

УДК 004.89:519.7

DOI 10.30837/bi.2020.1(94).08



І.Ю. Шубін¹, Г.Г. Четвериков², С.М. Снісар³, С.Г. Літвін⁴

¹Кандидат технічних наук, професор кафедри програмної інженерії,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
igor.shubin@nure.ua, ORCID iD: 0000-0002-1073-023X

²Доктор технічних наук, професор кафедри програмної інженерії,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
grirorij.chetverykov@nure.ua, ORCID iD: 0000-0001-5293-5842

³Аспірант кафедри програмної інженерії,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
sn.stanislav4@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-0260-3027

⁴Науковий співробітник НДЦ інтегрованих радіоелектронних систем і технологій,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
riit.kharkiv.ua@gmail.com ORCID iD: 0000-0002-7183-6345

КАТЕГОРНИЙ АНАЛІЗ ЛОГІЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ

Метою цього дослідження є створення універсальних методів проектування систем інтелектуального розпізнавання малопомітних радіолокаційних цілей, розробка загальної моделі логічної мережі, її адаптація відповідно до потреб практичного застосування у інтелектуальних радіолокаційних системах та вдосконалення методології виявлення повітряних об'єктів. Також метою дослідження є вирішення низки завдань, що відносяться до питань взаємозв'язку між теорією категорій і алгеброю предикатів, математичних засобів технології штучного інтелекту. Категорні моделі логічних мереж розглядаються як об'єкт досліджень. Методом обрано математичні моделі формалізації та представлення інформації на основі предикатних та модифікованих категорій. Проведено формалізацію досліджуваних моделей декларативною мовою, створеною в процесі дослідження, що дозволяє дослідити моделі за допомогою загальної універсальної моделі логічної мережі.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТІВ, ПРЕДИКАТНА КАТЕГОРІЯ, ЛОГІЧНА МЕРЕЖА, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА РАДІОЛОКАЦІЙНА СИСТЕМА.

Целью этого исследования является создание универсальных методов проектирования систем интеллектуального распознавания малозаметных радиолокационных целей, разработка общей модели логической сети, ее адаптация в соответствии с потребностями практического применения в интеллектуальных радиолокационных системах и совершенствование методологии обнаружения воздушных объектов. Также целью исследования является решение ряда задач, относящихся к вопросам взаимосвязи между теорией категорий и алгеброй предикатов, математических средств технологии искусственного интеллекта. Категорные модели логических сетей рассматриваются в качестве объекта исследований. Методом выбраны математические модели формализации и представления информации на основе предикатных и модифицированных категорий. Проведена формализация исследуемых моделей декларативным языком, созданным в процессе исследования, что позволяет исследовать модели с помощью общей универсальной модели логической сети.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТОВ, ПРЕДИКАТНАЯ КАТЕГОРИЯ, ЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РАДІОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА.

The purpose of the research is to create universal methods for designing intelligent recognition systems for low-visible radar targets, to develop a general model of logical network, to adapt it to the needs of practical application in intelligent radar systems and to improve methodology of air objects detection. Also, the aim of the research is to solve problems related to the relationship between the theory of categories and predicates algebra, mathematical kit of the artificial intelligence technology. The categorical model of logical networks is considered as an object of research. Mathematical models of formalization and presentation of information, as well as predicate and modified categories are chosen by the method. The formalization of the studied models by the declarative language created in the course of research is carried out, allows to investigate models by means of the general universal model of a logical network.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE, PREDICATE ALGEBRA, PREDICATE CATEGORY, LOGICAL NETWORK, INTELLIGENT RADAR SYSTEM.

Вступ

Серед множини формалізмів, застосованих тією чи іншою мірою до завдань обробки неформалізованої інформації, найбільш доцільним представляється використання алгебри предикатів, системи рівнянь якої реалізуються технічно у вигляді логічної мережі.

Однією з переваг такого підходу є його пряма застосовність до всіх перерахованих нижче типів завдань, що забезпечується декларативністю логічної мережі як методу рішення систем предикатних рівнянь. Запис же самих предикатних рівнянь стає можливим завдяки алгебрі предикатів.

