

# АРХІТЕКТУРА ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ “АНАЛОГІЯ”

Величко В.Ю.\* , Москалькова Н.М.\*\*

\* - Інститут кібернетики НАН України, e-mail: vitalyv@aduis.kiev.ua

\*\* - Інститут Програмних Систем, e-mail: nadya@aduis.kiev.ua

## ABSTRACT

In the present paper the expert system Analogy architecture is described. Knowledge base of the system Analogy contains the presentation of structural attributive knowledge model. The dialog system is used to fill up the knowledge base. Block of knowledge base analysis includes the library of knowledge processing operations and module of analogical inference. Knowledge processing operations is a powerful instrumental mechanism for solution of analytical task in discrete environment and have been applied for solving of the composition design task and properties prognoses of the complex objects.

## ВСТУП

Потужний розвиток обчислювальної техніки сприяє проникненню інформаційних технологій у різні сфери життєдіяльності сучасного суспільства. Але нарощування функціональних можливостей комп'ютера доцільно лише в тому випадку, коли розроблені концепції та механізми їх ефективного використання для підтримки інтелектуальної діяльності людини. Тому широке розповсюдження в наші дні отримали експертні системи.

Експертна система-оболонка “Аналогія”, що буде розглянута в даній статті, призначена для розв'язування задач в дискретних середовищах на основі виведення за аналогією. Використання аналогії лежить в основі творчих процесів[1]. Виведення за аналогією визначають як виведення, в якому посилки відносяться до одного об'єкту, а висновок - до 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.

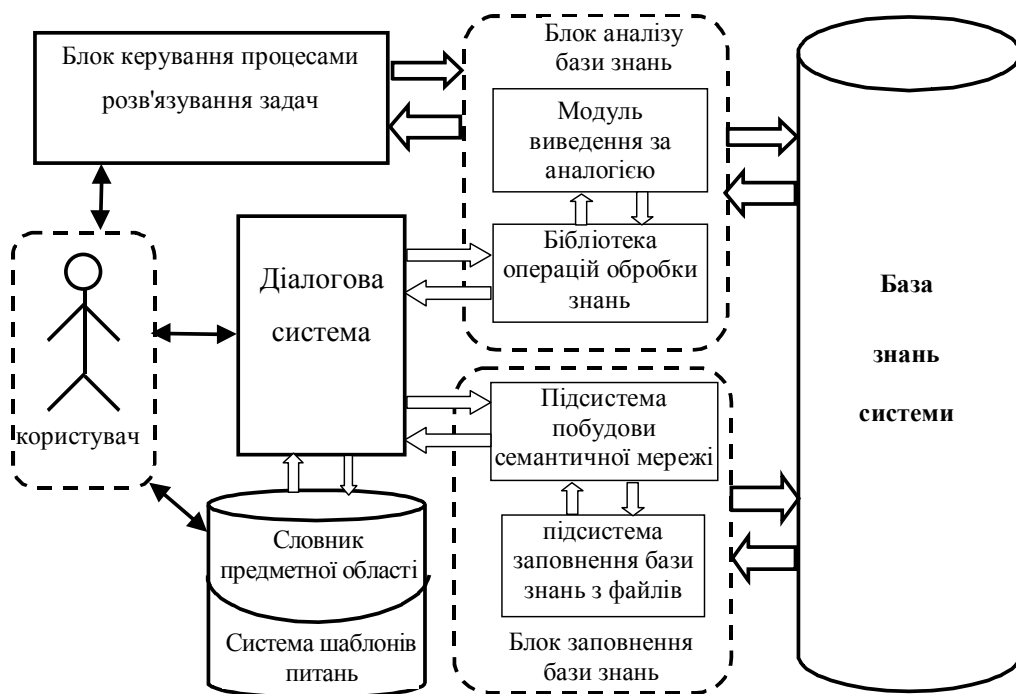
Виділяють два основні типи виведення за аналогією: аналогія властивостей та аналогія через ізоморфізм[2]. Виведенням за аналогією властивостей називається таке виведення, в якому на підставі подібності об'єктів чи явищ за одними властивостями формується висновок про їх подібність за іншими властивостями. Виведення такого типу були вперше досліджені Аристотелем та називались парадейгмою – виведенням через приклад. Термін “аналогія” античні мислителі застосовували до іншого типу виведення – до рівності відношень. Основою для виведення за аналогією через ізоморфізм є наявність взаємооднозначної відповідності між елементами моделі та прототипу. В дослідженнях виведення за аналогією в області штучного інтелекту в більшій мірі відображені обчислювальні аспекти, пов'язанні з реалізацією алгоритмів виведення за аналогією[3]. Обчислювальні дослідження аналогії важко описати інтегровано як через новизну робіт в штучному інтелекті, так і через різноманітність моделей представлення знань, в яких ці підходи були застосовані.

## АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ “АНАЛОГІЯ”

Експертні системи, база фактичних знань яких не заповнена[4], називаються експертними системами-оболонками. Однак охопити широкий спектр різних типів задач, які може розв'язувати одна система, на даному етапі розвитку інтелектуальних технологій не представляється можливим. Тому експертні системи-оболонки спрямовані на розв'язання

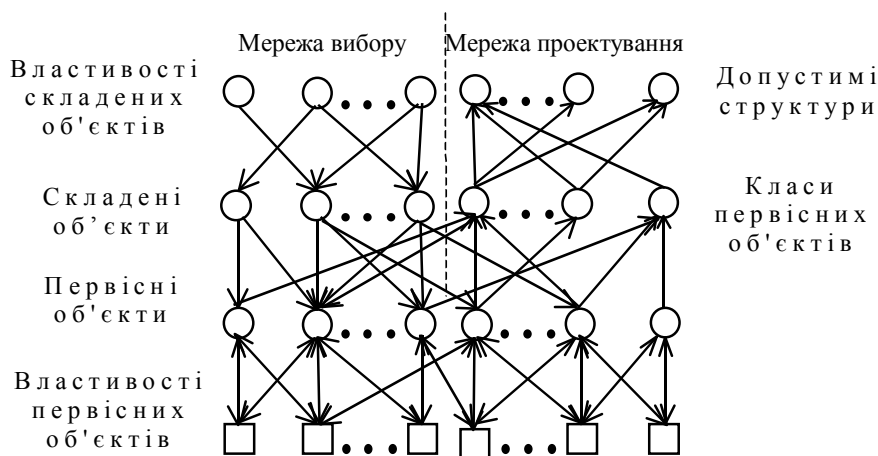
деякого кола задач. Програмний комплекс “Аналогія” - експертна система-оболонка для розв'язання задач, що пов'язані з аналізом структури об'єкту досліджень. Архітектуру програмного комплексу “Аналогія” зображено на Мал. 1.

База знань системи “Аналогія” містить представлення структурно-атрибутивної моделі знань в семантичній мережі. Для визначення структурно-атрибутивної моделі знань мають бути задані множини  $A$ ,  $P$ ,  $S$ ,  $V$ . Елементи множини  $A$  будемо називати первісними об'єктами, елементи множини  $P$  - первісними властивостями, елементи множини  $S$  – складеними об'єктами, елементи множини  $V$  – властивостями складених об'єктів. Серед складених об'єктів виділяються так звані допустимі складені об'єкти. Можуть бути задані правила конструювання допустимих складених об'єктів шляхом визначення допустимих структур, які утворюють визначені класи. Таким чином, може бути задана множина  $C$  класів первісних об'єктів та множина  $T$  – допустимих структур складених об'єктів.



Мал. 1 Архітектура програмного комплексу “Аналогія”

Для представлення знань використовується семантична мережа, яка складається з двох частин: мережі вибору та мережі проектування. Кожна вершина та дуга мають семантичне навантаження. Будемо позначати вершину, що представляє сутність  $x \in V \cup S \cup A \cup P \cup C \cup T$  через  $u_x$ . Мережа вибору містить інформацію про властивості первісних об'єктів, а також про склад та властивості відомих складених об'єктів. У мережі вибору вершини розміщуються по рівнях. Зв'язки між вершинами двох різних рівнів відображаються іменованими дугами. Мережа проектування містить інформацію про класи первісних об'єктів та структури допустимих складених об'єктів. Вона використовується для формування складу допустимих складених об'єктів. Мережа проектування також поділяється на рівні. Загальний вигляд мережі зображено на Мал.2.



Мал. 2 Структура мережі

Заповнення бази знань здійснюється за допомогою блоку заповнення бази знань, який включає підсистему побудови семантичної мережі для представлення структурно-атрибутивних моделей знань та підсистему заповнення бази знань з файлів. Підсистема побудови семантичної мережі містить операції, що дозволяють вносити зміни в базу знань системи. Побудова мережі складається з елементарних операцій додавання нової вершини в мережу або визначення зв'язку між деякими вершинами. Вміст бази знань може бути визначений в файлі фіксованого формату, аналіз якого здійснюється за допомогою підсистеми заповнення бази знань з файлів. Внесення змін до бази знань здійснюється за допомогою діалогової системи.

