

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Кудхаір Абед Тамер

УДК 519.72:004.62:510.6

**ПОНЯТІЙНІ ПРЕДИКАТНІ МОДЕЛІ І МЕТОД ПРОТОТИПУВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ, ЩО СТРУКТУРУЮТЬСЯ, В СИСТЕМАХ ШТУЧНОГО
ІНТЕЛЕКТУ**

05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Шабанов-Кушнарєнко Сергій Юрійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
провідний науковий співробітник кафедри програмної
інженерії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шаронова Наталія Валеріївна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», МОН України,
завідувач кафедри інтелектуальних комп'ютерних
систем;

доктор технічних наук, професор
Субботін Сергій Олександрович,
Запорізький національний технічний університет,
МОН України, професор кафедри програмних засобів.

Захист відбудеться «____» _____ 2016 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий «____» _____ 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., проф.

Винокурова О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Широке використання на сьогоднішній час складних процесів обробки інформації, заснованих на знаннях, потребує застосування систем штучного інтелекту. Для ефективного використання таких систем необхідно структурувати оброблювану інформацію і перетворити її на знання. Структурований опис складних об'єктів, що відображає взаємозв'язки між їх елементами, широко застосовується в області інтерпретації зображень, розпізнавання патернів, обробки колекцій документів, аналізу соціальних мереж та в інших сферах застосування систем штучного інтелекту.

Для представлення знань про об'єкти зі складною структурою використовуються графові, а також предикатні моделі. Вони дозволяють відобразити структурні елементи складних об'єктів, зв'язки між ними, а також властивості цих елементів.

Основна перевага такого структурованого опису полягає в можливості створення максимально узагальнюючих прототипів у формі набору предикатів, які однозначно інтерпретуються підсистемою виведення інтелектуальної системи і дозволяють вирішувати завдання пошуку, розпізнавання, а також Data Mining.

Існуючі підходи до побудови структурного опису складних об'єктів засновані переважно на використанні узагальнених навантажених графів відношень, які не враховують логічні взаємозв'язки між атрибутами складових таких об'єктів. Тому досить актуальним є завдання побудови гнучкого предикатного подання знань про такі об'єкти, заснованого на формалізації понять предметної області і логічних взаємозв'язків між ними, з тим, щоб мати можливість нарощування цих знань у міру появи додаткової інформації з урахуванням логічних взаємозв'язків як між елементами, так і між їх властивостями.

Представлена робота присвячена розробці предикатних моделей подання знань у формі прототипів структурованих об'єктів на основі формалізованої системи понять, а також методу їх використання.

Великий внесок у постановку і вирішення завдань формування структурованого представлення знань внесли J. Rocha, MA Eshera, A. Sanfeliu, K.S. Fu, R. Genna, M. Vento, L.P. Cordella, P. Foggia, H.G. Barrow, T. Pavlidis, P.G. Neumann, J.J. Gibson, Дж. Брунер, Д.А. Поспелов, Є.Д. Смирнова і багато інших вчених. У їх роботах показано, що ключовою властивістю подання знань є наявність структури, що пов'язує інформаційні складові.

Для опису інформації, що структурується, знань, а також моделювання інтелектуальної діяльності людини доцільно використовувати апарат алгебри скінченних предикатів (АСП), який оперує не функціями, а відношеннями.

Незважаючи на значну кількість робіт у цій галузі, проблема подання знань про структуровані об'єкти на основі формалізованої системи понять з урахуванням логічних відношень між їх властивостями потребує подальшого розгляду.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки згідно з планом науково-технічних робіт в рамках держбюджетної теми № 232-2 «Розробка теорії та принципів побудови мозкоподібних ЕОМ з реляційними мережами» (№ ДР 0109U001646).

Метою дисертаційної роботи є розробка предикатних моделей подання і методів формування узагальнених прототипів структурованих об'єктів, з тим, щоб забезпечити можливість їх пошуку і розпізнавання з урахуванням зміни властивостей таких об'єктів.

Об'єкт дослідження – процеси формування представлення знань про структуровані об'єкти в системах штучного інтелекту.

Предмет дослідження – предикатні моделі подання знань про структуровані об'єкти з логічними зв'язками між атрибутами складових об'єктів.

Методи дослідження. Як методи дослідження використовуються методи логічного аналізу, універсальна алгебра, алгебра скінченних предикатів і алгебра предикатних операцій, методи представлення і маніпулювання знаннями в системах штучного інтелекту, методи формування прототипів зображень.

Основні завдання дослідження:

- виконати аналіз моделей подання прототипів структурованих об'єктів, а також методів побудови прототипів в системах природного та штучного інтелекту;
- розробити предикатні моделі понять і логічних зв'язків між поняттями;
- розробити метод побудови предикатного прототипу структурованого об'єкта, який використовує правила формування понять при узагальненні структури об'єктів з урахуванням властивостей понять, що їх представляють;
- розробити предикатну модель представлення знань щодо прототипу структурованого об'єкта, яка описує об'єкт у формі набору понять, логічних зв'язків між цими поняттями, а також між їх властивостями;
- розробити структуру бази прототипів структурованих об'єктів і виконати експериментальну перевірку отриманих теоретичних результатів.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше запропоновано предикатну модель теоретико-множинних первинних понять, яка характеризується змогою опису системи понять за допомогою їх властивостей, які представлені рівняннями алгебри предикатних операцій, що дозволило узагальнювати поняття на основі встановлення логічних зв'язків між їх властивостями.

2. Удосконалено метод побудови предикатного прототипу структурованого об'єкта, що відрізняється від існуючих використанням правил формування понять при узагальненні структури об'єктів з урахуванням властивостей понять, що їх представляють, що дозволило ітеративно уточнювати прототип за рахунок доповнення цих властивостей.

3. Отримали подальший розвиток предикатні моделі логічних зв'язків між поняттями, що дозволило забезпечити можливість удосконалення представлення знань щодо предметної області шляхом покрокового об'єднання понять у групи за допомогою логічних зв'язків.

