

## ВИВЕДЕННЯ ЗА АНАЛОГІЄЮ НА ОСНОВІ ПІРАМІДАЛЬНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДІАГНОСТИКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

*У статті розглянуто виведення за аналогією в семантичних мережах пірамідальної структури. Необхідна умова існування подібності між двома об'єктами визначається через наявність спільних ознак. Для оцінки відношення подібності між моделлю та прототипом введено міру, що обчислюється на основі ступеня подібності моделі і прототипу та впевненості у встановленні такої подібності. Якщо міра подібності моделі перевищує деякий поріг, то для неї може бути здійснено формування висновку. Запропонований метод виведення за аналогією реалізовано в системі аналізу та виявлення закономірностей CONFOR.*

### **Вступ**

Мислення пов'язано із застосуванням різних форм умовиводів. Окрім дедуктивного виведення, у своїй життєвій практиці людина широко використовує правдоподібне виведення, а саме, індуктивне узагальнення та виведення за аналогією. Мислення за аналогією давно стало вже об'єктом дослідження. На основі досліджень у фізіології, лінгвістиці, філософії виявлено перевагу виведення за аналогією в людському мисленні, велику роль аналогії в процесі навчання. Основні висновки, які були сформульовані на основі цих досліджень, стосуються уявлення про логічні схеми виведення за аналогією та про засоби їх реалізації.

Використання аналогії лежить в основі творчих процесів [1]. Віднайдення аналогій між відомими та новими ситуаціями дає змогу людині самонавчатися, а в процесі навчання матеріал, що вивчається, засвоюється значно швидше та використовується надалі більш доцільно. Мислення за аналогією дозволяє використовувати вже відомі механізми обробки інформації у нових ситуаціях. Це суттєво скорочує обсяги інформації, що потрібно зберігати для функціонування системи мислення.

### **Логічне підґрунтя виведення за аналогією**

Виведення за аналогією визначають як виведення, в якому посилки стосуються одного

об'єкта, а висновок – іншого [2]. Перший з цих об'єктів називають прототипом, а другий – моделлю. Носіями аналогії є інваріанти різноманітних ситуацій, що є прихованими, доки аналогія не буде виявлена. Аналогія проявляється при вивченні деяких специфічних характеристик різних об'єктів.

Можна виділити два основні типи виведення за аналогією [2]. Перший – аналогія властивостей. Виведенням за аналогією властивостей називається таке виведення, в якому на основі подібності об'єктів чи явищ за одними властивостями формується висновок про їх подібність за іншими властивостями. Виведення за аналогією властивостей А.Уйюмов відображає наступною схемою:

$$(a, b)P_1, P_2, \dots, P_n \mapsto \frac{(a)P_{n+1}}{(b)P_{n+1}}$$

де  $(a, b)P_1, P_2, \dots, P_n$  – основа виведення, в якій стверджується, що властивості  $P_1, P_2, \dots, P_n$  притаманні об'єктам  $a$  та  $b$ ,  $\frac{(a)P_{n+1}}{(b)P_{n+1}}$  – ядро аналогії, яке складається з посилки та висновку, що відокремлені горизонтальною рисою. Символ  $\mapsto$  відокремлює основу виведення від його ядра. Таким чином, з посилки  $(a)P_{n+1}$ , в якій стверджується, що об'єкт  $a$  має властивість  $P_{n+1}$ , впливає висновок  $(b)P_{n+1}$  про те, що об'єкт  $b$  має властивість  $P_{n+1}$ . Виведення такого

типу були вперше досліджені Аристотелем, та називались парадигмою – виведенням за допомогою прикладу.

Античні мислителі визначали аналогію як виведення на основі рівності відношень. Основою для виведення в цьому випадку є наявність взаємоднозначної відповідності між складовими моделі та прототипу. Античні мислителі обмежувались розглядом лише бінарного відношення. У зв'язку з тим, що сучасна наука оперує багатомісними відношеннями, А.Уйюмов зображує аналогію через ізоморфізм наступною схемою:

$$(a_1, \dots, a_n) \Phi (b_1, \dots, b_n) \rightarrow \frac{G(a_1, \dots, a_n)}{G(b_1, \dots, b_n)}.$$

Таким чином, основою виведення  $(a_1, \dots, a_n) \Phi (b_1, \dots, b_n)$  є ізоморфізм складу моделі та прототипу, тобто між складовими частинами моделі і прототипу встановлено деяке відношення  $\Phi$ . Тоді взаємозв'язок між складовими прототипу  $G(a_1, \dots, a_n)$  має місце також і між складовими моделі  $G(b_1, \dots, b_n)$ . Головною проблемою при виведенні за аналогією через ізоморфізм є питання про встановлення відношення  $\Phi$ .

