

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Штогріна Олена Сергіївна

УДК 004.82

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАЗ
НЕЧІТКИХ ЗНАНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТАГРАФІВ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційно-телекомунікаційних мереж Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Терновой Максим Юрійович

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Теслюк Василь Миколайович

Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри систем автоматизованого проектування

доктор технічних наук, професор

Бармак Олександр Володимирович,

Хмельницький національний університет, професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Захист відбудеться «27» жовтня 2016 р. о 16 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.29 при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, корпус № 11, аудиторія 215.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «23» вересня 2016 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.002.29

доктор технічних наук, професор

Теленик С. Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В епоху глобалізації та інформатизації, формування ІТ-суспільства існування підприємств та організацій не можливе без ефективних інформаційних, інформаційно-аналітичних систем, систем підтримки прийняття рішень. Популярності набувають системи бізнес-аналітики (Business Intelligence), що базуються на інтелектуальних інформаційних технологіях. Для оцінювання стану складних об'єктів (СО), прийняття зважених рішень в мінливих умовах сучасної економіки використовують бази нечітких знань (БНЗ), які дозволяють оперувати кількісною і якісною інформацією. Тут добре себе виявили нечіткі моделі типу Мамдані – прозорі і зрозумілі, як для експертів, так і для користувачів.

Значний внесок у розроблення теорії інтелектуальних систем зробили вітчизняні та закордонні вчені, серед них Згуровський М. З., Павлов О. А., Панкратова Н. Д., Гаврилова Т. А., Заде Л. А., Ротштейн А. П., Штовба С. Д., Зайченко Ю. П., Сааті Т., Basu A., Vlanning R. W. та ін.

Однак ускладнення моделей прийняття рішень вимагає врахування все більшої кількості факторів, опрацювання все більшої кількості невпорядкованих правил на основі накопиченої історичної інформації, швидких процедур верифікації для виявлення аномалій, методів візуалізації БНЗ. Використання ієрархічних БНЗ, поданих у вигляді метаграфів, дозволило б представляти сукупність наявної у базах інформації у вигляді деякої зв'язаної впорядкованої структури без дублювання інформації і за рахунок цього покращити сприйняття інформації, що міститься в базах знань, експертами та відповідно полегшити етапи наповнення баз знаннями, їх верифікації та аналізу отриманих результатів.

Таким чином, постає актуальна науково-практична задача розроблення інформаційної технології створення та використання БНЗ, як основи підтримки прийняття рішень в інформаційних системах (ІС) підприємств та організацій. У свою чергу, розв'язання цієї задачі вимагає розроблення відповідних моделей, методів та алгоритмів подання, використання та візуалізації БНЗ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано згідно з планом наукових досліджень кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж НТУУ «КПІ» у рамках:

1) науково-дослідної роботи за рахунок держбюджету «Управління ресурсами та сервісами в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі» (номер державної реєстрації 0109U001584);

2) науково-дослідної роботи за рахунок держбюджету «Мультиагентна система інтеграції інформаційних ресурсів та обробки інформації в розподіленому інформаційно-телекомунікаційному середовищі» (номер державної реєстрації 0110U002415);

3) науково-дослідної роботи за рахунок держбюджету «Гетерогенне середовище з динамічною архітектурою для високопродуктивної обробки інформації в розподілених інформаційних системах» (номер державної реєстрації 0113U001627);

4) наукової теми на замовлення Національного антарктичного наукового центру України «Розробка системної інфраструктури єдиного інформаційного середовища даних антарктичних досліджень» (Н/Н-2013-5, РК 0113U004967);

5) проекту за грантом № GP/F44/08 «Методи інтеграції інформаційних ресурсів і

сервісів обробки інформації в розподіленому інформаційно-телекомунікаційному середовищі з використанням технології інтелектуальних агентів» (номер державної реєстрації 0112U008211).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності оброблення інформації в інтелектуальних системах на основі БНЗ в умовах неупорядкованості правил та наявності аномалій за рахунок інформаційної технології створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів (ІТСВ БНЗ).

Для досягнення мети дослідження були поставлені та вирішені такі **завдання**:

1. Виявити особливості оброблення інформації в інтелектуальних системах на основі БНЗ, провести аналіз притаманних їм аномалій, дослідити можливість візуалізації БНЗ та роботи з їх графічним поданням.

2. Удосконалити нечітку логічну модель оброблення інформації шляхом подання БНЗ у вигляді метаграфа.

3. Розробити метод статичної верифікації ієрархічної БНЗ, поданої у вигляді метаграфа.

4. Розробити метод візуалізації метаграфів для формування їх графічного подання.

5. На основі запропонованої моделі, методів та алгоритмів розробити інформаційну технологію створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів.

6. Дослідити ефективність розробленої інформаційної технології при створенні та впровадженні ІС, у яких опрацьовується нечітка інформація.

Об'єкт дослідження – процеси оброблення інформації в інтелектуальних системах на основі БНЗ.

Предмет дослідження – моделі, методи, алгоритми та інформаційні технології оброблення інформації на основі БНЗ в умовах неупорядкованості правил та наявності аномалій.

Методи дослідження, застосовані для вирішення поставлених завдань: апарат теорії нечітких множин, нечіткої логіки, теорії множин, теорії графів та метаграфів, теорії баз даних (БД) і баз знань.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано метод статичної верифікації ієрархічної БНЗ, поданої у вигляді метаграфа, який полягає у визначенні та перевірці кількості та взаємопов'язаності вершин, метавершин і дуг на відповідність накладеним на структуру метаграфа обмеженням, що дозволило проводити перевірку БНЗ на відповідність властивостям несуперечливості, лінгвістичної повноти, лінгвістичної ненадлишковості, відсутності зациклювання.

2. Удосконалено нечітку логічну модель за рахунок подання ієрархічної БНЗ у вигляді метаграфа з додатковими обмеженнями на його структуру та впорядкованість вузлів, нечіткого логічного виведення на його основі з виділенням необхідної для виведення частини, що дозволило скоротити час оброблення інформації в інтелектуальних системах з ієрархічними БНЗ за рахунок зменшення часу нечіткого логічного виведення.

3. Вперше запропоновано метод візуалізації метаграфів, який полягає у комбінуванні силових алгоритмів з додатковим врахуванням вкладеності вершин у метавершини, що дозволило отримувати графічне представлення метаграфа на площині, яке взаємооднозначно відповідає його аналітичному представленню, що, в

свою чергу, надає можливість подавати БНЗ у графічному вигляді і тим самим підвищити наочність сприйняття БНЗ експертом і скоротити час їх створення та аналізу.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Усі теоретичні розробки дисертації автором доведені до конкретних інженерних методик, алгоритмів з використанням сховищ даних та інструментальних засобів інформаційної технології створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів.

2. На основі запропонованої моделі, методів та алгоритмів створено комплекс інструментальних засобів ІТСВ БНЗ для оброблення інформації при оцінюванні стану складних об'єктів, який включає модулі створення, редагування, статичної верифікації БНЗ та нечіткого логічного виведення на основі метаграфа, модулі підготовки та візуалізації метаграфа, модуль роботи з базами даних, що дозволяє підвищити наочність подання БНЗ та застосовувати графічні методи аналізу.

