

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V.Ju. Velychko, O.V. Palagin

METHODS OF EFFECTIVENESS INCREASE OF APPLICATION OF GROWING PYRAMIDAL NETWORKS

Models and methods of the logical-linguistic analysis of complex objects are considered. Models are constructed on the basis of growing pyramidal networks (GPN) and expand opportunities of the latter due to improvement of GPN construction procedures.

Key words: growing pyramidal networks, complex objects.

Рассмотрены модели и методы логико-лингвистического анализа сложных объектов, в которых расширяются возможности растущих пирамидальных сетей за счет усовершенствования процедур их построения.

Ключевые слова: растущие пирамидальные сети, сложные объекты.

Розглянуто моделі та методи логіко-лінгвістичного аналізу складних об'єктів, в яких розширюються можливості зростаючих пірамідальних мереж за рахунок удосконалення процедур їх побудови.

Ключові слова: зростаючі пірамідальні мережі, складні об'єкти.

© В.Ю. Величко, О.В. Палагін,
2010

УДК 681.3

В.Ю. ВЕЛИЧКО, О.В. ПАЛАГІН

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗРОСТАЮЧИХ ПІРАМІДАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Вступ. Поширюється використання в інформаційних системах моделей, що призначені для логіко-лінгвістичного аналізу складних об'єктів. Функції таких систем як правило відносять до класу інтелектуальних, тому наведемо визначення інтелектуальності та інтелектуальної системи, які розглянуто в роботах [1, 2].

Інтелектуальність це синергетичне поєднання наступних якостей:

- **діяльність для здійснення зовнішньої взаємодії.** Ця властивість є основною для всіх відкритих систем. Діяльність для здійснення зовнішньої взаємодії означає можливість відбиття впливу оточуючого середовища й реалізацію впливу на навколишнє середовище;

- **інформаційне відбиття й інформаційна пам'ять,** тобто можливість накопичення інформації. Ясно, що пам'ять – основна характеристика інтелекту для реалізації здатності вчитися;

- **інформаційне самовідбиття,** тобто можливість створення "вторинної інформації". Узагальнення (створення абстракцій) добре відома характеристика інтелекту. Ми часто концентруємо наші дослідження тільки на цій дуже важливій можливості, що є базою для навчання й розпізнавання. Те ж саме можна відзначити для інтелектуальної системи: "Для досягнення своєї мети вона вибирає дії на основі свого досвіду. Вона може вчитися, узагальнюючи досвід, що зберігається в її пам'яті";

- **інформаційне очікування**, тобто (вторинна) інформаційна діяльність для здійснення внутрішніх або зовнішніх контактів. Ця особливість означає, що прогностичні знання мають бути отримані до початку й у ході взаємодії з навколишнім середовищем: інформація, що отримується, накопичується і порівнюється із задалегідь очікуваною інформацією. Ця властивість є основною для визначення поняття "інтелект";

- **досягнення інформаційного очікування**. Це відповідає визначенню, що "інтелект – здатність досягти мети". Метою є модель майбутнього стану системи, який має бути досягнутий, і відповідні йому прогностичні знання, які мають бути отримані з вхідної інформації.

Розглянемо більш детально процеси інформаційної пам'яті та інформаційного самовідбиття, до яких належать формування асоціативних зв'язків між описами об'єктів, ієрархічне впорядкування, класифікація, пошук закономірностей та формування узагальнених логічних ознакових моделей класів об'єктів – **понять**. Найбільш прийнятним типом моделей що використовуються в інтелектуальних системах для обробки складних структур різнотипних даних і знань є логіко-лінгвістичні моделі, тобто такі моделі, у яких основними елементами є не числа й обчислювальні операції, а імена та логічні зв'язки. Характерним прикладом логіко-лінгвістичних моделей є поняття, які відображають закономірності, притаманні класам об'єктів. Однією з можливих добре апробованих реалізацій логіко-лінгвістичних моделей є організація пам'яті інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем у вигляді зростаючих пірамідальних мереж (ЗПМ) [3].