4. Отримала подальший розвиток предикатна модель представлення знань щодо прототипу структурованого об'єкта, яка, на відміну від існуючих, описує об'єкт у формі набору понять, логічних зв'язків між цими поняттями, а також між їх властивостями, що дозволило побудувати багаторівневе представлення об'єкта, яке відображає як його структуру, так і ієрархію понять, що його описують, а також їх властивостей.

Практична цінність роботи. Розроблені в дисертаційній роботі математичні моделі та метод, а також розроблені на їх основі алгоритм і структура бази прототипів призначені для автоматизованих інформаційних систем з інтелектуальним інтерфейсом, для логічної підтримки проектування інформаційних структур. Математичні та програмні результати роботи можуть бути використані в області Data Mining і системах класифікації зображень.

Результати, отримані в ході виконання наданої дисертаційної роботи, знайшли своє практичне застосування в Центральній клінічній лікарні Укрзалізниці для розробки програмно-комп'ютерного комплексу автоматизованої діагностики для вирішення завдань семантичного пошуку та аналізу зображень, отриманих за допомогою різних медичних технологій для підвищення якості автоматизованої обробки медичних зображень (акт впровадження від 02.09.2015 р.).

Теоретичні результати роботи були використані в навчальному процесі на кафедрі програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) при підготовці лекцій з навчальних дисциплін «Теорія інтелекту» і «Системи штучного інтелекту» для студентів 4-го та 5-го курсів спеціальності 06.050103 – «Програмна інженерія» (акт впровадження від 14.07.2015 р.).

Особистий внесок здобувача в одержаних наукових результатах. Всі результати, представлені в роботі, отримані здобувачем особисто. У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачеві особисто належать такі результати: у роботі [1] запропоновано предикатний підхід до формалізації складових неявних знань та їх трансформації в явну форму шляхом структуризації шаблонів їх подання; у роботі [2] розроблено другий етап запропонованого предикатного підходу до формалізації неявних знань, який полягає у виділенні логічних зв'язків між поняттями; у роботі [3] запропоновано підхід до побудови структурного опису складних об'єктів на основі гнучкого предикатного представлення знань; у роботі [4] запропоновано метод для формування набору прототипів структурованих об'єктів; у роботі [5] розроблено понятійний підхід до побудови бази прототипів класів структурованих об'єктів на основі сукупності взаємопов'язаних понять, що відображають властивості таких об'єктів, складових їх елементів, а також взаємозв'язки між

елементами та їх властивостями; у роботі [6] запропоновано підхід до співставлення графів на основі порівняння підмножин вершин при графовому поданні зображень. у роботі [7] розроблено підхід до побудови прототипів класів структурованих об'єктів на основі сукупності взаємопов'язаних понять, що відображають властивості об'єктів, складових їх елементів, а також взаємозв'язки між елементами та їх властивостями; у роботі [8] запропоновано предикатну модель прототипів структурованих об'єктів, яка, на відміну від існуючих моделей у формі узагальненого навантаженого графа відношень, дозволяє побудувати уніфікований опис структурованого об'єкта.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наступних конференціях: V Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Полтава-Баку-Кіровоград-Харків, 2015 р.), «21 конгрес двигунобудівників» (Коблево, 2015 р.); 15-а міжнародна конференція «Проблеми інформатики і моделювання 2015» (Кароліно-Бугаз, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 8 наукових працях, з них 5 статей у фахових виданнях з технічних наук (з них 4 статті в Україні, що входять до переліків МОН України, 2 статті входять до міжнародної наукометричної бази даних та 1 стаття у зарубіжному виданні), 3 публікації у матеріалах і тезах доповідей міжнародних наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних джерел, двох додатків. Повний обсяг роботи становить 161 сторінку, у тому числі 148 сторінок основного тексту, додатків – 13 сторінок. Дисертація містить 11 рисунків на 8,2 сторінки, 1 таблиця на 0,5 сторінки, список використаних джерел зі 129 найменувань на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі освітлені основні проблеми формування представлення знань про структуровані об'єкти, обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і задачі дослідження, наведені відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами організації, у якій виконувались дослідження. Надано коротку характеристику об'єкта, предмета і методів дослідження, наукової новизни, практичного значення і використання отриманих результатів. Наведено стислі відомості щодо опублікування результатів дослідження, особистого внеску здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві та апробації результатів дослідження на конференціях

У першому розділі дисертації викладено огляд основних наукових досягнень в області представлення знань про структуровані об'єкти в штучному інтелекті, а

також методів формалізації знань засобами алгебри скінченних предикатів і реляційних мереж. Розглянуто основні підходи до побудови прототипів об'єктів зі складною структурою в області природного та штучного інтелекту, а також методи розпізнавання таких об'єктів на основі використання прототипів.

Обґрунтовано необхідність алгебро-логічної формалізації понять та їх взаємозв'язків для представлення структурованих об'єктів, що забезпечує можливість формалізації знань як щодо їх структури, так і щодо змінення цієї структури у часі. Обґрунтовано вибір напрямку дослідження.

У другому розділі наведено предикатну модель поняття, яка включає прямі і непрямі, абсолютні і неабсолютні, однозначні і неоднозначні визначення та предикатні моделі логічних зв'язків між поняттями.

Розроблені предикатні моделі забезпечують можливість ітеративної побудови предикатного подання знань у складі сукупності первинних і вторинних понять, а також логічних зв'язків між цими поняттями.

Структуровані об'єкти характеризуються впливом складної внутрішньої структури, що відображає взаємозв'язки між елементами на зовнішні властивості, які об'єкт проявляє у відповідній предметній області. Тому для формалізації прототипів структурованих об'єктів використовується апарат АСП, що дозволяє визначити у формі предикатів логічні зв'язки між змінними зі скінченною множиною значень.

Для вирішення завдання алгебро-логічної формалізації понять цьому розділі виконуються такі підзадачі:

- розробка алгебро-логічних моделей понять як елементів предикатного подання знань;
- розробка предикатних моделей логічних зв'язків між поняттями;
- розробка предикатних моделей ідентифікації понять.