На прикладі обробки радіолокаційної інформації штучним інтелектом можна розглянути загальну класифікацію завдань, що виникають у процесі роботи з первинною неформалізованою інформацією:

– аналіз (наприклад, розпізнавання – одержання з неформалізованої інформації конкретних параметрів, необхідних для застосування деякого формалізму);

– нормалізація – приведення інформації до деякої еталонної форми, що актуально в завданнях пошуку інформації;

– синтез – вираження внутрішнього представлення інформації, збереженої відповідно до формальних вимог у вигляді, адаптованому для сприйняття людиною;

– змішані завдання.

Іншою перевагою логічних мереж є широке розпаралелювання обчислень, що за умови правильної побудови моделі завдання дає гарантію високої ефективності. На сьогоднішній день розпаралелювання широко застосовується в окремих завданнях штучного інтелекту, зокрема – при розпізнаванні образів, що надходять від РЛС.

Крім того, мозкоподібна ЕОМ, заснована на технології логічних мереж, представляється близької по будові до структури людського мозку, що дає підставу сподіватися на створення заснованих на цій технології систем обробки інформації, близьких по можливостях до людських [1].

Вивчення категорій швидко перетворилося в самостійну абстрактну дисципліну, і тепер становить важливу галузь чистої математики. Крім того, вона вплинула на понятійні основи математики й мова математичної практики. Вона пропонує елегантні й потужні засоби для вираження зв'язків між великими галузями математики й забезпечує математиків знаряддями математичного дослідження, що займають усе більше й більше місця в арсеналі математики.

Проте на сьогоднішній день теорія категорій ще мало допомагає вирішувати такі проблеми, як опис механізмів людського інтелекту, як розвиток штучного інтелекту, створення ЕОМ паралельної дії, інтелектуальних радіолокаційних систем, тощо.

Отже, необхідно встановити зв'язок між теорією категорій і моделюванням систем на основі штучного інтелекту за допомогою проміжної галузі знань – алгебри кінцевих предикатів, засобами якої може бути побудована предикатна інтерпретація категорії. На базі цієї інтерпретації розробляються елементи теорії модифікованої категорії для процесів моделювання функцій штучного інтелекту.

1. Застосування логічних структур

Відмінною рисою завдань штучного інтелекту є те, що вони складно піддаються формалізації, необхідної для того, щоб уможливити автоматизацію їх

рішення. [2]–[3]. Таким чином, доцільно досліджувати універсальний інструмент обробки неформалізованої інформації – мозок людини й змодельовати деякі його функції, що стосуються поставлених завдань на базі сучасних технологій. Суть підходу полягає в тому, що інтелект людини розглядається як логіка в дії, як деяке матеріальне втілення механізму логіки. Були виконані роботи з алгебраїзації логіки [4].

У результаті розроблений спеціальний математичний апарат для формульного представлення відношень і дій над ними, які називаються алгебро-логічними структурами [5]–[6]. Відношення інтерпретуються як думки інтелекту, а дії над ними – як мислення.

Схемна реалізація формул, що описують алгебро-логічні структури, приводить до характерних інженерних мереж, що не використовувалися раніше, і які називаються логічними мережами. При зіставленні цих мереж з основними типами нейроструктур виявляється глибока подібність будови технічних і біологічних конструкцій. Опираючись на цю подібність, можна визначити функції різних типів нейронних структур і описати в точних математичних і технічних термінах принципи функціонування мозку.

Головне в даному методі – це рух зверху вниз: від загальних системних міркувань до алгебро-логічних структур, а від них – до логічних мереж, які потім ототожнюються з біологічними нейронними структурами.

Основу інтелектуальних систем розпізнавання радіолокаційних об'єктів становлять логічні мережі.

У відмінності від традиційного для інформаційних технологій алгоритмічного підходу, декларативна модель завдання не являє собою алгоритму. Модель завдання представлена в декларативній формі звичайно являє собою набір фактів, знань про факти й правил, згідно з якими проводяться дії над фактами, що дозволяють одержати нові знання на основі старих.

Логічна мережа являє собою метод рішення систем предикатних рівнянь, і має описові можливості алгебри предикатів [7]. Властивістю логічної мережі є паралельне виконання всіх елементарних логічних операцій – тобто максимально можливе на логічному рівні паралельних обчислень. Такий підхід гарантує високу ефективність рішення завдань, що зводяться до логічного висновку або до рішення логічних рівнянь.

Для формалізації завдань обробки неформалізованої інформації за допомогою логічних мереж необхідно досліджувати можливості раціонального застосування алгебри кінцевих предикатів [8]–[11]. Із цією метою необхідно провести моделювання найбільш загальних завдань із різних галузей даної предметної області. Як приклад обраний такі галузі як: завдання

моделювання механізмів розпізнавання малопомітних радіолокаційних об'єктів.