Важливою властивістю пам'яті ЗПМ, на базі якої стають можливими процеси логічного аналізу даних, є властивість структурування інформації одночасно з її сприйняттям. У цьому випадку формування структури пам'яті відбувається під впливом інформації, що сприймається і зберігається в системі. В результаті здійснення процесів структурування інформації встановлюється семантична й синтаксична близькість інформації яка сприймається із уже збереженою інформацією. Знайдені асоціації закріплюються структурними змінами пам'яті.

Сформована інформаційна модель об'єктів надалі використовується для підтримки процесу прийняття рішень з метою класифікації, діагностики та прогнозування властивостей нових об'єктів. За допомогою визначених понять задачі прогнозування і діагностики зводяться до задачі класифікації. Класифікація нових об'єктів виконується шляхом порівняння їх ознакових описів з поняттям, яке визначає клас об'єктів, який потрібно спрогнозувати.

Постановка задачі. Алгоритми побудови ЗПМ викладено у багатьох публікаціях [3–7]. Використання ЗПМ пов'язано з реалізацією наступних етапів:

- побудова структури мережі для деякої вхідної множини об'єктів, що задані за допомогою ознакових описів;
- навчання отриманої структури, що складається у виділенні елементів

(логічних закономірностей), які дозволяють класифікувати об'єкти з вхідної множини;

- розпізнавання приналежності до деякого класу об'єктів об'єкта, що не належить до вхідної множини об'єктів.

Разом з тим існують ряд проблем при побудові ЗПМ та *формуванні логічних закономірностей*. При індуктивному формуванні деякого поняття на основі атрибутивних моделей метою є пошук сукупності кон'юнкцій значень атрибутів, що визначають всі об'єкти цього поняття та не визначають жодного об'єкта інших понять. Результат підбору сукупності кон'юнкцій значень атрибутів не є однозначно визначеним, а суттєво залежить від методу виведення та порядку перегляду об'єктів вибірки для навчання. При індуктивному формуванні понять у ЗПМ проблема неоднозначності представлення кон'юнкцій значень атрибутів проявляється в виникненні вершин-викидів [6] під час застосування правил побудови мережі. Вершини-викиди порушують цілісність пірамід. Як наслідок, під час формування понять вершина-викид може бути виділена як контрольна вершина поняття, що може привести до неправильного розпізнавання об'єктів. Один з можливих шляхів вирішення проблеми виникнення вершин-викидів наведений в [6], але проблема неоднозначності представлення кон'юнкцій значень атрибутів при цьому не вирішується.

Далі у статті будуть наведені нові алгоритми побудови й навчання ЗПМ, які дозволяють позбутись виникнення вершин-викидів та отримувати однакові логічні описи класів об'єктів незалежно від порядку перегляду об'єктів вибірки для навчання.

Нагадаємо основні поняття [7], які будемо використовувати в подальшому описі алгоритму. Пірамідальною мережею Q називається ациклічний орієнтований граф $Q = (U, E)$ (U – множина вершин, E – множина дуг), в якому відсутні вершини, які мають одну дугу, що заходить. Вершини, які не мають дуг, що заходять, називають *рецепторами*, інші вершини – *концепторами*. Рецептори відповідають окремим значенням ознак з описів об'єктів. Концептори – комбінаціям значень ознак, що ідентифікують об'єкт в цілому, або відповідним спільним частинам описів декількох об'єктів. Множина вершин пірамідальної мережі – це множина $U = R_Q \cup C_Q$, де R_Q – множина рецепторів пірамідальної мережі, C_Q – множина концепторів пірамідальної мережі. Приклад пірамідальної мережі показано на рис. 1.