Алгебро-логічні моделі понять складають теоретичний базис формального опису структурованих об'єктів. Запропонований структурований опис дозволяє створити узагальнені прототипи об'єктів у формі набору предикатів, що відображають зв'язки між їх елементами, а також властивостями елементів.

В областях Data Mining, розпізнавання зображень структуровані об'єкти реального світу зазвичай подаються у вигляді навантажених графів відношень. Елементи об'єкта моделюються вершинами, зв'язки між ними – дугами графа, а їх властивості – атрибутами вершин і дуг. Атрибути описуються набором значень параметрів заданого типу, унікального для кожної вершини і дуги графа. Недоліки графового подання знань про структуру об'єктів полягають у такому:

- «плоский» опис, що відображає взаємозв'язки між вершинами на одному рівні;
- атрибути кожного елемента об'єкта представлені у вигляді множини, яка може бути порожньою; існуючі взаємозв'язки між атрибутами враховуються тільки шляхом узагальнення властивостей;

– відмінність від людського розуміння об'єктів реального світу, заснованого на використанні системи взаємопов'язаних понять.

Для подолання цих недоліків пропонується використовувати опис об'єктів із використанням АСП. Так, залежності між атрибутами точно так само, як і взаємозв'язки між вершинами графа, що відображають складові об'єкта, можуть бути описані у вигляді набору предикатів.

Універсальність предикатного опису дозволяє на єдиній формальній основі пов'язати елементи та їх атрибути. Надалі складні атрибути можуть бути розділені на складові і також представлені у вигляді набору предикатів.

Перевага такого підходу полягає в тому, що він забезпечує можливість ітеративного нарощування опису структурованого об'єкта ні основі єдиного формалізму, що задає поняття.

Побудова предикатного понятійного опису пов'язана з деякими особливостями.

По-перше, необхідною умовою для завдання елементів структурованого об'єкта є формалізація понять і взаємин між ними.

По-друге, елементи і атрибути об'єкта можуть бути описані єдиним способом, що вказує на можливість побудови багаторівневого опису, що деталізується, шляхом формалізації характеристик атрибутів, змін атрибутів в часі і т. ін.

По-третє, подання знань про структуровані об'єкти на основі системи понять наближає нас до створення систем штучного інтелекту, «розуміючих» світ близько до людського розуміння цього слова.

Другий етап запропонованого предикатного підходу до побудови прототипів структурованих об'єктів полягає у виділенні логічних зв'язків між поняттями. Тоді ми можемо отримати систему взаємопов'язаних понять, яка визначає клас об'єктів. Вочевидь, ця задача зводиться до ідентифікації понять логіки.

Формальний опис розглянутих логічних понять було виконано з використанням як засобу опису тих самих логічних понять. З одного боку, це створює умови для побудови нарощуваного опису прототипів структурованих об'єктів, а з іншого – виникає небезпека припуститись помилки логічного кола. Захист від цієї небезпеки може забезпечити перевірка фактичної несуперечності отриманих результатів ідентифікації.

Для того, щоб забезпечити ефективність ідентифікації, слід чітко розрізняти логічні поняття, що використовуються як засіб та об'єкт опису.

Формальний опис логічних понять виконується мовою алгебри підстановочних операцій [32]. Ця мова є достатньо розвиненою для того, щоб на ній можна було без перешкод і в повному обсязі описати найпростіші логічні поняття.

Розроблені предикатні моделі логічних зв'язків між поняттями забезпечують можливість ітеративної побудови предикатного представлення знань у складі сукупності первинних і вторинних понять, а також логічних зв'язків між цими поняттями. З практичної точки зору це надає можливість розпаралелити процес

формалізації представлення знань шляхом виділення і поетапного формування незв'язаних сукупностей понять, а також встановлення логічних зв'язків між групами на подальших кроках.

Розроблені предикатні моделі ідентифікації понять, які надають можливість встановити приналежність елемента як окремії множині понять, так і перетинанню, об'єднанню і доповненню цих множин, забезпечують можливість пошуку знань, представлених у вигляді незв'язаних сукупностей понять при побудові понятійних моделей об'єктів і явищ.

У третьому розділі вирішується завдання розробки підходу до побудови та використання бази прототипів класів структурованих об'єктів на основі сукупності взаємопов'язаних понять, що відображають властивості об'єктів, складових їх елементів, а також взаємозв'язки між елементами та їх властивостями.

Розроблюване предикатне представлення має моделювати понятійно-змістові структури, що формуються природним інтелектом і задовольняти умовам повноти і несуперечності елементів прототипу, а також несуперечності прототипів.

Запропонована предикатна модель представлення прототипу структурованого об'єкта на основі системи взаємопов'язаних понять і метод формування прототипів структурованих об'єктів.

Запропонована в роботі предикатна модель прототипу структурованого об'єкта M_i заснована на розширенні традиційного узагальненого графа G_i^* , вершини якого моделюють елементи об'єкта, а дуги – зв'язки між елементами. Властивості вершин і дуг відображають характеристики цих елементів. Пропонується єдиний формальний опис структури графа G_i^* , властивостей його вершин і дуг при побудові прототипів M_i структурованих об'єктів шляхом використання представлених предикатних моделей понять. При такому підході граф G_i^* представляється системою взаємопов'язаних понять.

Набори властивостей вершин і дуг графа G_i^* формалізуються у вигляді предикатів понять:

$$C_i^p(x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p), x_{i1}^p \in A_{i1}^{p*}, x_{i2}^p \in A_{i2}^{p*}, \dots, x_{in}^p \in A_{in}^{p*}, p = \overline{1, k}, \quad (1)$$

де $C_i^p(x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p)$ – у загальному випадку багатомісний предикат поняття C_i^p (від англ. «concept»), що характеризує n властивостей $x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p$ p -го поняття, пов'язаних із p -ю вершиною V_i^{p*} графа G_i^* . Змінні $x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p$ предиката C_i^p визначені на множинах $A_{i1}^{p*}, A_{i2}^{p*}, \dots, A_{in}^{p*}$, що містять, відповідно, властивості поняття C_i^p , графічно представлені вершиною V_i^{p*} .

Така структура вершин V_i^{p*} передбачає ієрархічну побудову графа G_i^* , при

якому кожна вершина може представляти собою підграф графа G_i^* .