Предметом досліджень штучного інтелекту стали питання моделювання та реалізації процесів виведення за аналогією [3]. У більшості наукових праць основна увага приділяється дослідженню та уточненню відображення подібності між прототипом та моделлю. Алгоритми, що реалізують виведення за аналогією, важко описати інтегровано як через новизну досліджень у галузі вивчення штучного інтелекту, так і через різноманітність моделей представлення знань, в яких ці підходи були застосовані.

У даній статті виведення за аналогією буде розглянуто для розв'язання задач діагностики та прогнозування [4]. При цьому властивості об'єкта дослідження подаються за допомогою системи понять. Поняття – це елемент системи знань, що являє собою узагальнену модель деякого класу об'єктів, за допомогою якої реалізуються процеси розпізнавання та генерації моделей конкретних об'єктів цього класу [5]. Знання про об'єкт дослідження будуть представлені у вигляді атрибутивної моделі знань. В атрибутивних моделях знань всі відношення, в яких перебуває об'єкт, всі властивості, які він має, всі події, до яких він причетний, та будь-які інші його характеристики відображаються як атрибути об'єкта досліджень.

Нехай задана система ознак  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ . Для кожної з ознак  $A_i$  задано домен  $D_i$  – скінченна множина значень ознаки. Тоді в атрибутивних моделях кожний об'єкт  $I$  деякої сукупності об'єктів  $L$  представляється множиною своїх ознак  $R_x = \{v(d) | d \in D_x\}$ , де  $d_i'$  – значення  $i$ -ої ознаки, яка характеризує об'єкт  $I$ . Головною перевагою таких моделей є однорідність, що дозволяє спростити розробку методів їх інтелектуального аналізу.

Найбільш поширеними способами представлення атрибутивних моделей знань є фреймові структури, дерева розв'язків, семантичні мережі. У даній статті розглянуто виведення за аналогією для атрибутивних моделей знань та його реалізацію в семантичних мережах пірамідальної структури. Семантична мережа пірамідальної структури – це динамічна ієрархічна структура даних, що змінюється залежно від інформації, яка надходить, та свого попереднього стану. Семантичні мережі пірамідальної структури мають ряд переваг, найбільш вагомою серед яких є ефективна організація даних. Виділення спільних частин описів об'єктів здійснюється автоматично при введенні інформації про поточний об'єкт (групу об'єктів) в мережу. При цьому переглядається лише невелика частина даних, що дозволяє розглядати пірамідальні мережі як потужний засіб розв'язання проблем перебору. З цієї ж причини пірамідальні мережі зручні для організації процесів асоціативного пошуку, які набувають особливого значення при розгляді процесів виведення за аналогією.

### **Семантичні мережі пірамідальної структури**

Пірамідальною мережею називається ациклічний орієнтований граф, в якому нема вершин, які мають одну дугу, що заходить. Пірамідальна мережа складається з елементів двох типів: рецепторів та концепторів. Рецептори відповідають окремим значенням ознак з описів об'єктів, тобто між множиною  $\bigcup_{i \in L} D_i$  та множиною рецепторів  $RQ$  існує взаємоднозначна відповідність  $v: \bigcup_{i \in L} D_i \rightarrow RQ$ .

Концептори відповідають комбінаціям значень ознак, що ідентифікують об'єкт в цілому або

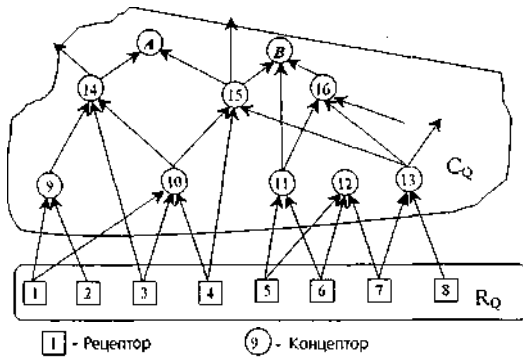


Рис. 1. Приклад семантичної мережі пірамідальної структури

спільні частини описів кількох об'єктів. Кожному концептору  $a$  відповідає піраміда, яка складається з вершин, з яких існує шлях до вершини  $a$ . Рецептори, що входять до піраміди, складають основу піраміди. Зв'язки між вершинами відображають вкладеність основ пірамід цих вершин.