Підграф пірамідальної мережі, що включає вершину a та всі вершини, з яких існує шлях до a , називається пірамідою вершини a . Вершини, що входять до піраміди вершини a утворюють її субмножину. Множина вершин, до яких існують шляхи з вершини a , називається її супермножиною. Множину вершин з субмножини вершини a , що безпосередньо зв'язані дугами з вершиною a , будемо називати θ -субмножиною a та позначимо її F_a .

Правила побудови мережі A1 та A2 наведено в роботі [7]. При застосуванні правила A1 основним структуруючим відношенням є відношення перетину

множини рецепторів, збуджених при введенні опису нового об'єкта, з якими-небудь іншими множинами рецепторів, що входять у раніш побудовані піраміди. Застосування правила A2 завершує побудову піраміди, що представляє опис уведеного об'єкта в цілому. У класичному алгоритмі побудови ЗПМ правила A1 та A2 забезпечують побудову мережі у напрямку від вершин нижнього рівня R_Q – рецепторів до вершин верхнього рівня – концепторів, які відповідають відомим об'єктам (a_1, a_2, a_3 на рис.1).

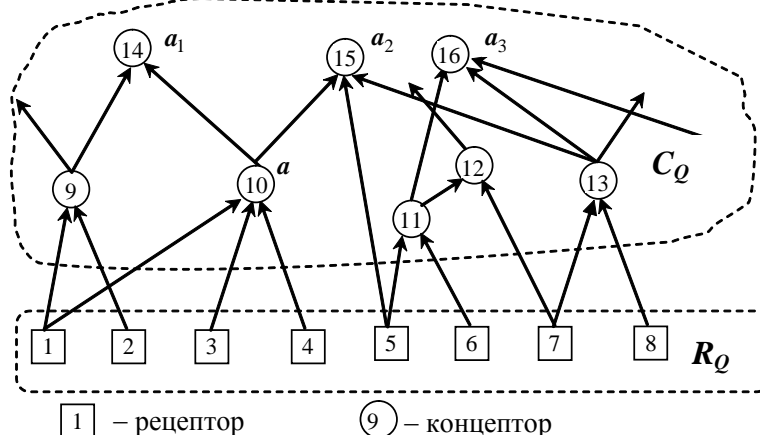


РИС. 1. Приклад семантичної мережі пірамідальної структури

Пропонуються модифіковані правила побудови ЗПМ. Головна ідея модифікованих правил полягає у тому, що структурування та побудова мережі здійснюється по черзі у низхідному і висхідному напрямках, тобто зверху від рівня об'єктів та знизу від рівня рецепторів.

Побудова зростаючої пірамідальної мережі. На початковій стадії у мережі існують лише рецептори, кожен з яких відповідає значенню ознаки та концептори, які відповідають відомим об'єктам. Для кожного з об'єктів a_i відома відповідна множина рецепторів R_{a_i} . Побудова мережі починається з виконання наступного нового правила.

Правило A1. Для кожного нового об'єкта a_i , який додається до мережі, та об'єкта $a_j, j = \overline{1, i-1}$, який уже існує у мережі, визначається найбільша за потужністю множина спільних рецепторів. Якщо концептор, який відповідає такому перетину рецепторів, уже існує у мережі, то він додається до $\mathbf{0}$ -субмножини об'єктів a_i та a_j . В іншому випадку в мережу вводиться новий концептор, який з'єднується дугами, що виходять з вершин множини R_{a_i} та дугами, що заходять до вершин a_i та a_j . Дуги від рецепторів з $\mathbf{0}$ -субмножини нового концептора, які безпосередньо йшли до вершин a_i та a_j розриваються.

На рис. 2, а, б. показано застосування правила А1. Початковий стан ЗПМ показано на рис. 2, а. Після додавання до мережі нового об'єкта a_i в мережі з'явився новий концептор з номером 10 (рис. 2, б).