Дуги графа G_i^* формалізуються бінарними предикатами виду:

$$\begin{aligned} B_i^{pr*}(x_i^p, x_i^r), x_i^p = (x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p), x_i^r = (x_{i1}^r, x_{i2}^r, \dots, x_{im}^r), \\ x_{i1}^p \in A_{i1}^{p*}, x_{i2}^p \in A_{i2}^{p*}, \dots, x_{in}^p \in A_{in}^{p*}, x_{i1}^r \in A_{i1}^{r*}, x_{i2}^r \in A_{i2}^{r*}, \dots, x_{im}^r \in A_{im}^{r*}, \end{aligned} \quad (2)$$

де кожний предикат $B_i^{pr*}(x_i, x_j)$ (від англ. «branch») формалізує дугу графа G_i^* , яка з'єднує його вершини V_i^{p*} і V_i^{r*} з номерами p і r . Предикат $B_i^{pr*}(x_i, x_j)$ містить інформацію про зв'язки понять C_i^p і C_i^r . Векторна змінна $x_i^r = (x_{i1}^r, x_{i2}^r, \dots, x_{im}^r)$ предиката C_i^r визначена на множинах $A_{i1}^{r*}, A_{i2}^{r*}, \dots, A_{im}^{r*}$, що містять m властивостей вершини V_i^{r*} .

Побудова предикатних моделей спеціалізованих графів G_i^{**} полягає в скороченні областей визначення змінних $x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p$. Властивості поняття C_i^p , що характеризують вершину V_i^{p**} графа G_i^{**} , будуть мати області визначення $A_{i1}^{p**} \subseteq A_{i1}^{p*}, A_{i2}^{p**} \subseteq A_{i2}^{p*}, \dots, A_{in}^{p**} \subseteq A_{in}^{p*}$, тобто у загальному випадку – підмножини властивостей поняття C_i^p :

$$C_i^p(x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p), x_{i1}^p \in A_{i1}^{p**}, x_{i2}^p \in A_{i2}^{p**}, \dots, x_{in}^p \in A_{in}^{p**}, p = \overline{1, k}. \quad (3)$$

Дуги графа G_i^{**} представляються через відношення між поняттями:

$$\begin{aligned} B_i^{pr**}(x_i^p, x_i^r), x_i^p = (x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p), x_i^r = (x_{i1}^r, x_{i2}^r, \dots, x_{im}^r), \\ x_{i1}^p \in A_{i1}^{p**}, x_{i2}^p \in A_{i2}^{p**}, \dots, x_{in}^p \in A_{in}^{p**}, x_{i1}^r \in A_{i1}^{r**}, x_{i2}^r \in A_{i2}^{r**}, \dots, x_{im}^r \in A_{im}^{r**}, \end{aligned} \quad (4)$$

при цьому предикати понять C_i^p та C_i^r залишаються тими ж, змінюються лише області визначення їх змінних.

Загальна модель прототипу структурованого об'єкта має вигляд системи предикатів:

$$\left\{ \begin{array}{l} k \\ \bigwedge_{i=1}^k C_i^p(x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p), \\ k \\ \bigwedge_{i,j=1}^k B_i^{pr**}(x_i^p, x_i^r), \end{array} \right. \quad (5)$$

де k – кількість вершин V_i^{**} графа G_i^{**} та

$$x_i^p = (x_{i1}^p, x_{i2}^p, \dots, x_{in}^p), x_i^r = (x_{i1}^r, x_{i2}^r, \dots, x_{im}^r),$$

$$x_{i1}^p \in A_{i1}^{p**}, x_{i2}^p \in A_{i2}^{p**}, \dots, x_{in}^p \in A_{in}^{p**}, x_{i1}^r \in A_{i1}^{r**}, x_{i2}^r \in A_{i2}^{r**}, \dots, x_{im}^r \in A_{im}^{r**}.$$

Як видно з виразу (5), на відміну від існуючих моделей у формі узагальненого навантаженого графу відношень, запропонована предикатна модель дозволяє побудувати уніфікований опис структурованого об'єкта.

Розроблений метод призначений для формування набору прототипів структурованих об'єктів. Формалізація отриманих прототипів виконується на основі представленої предикатної моделі.

Як вихідні дані для методу використовуються моделі непов'язаних підмножин структурованих об'єктів $\{G_i^j\}$. Кожна підмножина містить об'єкти одного класу.

При виконанні розбиття можна використовувати попередньо визначені набори понять, які описують об'єкт.

При побудові прототипу порівняння вершин і дуг графових моделей з навчального набору і їх можливе об'єднання виконуються на основі застосування правил порівняння властивостей відповідних понять. При виключенні необхідно задовольнити обмеженням повноти і несуперечності.

Загальна ідея методу полягає в такому: необхідно зібрати узагальнений граф, який охоплює максимальну кількість елементів навчальної множини моделей структурованих об'єктів і представлений у вигляді системи предикатів. При побудові прототипу порівняння вершин і дуг графових моделей із навчального набору та їх можливе об'єднання виконується на основі застосування правил порівняння властивостей відповідних понять. При виключенні необхідно не втратити спільність (тобто, задовольнити обмеженню повноти) і точність (тобто, задовольнити обмеженню несуперечності).

Розроблений метод містить такі основні кроки.

1. Ініціалізація множини M прототипів M_i .
2. Установка індексу початкового прототипу i .
3. Виділення підмножин графів $\{G_i^j\}'$, що представляють моделі i -класу об'єктів.
4. Перевірка обраної підмножини. Якщо список порожній $|\{G_i^j\}'| = 0$, то перехід до етапу 8.
5. Формування прототипу M_i шляхом об'єднання графів окремих об'єктів G_i^j в узагальнений граф G_i^* .
6. Перевірка умови повноти для отриманого прототипу. Якщо умова виконується, то перейти до етапу 6, інакше – до етапу 8.

7. Доповнення множини M новоствореним прототипом M_i .
8. Видалення підмножини $\{G_i^j\}'$.
9. Перехід до формування наступного прототипу: $i = i + 1$.
10. Перехід до етапу 3.