2. Аналіз безоб'єктних категорій

Відмінність між теорією категорій і алгеброю предикатів полягає лише в тому, що перша здійснює рух зверху вниз, націлена на пізнання вищих логічних механізмів і тому використовує в якості відправних поняття рекордного рівня спільності. Друга ж, відправляючись від потреб інформатизації, рухається у вивченні тієї ж логіки мислення знизу нагору. Якщо б удалося дати переконливу інтерпретацію понять, формованих теорією категорій, і методів, розроблених нею, у термінах алгебри предикатів, тобто, конкретизуючи, наблизити їх до інформатизації, це суттєво збагатило б інструментарій алгебри предикатів. Саме алгебру предикатів ми збираємося використовувати в ролі такої проміжної області знання.

Логічна мережа копіює дії людини, але з тією лише різницею, що людина діє послідовно, а мережа – паралельно. Мережа працює по тактах. У першому півтакті i -го такту мережа для кожного зі своїх рівнянь виду $DO(x, y)=1$ (DO – відношення, задане таким рівнянням) відшукує: 1) по відомим знанням $P_i(x)$ про значення змінної x на початку i -го такту знання $Q'_i(y)$ про значення змінної y наприкінці i -го такту; 2) по відомим знанням $Q_i(y)$ про значення змінної y на початку i -го такту знання $P'_i(x)$ про значення змінної x наприкінці i -го такту. Математично ці дві операції виражаються формулами:

$$\exists x \in A(K(x, y)P_i(x))=Q'_i(y); \quad (1)$$

$$\exists x \in B(K(x, y)Q_i(y))=P'_i(x) \quad (2)$$

де A і B – області зміни змінних x і y .

У другому півтакті кожного такту мережа відшукує загальну частину $P_{i+1}(x)$ усіх знань $P'_{i1}(x), P'_{i2}(x), \dots, P'_{in}(x)$ про значення кожної зі своїх предметних змінних x сторін, що надходять по галузях мережі із усіх, до полюса x . Виражається ця операція в такий спосіб:

$$P'_{i1}(x) \wedge P'_{i2}(x) \wedge \dots \wedge P'_{in}(x)=P_{i+1}(x) \quad (3)$$

Отримане знання $P_{i+1}(x)$ потім використовується в ролі стану полюса x у початковий момент $i+1$ -го такту. Символ I позначає число галузей, що підходять до полюса x . До початку $i+1$ -го такту в кожному полюсі формується знання про множину $P_{i+1}(x)$, яка завжди виявляється включеним у знання о множині $P_i(x)$, що втримувалася в тому ж полюсі на початку i -го такту. Таким чином, єдиним результатом роботи логічної мережі є уточнення знань, що втримуються у всіх її полюсах відповідно до вихідних даних.

При впровадженні теорії категорій поряд зі звичайним поняттям категорії зустрілося й більш загальне поняття безоб'єктної категорії.

Нехай M – деяка множина. Її елементи, позначувані символами f, g, h, \dots , називаються морфізмами.

Нехай, крім того, задана якась, в загальному випадку, часткова, операція $fg = h$, що діє з $M \times M$ у M . Вона називається множенням морфізмів f і g . Морфізм h називається добутком морфізмів f і g . Будь-який морфізм $e \in M$ називається одиничним або тотожним, якщо він задовольняє наступним умовам:

- $ee=e$;
- при будь-якому $f \in M$, для якого існує добуток $fe \in M$, виконується рівність $fe=f$;
- при будь-якому $f \in M$, для якого існує добуток $ef \in M$, виконується рівність $ef=f$.

Цим визначенням мовчазно допускається існування в категорії багатьох одиниць. Саме наявність багатьох одиниць (і тільки це) відрізняє категорію від інших відомих алгебраїчних структур. Одиничні морфізми ef і e'_f називаються відповідно до правих і лівих для морфізма $f \in M$, якщо $fef=f$ і $fe'_f=f$. Для будь-якого морфізма $f \in M$ існують єдиний правий і єдиний лівий одиничні морфізми. Це твердження називається законом тотожності. Таким чином, для кожного $f \in M$ існує єдина права одиниця ef і єдина ліва одиниця e'_f , такі, що $fef = fe'_f = f$.