Для порівняння опису об'єкта з локальною частиною мережі визначено процес збудження. При сприйнятті нового об'єкта  $X$  множина рецепторів  $R_X = \{v(d) \mid d \in D_X\}$  переводиться в стан збудження. Збудження розповсюджується по мережі. Концептор  $a$  переводиться у стан збудження, якщо збудженими є всі вершини піраміди  $a$ , що пов'язані дугами з вершиною  $a$ . Таким чином, є змога виділити фрагмент мережі, що стосується об'єкта.

Виділення фрагментів описів, що повторюються, та формування відповідних концепторів відбувається в результаті роботи алгоритму побудови пірамідальної мережі [5,6]. Побудова мережі відбувається на основі описів об'єктів множини  $L$ . Об'єкти послідовно вводяться в мережу, причому кожний наступний порівнюється з раніше введеними, в результаті чого у мережі виникають концептори, що відповідають комбінаціям значень ознак спільним для описів кількох об'єктів.

У пірамідальних мережах визначений процес індуктивного формування понять. Нехай  $Q$  – пірамідальна мережа, що представляє всі об'єкти множини  $L$ . Така мережа будується шляхом застосування алгоритму побудови мережі до всіх об'єктів множини  $L$ . Для формування понять  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , що відповідають множинам  $V_1, V_2, \dots, V_n$ , послідовно переглядаються піраміди всіх об'єктів множини  $L$ . При перегляді піраміди здійснюються перетворення, які описуються двома основними правилами [7].

Суть процесу формування понять полягає в аналізованні елементів побудованої мережі та відбиранні з них таких, які найчастіше зустрічаються в об'єктах множини  $L$ . Відібрані вершини позначаються як контрольні вершини поняття, що формується. Якщо при перегляді всіх об'єктів множини  $L$  з'явилась хоча б одна нова контрольна вершина, то всі об'єкти множини  $L$  знову переглядаються. Робота алгоритму завершується, коли під час чергового перегляду множини  $L$  не виникло жодної нової контрольної вершини.

Таким чином, поняття класу об'єктів представляється в мережі сукупністю контрольних елементів. За допомогою таких вершин буде виявлено подібність до об'єктів множини  $L$  у найбільш загальній формі.

### Виведення за аналогією на основі пірамідальних мереж

Після завершення роботи алгоритму побудови семантичної мережі утворюється структура, яка є представленням описів об'єктів множини  $L$ . Нехай  $Q$  – пірамідальна мережа, що представляє об'єкти множини  $L$ . Кожний об'єкт  $l \in L$  є представником деякого поняття  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , що визначено відповідною вказівкою. У даній статті розглядається детерміністський підхід до задачі, тобто випадок, коли множина  $L$  розділена на  $n$  множин  $V_1, V_2, \dots, V_n$ , що не перетинаються, та відповідають поняттям  $B_1, B_2, \dots, B_n$ .

Будемо вважати, що множина  $L$  є множиною прототипів. Нехай також задано опис її ознак моделі  $X$ , для якої повинно бути здійснено виведення. Основою виведення буде виступати наявність спільних ознак в описах об'єктів, що відповідає виведенню за аналогією властивостей. Посилку ядра виведення визначимо як належність об'єкта з множини  $L$  до деякого поняття  $B_i$ . Тоді висновок полягатиме в тому, що модель  $X$  також належить до деякого поняття  $B_i$ .

Важливе значення при виведенні за аналогією має питання про встановлення основи виведення, тобто визначенні сукупності ознак  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , що будуть виступати основою виведення. Виведення за аналогією є не вірогідним, а лише ймовірнісним виведенням, що має характер припущення. Тому є змога виділити лише необхідні умови існування подібності між моделлю та прототипом. Інші, достатні умови існування аналогії між двома об'єктами вводяться залежно від евристичного критерію та

методу виведення за аналогією. За аналогією властивостей необхідною умовою існування аналогії між двома об'єктами  $A$  та  $B$  є наявність спільних ознак, тобто  $D_A \cap D_B \neq \emptyset$ .