Метод починає роботу з порожнього списку прототипів і на основі обробки набору структурованих об'єктів покроково формує список прототипів. Після знаходження чергового прототипу з множини структурованих об'єктів видаляються моделі тих об'єктів, з яких сформовано прототип. Потім процес повторюється для нового прототипу. У випадку, якщо прототип не може бути отриманий із заданого набору об'єктів (тобто не виконуються умови повноти і несуперечності), метод переходить до формування наступного прототипу. Після вичерпання списку доступних для обробки моделей об'єктів метод завершує свою роботу.

Внаслідок роботи алгоритму прототипу M_i буде відповідати підмножина об'єктів O_i , прототипу M_j – підмножина об'єктів O_j і т.д. Кожен із прототипів M_i представлений узагальненими предикатними моделями G_i^* , які узагальнюють характеристики вихідних графів G_i^j . Також після незначної модифікації методу до складу прототипу M_i можуть входити спеціалізовані предикатні моделі G_i^{**} . Спеціалізовані моделі G_i^{**} визначають підклас об'єктів O_i^{**} , тобто, G_i^* задається на основі загальних понять, а G_i^{**} – уточнених. Уточнення понять в рамках предикатної моделі означає, що із усіх можливих наборів логічно пов'язаних властивостей елементів моделі G_i^* виділені підмножини, які обмежують застосування вихідних понять.

Також було показано, що застосування строгого порівняння графів на практиці має обмеження, оскільки у порівнюваних графів мають бути відповідними дуги, вершини та їх атрибути. Цей недолік долається за допомогою неточного порівняння графів, що припускає неузгодження між графами. Таке неузгодження може бути викликано впливом перешкод на структуру вихідного об'єкта.

Критерій повноти для отриманого прототипу полягає в досягненні максимального узагальнення – тобто необхідно, щоб мінімальна частина об'єктів навчальної вибірки (в ідеалі – усі), яка охоплена узагальненим графом G_i^* , належала до прототипу M_i . Іншими словами, найбільша кількість елементів підмножини $\{G_i^j\}'$ має бути охоплена узагальненим графом:

$$K = \min_j \frac{|\{G_i^j\}'|}{|\{G_i^j\}'|},$$

$$K \leq \varepsilon,$$

$$G_i^* \models G_i^j, G_i^* \models G^j, \forall G_i^j, G^j$$
(6)

де $|\{G_i^j\}|$ – кількість об'єктів O_j з навчальної вибірки O , кожен з яких представлений графами G_i^j і включений до прототипу M_i ;

$|\{G^j\}|$ – кількість об'єктів з навчальної вибірки, які не включені в прототип;

ε – поріг для визначення спільності графа; на практиці доцільно задавати поріг близьким до нуля.

Умова несуперечності прототипів строго виконується для кожного прототипу на кроці 8 методу шляхом видалення з навчальної множини всіх об'єктів $O_i^j \in O_i^*$, які були використані при побудові M_i .

У четвертому розділі реалізовано та експериментально перевірено запропоновані у попередніх розділах моделі і теоретичні підходи при їх практичному застосуванні у задачах пошуку зображень.

У цьому розділі виконана експериментальна перевірка методу з використанням навчальної вибірки, отриманої шляхом генерації моделей об'єктів із заданими властивостями на основі моделі випадкових графів. Виконано побудову прототипів для задач пошуку медичних зображень.

Під час вирішення наведеної задачі у цьому розділі виконуються:

- розробка структури бази прототипів на основі реляційної моделі;
- експериментальна перевірка методу побудови прототипів шляхом побудови навчальної вибірки моделей із заданими властивостями на основі адаптованої методології випадкових графів;
- обґрунтування можливостей запропонованого підходу до прототипування для розв'язання задач пошуку зображень на основі понять, а також взаємозв'язків понять та їх атрибутів.

Виділено і формалізовані умови зв'язності при побудові навчальної множини моделей об'єктів на основі підходу випадкових графів. Залежно від умови зв'язності можуть бути отримані однорівневі і багаторівневі моделі структурованих об'єктів у навчальній вибірці. У першому випадку модель містить гігантську компоненту, яка представляє структуру об'єкта, і кілька звичайних компонент, що відображають поняття. У другому випадку модель містить тільки гігантську компоненту. Тому для представлення понять використовуються гігантські компоненти наступного рівня представлення.

В рамках реляційної парадигми розроблено структуру бази прототипів, заснованих на системі понять. Структура забезпечує предикатне представлення понять через набори логічно пов'язаних змінних, для яких задані допустимі множини значень. Переваги розробленого підходу до представлення структурованих об'єктів полягають у тому, що можна застосовувати два підходи до побудови понять як підмножини значень ознак, між якими встановлені логічні взаємозв'язки:

- автоматична генерація понять на основі властивостей елементів

досліджуваного об'єкта (або об'єктів) предметної області;

– формування понять експертом з предметної області.

Для реалізації отриманих теоретичних результатів необхідно сформуванню навчальну множину. Вихідними даними для побудови навчальної вибірки є:

– розроблений метод формування понятійних предикатних моделей структурованих об'єктів;

– обґрунтування комбінованого підходу до формування понять;

– структуризація об'єктів, що входять до складу бази прототипів.

Загальна ідея алгоритму полягає в поетапній побудові понять, а також структурованих об'єктів. Такі об'єкти можуть бути згенеровані за методологією випадкових графів з урахуванням розглянутих обмежень зв'язності. Також можуть бути використані моделі підмножин об'єктів реального світу, наприклад, медичних зображень.

Ключова особливість алгоритму полягає в автоматичному формуванні понять на основі наборів ознак, що задаються. Автоматичне формування понять виконується різними способами при формуванні навчальної вибірки на основі випадкових графів і при обробці медичних зображень. Для першого варіанту необхідно сформуванню моделі, які б задовольняли умовам наявності гігантської або звичайних компонент у предикатній моделі.

У роботі виконана експериментальна перевірка методу побудови прототипів із використанням навчальної вибірки на основі моделі випадкових графів (тільки однорівнева модель об'єкта).