Множення морфізмів асоціативно: $(fg)h = f(gh)$ при будь-яких $f, g, h \in M$, для яких існують добутки: $(fg)h$ і $f(gh)$. Множина M , у якій утримуються, принаймні, одиничні морфізми, і на якій задана операція множення морфізмів із зазначеними вище властивостями називається безоб'єктною класичною категорією K . Пишуть $M = \text{Mork}$, $f \in M$, $f \in \text{Mork}$. Mork – це множина усіх морфізмів категорії K . Якщо $f \in \text{Mork}$, то говорять, що морфізм $f \in K$ -Морфізмом.

3. Алгоритми категорії з об'єктами

У процесі конкретизації раніше введене поняття обростає додатковими властивостями. На додаток до морфізмів категорії K вводимо об'єкти категорії K . Множина усіх об'єктів категорії K записується у вигляді Ob в K або Obk . Об'єкти позначаємо буквами A, B, C, \dots . Якщо $A \in \text{Obk}$, то говорять, що $A \in K$ -об'єктом. Говорять, що $f \in$ морфізм із об'єкта A в об'єкт B , і пишуть $f: A \rightarrow B$ або $A \xrightarrow{f} B$. Об'єкт A називається початком морфізма f , а об'єкт B – його кінцем. Замість терміну «морфізм» також використовується слово форма.

Кожній парі (A, B) об'єктів $A, B \in \text{Obk}$ ставиться у відповідність якась, можливо й порожня, множина $\text{HK}(A, B)$ морфізмів категорії K . Можливий випадок, коли багатьом різним морфізмам, наприклад, f, g, h , поставлена у відповідність та сама пара об'єктів (A, B) , тобто $f, g, h: A \rightarrow B$. Такі морфізми називаються паралельними. А для якоїсь іншої пари об'єктів (C, D) у категорії K взагалі може не знайтися жодного морфізма f , такого що $f: C \rightarrow D$. Замість запису $\text{HK}(A, B)$ також використовуються позначення $\text{Hom}(A, B)$, $\text{Mork}(A, B)$, $K(A, B)$, а якщо це не приводить до

двозначності, – те й більш лаконічні записи $H(A, B)$, $\text{Hom}(A, B)$, $\text{Mor}(A, B)$. Замість запису $f \in HK(A, B)$ інакше пишуть $f: A \rightarrow B$ або $A \xrightarrow{f} B$; $A = \text{dom}f$ (початок морфізма, у прийнятій нами інтерпретації – його область визначення), $B = \text{cod}f$ (кінець морфізма, у нашій інтерпретації – його область значень).

Категорія з об’єктами K складається з множини морфізмів $\text{Mor}K$ і множини об’єктів $\text{Obj}K$. Передбачається, що множини $\text{Mor}K$ і $\text{Obj}K$ не перетинаються. Категорія K характеризується наступними п’ятьма властивостями:

- кожній парі K -об’єктів A, B відповідає множина $HK(A, B)$ морфізмів (можливо, навіть порожнє), включене в $\text{Mor}K$;

- для кожного морфізма $f \in \text{Mor}K$ існує єдина пара A, B K -об’єктів, така що $f \in HK(A, B)$;

- у множині $\text{Mor}K$ визначена, загалом кажучи часткова, двомісна операція – множення морфізмів; добуток fg морфізмів $f: A \rightarrow B$ і $g: B \rightarrow C$ визначене лише в тих випадках, коли $B=C$, тобто коли кінець морфізма f збігається з початком морфізма g . У цьому випадку добуток $fg \in K$ -морфізм із об’єкта A в об’єкт C . У цьому випадку говорять, що для об’єктів $A, B, C \in K$ визначене відображення

$$H_K(A, B) \times H_K(B, C) \rightarrow H_K(A, C) \quad (4)$$

Знак \times у цьому випадку позначає декартовий добуток множин морфізмів. Морфізми f, g категорії K виду $f: A \rightarrow B$ і $g: B \rightarrow C$ називаються послідовними, а виду $f: A \rightarrow B$ і $g: A \rightarrow B$ – паралельними.

Закон асоціативності можна наочно виразити графічно у вигляді категорної діаграми зображеної на рисунку 1.