3. З використанням розробленої ІТСВ БНЗ спроектовано і реалізовано ІС Національного антарктичного наукового центру України, Національної медичної академії післядипломної освіти П. Л. Шупика та Національного центру «Мала академія наук України». Результати їх впровадження показали, що використання розробленої ІТСВ БНЗ дозволило підвищити прозорість, обґрунтованість та оперативність процесів оброблення інформації та скоротити час на підготовку та прийняття рішень за рахунок скорочення часу виконання типових завдань особою, що приймає рішення (ОПР), та дослідниками (наявні відповідні акти впровадження).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є узагальненням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, проведених автором самостійно. Основні результати, отримані автором особисто: алгоритм оброблення інформації на основі БНЗ, які є частиною інтелектуальних систем [1 – 2, 9]; підхід до інтеграції баз даних та баз знань [3, 11, 13]; підхід до збереження БНЗ у реляційних базах даних [4, 10, 12]; методи подання БНЗ у вигляді метаграфа та нечіткого логічного виведення на його основі [5, 17]; метод статичної верифікації ієрархічних БНЗ, поданих метаграфом [6, 19]; метод візуалізації метаграфів [7, 8, 14 – 16, 18]; основні проектні рішення щодо створення ІС Національного антарктичного наукового центру України, спрямовані на автоматизацію аналізу стану антарктичних зимівників [20].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені, повідомлені й одержали схвалення на:

XXVIII міжнародній науково-технічній конференції «Електроника и связь» (Київ, 2008); XIX міжнародній науково-технічній конференції «Системний Аналіз та Інформаційні Технології. SAIT» (Київ, 2010); міжнародних конференціях «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. СгіMiCo» (Севастополь, 2009, 2013); VIII, IX міжнародних конференціях «Проблемы телекоммуникаций. ПТ» (Київ 2014, 2015); XI, XII міжнародних наукових конференціях ім. Т. А. Таран «Інтелектуальний аналіз інформації. ІАІ» (Київ 2011, 2012); міжнародних науково-технічних конференціях «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. OSTIS» (Мінськ, Білорусь, 2012, 2015); 19th міжнародній конференції "Advances in Intelligent and Soft Computing. ACS 2014" (Мендзиздрое, Польща, 2014).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 20 наукових праць, у тому

числі 8 статей у наукових фахових виданнях (з яких 6 – у фахових виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз, 2 – у виданнях іноземних держав), 1 стаття в інших виданнях, 11 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 160 найменувань, 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 157 сторінок, в тому числі 133 сторінки основного тексту та 17 сторінок використаних джерел. Робота містить 39 рисунків, 7 таблиць. Додатки займають 7 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про впровадження результатів роботи, публікації та особистий внесок автора.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячений аналізу стану досліджень в області бізнес-аналітики – сукупності технологій, програмного забезпечення і практик, спрямованих на досягнення цілей підприємств та організацій шляхом найкращого використання наявних даних. Наведена характеристика процесів оброблення інформації при оцінюванні стану СО для визначення можливості застосування систем бізнес-аналітики для надання такої оцінки. Визначено, що в ситуації, коли для визначення стану СО неможливо використати методи оброблення інформації, які базуються на статистичному аналізі, необхідно моделювати знання експертів, які здатні оцінити стан СО. В роботі для таких випадків обґрунтовано використання інтелектуальних систем бізнес-аналітики, в основу яких покладено БНЗ. Показано, що графічне подання даних та знань підвищує ефективність роботи експертів і користувачів ІС. Проведено аналіз інтелектуальних систем, побудованих на основі нечіткої логіки, та виявлено, що жодна з них не надає інструментів для графічного подання БНЗ, її подальшого аналізу та редагування. Проведено аналіз аномалій та властивостей БНЗ. Розглянуто методи подання БНЗ та методи візуалізації графових структур, на основі яких можна розробити метод візуалізації метаграфа, як обраного засобу подання БНЗ. Конкретизована задача і завдання дослідження, обґрунтоване використання ієрархічних БНЗ з правилами виведення вигляду, запропонованого в нечіткій моделі Мамдані.

На основі аналізу умов функціонування ІТСВ БНЗ визначено функціональні, технічні та інші вимоги до неї. Розглянута її концепція, обґрунтовані рішення щодо її архітектури, складу основних компонентів.

Другий розділ присвячено удосконаленню нечіткої логічної моделі за рахунок подання ієрархічної БНЗ у вигляді метаграфа та розробленню методу статичної верифікації БНЗ.

В роботі для використання у подальших викладках наведені класичні поняття БНЗ, часткової та ієрархічної БНЗ.

Означення 1. База нечітких знань – це множина $P = \{P_g \mid g = \overline{1, N_P}\}$ правил «Якщо – То»:

$$P_g = (P_l^z)_j = \text{ЯКЩО} (X_{j_1} = t_{j_1}^{k_1}) \text{ТА} (X_{j_2} = t_{j_2}^{k_2}) \text{ТА} \dots \text{ТА} (X_{j_{n_j}} = t_{j_{n_j}}^{k_{n_j}}) \text{ТО} (X_l = t_l^z), \quad (1)$$

де N_p – кількість правил БНЗ, $(P_l^z)_j$ – j -е правило для визначення z -го терму лінгвістичної змінної (ЛЗ) з ідентифікатором l , в якому X_{j_s} – ЛЗ, яка оцінюється термом $t_{j_s}^{k_s}$; $s = \overline{1, n_j}$ – номер ЛЗ в лівій частині j -го правила, n_j – кількість ЛЗ, що знаходяться в лівій частині j -го правила.

Для скорочення запису введемо позначення P_g^A для лівої та P_g^C для правої частини правила P_g , подаючи його у вигляді $P_g = (P_g^A, P_g^C)$, де $P_g^A = \{t_{j_s}^{k_s} \mid s = \overline{1, n_j}\}$ – множина термів, які входять до лівої частини правила, $P_g^C = t_l^z$ – терм, що є результатом правила.

Якщо терм є результатом в декількох правилах $(P_l^z)_j$, які визначаються формулою (1), то об'єднане правило можна записати з використанням операції «АБО»:

$$P_l^z = \text{ЯКЩО} (X_{j_{11}} = t_{j_{11}}^{k_{11}}) \text{ТА} (X_{j_{12}} = t_{j_{12}}^{k_{12}}) \text{ТА} \dots \text{ТА} (X_{j_{1n_1}} = t_{j_{1n_1}}^{k_{1n_1}}) \text{АБО} (X_{j_{21}} = t_{j_{21}}^{k_{21}}) \text{ТА} \dots \text{ТА} (X_{j_{2n_2}} = t_{j_{2n_2}}^{k_{2n_2}}) \text{АБО} \dots \text{АБО} (X_{j_{b1}} = t_{j_{b1}}^{k_{b1}}) \text{ТА} \dots \text{ТА} (X_{j_{bn_b}} = t_{j_{bn_b}}^{k_{bn_b}}) \text{ТО} (X_l = t_l^z) \quad (2)$$

Означення 2. Часткова БНЗ – це БНЗ для визначення однієї ЛЗ, що включає в себе тільки такі правила, результатами яких є терми даної ЛЗ. При цьому така ЛЗ називається ЛЗ верхнього рівня, а ЛЗ, що входять до лівих частин правил, називаються ЛЗ нижнього рівня.

Означення 3. Ієрархічна БНЗ – це БНЗ, що складається з декількох часткових БНЗ для визначення результуючої ЛЗ.

Загалом розглядається БНЗ, сформована для визначення однієї ЛЗ, яка називається результуючою та позначається X_{rez} . Ті ЛЗ, значення яких визначаються за допомогою фазифікації або відразу задаються в якісному вигляді, називаються вхідними і позначаються $X^{input} = \{X_i^{input} \mid i = \overline{1, N_{X^{input}}}\}$. Для вхідних змінних не існує правил, що їх визначають. Решта ЛЗ є проміжними, та позначаються як $X^{intermediate}$.

Означення 4. Метаграф – це трійка $S = \langle V, M, E \rangle$, де $V = \{v_r \mid r = \overline{1, N_V}\}$ – породжуюча множина (множина вершин метаграфа), $M = \{m_q \mid q = \overline{1, N_M}\}$ – множина метавершин, $E = \{e_h \mid h = \overline{1, N_E}\}$ – множина ребер, де N_V – кількість вершин метаграфа, N_M – кількість метавершин, N_E – загальна кількість ребер у метаграфі.

Метавершина метаграфа становить собою множину вершин $m_q = \{v_r \mid v_r \in V, r = \overline{1, N_{m_q}}\}$, де N_{m_q} – кількість вершин, які входять до метавершини m_q .