Вихідні дані для експериментальної перевірки наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для перевірки методу побудови прототипів на основі моделі випадкових графів

Кількість вершин графа	Поріг зв'язності, p^*	Поріг лише гігантської компоненти, $\frac{p^*}{2}$	Поріг гігантської і малих компонент p^{**}	Значення ймовірності для графів вибірки
40	0,092	0,046	0,025	0,027; 0,028; 0,029; 0,03; 0,031; 0,032; 0,033; 0,034; 0,035; 0,036; 0,037; 0,038; 0,039; 0,04; 0,041; 0,042

Побудовано прототипи на основі використання навчальних підмножин, згенерованих на основі модифікованого підходу випадкових графів з використанням

як однорівневої, так і багаторівневої стратегії. Графік залежності показника повноти прототипу від кількості понять у моделі при багаторівневій стратегії представлений на рис. 1.

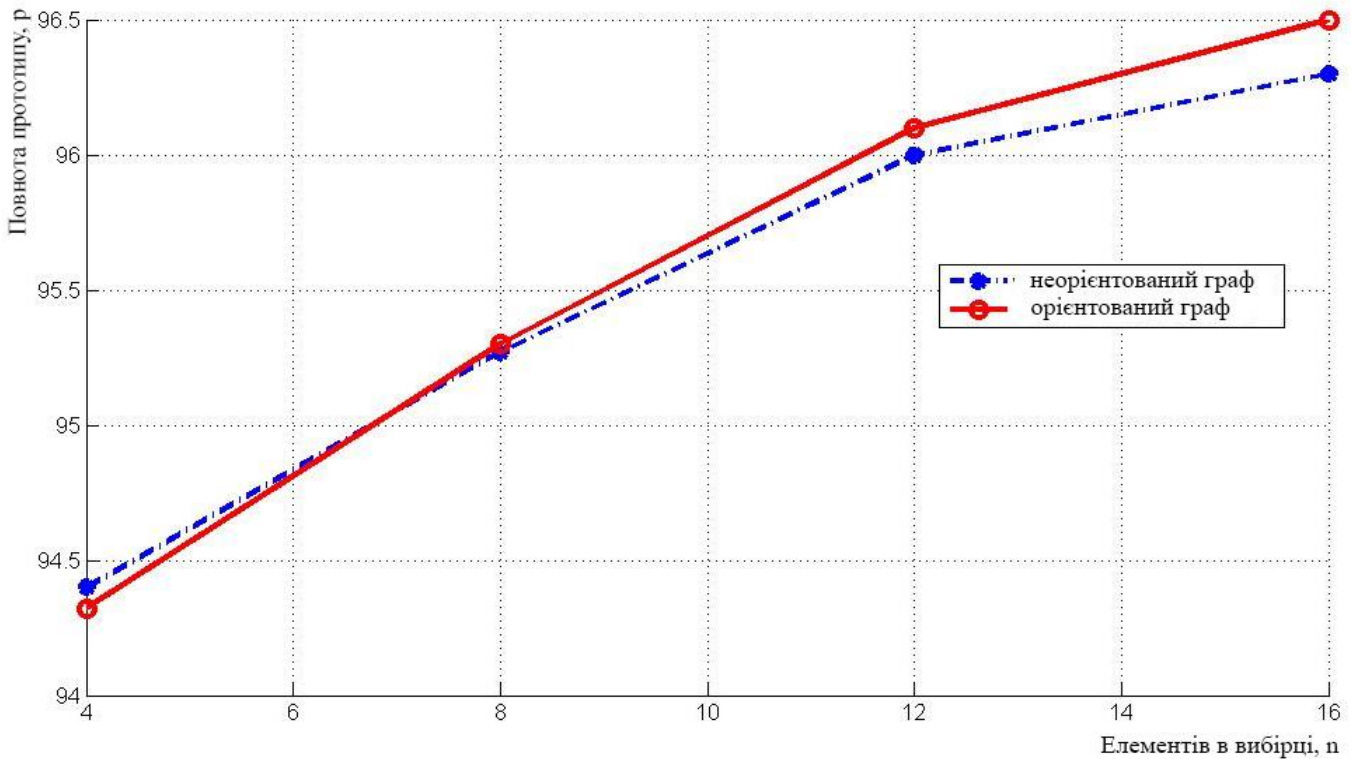


Рисунок 1 – Залежність показника повноти від кількості понять в моделі при багаторівневій стратегії

Реалізовано практичне застосування результатів дослідження в області обробки медичних зображень. На основі набору зображень побудована навчальна вибірка структурованих об'єктів у вигляді системи понять, які представлені ознаками. Отримані практичні результати створюють умови для використання прототипів у системах пошуку зображень шляхом завдання понять, які входять до складу зображення.

У додатках наведено акти впровадження теоретичних і практичних результатів дисертаційної роботи, а також приклади побудови графа прототипу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача побудови комплексу моделей і методу для формалізації прототипів структурованих об'єктів за допомогою апарату алгебри скінченних предикатів і реляційних мереж для розширення можливостей пошуку та аналізу таких об'єктів у інтелектуальних системах.

Отримані такі основні наукові результати:

1. Вперше запропоновано предикатну модель теоретико-множинних первинних понять, яка характеризується змогою опису системи понять за допомогою їх властивостей, які представлені рівняннями алгебри предикатних операцій, що дозволило узагальнювати поняття на основі встановлення логічних зв'язків між їх властивостями.

2. Удосконалено метод побудови предикатного прототипу структурованого об'єкта, що відрізняється від існуючих використанням правил формування понять при узагальненні структури об'єктів з урахуванням властивостей понять, що їх представляють, що дозволило ітеративно уточнювати прототип за рахунок доповнення цих властивостей.

3. Отримали подальший розвиток предикатні моделі логічних зв'язків між поняттями, що дозволило забезпечити можливість удосконалення представлення знань щодо предметної області шляхом покрокового об'єднання понять у групи за допомогою логічних зв'язків.