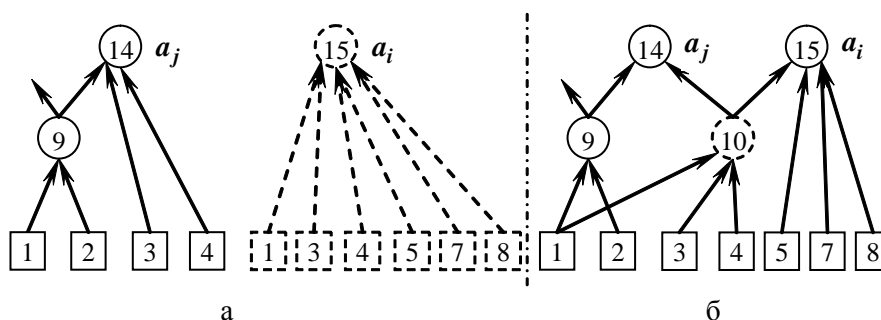


РИС. 2. Правило А1 побудови пірамідальної мережі

На другому етапі структурування мережі переглядаються всі об'єкти, піраміди яких включають рецептори нового об'єкта. При обробці кожного об'єкта a_j рецептори R_{a_j} переводяться в стан збудження. Збудження розповсюджується по мережі та для кожного концептора формується 0-субмножина F_{a_i} збуджених вершин. Концептор вважається збудженим, якщо збуджені всі вершини з його 0-субмножини. Введення нових концепторів у мережу буде здійснюватись за наступним правилом (це правило повністю співпадає з правилом побудови мережі, наведеним в [6]).

Правило А2. Якщо вершина a_i не збуджена та $\text{Card}(F_{a_i}) > 1$, то дуги, що з'єднують вершини з множини F_{a_i} з вершиною a_i , ліквідуються, та у мережу вводиться новий концептор, який з'єднується дугами, що виходять з вершин множини F_{a_i} та дугою, що заходить до вершини a_i . Нова вершина знаходиться у стані збудження. Виконання правила А2 показано на рис. 3, а, б. Мережа (рис. 3, б) виникає після збудження в мережі рецепторів 1, 3, 4, 5, 7 (рис. 3, а).

Після додавання за правилом А2 нових вершин до мережі необхідно виконати перевірку вершин на вкладеність за множиною рецепторів [6]. Якщо існує вершина більш високого рівня, множина рецепторів якої включає множину рецепторів нової вершини (17 на рис. 3, б), необхідно перевірити чи входить існуюча вершина до супермножини нової вершини. Якщо такий зв'язок відсутній, то вершини з'єднуються дугами.

Побудова мережі за наведеними правилами дозволяє уникнути виникнення зайвих вершин, які дублюють головну вершину об'єкта, та позбутись негативного впливу вершин-викідів, за рахунок введення додаткових дуг у мережу.