Оцінку відношення подібності між моделлю та прототипом пропонується здійснювати на основі дослідження двох характеристик: ступеня подібності моделі і прототипу та впевненості у встановленні такої подібності. Ступінь подібності моделі та прототипу визначається згідно з кількістю спільних ознак, тобто величини  $Card(D_A \cap D_B)$ . Ступінь впевненості визначимо згідно з кількістю об'єктів з множини  $L$ , до яких модель  $X$  є подібною. На основі цих двох характеристик визначається основа виведення. Якщо основа виведення має місце, то для неї може бути здійснено формування виведення, тобто якщо модель та прототип мають високу міру подібності, то вони належать до одного поняття.

Для визначення основи виведення буде використано контрольні вершини понять, які визначені на етапі формування понять у пірамідальній мережі. Для встановлення та дослідження ступеня подібності моделі та прототипу на основі пірамідальних мереж використаємо наступні характеристики вершин мережі:

$k^a$  – кількість рецепторів у піраміді вершини  $a$  (для рецепторів  $k=1$ );  $m^a = (m_1^a, m_2^a, \dots, m_s^a)$ , де  $(i=1, 2, \dots, s)$  – кількість об'єктів поняття  $B_i$ , до піраміди яких входить вершина  $a$ ;

$D_a$  – сукупність ознак, рецептори яких складають основу піраміди вершини  $a$ .

Характеристика  $k^a$  використовується для встановлення ступеня подібності двох об'єктів. Кожна вершина  $a$  в пірамідальній мережі визначає кон'юнктивний клас об'єктів. Це означає, що об'єкти, в піраміді яких входить вершина  $a$ , є подібними за сукупністю значень ознак  $D_a$ , а ступінь їх подібності дорівнює  $k^a$ . Вага вершини  $m_i^a$  використовується для визначення ступеня впевненості у встановленій подібності. Для кожної вершини  $a$  пірамідальної мережі може бути обрахована її вага в кожному з понять. Вага вершини  $a$  для поняття  $B_i$  дорівнює  $w_i^a = \frac{m_i^a}{Card(V_i)}$ . Таким чином, вага вершини  $a$  становить собою нормовану величину, яка характеризує кількість об'єктів, описи яких перетинаються за сукупністю значень ознак  $D_a$ .

Таким чином, якщо при сприйнятті об'єкта  $X$  була збуджена деяка вершина  $a$ , то це означає, що об'єкт  $X$  подібний до об'єктів  $L_a \subseteq L$  за сукупністю ознак  $D_a$  зі ступенем подібності  $k^a$ . Ступінь впевненості в тому, що об'єкт  $X$  є подібним до об'єктів з  $V_j$  за сукупністю значень ознак  $D_a$  характеризується вагою  $w_i^a$ .

Для формування інтегральної оцінки про подібність об'єкта до об'єктів з множини  $L$  необхідно виявити серед вершин мережі такі, які відповідають найбільш властивим для об'єктів множини  $L$  комбінаціям значень ознак, та дозволяють встановити максимальний ступінь подібності при найбільшому ступені впевненості в такій подібності. Саме така процедура здійснюється під час індуктивного формування понять. Використаємо результати аналізу, що здійснюється на етапі індуктивного формування понять, для виведення за аналогією.

Для виведення за аналогією опис моделі  $X$  зіставляється з мережею  $Q$  за допомогою процесу збудження, в результаті чого в мережі деяка сукупність вершин  $P_X$  переводиться в стан збудження. Позначимо множиною  $K_X$  – множиною контрольних вершин, що входять до піраміди  $P_X$  об'єкта  $X$ , та не містять інших збуджених контрольних вершин у своїй супермножині. Якщо вершина  $a \in K_X$ , то вона задає найпотужнішу сукупність значень ознак, за якою модель  $X$  є подібною до деякого поняття  $B_j$ .

Нехай  $K_j$  – множина контрольних вершин поняття  $B_j$ ; тоді  $K_X = \bigcup_{i=1}^j K_X^i$ , де  $K_X^i = K_X \cap K_i$  –

множина контрольних вершин поняття  $B_j$ , що були збуджені при сприйнятті об'єкта  $X$ . Якщо  $a \in K_X^i$ , то об'єкт  $X$  є подібним до сукупності об'єктів  $V_j$  поняття  $B_j$  за множиною значень ознак  $D_a$  зі ступенем подібності  $k^a$ .

