збірник наукових праць ІФДТУНТ. 1998. Вип. 35(7). С. 156-162. 2. *Буренина Г.А.* Основы стратегического анализа деятельности промышленного предприятия. СПб.: Изд-во СПбГУ-ЭФ, 1999. 379с. 3. *Андрейчиков А.В.* Интеллектуальный метод синтеза технологических инноваций // Изв. вузов. Машиностроение. 2003. №10. С. 47-62. 4. *Маховикова Г.А.* Планирование на предприятии [текст] / Г.А. Маховикова, Е.Л. Кантор, И.И. Дрогомирецкий - Юрайт, 2010. 144 с. 5. *Шепеленко Г.И.* Экономика, организация и планирование производства на предприятии. Изд. центр "МарТ", Феникс, 2010. 608 с. 6. *Садовничий А.С.* Метод имитационного моделирования в задачах анализа производственных систем / Садовничий А.С., Попов А.В. // Авіаційно-космічна техніка і технологія. 2003. №8(43). С. 149-154. 7. *Замирец О.Н.* Анализ динамических и стоимостных характеристик производственных процессов с последовательной технологической цепью / О.Н. Замирец, А.А. Белоцкий, Р.В. Артюх // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2011. № 3 (51). С. 102-107.

Поступила в редколлегию 31.08.2012

Артюх Роман Владимирович, мл. науч. сотр. НДІСТ ХНУРЕ. Научные интересы: стратегии развития предприятий, технологические процессы производства, теория принятия решений, многокритериальные модели. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, roman_artuh@mail.ru, тел. раб. 702-14-32.