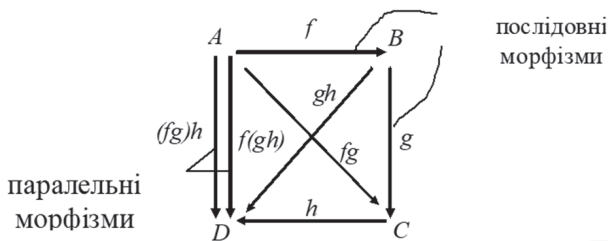


Рис. 1. Графічне подання закону асоціативності

Будь-яка категорна діаграма утворюється з об’єктів і стрілок (морфізмів), вона являє собою орієнтований граф з розфарбованими вершинами й дугами. У ролі вершин графа в категорній діаграмі виступають об’єкти категорії, а в ролі дуг її морфізми. Такого виду діаграми широко використовуються в теорії категорій. Вони – головний засіб наочної вистави внутрішньої будови й властивостей математичних структур, зв’язків між ними.

Діаграма, що виражає категорний закон асоціативності, характеризує зв’язки між будь-якими об’єктами A, B, C, D і морфізмами f, g, h . Ці зв’язки виражають суть закону асоціативності. В даному випадку ми висловили один із законів теорії категорій.

Категорні діаграми поділяються на замкнуті і розімкнуті. Діаграма, що виражає категорний закон асоціативності, відноситься до числа замкнутих. Замкнені діаграми називаються інакше комутативними. Така назва походить від того, що комутативність діаграми характеризується тим, що результат дії морфізма при їх послідовному виконанні, зазначеному на діаграмі, виходить однаковим під час руху різними шляхами діаграми, якщо ми вирушаємо від однієї і тієї ж точки діаграми і приходимо знову до однієї і тієї ж точки іншої діаграми.

Категорні діаграми поділяються на загальні і окремі. Загальні діаграми комутативні для всіх об’єктів і морфізмів даної категорії. Спільними комутативними діаграмами виражаються властивості будь-якої конкретної категорії. Окремі категорні діаграми відносяться до конкретних об’єктів і морфізмів. Це можуть бути як замкнуті, так і розімкнені категорні діаграми. На рис. 2 наведено приклад розімкнутої діаграми.

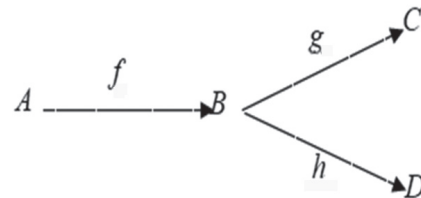


Рис. 2. Розімкнена діаграма

Мовою комутативних діаграм виражаються загальні зв’язки між об’єктами і морфізмами. За допомогою комутативних діаграм можна висловлювати властивості будь-яких математичних структур, навіть закони самої теорії категорій.

4. Модель алгоритму вибору варіантів мережі

Два варіанти, що розроблені є ізоморфними. Можна записати відношення ізоморфізму, що переводить один варіант в інший. Для побудови ізоморфізму потрібно:

- поміняти місцями змінні x й y .
- для t_1 та t_2 поміняти місцями 1 та 2.

Ізоморфізм повністю характеризується табл. 1.

Таблиця 1

Ізоморфізм змінних t_1 і t_2	
t_1	t_2
0	0
1	2
2	1

Для представлення моделі завдання, що сформульовано в термінах алгебри кінцевих предикатів, у програмній моделі використовується формальна декларативна мова [12]. Опис ділиться на дві частини – опис логічної мережі завдання – база даних, що містить правила, по яких можна одержати нові знання про факти, і база даних, що містить обмеження змінних (знання про факти).

Область істинності бінарного предиката завдає багатозначну функцію, значенням якої є підмножина області завдання змінній, відповідній до сусідньої вершини.

Наприклад, модифікована змінна z_n має множини значень $\{M \text{ ГО}\}$, а предикат, що зв'язує її з іншою змінною r має вигляд

$$P_7(z_n, r) = z_n^{\text{Г}}(r^1 \vee r^4 \vee r^9 \vee r^{11}) \vee z_n^{\text{ГО}}(r^2 \vee r^5) \vee z_n^{\text{МУ}} r^3 \vee z_n^{\text{М}}(r^6 \vee r^7 \vee r^{16}) \vee z_n^{\text{Я}} r^8.$$

Під час другого півтакту обчислюються перетинання знайдених на першому півтакті образів з множинами значень цільових змінних. Таким чином, якщо змінна r має множину значень $\{1 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8\}$, то після другого півтакту ця множина скоротиться до $\{2 \ 5 \ 6 \ 7 \ 16\} \cap \{1 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8\} = \{5 \ 6 \ 7\}$. Ці перетинання являють собою нові значення цільових змінних.