4. Отримала подальший розвиток предикатна модель представлення знань щодо прототипу структурованого об'єкта, яка, на відміну від існуючих, описує об'єкт у формі набору понять, логічних зв'язків між цими поняттями, а також між їх властивостями, що дозволило побудувати багаторівневе представлення об'єкта, що відображає як його структуру, так і ієрархію понять, що його описують, а також їх властивостей.

5. Запропоновано заснований на моделі випадкових графів підхід до побудови навчальної вибірки для побудови прототипів. Виконано експериментальну перевірку методу формування прототипів із використанням вибірок на основі випадкових графів, а також бази медичних зображень. Практична перевага запропонованих рішень полягає в тому, що до складу прототипу вводяться поняття, які дозволяють класифікувати і в подальшому обробляти структуровані об'єкти за категоріями використовуваних понять.

6. Отримані в ході виконання представленої дисертаційної роботи методи і моделі логічних зв'язків між поняттями, представлення і формування прототипів структурованих об'єктів знайшли своє практичне застосування в Центральній клінічній лікарні Укрзалізниці для розробки програмно-комп'ютерного комплексу автоматизованої діагностики для вирішення завдань семантичного пошуку та аналізу зображень, отриманих за допомогою різних медичних технологій для підвищення якості автоматизованої обробки медичних зображень (акт впровадження від 02.09.2015 р). Теоретичні результати дисертації були використані в навчальному процесі на кафедрі програмної інженерії ХНУРЕ при підготовці лекцій з навчальних дисциплін «Теорія інтелекту» і «Системи штучного інтелекту» для студентів 4-го та 5-го курсів спеціальності 06.050103 – «Програмна інженерія» (акт впровадження від 14.07.2015 р.)

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шабанов-Кушнарєнко, С.Ю. Предикатний підхід к формалізації неявних знань [Текст] / С.Ю. Шабанов-Кушнарєнко, Абєд Тамєр Кудхаїр, І.А. Лєщїнська // Систєми оброби інформациї. – 2013. – Вип. 9(116). – С. 113–116. (Входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus.)
2. Шабанов-Кушнарєнко, С.Ю. Розробка предикатних моделей логічєских зв'язєй понятій [Текст] / С.Ю. Шабанов-Кушнарєнко, Абєд Тамєр Кудхаїр, І.А. Лєщїнська // Зб. наук. праць Харківського ун-ту повітряних сил імені І. Кожедуба. – 2013. – Вип. 4(37). – С. 144–147.
3. Кудхаїр, Абєд Тамєр Розробка предикатної моделі прототипа структурованого об'єкта в базє знань [Текст] / Абєд Тамєр Кудхаїр // Систєми оброби інформациї. – 2015. – Вип. 8(133). – С. 69–72.
4. Шабанов-Кушнарєнко, С.Ю. Розробка методу формовання предикатних моделей прототипов структурованих об'єктєв [Текст] / С.Ю. Шабанов-Кушнарєнко, Абєд Тамєр Кудхаїр // Систєми оброби інформациї. – 2015. – Вип. 9(134). – С. 83–87. (Входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus.)
5. Шабанов-Кушнарєнко, С.Ю. Побудова предикатних прототипов структурованих об'єктєв на основє понятійного підходу [Текст] / С.Ю. Шабанов-Кушнарєнко, Абєд Тамєр Кудхаїр // Уральський Научний Вєстник. – 2015. – № 15(146). – С. 5–12.
6. Шабанов-Кушнарєнко, С.Ю. Підхід к сопоставленію графєв на основє сравненія підмножєств вершин при графовєм представленію зображеній [Текст] / С.Ю. Шабанов-Кушнарєнко, Абєд Тамєр Кудхаїр // Сучасні напрями розвитуку інформациїно-комунікаційних технологій та засєбєв управлїння: V Міжнар. наук.-техн. конф.; 23-24 квїт. 2015 р.: тези доп. – Полтава-Баку-Кїровоград-Харків, 2015. – С. 7.
7. Кудхаїр, Абєд Тамєр Побудова и адаптація бази прототипов структурованих об'єктєв [Текст] / Абєд Тамєр Кудхаїр // XX Міждунар. конгрєсс двигатєлєстроїтєлєй; сєнт. 2015 г.: тезисы докл. – Харків-Нїколаєв-пгт. Кєблєво, 2015. – С. 80–81.
8. Шабанов-Кушнарєнко, С.Ю. Предикатная модель прототипов структурованих об'єктєв [Текст] / С.Ю. Шабанов-Кушнарєнко, Абєд Тамєр Кудхаїр // Проблєми інформатики та моделювання: П'ятнадцята Міжнар. наук.-техн. конф.; 14-18 вер. 2015 р.: тези доп. – Харків-Одєса (Каролїно-Бугаз), 2015. – С. 110.

АНОТАЦІЯ

Кудхаїр Абєд Тамєр Понятійні предикатні моделі і метод прототипування об'єктєв, що структуруються, в системех штучного інтелекту. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2016.

Мета дисертаційного дослідження – розробка предикатних моделей подання і методу формування узагальнених прототипів структурованих об'єктів, з тим, щоб забезпечити можливість їх пошуку і розпізнавання з урахуванням зміни властивостей таких об'єктів. Основні результати: вперше запропонована предикатна модель поняття, яка включає прямі і непрямі, абсолютні і неабсолютні, однозначні і неоднозначні визначення, що дозволяє описати систему понять за допомогою їх властивостей, представлених рівняннями алгебри предикатних операцій. Модель дозволяє узагальнювати поняття на основі встановлення логічних зв'язків між їх властивостями. Отримали подальший розвиток предикатні моделі логічних зв'язків між поняттями, що включають в себе предикати, що відображають поняття рівності і декартового добутку, а також квантори логіки. Моделі забезпечують можливість удосконалення подання знань про предметну область шляхом покрокового об'єднання понять у групи за допомогою логічних зв'язків. Отримала подальший розвиток предикатна модель подання знань щодо прототипу структурованого об'єкта, яка, на відміну від існуючих, описує об'єкт у формі набору понять, логічних зв'язків між цими поняттями, а також між їх властивостями. Модель дозволяє побудувати багаторівневе представлення об'єкта, що відображає як його структуру, так і ієрархію понять, що його описують, а також їх властивостей. Удосконалено метод побудови предикатного прототипу структурованого об'єкта, що відрізняється від існуючих використанням правил формування понять при узагальненні структури об'єктів з урахуванням властивостей понять, що їх представляють. Це дозволяє ітеративно уточнювати прототип за рахунок доповнення цих властивостей.