Нехай множина  $K_X$  містить контрольні вершини кількох різних понять. У цьому випадку об'єкт може належати будь-якому поняттю з тих, для яких  $K_X^i \neq \emptyset$ . Інтуїтивно зрозуміло, що коли  $Card(K_X^i)$  суттєво більше, то об'єкт з більшою впевненістю можна віднести до поняття  $B_i$ . Але такий критерій не буде враховувати те, наскільки характерною для поняття  $B_i$

є сукупність значень ознак, що представлена контрольною вершиною.

Введемо міру подібності об'єкта  $X$  відносно поняття  $V_i$  наступним чином:

$$m_x(V_i) = \sum_{a \in K_x^i} w_a$$

Якщо  $K_x^i = \emptyset$ , то  $m_x(V_i) = 0$ . Тоді ступінь впевненості, що об'єкт  $X$  подібний за сукупністю значень ознак, які представлені вершинами множини  $K_x$ , до об'єктів множини  $V_i$  становить  $m_x(V_i)$ .

Нормованою мірою подібності об'єкта  $X$  є значення  $m(X) = \frac{m_x(V_i)}{m(K_x)}$ ,

$$\text{де } m(K_x) = \sum_{a \in K_x} w_a,$$

а  $w^a$  – вага контрольної вершини  $a$  поняття, контрольною вершиною якого вона є. Таке значення буде визначати ступінь впевненості в тому, що об'єкт  $X$  належить до поняття  $V_i$ .

Ступінь впевненості в тому, що об'єкт  $X$  належить до поняття  $V_i$ , буде сягати свого найбільшого значення 1, якщо  $K_x^i \neq \emptyset$  та

$\forall i \quad i = \overline{1, n} (j \neq i)$ , тобто  $K_x \subseteq K_i$ .

$$\text{Дійсно, } m(X) = \frac{\sum_{a \in K_x^i} w_a}{\sum_{a \in K_x} w_a} = \frac{\sum_{a \in K_x \cap K_i} w_a}{\sum_{a \in K_x} w_a} = \frac{\sum_{a \in K_x} w_a}{\sum_{a \in K_x} w_a} = 1$$

На основі двох характеристик – ступеня подібності та впевненості у встановленій подібності – визначається основа виведення. Якщо основа виведення має місце, то для неї може бути здійснено виведення.

### Застосування

Розглянутий метод виведення за аналогією реалізовано в системі CONFOR (CONcept FORMation). Вихідними даними для системи є множина прикладів та контрприкладів досліджуваного класу об'єктів (процесів, ситуацій, явищ, тощо), що задані наборами значень ознак. За допомогою системи CONFOR було отримано кілька сотень високоточних прогнозів при розв'язуванні таких задач, як прогнозування існування хімічних сполук із заданими властивостями, класифікація економічних ситуацій, діагностика захворювань, прогнозування сонячної активності, діагностика несправностей у технічних пристроях тощо.

1. *Гладун В.П.* Концептуальные умозаключения // Знание-диалог-решение.- Киев: НПО "Горсистемотехника", 1990. - Ч. 1 - С. 76-91.  
 2. *Уемов А.И.* Аналогия в практике научного исследования.- М.: Наука, 1970. - 264 с.  
 3. *Hall R.* Computational approaches to Analogical Reasoning: a comparative analysis// Artificial Intelligence. - 1989. - V. 3. - № 39. - P. 39-120.  
 4. *Гладун В.П., Величко В.Ю., Москалькова Н.М.* Интеллектуальные технологии автоматизации научных исследований// Труды конференции "Знание-Диалог-Решение" KDS-97. - Ялта, 1997. - С. 16-25.

5. *Гладун В.П.* Процессы формирования новых знаний. - София: СД "Педагог", 1994. - 192 с.  
 6. *Ващенко Н.Д., Мамай (Москалькова) Н.М.* Проблеми побудови пірамідальних мереж в задачах індуктивного формування понять // Вісник Київського Університету ім.Т.Шевченка. Серія: фізико-математичні науки. - 1997.- Вип.1. - С.194-200.  
 7. *Ващенко Н.Д.* Формирование понятий в семантической сети // Кибернетика. - 1987. - № 2. - С. 101-107.

N.D. Vashchenko, N.M. Moskalkova

## ANALOGICAL INFERENCE ON THE BASIS OF PYRAMIDAL NETWORKS FOR DIAGNOSTICS AND PROGNOSIS

The paper deals with the analogical inference on the basis of pyramidal network. The necessary condition of similarity between two objects is defined as existence of their common properties. The similarity measure for the model and prototype are proposed as the background for analogical inference. Proposed method was realized in the CONFOR system.