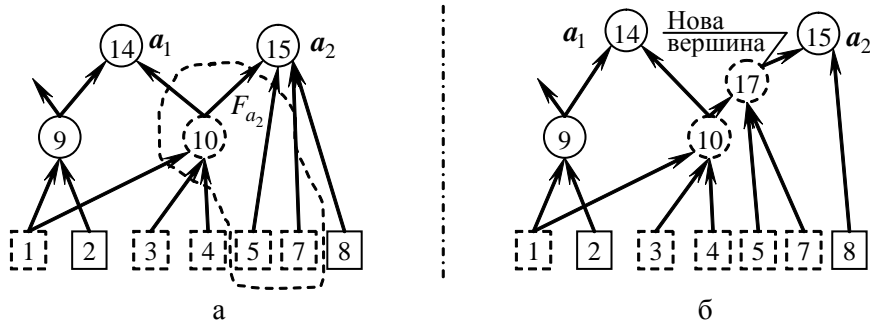


РИС. 3. Правило A2 побудови пірамідальної мережі

При обробці великих обсягів вхідних даних стає актуальним питання розробки алгоритмів паралельної побудови мережі. Найбільш простим варіантом такого алгоритму є наступний. Множина вихідних об'єктів $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ поділяється на підмножини. У якості критерію поділу доцільно обрати різні значення цільової властивості об'єктів з A , тобто різні класи об'єктів. Для кожної з отриманих підмножин побудова пірамідальної мережі здійснюється незалежно і паралельно. Отримані мережі об'єднуються, для чого здійснюється перегляд мереж та об'єднання вершин, які мають однакові множини рецепторів. Після об'єднання вершин необхідно виконати перевірку вершин на вкладеність та формування необхідних зв'язків у мережі. Звісно наведений алгоритм не дозволяє сформувати нові вершини, які відповідають перетинам між класами об'єктів. Але формування таких зв'язків не є цілком при побудові ЗПМ. Головна ціль – це побудова кон'юнктивних вершин, що відповідають окремим класам об'єктів, а перетини між класами частково враховуються за рахунок об'єднання вершин з однаковими множинами рецепторів. Алгоритм паралельної побудови ЗПМ потребує більш детальної розробки та проведення експериментальних досліджень.

Пірамідальні мережі зручні для виконання різних операцій асоціативного пошуку. Наприклад, можна вибрати всі об'єкти, що включають задане поєднання значень ознак, простежуючи шляхи, що виходять з вершини мережі, яка відповідає цьому поєднанню. Для вибірки всіх об'єктів, описи яких перетинаються з описом заданого об'єкта, досить прослідкувати шляхи, що виходять з вершин піраміди цього об'єкта. Алгоритм побудови мережі забезпечує автоматичне встановлення асоціативної близькості між об'єктами за спільними елементами їх описів. Перехід від конвергованих представлень об'єктів (концепторів) до розгорнутих (наборів рецепторів) здійснюється шляхом перегляду пірамід у різних напрямках (зверху вниз і у зворотному напрямку).

Важливою властивістю пірамідальних мереж є їх ієрархічність, що дозволяє природним чином відображати структуру складених об'єктів і зв'язки типів рідвид та об'єкт-властивість. Концептори мережі відповідають поєднанням значень

ознак, що визначають окремі об'єкти і кон'юнктивні класи об'єктів. При включенні збуджених вершин у піраміду об'єкта здійснюється його прив'язка до класів, визначення яких представлено цими вершинами. Таким чином, при побудові мережі формуються кон'юнктивні класи об'єктів, тобто здійснюється класифікація без вчителя. Властивість пірамідальної мережі здійснювати класифікацію має велике значення для моделювання середовищ і ситуацій. У якості ситуації може розглядатись деяка подія, чи сцена, яка крім структурних та ознакових елементів має деяку часову характеристику.

Спеціальний клас зростаючих пірамідальних мереж, призначений для формування узагальнених описів динамічних об'єктів і процесів, ознаковими описами яких є часові відносини представлено в [8]. Для опису часових відносин використовуються якісні темпоральні відносини часової логіки Аллена. Часовий процес являє собою деяку впорядковану в часі послідовність подій $S = (x(t_1), y(t_2), \dots, z(t_n))$, що характеризують стани об'єктів досліджень у дискретні моменти часу t_i .

На множині подій Q визначається система якісних темпоральних відносин [8] $RT = \{\varphi, I\varphi, e\}$ через обмеження між моментами часу здійснення подій у такий спосіб $\forall x(t_i) \in S, \forall y(t_j) \in S; x(t_i) \text{ (y } t_j) \Leftrightarrow t_i < t_j \quad x(t_i) I (y) t_j \Leftrightarrow t_i \succ t_j$
 $x(t_i) e y(t_j) \Leftrightarrow t_i = t_j$. Але спільна обробка невпорядкованих і впорядкованих (часових) ознак об'єктів ускладнює алгоритми роботи мережі та потребує розробки відповідних процедур. У цьому випадку доцільно перейти до багатшарової пірамідальної мережі, в якій невпорядковані та впорядковані ознаки належать до різних шарів мережі. До впорядкованих ознак застосовується додаткова операція їх нумерації [3]. Зв'язки між шарами мережі вказують на проміжок часу існування об'єктів та зміни їх властивостей.