Ключові слова: прототип структурованого об'єкта, ідентифікація поняття, граф, алгебра скінченних предикатів, предикатне представлення знань.

АННОТАЦІЯ

Кудхаир Абед Тамер. Понятийные предикатные модели и метод прототипирования структурируемых объектов в системах искусственного интеллекта. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – системы и средства искусственного интеллекта. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2016.

Цель диссертационного исследования – разработка предикатных моделей представления и методов формирования обобщенных прототипов структурированных объектов, с тем, чтобы обеспечить возможность их поиска и

распознавания с учетом изменения свойств таких объектов. В работе на основе сравнительного анализа методов формирования обобщенных прототипов структурированных объектов выделены основные особенности гибкого предикатного представления структуры сложных объектов и обоснована возможность формализации такого представления средствами алгебры конечных предикатов. Показана актуальность подхода, основанного на формализации понятий предметной области и логических взаимосвязей между ними для возможности наращивания этих знаний по мере появления дополнительной информации с учетом логических взаимосвязей как между элементами, так и между их свойствами.

В работе выполнен анализ моделей представления прототипов структурированных объектов, а также методов построения прототипов в системах естественного и искусственного интеллекта; разработаны предикатные модели понятий и логических связей между понятиями; разработана алгебро-логическая модель прототипа структурированного объекта в базе знаний, отражающая логические взаимосвязи между элементами объекта, а также атрибутами этих элементов; разработан метод формирования прототипов структурированных объектов на основе неточного сравнения их предикатных моделей; разработана структура базы прототипов структурированных объектов и выполнена экспериментальная проверка полученных теоретических результатов.

Впервые предложена предикатная модель понятия, которая включает прямые и не прямые, абсолютные и неабсолютные, однозначные и неоднозначные определения, что позволяет описать систему понятий с помощью их свойств, представленных уравнениями алгебры предикатных операций. Модель позволяет обобщать понятия на основе установления логических связей между их свойствами. Получили дальнейшее развитие предикатные модели логических связей между понятиями, включающие в себя предикаты, отражающие понятия равенства и декартова произведения, а также кванторы логики. Модели обеспечивают возможность усовершенствования представления знаний о предметной области путем пошагового объединения понятий в группы с помощью логических связей. Получила дальнейшее развитие предикатная модель представления знаний о прототипе структурированного объекта, которая, в отличие от существующих, описывает объект в форме набора понятий, логических связей между этими понятиями, а также между их свойствами. Модель позволяет построить многоуровневое представление объекта, отражающее как его структуру, так и иерархию описывающих его понятий, а также их свойств. Усовершенствован метод построения предикатного прототипа структурированного объекта, отличающийся от существующих использованием правил формирования понятий при обобщении структуры объектов с учетом свойств представляющих их понятий, что позволяет итеративно уточнять прототип за счет дополнения этих свойств.

Разработанные в диссертационной работе математические модели и метод, а также полученные на их основе алгоритм и структура базы прототипов

предназначены для автоматизированных информационных систем с интеллектуальным интерфейсом, для логической поддержки проектирования информационных структур. Математические и программные результаты работы могут быть использованы в области Data Mining и системах классификации изображений.

Результаты, полученные в ходе выполнения данной диссертационной работы, нашли свое практическое применение в Центральной клинической больнице Украинской железной дороги для разработки программно-компьютерного комплекса автоматизированной диагностики для решения задач семантического поиска и анализа изображений, полученных с помощью различных медицинских технологий с целью повышения качества автоматизированной обработки медицинских изображений (акт внедрения от 02.09.2015 г.).

Теоретические результаты работы были использованы в учебном процессе на кафедре программной инженерии ХНУРЭ при подготовке лекций по учебным дисциплинам «Теория интеллекта» и «Системы искусственного интеллекта» для студентов 4-го и 5-го курсов специальности 06.050103 – «Программная инженерия» (акт внедрения от 14.07.2015 г.).

Ключевые слова: прототип структурированного объекта, идентификация понятия, граф, алгебра конечных предикатов, предикатное представление знаний.

ABSTRACT

Kudhair Abed Tamer. Predicate conceptual models and method of structured objects prototyping in artificial intelligence systems. – As a Manuscript.

PhD thesis (candidate of technical sciences` degree) in speciality 05.13.23 – systems and means of artificial intelligence. – Kharkiv National University of Radio Electronics, the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The purpose of research is development of representation predicate models and forming method of a structured object generalized prototypes in order to allow them to search and recognition taking into account the changes in the properties of these objects. Main results: first proposed the concept of predicate model, which includes both direct and indirect, absolute, and not absolute, unequivocal and ambiguous definition allows us to describe a system of concepts by means of their properties, represented by the equations of algebra of predicate operations. The model allows generalizing the concept by establishing logical connections between their properties. Further developed predicate model of logical connections between concepts, including predicates, reflecting the concept of equality and the Cartesian product, as well as the logic of quantifiers. Models allow improvements representation of domain knowledge by stepping association of concepts in the group with the help of logical links. It has been further developed predicate model of knowledge representation on the prototype of a structured object, which, in contrast to the existing, describes the object as a set of concepts, logical connections between these concepts, as

well as between their properties. The model allows building as a multi-level representation of an object, which reflects both the structure and the hierarchy of concepts, it is described, as well as their properties. An improved method of predicate prototype structured object constructing differs from the existing rules of the objects structure generalization concepts formation use, based on the concepts properties. This allows to iteratively refining the prototype due to additions of these properties.

Keywords: a prototype of a structured object, concepts identification, graph, algebra of finite predicates, predicate knowledge representation.

Підп. до друку 15.04.16. Формат 60x84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 0,9. Облік. вид. арк. 1,2. Тираж 100 прим.
Зам. № Ціна договірна.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Науки, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Науки, 14