Введено поняття вузла метаграфа. Вузол метаграфа $mv \in \bigcup_r \{v_r\} \cup M$ – це метавершина або одноелементна множина, яка містить вершину. Ребро метаграфа в загальному випадку визначається як $e_h = \{mv_h^{out}, mv_h^{in}\}$, причому для орієнтованого ребра буде використовуватися термін дуга та позначення $e_h = (mv_h^{out}, mv_h^{in})$.

Означення 5. Шлях в орієнтованому метаграфі S з вузла mv_p в вузол mv_q – це послідовність дуг $Path(mv_p, mv_q) = (e_1, e_2, \dots, e_n)$, така що $\forall i: mv_i^{in} \cap mv_{i+1}^{out} \neq \emptyset$.

Означення 6. Шлях $Path(mv_p, mv_q)$, в якому $mv_p \cap mv_q \neq \emptyset$ називається циклом.

Означення 7. Метаграф, що подає БНЗ – це метаграф $S' = \langle V, M, E \rangle$, який задовольняє таким умовам:

1) кожна вершина $v_r = v(t_i^k)$ метаграфа S' відповідає терму ЛЗ t_i^k ;

2) кожна метавершина $m_g = \{v_r \mid r = \overline{1, n_g}\}$ метаграфа S' відповідає P_g^A – лівій частині правила P_g . Метавершина m_g містить в собі вершини, які взаємоднозначно відповідають термам, що входять до P_g^A ;

3) кожна дуга e_g метаграфа S' , відповідає правилу P_g БНЗ. Дуга $e_g = (m_g, \{v_r\})$ виходить з метавершини m_g та входить до вершини $v_r = v(t_i^z)$, яка відповідає терму $t_i^z = P_g^C$.

Приклади графічного зображення частин метаграфа, які відповідають правилам БНЗ (1) та (2), наведені на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

Означення 8. Клас еквівалентності V_i , породжений вершиною $v_p = v(t_i^k)$, це множина вершин метаграфа, які відповідають термам однієї ЛЗ X_i .

Вершини, які відповідають термам результуючої ЛЗ, названо результуючими вершинами. Виходячи з припущення, що в БНЗ буде всього одна результуюча ЛЗ, можна стверджувати, що всі результуючі вершини будуть належати одному класу еквівалентності, який називається класом еквівалентності результуючих вершин V_{rez} . Вершини, які відповідають термам вхідних ЛЗ, називаються вхідними вершинами. На відміну від результуючих вершин, в метаграфі S' існують декілька класів еквівалентності вхідних вершин, які позначаються $V_i^{input} = \{v_i^{input} \mid i = \overline{1, N_{X^{input}}}\}$.

Класи еквівалентності, які відповідають проміжним ЛЗ, позначаються $V_i^{intermediate}$.

У роботі розглянуто подання ієрархічної БНЗ у вигляді метаграфа. З врахуванням його особливостей запропоновано алгоритм нечіткого логічного виведення, який базується на використанні впорядкованого метаграфа $S_i^{//}$, що подає частину БНЗ, для визначення ЛЗ X_i . Для визначення порядку застосування правил у процесі нечіткого логічного виведення без повного їх перебору запропонований алгоритм впорядкування вузлів метаграфа. Виконується топологічне сортування метаграфа, в результаті якого отримуємо метаграф $S^{//}$ з визначеною нумерацією вузлів. Це забезпечує виконання умови, що на момент використання правила всі його необхідні складові вже обчислені або відомі. Додатковою перевагою такої нумерації буде унеможливлення існування циклів у метаграфі.

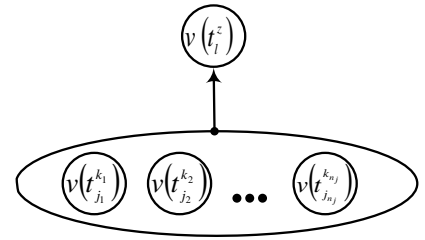


Рис. 1 Частина метаграфа, яка відповідає правилу $(P_l^z)_j$

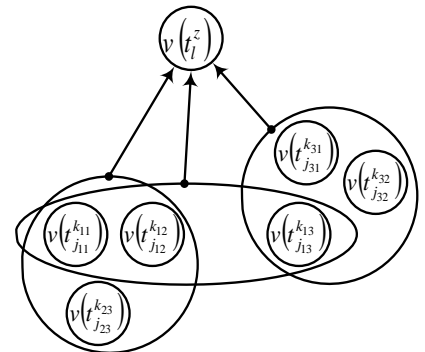


Рис. 2 Частина метаграфа, яка відповідає правилу P_l^z

При необхідності визначення проміжної ЛЗ X_i потрібно використовувати не всю БНЗ, а тільки ту частину правил, які визначають задану ЛЗ. Метаграф S_i'' є частиною метаграфа S'' та містить відображення тільки тих правил, які використовуються при проведенні нечіткого логічного виведення для знаходження значення ЛЗ X_i . Використання лише необхідних правил дозволяє суттєво скоротити час необхідний для виведення.

Твердження 1. Алгоритм нечіткого логічного виведення на основі БНЗ, поданої метаграфом, має складність $O(N_{MV})$.

Удосконалена нечітка логічна модель об'єкту

1. Мова:

1.1. Множина вхідних змінних $x = \{x_w \mid w = \overline{1, N_{X^{input}}}\}$.

1.2. Результуюча змінна x_{rez} .

1.3. Вершини $V = \{v_r \mid r = \overline{1, N_V}\}$, де $v_r = v(t_i^k)$ та має функцію належності (ФН) $\mu_{v(t_i^k)}$.

1.4. Класи еквівалентності $\{V_i \mid i = \overline{1, N_X}\}$, $V_i \in \{V_i^{input}, V_i^{intermediate}, V_{rez}\}$.

2. Аксиоми: метаграф $S' = \langle V, M, E \rangle$, який подає БНЗ, з введеною нумерацією вузлів.

3. Схема виведення:

3.1. Фазифікація – на основі ФН проводиться визначення ступенів належності вхідних змінних x нечітким множинам, які записуються, як значення вершин кожного $V_w^{input} : Fuz : x_w \xrightarrow{\text{фазифікація}} V_w^{input}$, де $w = \overline{1, N_{X^{input}}}$.

3.2. Нечітке логічне виведення Мамдані на основі метаграфа полягає у знаходженні значення $V_{rez} : Inference : V^{input} \xrightarrow{\text{нечітке виведення на основі метаграфа}} V_{rez}$. Порядок обчислення значень вузлів визначений нумерацією вузлів метаграфа, значення вершин кожного V_l , $l = \overline{1, N_X}$ для кожного $z = \overline{1, N_l}$ обчислюється за виразом:

$$\mu_{v(t_i^z)} = \bigvee_{p=1}^b \left(\bigwedge_{q=1}^{n_j} \mu_{v(t_{j_{pq}}^{k_{pq}})} \right) = \bigvee_{E_{lz}} \left(\bigwedge_{m_p} \mu_{v_r} \right), \text{ де } E_{lz} = \{e_{zp} = (m_p, \{v_{lz}\}) \mid p = \overline{1, b}\}, m_p = \{v_q \mid q = \overline{1, n_j}\}.$$

3.3. Дефазифікація – на основі ФН проводиться перетворення V_{rez} у кількісне значення результуючої змінної $x_{rez} : DeFuz : V_{rez} \xrightarrow{\text{дефазифікація}} x_{rez}$.

Статична верифікація БНЗ. Для перевірки властивостей несуперечливості, лінгвістичної повноти, лінгвістичної ненадлишковості, відсутності зацикловання в БНЗ, сформульовані та доведені твердження, які дозволяють підвищити ефективність статичної верифікації БНЗ при використанні запропонованого подання.