Діалогова система призначена для автоматизованого заповнення бази знань та внесення змін до неї в процесі діалогу з користувачем. Будемо представляти діалог як взаємодію стратегій партнерів спілкування, тобто користувача та діалогової системи. Виходячи з такої концепції організації діалогу, необхідно визначити стратегію діалогової системи та можливі дії користувача цієї системи. Під стратегією діалогової системи будемо розуміти сукупність правил, згідно яким здійснюється формування послідовності дій (формулювання повідомлень та питань, внесення змін до структури мережі і т.і.), яка забезпечує досягнення поточної мети. Стратегія користувача в загальному випадку не підлягає опису, тому для нього буде визначено засоби реалізації своєї стратегії. Стратегію діалогової системи визначено згідно мети: побудова мережі або перегляд мережі. Стратегія користувача під час діалогу залежить від багатьох факторів та не підлягає опису. Тому розроблено систему засобів перехоплення ініціативи користувачем, за допомогою яких він може реалізувати свою стратегію. Таким чином, структури, що утворюються під час діалогу, не є наперед визначеними, а формуються як взаємодія двох стратегій: стратегії системи та стратегії користувача, та відображають результат інтелектуальних процесів партнерів під час діалогу.

Спілкування системи з експертом здійснюється на основі обміну повідомлень: повідомлення користувачеві поступають у вигляді стандартних речень природною мовою, а від користувача – обмеженою природною мовою. Питання природною мовою формулюється в відповідності з системою шаблонів питань, що відомі системі. Різні шаблони питань відповідають різним видам дуг, що допустимі в мережі. Систему шаблонів питань можна настроювати на конкретну предметну область. Для цього користувачу необхідно визначити бажаний словник предметної області. Завдяки словнику термінів предметної області користувач має справу лише з функціонуванням системи на прикладному рівні, тобто всі повідомлення системи видаватися в термінах області застосування системи.

Діалогова система забезпечує зв'язок користувача з базою знань. Для внесення відповідних змін в базу знань використовується підсистема побудови семантичної мережі. Оптимальне розподілення інтелектуальних функцій між людиною та діалоговою

системою здійснюється за рахунок перехоплення діалоговою системою ініціативи в разі необхідності проведення пошукових операцій. Для здійснення пошукових операцій використовується бібліотека операцій обробки знань, що розташована в блоку аналізу бази знань.

Блок аналізу бази знань система “Аналогія” включає бібліотеку операцій обробки знань та модуль виведення за аналогією. До бібліотеки операцій обробки знань належать пошукові та обчислювальні операції, за допомогою яких здійснюється аналіз знань та на основі яких розроблені методи виведення за аналогією. До пошукових операцій відносяться операції пошуку в мережі вибору, операції пошуку в мережі проектування, операція пошуку релевантних первісних об’єктів, операція конструювання складених об’єктів. Визначені наступні обчислювальні операції: операція визначення ваг первісних властивостей та операція визначення ваг первісних об’єктів, кожна з яких має декілька форм. Вага первісної властивості  $p$  по множині  $Z$  - це кількість шляхів, що з’єднує вершину  $u_p$  ( $p \in P$ ) з сукупністю вершин  $Z$  по всіх допустимих шляхах  $\Sigma$  відповідної довжини. Вага  $m_Z(a)$

первісного об’єкту  $a$  по множині  $Z$  визначена як  $m_Z(a) = \sum_{p \in P_a} n_Z(p)$ . Вага первісного об’єкту

$a \in A$  по множині  $Z$  визначається кількістю шляхів, що з’єднує вершину  $u_a$  з сукупністю вершин  $Z$  визначеної довжини.

Визначено операцію пошуку релевантних первісних об’єктів до множини  $X$  –  $RelevantSet(X, \Theta)$ . Результатом виконання операції буде множина первісних об’єктів, що є  $\Theta$ -релевантними до множини  $X$ . Первісний об’єкт  $a$  будемо називати  $\Theta$ -релевантним первісним об’єктом до множини  $X$ , якщо  $m_X(a) > \Theta$ . Операція пошуку релевантних первісних об’єктів до множини  $X$  грає важливу роль при здійсненні виведення за аналогією для структурно-атрибутивних моделей.