Якщо кожна змінна прийняла конкретне значення – стан мережі відповідає рішенням заданої системи предикатних рівнянь. Якщо деякі змінні зазначають множину значень – це говорить про те, що початкової інформації недостатньо для знаходження однозначного рішення і поставлене завдання допускає кілька рішень, що задовольняють поставленим умовам.

Випадок, коли значення всіх змінних відповідають порожнім множинам, свідчить про те, що початкові дані суперечливі.

Оскільки логічні мережі є графічним вираженням алгебро-логічного опису об'єкта, то з практичної точки зору вигідніше розглядати модифіковану предикатну категорію зі визначеною операцією множення, що базується на використанні властивостей алгебри предикатів. Для того щоб практично використовувати поняття предикатної модифікованої категорії, спочатку потрібно отримати загальну модифіковану категорію, окремим випадком якої вона є. Тому слід абстрагуватися від поняття модифікованої предикатної категорії і сформулювати як альтернативу загальному поняттю класичної категорії, загальне поняття модифікованої категорії.

5. Логічні системи розпізнавання об'єктів

Визначимо роль логічної мережі: логічні мережі являють собою універсальний, простий і природний засіб наочного представлення структури будь-яких об'єктів, так само як будь-який алгебро-логічний опис об'єкта природно графічно виражається у вигляді логічної мережі, а також завдяки тому, що мова алгебри предикатів універсальна, нею можна формально описати структуру довільного об'єкта.

Результатом формального опису будь-якого об'єкта мовою алгебри предикатів завжди є деякий предикат $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$. Він повинен виражати деяке цілком визначене відношення P , яке являє собою безліч всіх наборів предметів x_1, x_2, \dots, x_m , що

задовольняють рівняння $P(x_1, x_2, \dots, x_m)=1$. Саме це відношення виражає структуру описуваного об'єкта. Якщо для описання деякого предметного простору S повинні одночасно виконуватися кілька відношень, то це призводить до кон'юнкції відповідних предикатів.

Отримання предиката P з предикатів P_1, P_2, \dots, P_n системи $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ називається його композицією. Зворотне перетворення предиката P в систему $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ предикатів P_1, P_2, \dots, P_n називається його декомпозицією. Композиція та декомпозиція предикатів нерозривно пов'язані одна з одною.

Операція отримання предиката P з предикатів P_1, P_2, \dots, P_n вважається композицією у тому і тільки тому випадку, якщо існує зворотна їй операція, що дозволяє відновити ті ж самі предикати P_1, P_2, \dots, P_n за предикатом P . Так само, операція перетворення предиката P в систему предикатів P_1, P_2, \dots, P_n може бути названа декомпозицією тоді і тільки тоді, коли існує зворотна їй операція, що відновлює предикат P за предикатами P_1, P_2, \dots, P_n .

Тепер ми можемо дати формальне визначення логічної мережі, яку можна визначити, як пристрій, за допомогою якого сьогодні мислить людина, а завтра будуть мислити також і мозкоподібні ЕОМ.

Логічною мережею називається графічне представлення результату бінарної кон'юнктивної декомпозиції багатомісного предиката, оскільки саме предикати є універсальним засобом формального опису структури будь-яких об'єктів.

Розум створює моделі сприйнятих ним об'єктів і виокремлює з них корисні відомості, завдяки яким його носій – людина може жити і ефективно діяти в навколишньому світі. Нічим іншим він не займається. Предикати як раз і є такими моделями.

Надзвичайно важливим є те, що саме при прийнятому формальному визначенні логічна мережа, а не що-небудь інше, виявилася простим і природним універсальним засобом графічного представлення структури будь-якого об'єкта. Це – вагомий аргумент на користь того, щоб ототожнити формальне визначення логічної мережі з її змістовним визначенням.

Логічна мережа дозволяє вирішувати не тільки пряму і зворотну задачі розпізнавання. Вона дозволяє вирішувати задачу з будь-яким набором вихідних даних. Якщо дані суперечливі – отримаємо в результаті порожню множину, якщо даних недостатньо – отримаємо неоднозначне розв'язання. Використання логічної мережі для цього завдання є ефективним рішенням – завдання вирішується в 2 такти – всі незалежні операції виконуються паралельно.