Для метаграфа S' , який подає БНЗ, будуть справедливі такі властивості (якщо метаграф не відповідає хоча б одному із пунктів, то він не відповідає БНЗ (рис. 3)):

1) метаграф S' не може містити:

а) дуг, які виходять з вершини $\forall mv_h = \{v_r\} : \deg^-(mv_h) = 0$, тобто напівступінь виходу вершини завжди рівний нулю;

б) дуг, які входять в метавершину $\forall mv_h = m_g : \deg^+(mv_h) = 0$, тобто напівступінь

входу метавершини завжди рівний нулю;

в) метавершин з напівступенем виходу рівним нулю $\forall mv_h = m_g : \deg^-(mv_h) > 0$, тобто для довільної метавершини існує хоча б одна дуга, яка з'єднує її з якоюсь вершиною $\forall m_g \in M : \exists e_h = (m_g, \{v_r\})$;

2) метаграф S' обов'язково містить вершини, які не включені до жодної метавершини (це всі результуючі вершини) $\exists V_{rez} = \{v_r / \forall g : v_r \notin m_g\}$.

Далі детально розглянуті умови перевірки властивостей БНЗ.

Надлишковість бази нечітких знань. Означення 9. БНЗ будемо називати ненадлишковою, якщо виконуються такі умови:

1) відсутні дублікати правил, тобто у БНЗ не існує правил з однаковими умовами і однаковими результатами $\neg \exists P_i, P_j : (P_i^A = P_j^A) \wedge (P_i^C = P_j^C) \wedge (i \neq j)$;

2) відсутнє включення умов, тобто у БНЗ не існує правил з однаковими результатами, таких, що ліва частина деякого правила є підмножиною термів лівої частини іншого правила $\neg \exists P_i, P_j : (P_i^C = P_j^C) \wedge (P_i^A \subset P_j^A)$;

3) відсутні терми не результуючої ЛЗ, що не використовуються, тобто у БНЗ для довільного терму кожної не результуючої ЛЗ існує хоча б одне правило, в ліву частину якого він входить $\forall t_i^k \in T_i : (X_i \neq X_{rez}) \Rightarrow (\exists P_q : (t_i^k \in P_q^A))$;

4) відсутні, правила що не виконуються, тобто:

а) для жодного терму довільної вхідної ЛЗ не існує правила, в якому даний терм є результатом $\forall t_i^k \in T_i : (X_i \in X^{input}) \Rightarrow (\neg \exists P_q : t_i^k = P_q^C)$;

б) для кожного терму довільної не вхідної ЛЗ має існувати хоча б одне правило, в якому даний терм є результатом $\forall t_i^k \in T_i : (X_i \notin X^{input}) \Rightarrow (\exists P_q : t_i^k = P_q^C)$.

Твердження 2. БНЗ є ненадлишковою тоді і тільки тоді, коли метаграф, яким вона подана, задовольняє таким умовам:

1) відсутні кратні дуги $\neg \exists e_a, e_b : (e_a = (m_g, \{v_p\})) \wedge (e_b = (m_g, \{v_p\})) \wedge (a \neq b)$;

2) відсутні метавершини, що містять підмножину вершин, яка, в свою чергу, відповідає іншій метавершині, і ці дві метавершини з'єднані дугами з однією і тією ж вершиною $\neg \exists m_g, m_q : (e_a = (m_g, \{v_r\})) \wedge (e_b = (m_q, \{v_r\})) \wedge (m_q \subset m_g)$;

3) кожна вершина, яка не належить до класу еквівалентності результуючої вершини, має належати метавершині $\forall v_p : (v_p \notin V_{rez}) \Rightarrow \exists m_g : (v_p \in m_g)$;

4) у класі еквівалентності вершин або всі вершини не мають дуг, що входять, або всі мають хоча б одну дугу, що входить

$$\forall mv_p = \{v_p\}, v_p \in V_i : \begin{cases} \deg^+(mv_p) = 0 \Rightarrow \neg \exists mv_q = \{v_q\}, v_q \in V_i : \deg^+(mv_q) > 0 \\ \deg^+(mv_p) > 0 \Rightarrow \neg \exists mv_q = \{v_q\}, v_q \in V_i : \deg^+(mv_q) = 0 \end{cases}$$

Несуперечливість бази нечітких знань. Введено в роботі поняття лінгвістичної несуперечливості враховує інформацію тільки про структуру правил і не приймає до

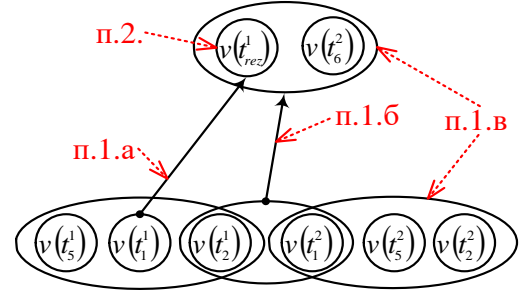


Рис. 3 Приклад метаграфа S' , який не відповідає БНЗ

уваги подробиці проведення нечіткого логічного виведення.

Означення 10. БНЗ називається лінгвістично несуперечливою, якщо виконуються такі умови:

1) у БНЗ не існує правил з однаковими умовами, в яких в правій частині є різні терми однієї і тієї ж ЛЗ $\neg \exists P_i, P_j : (P_i^A = P_j^A) \wedge (P_i^C \neq P_j^C) \wedge (p = q)$, де $P_i^C = t_p^a$, $P_j^C = t_q^b$;

2) у БНЗ не існує правил, в яких в лівій частині присутні два і більше термів однієї ЛЗ $\neg \exists P_g : (t_{j_p}^{k_p} \in P_g^A) \wedge (t_{j_q}^{k_q} \in P_g^A) \wedge (j_p = j_q)$.

Твердження 3. БНЗ є лінгвістично несуперечливою тоді і тільки тоді, коли метаграф S' , яким вона подана, задовольняє таким умовам:

1) кожна метавершина з'єднана не більше ніж з однією вершиною з одного класу еквівалентності вершин

$$\forall m_g : (e_a = (m_g, \{v_p\})) \wedge (e_b = (m_g, \{v_q\})) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_q \in V_j) \Rightarrow (i \neq j);$$

2) жодна з метавершин не включає дві і більше еквівалентні вершини

$$\neg \exists m_g : (v_p \in m_g) \wedge (v_q \in m_g) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_q \in V_j) \wedge (i = j).$$

Зациклювання у базі нечітких знань. Означення 11. У БНЗ відсутнє зациклювання, якщо виконуються такі умови:

1) прямиий цикл – у БНЗ не існує ЛЗ, які залежать від самих себе;

2) непряий цикл – у БНЗ не існує правил, при яких ЛЗ визначають ЛЗ, від яких вони залежать.

Твердження 4. В БНЗ відсутнє зациклювання тоді і тільки тоді, коли метаграф S' , яким вона подана, задовольняє таким умовам:

1) в метаграфі S' не існує шляху, в якому присутні вершини з класу еквівалентності вершин, до якого належить кінцева вершина цього шляху

$$\neg \exists p = Path(mv_{start}, v_{end}) : (v_p \in p) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_{end} \in V_j) \wedge (i = j);$$

2) метаграф S' не містить циклів.

Повнота бази нечітких знань. Означення 12. Часткова БНЗ є лінгвістично повною, якщо її правила задані на всьому декартовому добутку терм-множин ЛЗ нижнього рівня і для кожного терму ЛЗ верхнього рівня існує хоча б одне правило.

Означення 13. Ієрархічна БНЗ називається лінгвістично повною, якщо всі її часткові БНЗ є лінгвістично повними і всі вони задіяні для визначення значення результуючої ЛЗ.