В модулі виведення за аналогією реалізовано виведення за аналогією для структурно-атрибутивних моделей[5], яке складається з наступних основних етапів: визначення множини  $SD$ , елементи якої розглядаються як модель, та множини  $SN \subseteq S$  – множини прототипів; оцінювання відношення подібності між множиною прототипів  $SN$  та моделлю  $d \in SD$ ; формулювання висновку для моделі  $d \in SD$ . Виведення за аналогією є не достовірним, а лише імовірнісним 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 будуть вводиться в залежності від евристичного критерію та методу виведення за аналогією. Необхідною умовою існування аналогії між двома первісними об’єктами  $a$  та  $b$  є наявність спільних первісних властивостей, тобто  $P_a \cap P_b \neq \emptyset$ .

Визначено три способи встановлення додаткової умови існування подібності між двома складеними об’єктами. Перший з них - відповідає виведенню за аналогією властивостей: два складені об’єкти вважаються подібними, якщо первісні об’єкти, що входять до їх складу мають певну кількість спільних первісних властивостей. Другий спосіб визначення аналогії між двома складеними об’єктами базується на підставі ізоморфізму їх складу. Складені об’єкти, первісні об’єкти яких є аналогами, вважаємо аналогічними. Для деяких задач може стати необхідним враховувати подібність структури складених об’єктів. В цьому випадку подібність первісних об’єктів встановлюється через покомпонентний ізоморфізм складу.

Для визначення ступені подібності  $\rho_Y(X)$  моделі – множини  $X$ , до прототипу – множини  $Y$ , та визначення достовірності встановленої подібності між моделлю та прототипом запропоновано кількісні оцінки, що визначають останній етап при виведенні за аналогією - формулювання висновку про модель. Ступень подібності моделі і прототипу характеризується вагою моделі відносно прототипу. Для первісного об’єкту  $k$  ступень подібності первісного об’єкту  $a$  до первісного об’єкту  $k$   $\rho_{\{a\}}(k) = m_{\{u_a\}}(k)$ . Для первісного

об'єкту ступінь подібності моделі  $a$  до множини первісних об'єктів  $A$   $\rho_A(k) = m_A(k)$ . Для складеного об'єкту ступінь подібності моделі  $s$  до множини первісних об'єктів  $Z$  визначено згідно ваг його складових:  $\rho_Z(k) = w_Z(s) = \sum_{k \in A_s} m_Z(k)$ . Нормована вага для

складеного об'єкту  $\tilde{s} \in S \cup SD$  відносно складеного об'єкту  $s \in S \cup SD$  може бути обчислена наступним чином. Нехай  $\hat{w}_Z(s) = 1$ , тоді для складеного об'єкту  $\tilde{s}$

$$\hat{w}_{Z/s}(\tilde{s}) = \begin{cases} \frac{w_Z(\tilde{s})}{w_Z(s)}, & \text{якщо } \frac{w_Z(\tilde{s})}{w_Z(s)} \leq 1 \\ 1, & \text{інакше} \end{cases}.$$

Для довільної підмножини  $Z \subseteq SN$  такої, що  $Card(Z) > 1$ , може бути встановлена ступінь достовірності того, що модель є подібною до  $Z$ . При цьому вважаємо, що якщо деяка модель є аналогом до декількох прототипів, то правдоподібність виведення за аналогією для такої моделі вище. Для визначення ступені достовірності встановленої подібності між моделлю  $x$  та прототипом  $Z$  обчислюється міра, якщо:  $\mu_Z(x) = F(\bar{\rho}_Z(x))$ ,  $\bar{\rho}_Z(x) = (\rho_{Z/z_1}(x), \dots, \rho_{Z/z_n}(x))$ ,  $Z = \{z_1, \dots, z_n\}$ . Функція  $F$  - функція максимуму або суми.

Формулювання висновку про модель при дослідженні первісних об'єктів стосується перенесення на модель тих властивостей, які проявляє прототип у складі складених об'єктів, до складу яких він входить. Формулювання висновку про модель при дослідженні складених об'єктів пов'язано з дослідженням властивостей складених об'єктів з множини  $V$ .

## БЛОК КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

Описані операції обробки знань, що реалізовані в програмному комплексі "Аналогія", є потужним інструментальним засобом розв'язання аналітичних задач в дискретних середовищах[6]. Блок керування процесами розв'язування задач використовує розроблений апарат виведення за аналогією для розв'язування задач прогнозування властивостей складених об'єктів та проектування складу.

Задача проектування складу[7] формулюється наступним чином. Задані множини  $V^+ \subseteq V$  – позитивні властивості користувача, та  $V^- \subseteq V$  – негативні властивості користувача,  $V^+ \cap V^- = \emptyset$ . Необхідно знайти допустимі складені об'єкти, що мають всі властивості множини  $V^+$  та жодної властивості множини  $V^-$ . Таким чином, множини  $V^+$ ,  $V^-$  задають критерії відбору складених об'єктів, а в мережі проектування задані обмеження, що на них накладаються.