Індуктивне формування понять в ЗПМ. Навчання ЗПМ полягає у формуванні в них структур, що представляють поняття.

Поняття – елемент системи знань, що є узагальненою логічною ознаковою моделлю класу об'єктів, за допомогою якої реалізуються процеси розпізнавання і генерації моделей конкретних об'єктів. Розглянемо задачу індуктивного формування понять для множини об'єктів з властивостями V_1, V_2, \dots, V_n [5]. Нехай L – множина об'єктів, які використовуються як вибірка для навчання. Задані ознакові описи всіх елементів L . Для кожного об'єкта $l \in L$ відомо відношення $l \in V_i$. Потрібно за допомогою аналізу L сформувані n понять з обсягами V_1, V_2, \dots, V_n , достатніх для правильного розпізнавання всіх об'єктів $l \in L$.

Суть процесу формування понять в пірамідальних мережах полягає в аналізі елементів побудованої мережі та доборі з них таких, які найчастіше зустрічаються в об'єктах з однаковими властивостями з вибірки для навчання. Відібрані вершини помічаються як контрольні вершини поняття, що формується. Поняття B_i класу об'єктів V_i представляється у мережі сукупністю

контрольних вершин. У разі необхідності поняття може бути представлено у вигляді логічного виразу.

Нехай побудована пірамідална мережа, що представляє всі об'єкти вибірки для навчання L . Для формування понять B_1, B_2, \dots, B_n , що відповідають множинам V_1, V_2, \dots, V_n послідовно проглядаються піраміди всіх об'єктів з вибірки для навчання. Вершини піраміди об'єкта, що переглядається, під час перегляду вважаються збудженими. Для всіх вершин мережі будемо використовувати наступні характеристики: k^a – кількість рецепторів в піраміді вершини a (для рецепторів $k = 1$), тобто $k^a = \text{Card}(R_a)$; $\bar{m}^a = (m_1^a, m_2^a, \dots, m_n^a)$, де

$$m_i^a = \frac{\text{Card}(V_i^a \subseteq V_i)}{\text{Card}(V_i)} \quad (i = 1, 2, \dots, n); \quad m_i^a - \text{відносна кількість об'єктів поняття}$$

B_i , до пірамід яких входить вершина a . При перегляді піраміди поняття B_i здійснюються операції, які описуються наступними правилами.

Правило В1. Якщо в піраміді об'єкта X з обсягу поняття B_i вершина a , що має найбільшу різницю між m_i^a та $M_a = \sum_{j=1, j \neq i}^n (m_j^a)$ з найбільшим k з усіх

вершин піраміди X , не є контрольною вершиною поняття B_i , то вона зазначається як контрольна вершина поняття B_i . Формулювання правила враховує можливість існування серед збуджених вершин декількох вершин з однаковою найбільшою різницею між m_i^a та M_a і найбільшим значенням k . У цьому разі з такої групи як контрольна відмічається будь яка вершина.

Правило В2. Якщо в піраміді об'єкта X з обсягу поняття B_i є контрольні вершини інших понять, що не містять у своїх супермножинах збуджених контрольних вершин поняття B_i , у кожній з цих супермножин вершина, як контрольна вершина поняття B_i зазначається вершина згідно з вимогами правила В1.

Якщо при перегляді всіх об'єктів вибірки для навчання з'явилась хоча б одна нова контрольна вершина, то робиться новий перегляд об'єктів вибірки до субмножин яких входить нова вершина. Процес завершується, коли під час чергового перегляду не виникло жодної нової контрольної вершини.

За допомогою контрольних вершин здійснюється виділення найбільш характерних поєднань значень ознак, що належать об'єктам з обсягу поняття.