Твердження 5. БНЗ є лінгвістично повною тоді і тільки тоді, коли метаграф, який їй відповідає, задовольняє таким умовам:

1) при наявності метавершини, з'єднаної дугою з вершиною з класу еквівалентності V_i , до якої входить вершина з класу еквівалентності V_j , в усі інші метавершини, з'єднані дугами з вершинами з класу еквівалентності V_i , має входити вершина з класу еквівалентності V_j

$$\forall m_a, m_b, a \neq b : (e_h = (m_a, \{v_p\})) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (e_r = (m_b, \{v_q\})) \wedge (v_q \in V_i) \wedge (v_s \in m_a) \wedge (v_s \in V_j) \Rightarrow \exists v_d : (v_d \in m_b) \wedge (v_d \in V_j);$$

2) при наявності метавершини, з'єднаної дугою з вершиною з класу

еквівалентності V_i , та за умови, що кожна з включених до неї вершин належить класам еквівалентності $\{V_{j_1}, V_{j_2}, \dots, V_{j_n}\}$ відповідно, в метаграфі мають існувати метавершини, які включають в себе всі можливі набори вершин з класів еквівалентності $\{V_{j_1}, V_{j_2}, \dots, V_{j_n}\}$, і ці метавершини мають бути з'єднані дугами з вершинами з класу еквівалентності V_i ;

3) жодна метавершина не включає дві і більше еквівалентні вершини $\neg \exists m_g : (v_p \in m_g) \wedge (v_q \in m_g) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_q \in V_j) \wedge (i = j) \wedge (p \neq q)$;

4) кожна вершина, яка не належить до класу еквівалентності результуючої вершини, має належати метавершині $\forall v_p : (v_p \notin V_{rez}) \Rightarrow \exists m_g : (v_p \in m_g)$;

5) кожна вершина, яка не є вхідною, має хоча б одну дугу, що входить, тобто її напівступінь входу більше нуля $\forall i, p : (v_p \notin V_i^{input}) \Rightarrow \deg^+(mv_p) > 0, de mv_p = \{v_p\}$.

Метод статичної верифікації ієрархічної БНЗ, поданої метаграфом, полягає у перевірці властивостей метаграфа, визначених у твердженнях. Дану перевірку легко можна здійснити використовуючи графічне подання метаграфа. На рисунках 4 – 7 продемонстровані випадки не виконання властивостей метаграфа, які відповідають вимогам, що накладаються на БНЗ.

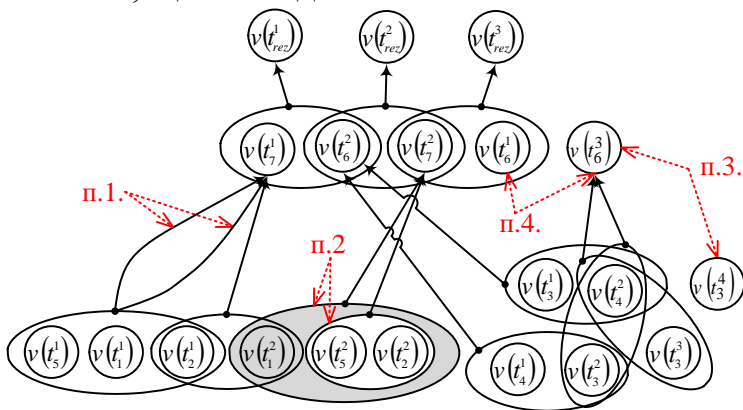


Рис. 4 Приклад метаграфа S' для надлишкової БНЗ

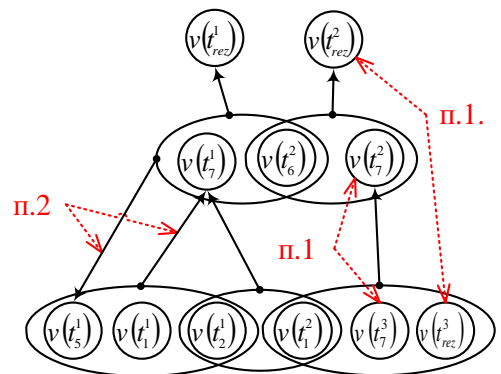


Рис. 5 Приклад метаграфа S' для БНЗ, де присутнє зацилювання

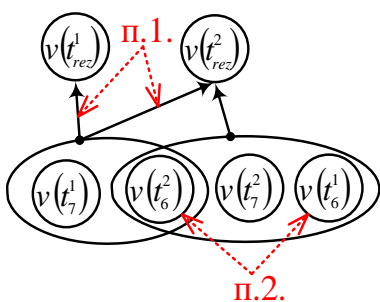


Рис. 6 Приклад метаграфа S' для лінгвістично суперечливої БНЗ

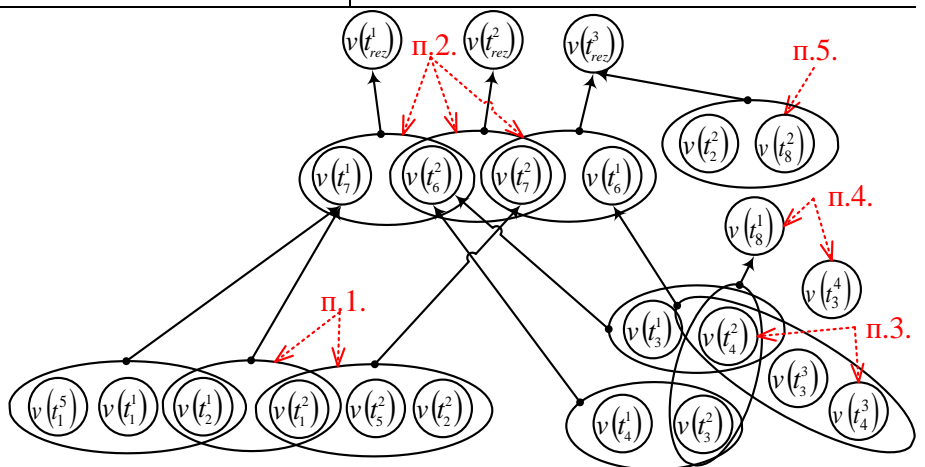


Рис. 7 Приклад метаграфа S' для БНЗ, яка не є лінгвістично повною

В третьому розділі розглянуті проблеми візуалізації метаграфів, введені необхідні означення, запропонований метод візуалізації метаграфів.

Оскільки алгоритми для візуалізації графів не призначені для роботи з структурою метаграфа, то в них немає механізмів, які враховують вкладеність вершин у метавершини. Для знаходження графічного подання метаграфа необхідно визначити: розташування вершин, що не входять у метавершини; розташування метавершин, з урахуванням взаємного розташування метавершин, які мають спільні внутрішні вершини; взаємне розташування вершин у метавершині; форму фігур метавершин; криві F_{e_h} , що визначають ребра.

Кожна вершина v_r і метавершина m_q має позицію – координати на площині $p_{v_r} = (x_{v_r}, y_{v_r})$, $p_{m_q} = (x_{m_q}, y_{m_q})$. Введемо p_{mv_i} – позначення для координат вузла, який може бути вершиною, якщо $mv_i \in V$, або метавершиною, якщо $mv_i \in M$. Позиція метавершини на кінцевому зображенні метаграфа – центр її фігури.

Відстань між вузлами розраховується як Евклідова відстань між точками:

$$l_{e_h} = \left\| p_{mv_i} - p_{mv_j} \right\|.$$

Означення 14. Графічне подання метаграфа – це трійка $W_S = \langle P_V, F_M, F_E \rangle$, де P_V – вектор позицій вершин, $F_M = \{F_{m_q}\}$ – множина фігур метавершин, $F_E = \{F_{e_h}\}$ – множина кривих, що визначають ребра.

Означення 15. Правильне графічне подання метаграфа – це таке графічне подання метаграфа, яке однозначно відповідає заданому аналітичному поданню метаграфа, тобто відображення $S \rightarrow W_S$ є ізоморфним.

В роботі запропоновано два критерії перевірки правильності графічного подання метаграфа:

1. Координати довільних вершин не повинні співпадати $\forall i, \forall j: i \neq j \Rightarrow p_{v_i} \neq p_{v_j}$.

Причому співпадиння координат метавершин допускається тільки у випадку наявності спільних внутрішніх вершин.