Будемо вважати, що існують об'єкти-аналоги по відношенню до відомих складених об'єктів. Це припущення забезпечує необхідні умови для застосування апарату виведення за аналогією при розв'язанні задач комплектації. У цьому випадку за описами відомих складених об'єктів можна формувати гіпотезу про склад об'єкт-аналогу, якому властивий той же набір властивостей користувача. Для цього необхідно здійснити аналіз інформації про властивості первісних об'єктів, що виділяються у просторі ознак, та зробити припущення про їх важливість для появи властивостей користувача у сполуках. У цьому випадку до складу об'єкту-аналогу входять первісні об'єкти, що мають найбільш важливі властивості.

Виділимо з множини відомих складених об'єктів  $S$  такі, що мають властивості  $V^+$  та не мають властивості  $V^-$ . Позначимо цю множину складених об'єктів -  $SN$ . Елементи множини  $SN$  будемо вважати прототипом. До множини  $SN$  може бути застосована схема виведення за аналогією з конструюванням моделі. На підставі формування виведення про модель вважаємо, що складені об'єкти множини  $SD$  мають набір властивостей  $V^+$ , та не мають жодної властивості з множини  $V^-$ .

Задача прогнозування властивостей полягає в визначенні невідомих характеристик об'єкту дослідження[8]. Нехай задані множина  $S$  складених об'єктів, які мають відомі

властивості  $V_S \subseteq V$ , та множина  $D$  складених об'єктів, властивості яких невідомі. Необхідно знайти властивості  $V_d \subseteq V$  для кожного з об'єктів  $d$ , який входить до множини  $D$ .

При вирішенні цієї задачі методом виведення за аналогією, множина  $SN$  буде сформована зі складених об'єктів, що є аналогами до  $d$  згідно обраного метода встановлення подібності. На другому етапі буде досліджено відношення подібності між моделлю  $d$  та прототипом  $SN$ . Якщо потужність  $Card(SN) > 1$ , то може бути оцінена ступінь ступінь достовірності встановленої подібності. Для цього на множині  $SN$  задається розбиття її елементів на підмножини  $\rho_v$ , до кожної з яких включаються складені об'єкти з однаковими властивостями. Далі для кожного з елементів такого розбиття обчислюється ступінь достовірності встановленої подібності моделі  $d$  до  $\rho_v$ . На підставі цього формується міра подібності моделі та прототипу. Якщо міра подібності моделі перевищує деякий поріг, то для неї може бути здійснено останній етап – формування висновку про модель. Формулювання висновку про модель при дослідженні складених об'єктів пов'язано з дослідженням властивостей складених об'єктів з  $V$ . Тобто, якщо модель та прототип, що представлено складеним об'єктом, одержали високу оцінку подібності, то вони мають подібні властивості. Детально процедура розв'язання задачі прогнозування властивостей описано в [8].

## ЗАСТОСУВАННЯ

Програмний комплекс "Аналогія" було застосовано для прогнозування типу кристалічної структури хімічних сполук складу ABCF6 та прогнозування температури плавлення окислів складу MO. Особливістю цих задач є невеликий об'єм вихідних знань про відомі сполуки. Висока точність отриманих результатів дозволяє рекомендувати програмний комплекс "Аналогія" для розв'язання задач прогнозування складених об'єктів з заданими властивостями, коли інформація про об'єкт дослідження не є достатньою для виконання індуктивного узагальнення.

## ЛІТЕРАТУРА

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. – 264с.
3. Hall R. Computational approaches to Analogical Reasoning: a comparative analysis// Artificial Intelligence –1989. – 3, №39.- p. 39-120
4. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры.-М., Финансы и статистика, 1986. –191с.
5. Москалькова Н.М. Обчислювальна схема виведення за аналогією для структурно-атрибутивних моделей// Проблеми програмування .-1999.-№1.-с.100-105
6. 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
7. Величко В.Ю., Москалькова Н.М. Подход к решению задачи комплектации на основе вывода по аналогии//Управляющие системы и машины.-1999.-№4.-с.62-65
8. Величко В.Ю., Москалькова Н.М. Розв'язування задачі прогнозування властивостей для структурно-атрибутивних моделей за допомогою виведення за аналогією// Штучний інтелект.-1999. №2.-с.378-385