Після побудови пірамідалної мережі утворюється структура, яка є представленням описів об'єктів вибірки для навчання. Кожна вершина мережі визначає кон'юнктивний клас об'єктів. Таким чином, об'єкт належить до всіх класів об'єктів, які визначаються вершинами, що входять до його піраміди, і також кожний об'єкт, піраміда якого містить у собі деяку вершину, належить класу об'єктів, який вона представляє. На основі аналізу мережі можна представити поняття у формі логічного виразу з використанням логічних операцій диз'юнкції, кон'юнкції та заперечення [4].

Важливою особливістю методу формування понять у пірамідальних мережах є можливість введення у поняття так званих виключних ознак, що не належать об'єктам досліджуваного класу. В результаті сформовані поняття мають більш компактну логічну структуру, що в принципі дає можливість підвищувати точність діагнозу чи прогнозу. Виключні ознаки у логічному виразі представлені змінними з запереченням.

Після того, як поняття для деякого класу об'єктів сформовано, класифікація нових об'єктів виконується шляхом порівняння їх ознакових описів з існуючими поняттями. Для цього у випадку чіткої класифікації об'єктів використовується наступне правило розпізнавання [4].

Правило розпізнавання. Об'єкт належить класу V_i , якщо в його піраміді є контрольні вершини поняття B_i і немає жодної контрольної вершини будь-якого іншого поняття такої, що не має збуджених контрольних вершин поняття B_i у своїй супермножині. Якщо ця умова не виконується для жодного з понять, об'єкт вважається невизначеним або застосовується правило нечіткої класифікації, за яким об'єкт розпізнається на основі співвідношень m_i^a та k контрольних вершин різних понять з його піраміді.

Висновки. Розглянуто методи підвищення ефективності логіко-лінгвістичного аналізу складних об'єктів, які розширюють діапазон застосування зростаючих пірамідальних мереж за рахунок удосконалення процедур побудови ЗПМ та введення часових характеристик. Подальші дослідження орієнтовані на детальну розробку паралельних алгоритмів та процедур побудови й аналізу ЗПМ.

1. *Iliya Mitov, Anatolij Krissilov, Oleksandr Palagin, Peter Stanchev, Vitalii Velychko et al.* The Intelligent Principle of Virtual Laboratories for Computer Aided Design of Smart Sensor Systems / In: G. Setlak, Kr. Markov (ed.). Methods and Instruments of Artificial Intelligence. ITHEA, Rzeszow, Poland – Sofia, Bulgaria, 2010. – P. 119 – 124.
2. *Mitov I., Markov Kr., Ivanova Kr.* The Intelligence // Plenary paper. Third International Scientific Conference "Informatics in the Scientific Knowledge". – University Publishing House, VFU "Chernorizets Hrabar", 2010. – P. 7 – 13.
3. *Гладун В.П.* Планирование решений. – Киев: Наук. думка, 1987. – 168 с.
4. *Гладун В.П.* Процессы формирования новых знаний. – София: СД «Педагог 6», 1994. – 189 с.
5. *Гладун В.П.* Партнерство с компьютером. Человеко-машинные целеустремленные системы. – Киев: Port-Royal, 2000. – 118 с.
6. *Москалькова Н.М.* Методи правдоподібного виведення на основі представлення атрибутивних моделей знань в семантичних мережах // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – К.: Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, 2000. – 19 с.
7. *Victor Gladun, Vitaly Velichko, Yuri Ivaskiv.* Selfstructured Systems // International J. "Information Theories & Applications". FOI ITHEA, Sofia. – 2008. – 15. – N 1. – P. 5 – 13.
8. *Ковалев С.М.* Формирование темпоральных баз знаний на основе аппарата растущих пирамидальных сетей // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте / Сб. науч. тр. III Международного научно-практического семинара. – М.: Физматлит, 2005. – С. 351 – 357.

Отримано 20.10.2010