2. Тільки координати вершин, що належать метавершині m_q знаходяться в F_{m_q}

$$\forall v_r : v_r \in m_q \Rightarrow p_{v_r} \in F_{m_q}, \quad \forall v_r : v_r \notin m_q \Rightarrow p_{v_r} \notin F_{m_q}.$$

Метод візуалізації метаграфів. Для візуалізації метаграфів запропоновано модифікувати алгоритм Фрюхтермана-Рейнгольда, доповнюючи розгляд всіх можливих пар вузлів метаграфа врахуванням нових сил дії між ними, визначенням правил дії цих сил та введенням додаткових коефіцієнтів їх балансування. Додана сила гравітації притягує всі вершини до центру метаграфа та не дає розлітатися слабозв'язаним вузлам метаграфа. Її величина залежить від ступеня вузла, завдяки чому вузли з великою кількістю вхідних або вихідних ребер розташовуються ближче до центру. Формули для обчислення сил, правила їх дії та графічна інтерпретація (рисунки 8 – 10) наведені у табл. 1. Загальна сила, що діє на вузол, розраховується за формулою: $\overline{F_{spring_i}} = \sum_j \overline{f_{rep_{ij}}} + \sum_j \overline{f_{attr_{ij}}} + \overline{F_{gr_i}}$. Зауважимо, що при $i = j$ сила відштовхування $\overline{f_{rep_{ij}}} = 0$ та сила притягання $\overline{f_{attr_{ij}}} = 0$.

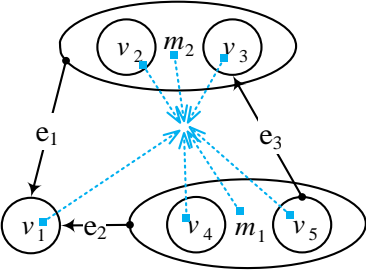
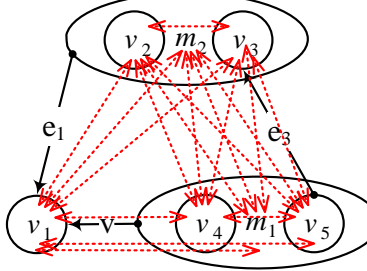
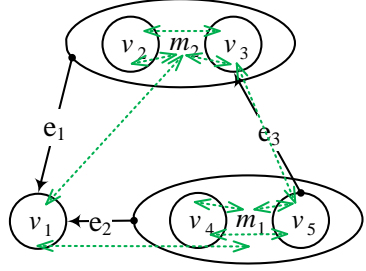
Застосування запропонованого методу дозволяє знайти такі координати вузлів, при яких графічне подання метаграфа буде правильним. Фігуру метавершини можна

прийняти за еліпс. Проте для зменшення займаної площі, уникнення перетинів фігур метавершин, підвищення наочності зображення, для метавершин з трьома і більше внутрішніми вершинами її можна визначати як мінімальну опуклу оболонку множини позицій внутрішніх вершин. Для знаходження цієї оболонки можна використовувати алгоритми Джарвіса, Грехема або Чана.

У найпростішому випадку ребра зображуються прямими, що з'єднують фігури вузлів. Для уникнення множинних перетинів ребер і перетинів фігур метавершин ребрами необхідно розраховувати форму ребра як криву Без'є або В-сплайн, які будуть огинати вузли.

Таблиця 1

Правила дії сил запропонованого методу візуалізації метаграфа

Сила гравітації	Сила відштовхування вузла mv_i від mv_j	Сила притягання вузла mv_i до mv_j
$\overline{F_{gr_i}} = \left(1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}\right) \cdot K_{grav} \cdot \frac{B - p_{mv_i}}{\ B - p_{mv_i}\ }$	$\overline{f_{rep_{ij}}} = Kr_{ij} \frac{l^2}{\ p_{mv_i} - p_{mv_j}\ } \overline{p_{0_{ji}}}$	$\overline{f_{attr_{ij}}} = Ka_{ij} \frac{\ p_{mv_i} - p_{mv_j}\ ^2}{l} \overline{p_{0_{ij}}}$
- притягує всі вузли до центру метаграфа	- між кожною парою вузлів, крім пар метавершина та її внутрішня вершина	- між суміжними вузлами; - між метавершинами і вкладеними у них вершинами; - між усіма вкладеними у метавершину вершинами;
 Рис. 8 Дія сил гравітації	 Рис. 9 Дія сил відштовхування	 Рис. 10 Дія сил притягання

У наведених формулах використовуються такі позначення:

$\overline{p_{0_{ji}}} = \frac{p_{mv_i} - p_{mv_j}}{\|p_{mv_i} - p_{mv_j}\|}$ – одиничний вектор напрямку з p_{mv_j} у p_{mv_i} ; $l = \sqrt{\frac{area(U)}{N_V + N_M}}$ –

ідеальна довжина ребра, яка обчислюється як функція від площі розміщення та

кількості вузлів; $B = \frac{1}{N_V + N_M} \cdot \sum_i p_{mv_i}$ – центр метаграфа, $\frac{B - p_{mv_i}}{\|B - p_{mv_i}\|}$ – напрям до

центру метаграфа; $\deg(mv_i)$ – ступінь вузла метаграфа або кількість інцидентних йому ребер; U – прямокутна область розміщення зображення.

Коефіцієнти при силах притягання і відштовхування Kr_{ij} і Ka_{ij} балансують значення цих сил та залежать від типу кожного вузла у парі і їх співвідношення. У табл. 2 наведені всі запропоновані коефіцієнти притягання та відштовхування в залежності від різних пар вузлів. Позначимо: Avg_{inner} – середня кількість внутрішніх

вершин у метавершинах метаграфа, $w_{mv_i} = \begin{cases} 1, & mv_i \in V \\ N_m, & mv_i \in M \end{cases}$ – ваговий коефіцієнт вузла.

Таблиця 2

Коефіцієнти притягання та відштовхування в залежності від різних пар вузлів

	Пара вузлів mv_i, mv_j	Коефіцієнт притягання	Коефіцієнт відштовхування
Метавершина та її внутрішні вершини	$mv_j = m_q,$ $mv_i \in m_q$	$Ka_{ij} = \frac{N_{m_q} + \deg(m_q) + 1}{1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}}$	$Kr_{ij} = 0$
Дві вершини, які належать одній метавершині	$mv_i, mv_j \in m_q$	$Ka_{ij} = \frac{Avg_{inner}}{1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}}$	$Kr_{ij} = Avg_{inner}$
Інші		$Ka_{ij} = \frac{w_{mv_i} + w_{mv_j}}{1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}}$	$Kr_{ij} = \frac{w_{mv_i} + w_{mv_j}}{2}$
Два вузла між якими немає ребра	$\neg \exists e(mv_i, mv_j)$	$Ka_{ij} = 0$	$Kr_{ij} = \frac{w_{mv_i} + w_{mv_j}}{2}$

Запропонований метод візуалізації метаграфів застосовний для формування графічного подання довільного метаграфа. Особливістю отриманого графічного подання буде рівномірність розподілення координат вузлів на площині. Однак, якщо його застосувати до метаграфа, який подає БНЗ, то отримаємо графічне зображення, в якому не врахована та наочно не відображена ієрархічність БНЗ. Для візуалізації ієрархічного метаграфа розширено запропонований метод візуалізації метаграфів. В ньому область екрану (паперу) ділиться на рівні горизонтальні ділянки, на кожній з яких зображуються вузли, які належать до відповідних рівнів. Сила гравітації діє на кожному рівні у напрямку центру області цього рівня, коефіцієнт гравітації знижений. Цей метод дозволяє візуально відокремити вузли, розташовані на різних рівнях ієрархії, і наочно визначати взаємозв'язки між рівнями.

Четвертий розділ присвячено питанням розроблення ІТСВ БНЗ. Формалізовані концептуальні вимоги до створення інформаційної технології та детально розглянуті шляхи їх забезпечення. Розроблена технологія складається з методичних матеріалів, моделі, методів, алгоритмів, критеріїв запропонованих в роботі та комплексу інструментальних засобів (КІЗ) створення та використання БНЗ для оброблення інформації при оцінюванні стану СО. Вона дозволяє підвищити ефективність оброблення інформації в інтелектуальних системах з ієрархічними БНЗ, а також залучати персонал, що не є спеціалістами в ІТ, в процес роботи з БНЗ. Функціональність реалізують застосування, модулі яких зображені на рис. 11. Ці програмні модулі КІЗ характеризуються гнучкістю та мобільністю, здатністю функціонування в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі. Архітектура ІТСВ БНЗ є web-орієнтованою. Основними компонентами ІТСВ БНЗ є сервер баз даних, який забезпечує роботу з БД та БНЗ, сервер застосувань, web-сервер та програма переглядач (web-браузер) для доступу користувачів (рис. 11).