Побудова логічних систем розпізнавання об'єктів, що містять велику кількість класів і ознак, та оцінка їх ефективності пов'язані зі значними труднощами, вирішення яких є предметом майбутніх досліджень у цій області знань.

Традиційно завдання логічного розпізнавання вирішуються за допомогою булевої алгебри. Класи і ознаки об'єктів розглядаються як булеві змінні. Варто ще раз підкреслити, що логічна мережа призначена для вирішення більш складних (в сенсі моделювання) завдань, що відносяться до більш загального класу. Будучи методом розв'язання систем рівнянь алгебри скінченних предикатів, логічна призначена для вирішення завдань, що вимагають набагато більших описових можливостей, ніж надає, наприклад, булева алгебра.

Висновки

В даному дослідженні за допомогою категорних моделей логічних мереж вдосконалено математичне забезпечення, що є фундаментальним інструментом розробки інтелектуальних радіолокаційних систем, а також дозволяє покращити якісні й кількісні характеристики інтелектуальних радіолокаційних комплексів.

Проведене дослідження показало, що алгебра предикатів є зручним і ефективним способом формального запису інформації загального виду. Модель, побудована засобами алгебри предикатів, являє собою систему предикатних рівнянь, для ефективного вирішення якої служить логічна мережа, що надає можливості як для апаратної реалізації, так і для моделювання її на сучасних ЕОМ, що і було виконане в рамках даної роботи.

Розвиток та практичне застосування технологій моделювання на основі логічних мереж є продовженням науково-дослідної роботи, що проводиться на кафедрі Програмного забезпечення в ХНУРЕ.

Таким чином були вдосконалені методи формалізації та вирішена науково-практична задача підвищення ефективності процесів обробки радіолокаційних сигналів та видачі рекомендацій щодо типу та поведінки радіолокаційного об'єкта. Ця інформаційна технологія може використовуватися в системах радіолокаційного моніторингу повітряного простору, системах медичної діагностики, системах управління рухомими об'єктами тощо.

У майбутніх дослідженнях увагу буде зосереджено на створенні математичного апарату, моделей та методів прогнозування поведінки радіолокаційних об'єктів на базі можливостей розпаралелювання обчислень з допомогою технології логічних мереж.

Література

- [1] Бондаренко М.Ф., Дудар З.В., Єфімова І.А., Лецинский В.А., Шабанов-Кушнарченко С.Ю. Про мозкоподібні ЕОМ // *Радіоелектроніка й інформатика*. – 2014. – № 2. – С. 21-38.
- [2] Fourier J. Un modele d'indexation relationnel pour les graphes conceptuels fondee sur une interpretation logique: Phd thesis // *Universitee*. – Grenoble, 1998.- 302 p.
- [3] Хьюбелл Д. Око, мозок, зір // М.: Мир, 2010. – 239 с.
- [4] Климушев В.Б. Моделювання кореляційного алгоритму розпізнавання образів на базі формальної граматики // *Автоматизовані системи керування й прилади автоматіки*. – 2001. – №115.– С. 54-74.
- [5] Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системи й моделі // М.: Радіо й зв'язок, 1982. – 152 с.
- [6] Плоткин Б.І. Універсальна алгебра, алгебраїчна логіка й бази даних // М.: Мир, 1990.– 322 с.
- [7] Бондаренко М.Ф., Осика А.Ф. Автоматична обробка інформації природньою мовою. // Київ: УМК В, 1991. – 143 с.
- [8] Бондаренко М.Ф., Дудар З.В., Процай Н.Т., Черкашин В.В., Чикина В.А., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Алгебра предикатів і предикатних операцій // *Радіоелектроніка й інформатика*. – 2004.–№ 1. – С. 5-22.
- [9] Нильсон Н. Принципи штучного інтелекту // М.: Радіо й зв'язок, 1985. – 373 с.
- [10] Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Про теорію інтелекту // *Проблеми біоніки* // Х.: Вища школа, 1979. – Вип. 22. – с. 3 – 11.
- [11] Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теорія інтелекту. Проблеми й перспективи // Х.: Вища школа, 1987. – 160 с.
- [12] Chetverikov G.G., Vechirska I.D., Tanyanskiy S.S. The methods of algebra finite predicates in the intellectual system of complex calculations of telecommunication companies // *International Conference Proceedings Crimean Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo)*.-2014, 6959425. - pp. 346-347.

Надійшла до редколегії 16.03.2020