Особливістю реалізації є розроблена в роботі схема зберігання БНЗ у реляційній

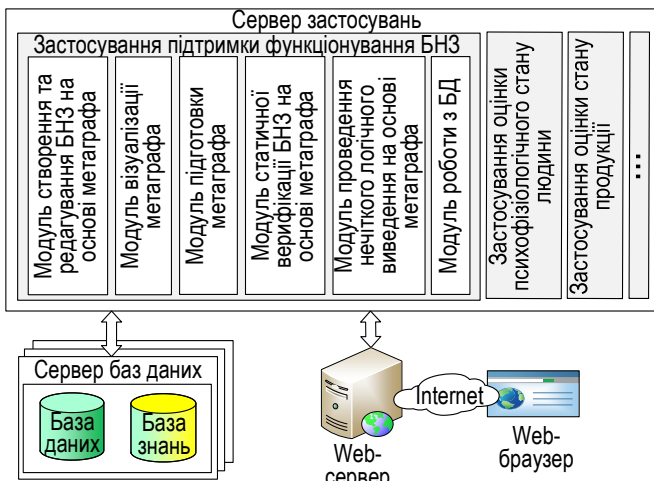


Рис. 11 Архітектура ІТСВ БНЗ

зимівників та стану молочної продукції. На основі технології виконано проектування двох ІС. Розглянуті вимоги до них, їх можливості та особливості створення, проведено експериментальне дослідження, яке підтверджує ефективність розробленої ІТСВ БНЗ. В нотатії UML для опису призначення, визначення функціональності та поведінки наведено діаграму варіантів використання ІС, для опису життєвого циклу ІС використані діаграми активності, на яких детально розглянуті дії експерта та ОПР при роботі з ІС.

Для реалізації застосувань була обрана мова програмування C#. Інтерфейси «ОПР», «експерта» і «дослідника» реалізовані як web-застосування з використанням технологій ASP.NET, HTML5, JavaScript, Ajax. Це дозволяє надавати доступ до системи з довільних пристроїв, які підключені до мережі, та не турбуватися про необхідність встановлення та налаштування спеціального програмного забезпечення на кожному пристрої ОПР, експерта або дослідника. Для доступу до БД використовувалась ADO.NET. Як web-сервер використовується Internet Information Services (IIS). Як сервер БД використовується Microsoft SQL Server. У БД зберігаються всі дані та БНЗ. При локальному зберіганні зібраних даних використовується формат JSON, що дозволяє використовувати мінімальний об'єм пам'яті для їх зберігання, а також в подальшому дозволяє скоротити мережний трафік.

Вибраний набір технологій реалізації ІТ дозволяє використовувати запропоновані рішення створення ІТ, як для створення нових ІС організацій та підприємств, так і для модифікації існуючих. Так, в Національному антарктичному науковому центрі України ІС реалізовано з застосуванням технології MS Sharepoint Server 2010. В цьому випадку інструментальні засоби ІТСВ БНЗ реалізуються та підключаються до корпоративного порталу у вигляді web-частин.

В рамках ІТСВ БНЗ був розроблений КІЗ створення та використання БНЗ для оброблення інформації при оцінюванні стану складного об'єкту, програмні модулі якого функціонують у розроблених ІС. Також були створені відповідні БНЗ та бази даних, які були впроваджені в Національному антарктичному науковому центрі України, Національній медичній академії післядипломної освіти П. Л. Шупика та Національному центрі «Мала академія наук України». Впровадження показало, що час формування БНЗ скорочується в 2,1 рази, час редагування БНЗ – в 3 рази, час

БД. Такий спосіб зберігання дозволяє створювати метаграф, що подає БНЗ, шляхом вибору з БД необхідних правил. Впровадження показало, що перевагою такого способу є те, що одразу можна сформулювати метаграф, який подає БНЗ для визначення тільки необхідної ЛЗ, вже з введеною нумерацією його вузлів, що прискорює процес підготовки та проведення нечіткого логічного виведення.

З використанням розробленої ІТСВ БНЗ реалізовані функції оцінювання стану

аналізу на відповідність властивостям – в 5 разів за рахунок наявності зручних засобів для візуалізації БНЗ. Наведені показники були отримані при аналізі роботи експертів до та після впровадження ІС. Використання ІТСВ БНЗ при проведенні оцінювання стану СО дозволило мінімізувати залучення експертів та скоротити час виконання типових завдань ОПР та дослідниками на 30 % за рахунок автоматизації фіксації результатів спостережень, одночасному записі отриманих даних в БД, та формуванню звітів з результатами оцінювання стану на їх основі. Це дало змогу приймати більш обґрунтовані рішення та отримувати нові результати при проведенні досліджень.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота становить собою закінчене наукове дослідження, присвячене розв'язанню актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності оброблення інформації в інтелектуальних системах на основі БНЗ з використанням метаграфів.

1. На основі аналізу особливостей оцінювання стану СО на підприємствах та організаціях, де виникає потреба в оперуванні кількісною і якісною інформацією, запропонований і реалізований підхід до створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів.

2. Удосконалено нечітку логічну модель, яка побудована для оброблення інформації, за рахунок подання ієрархічної БНЗ у вигляді метаграфа, та введення обмежень на структуру метаграфа, впорядкування його вузлів для визначення порядку застосування правил та нечіткого логічного виведення на основі частини метаграфа, виділеної для оцінювання шуканої ЛЗ, що дозволило скоротити час оброблення інформації в інтелектуальних системах з ієрархічними БНЗ.

3. Запропоновано метод статичної верифікації БНЗ, поданої у вигляді метаграфа, що надає можливість перевірити БНЗ на відповідність властивостям ненадлишковості, лінгвістичної несуперечливості, лінгвістичної повноти, відсутності зациклювання, використовуючи структуру метаграфа ще до початку проведення нечіткого логічного виведення, за рахунок чого позбавитись аномалій.

4. Запропоновано метод візуалізації метаграфів, який надає можливість роботи з БНЗ у графічному вигляді, що спрощує формування нових БНЗ, та перевірку існуючих на відповідність властивостям за рахунок застосування графічного подання, на якому можливо наочно виявляти залежності та аномалії. Запропонований метод застосовний для довільних метаграфів.

5. На основі удосконаленої нечіткої моделі, запропонованих методів та алгоритмів розроблено інформаційну технологію створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів, яка надає можливість статичної верифікації БНЗ та можливість роботи з ними в графічному режимі, що дозволило скоротити час їх формування, аналізу та редагування в 1,5 – 5 разів.

6. Впровадження розробленої інформаційної технології в Національному антарктичному науковому центрі України, Національній медичній академії післядипломної освіти П. Л. Шупика та Національному центрі «Мала академія наук України» дозволило суттєво підвищити прозорість подання та оброблення інформації, скоротити час її оброблення та виконання типових завдань ОПР та дослідниками на 30%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Глоба Л. С. Технологія обробки інформації в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Електроніка та зв'язок. Тематичний випуск «Проблеми електроніки», ч. 1, 2008. – С. 204 – 207. (Включено до реферативної бази даних «УКРАЇНКА НАУКОВА» та міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Web, ResearchBib, Journals4Free, РІНЦ.) *Автору належить:* алгоритм оброблення інформації на основі баз нечітких знань в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі складних адміністративних систем.

2. Глоба Л. С. Створення баз нечітких знань для інтелектуальних систем управління / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Комп'ютинг – Міжнародний науково-технічний журнал. – том 7, випуск 1. – Тернопіль, «Економічна думка», 2008. – С. 70 – 79. (Включено до Index Copernicus International, Google Scholar, Vernadsky National Library of Ukraine.) *Автору належить:* підхід до створення БНЗ, що є частиною інтелектуальної системи керування складними адміністративними системами.

3. Глоба Л. С. Інтеграція баз даних та баз знань на основі онтології / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”, № 1, 2011. – С. 43 – 47. (Включено до Google Scholar.) *Автору належить:* підхід до інтеграції баз даних та баз знань.

4. Терновой М. Ю. Метод збереження та використання баз нечітких знань / М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Електроніка и связь, № 6(71), 2012. – С. 116 – 122. (Включено до реферативної бази даних «УКРАЇНКА НАУКОВА» та міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Web, ResearchBib, Journals4Free, РІНЦ.) *Автору належить:* підхід до збереження нечітких баз знань у реляційних базах даних.

5. Терновой М. Ю. Представлення баз нечітких знань за допомогою метаграфа та проведення нечіткого логічного виведення на його основі / М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Вісник Харківського національного університету, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», № 1105, 2014. – С. 156 – 165. (Включено до Google Scholar.) *Автору належить:* означення метаграфа, що подає базу нечітких знань, опис властивостей такого метаграфа, алгоритм нечіткого логічного виведення на основі метаграфа.

6. Терновой М. Ю. Формальная спецификация аномалий в базах нечетких знаний Мамдани на основе метаграфа / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогріна // Вісник Харківського національного університету, Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 27, 2015. – С. 157 – 171. (Включено до Google Scholar.) *Автору належить:* метод статичної верифікації баз нечітких знань, поданих метаграфом.

Статті у іноземних виданнях:

7. Штогріна Е. С. Метод визуализации метаграфа / Е. С. Штогріна, А. С. Кривенко // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики Санкт-Петербургского национального исследовательского Университета ИТМО, №3 (91), 2014. – С. 126 – 132. *Автору належить:* критерії правильного графічного подання метаграфа та математичне формулювання методу візуалізації.

8. Globa L. Based on force-directed algorithms method for metagraph visualization / L. Globa, M. Ternovoy, O. Shtogrina, O. Kryvenko // *Soft Computing in Computer and Information Science The series "Advances in Intelligent and Soft Computing" (ACS)*, Springer, Vol. 342, 2015. – pp. 359 – 369. *Автору належить*: запропоновані правила дії сил притягання та відштовхування та їх коефіцієнти для методу візуалізації метаграфа, опис методу візуалізації метаграфа.

Матеріали науково-технічних конференцій та інші видання:

9. Терновой М. Ю. Подход к обработке информации в информационно-телекоммуникационной среде систем административного управления / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогринина // *Материалы 19-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (CriMiCo – 2009)»*, 14 – 18 сентября 2009, Севастополь. – Севастополь: Вебер, 2009. – С. 358 – 359. *Автору належить*: алгоритм оброблення інформації на основі ієрархічних баз нечітких знань.

10. Терновой М. Ю. Подход к созданию и использованию древовидной базы нечетких знаний / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогринина // *Материалы 12-й Международной научно-технической конференции «Системный анализ и информационные технологии (САИТ – 2010)»*, 25 – 29 мая 2010, Киев. – К: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2010. – С. 495. *Автору належить*: опис особливостей зберігання та роботи з ієрархічною БНЗ, яка зберігається у реляційній базі даних.

11. Глоба Л. С. Использование онтологий для интеграции баз данных и баз знаний / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, Е. С. Штогринина // *XI международная научная конференция имени Т. А. Таран «Интеллектуальный анализ информации (ИАИ – 2011)»*, 17 – 20 мая 2011, Киев. – К.: Просвіта, 2011. – С. 34 – 38. *Автору належить*: опис взаємодії між реляційними базами даних та БНЗ.

12. Глоба Л. С. Подход к хранению баз нечетких знаний / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, Е. С. Штогринина // *Материалы II Международной научно-технической конференции «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS – 2012)»*, 16 – 18 февраля 2012, Минск. – Минск: БГУИР, 2012. – С. 99 – 102. *Автору належить*: опис схеми бази даних для зберігання БНЗ.

13. Терновой М. Ю. Построение отображения между реляционными базами данных и онтологиями / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогринина, А. О. Татариков // *XII международная научная конференция имени Т. А. Таран «Интеллектуальный анализ информации (ИАИ – 2012)»*, 16 – 18 мая 2012, Киев. – К.: Просвіта, 2012. – С. 141 – 147. *Автору належить*: метод формування SQL-запитів для отримання даних необхідних для нечіткого логічного виведення на основі БНЗ.

14. Терновой М. Ю. Метод разделения на уровни метаграфа, представляющего базу нечетких знаний / Терновой М. Ю., Е. С. Штогринина, И. В. Куринной // *Материалы 23-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (CriMiCo – 2013)»*, 8 – 14 сентября 2013, Севастополь. – Севастополь: Вебер, 2013. – С. 360 – 361. *Автору належить*: алгоритм зведення метаграфа, який подає БНЗ до ієрархічного метаграфа.

15. Штогринина Е. С. О визуализации метаграфов / Е. С. Штогринина, А. С. Кривенко // *Материалы 8-й Научно-технической конференции «Проблемы телекоммуникаций (ПТ – 2014)»*, 22 – 25 апреля 2014, Киев. – К.: НТУУ «КПИ», 2014. – С. 264 – 266. *Автору належить*: постановка задачі візуалізації метаграфа.

16. Globa L. Based on force-directed algorithms method for metagraph visualization /

L. Globa, M. Ternovoy, O. Shtogrina, O. Kryvenko, // «19th International Conference on Advanced Computer Systems (ACS – 2014)», October 22 – 24, 2014, Międzyzdroje, Poland. *Автору належить*: опис особливостей правил дії сил притягання та відштовхування у методі візуалізації метаграфа, опис методу візуалізації метаграфа.

17. Глоба Л. С. Метаграфы как основа для представления и использования баз нечетких знаний / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, Е. С. Штогринина // Материалы V Международной научно-технической конференции «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS – 2015)», 19 – 21 февраля 2015, Минск. – Минск: БГУИР, 2015. – С. 237 – 240. *Автору належить*: алгоритм впорядкування вузлів метаграфа, який подає БНЗ.

18. Штогринина Е. С. Визуализация иерархических метаграфов / Е. С. Штогринина, А. С. Кривенко // Материалы 9-й Научно-технической конференции «Проблемы телекоммуникаций (ПТ – 2015)», 21 – 24 апреля 2015, Киев. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 327 – 329. *Автору належить*: особливості та критерії візуалізації ієрархічних метаграфів, загальний опис методу візуалізації ієрархічних метаграфів.

19. Терновой М. Ю. Візуальний аналіз аномалій баз нечітких знань представлених метаграфом / М. Ю. Терновой, О. С. Штогринина // Матеріали 9-ї Науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій (ПТ – 2015)», 21 – 24 квітня 2015, Київ. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 264 – 266. *Автору належить*: особливості візуального виявлення та аналізу аномалій в БНЗ.

20. Мадяр С.-А. И. Автоматизация анализа данных цветопреференциального обследования антарктических зимовщиков / С.-А. И. Мадяр, Е. Э. Ковалевская, Л. С. Глоба, Е. С. Штогринина, Р. А. Косовненко, Ю. А. Добров, Е. В. Моисеенко // Український Антарктичний Журнал, № 14, 2015. – С. 217 – 228. (Включено до Ulrich's Periodicals Directory, CSA, Thomson Reuters.) *Автору належить*: особливості інформаційної системи Національного антарктичного наукового центру України для автоматизації аналізу стану антарктичних зимівників.

АНОТАЦІЯ

Штогринина О. С. Інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, 2016.

У дисертаційній роботі удосконалено нечітку логічну модель, яка побудована для оброблення інформації, за рахунок подання ієрархічної БНЗ у вигляді метаграфа з додатковими обмеженнями на його структуру та введеним порядком вузлів, і нечіткого логічного виведення на його основі з виділенням необхідної для виведення частини. Запропоновано метод статичної верифікації ієрархічної БНЗ, поданої у вигляді метаграфа, що дозволило проводити перевірку БНЗ на відповідність властивостям несуперечливості, лінгвістичної повноти, лінгвістичної ненадлишковості, відсутності зациклювання. Запропоновано метод візуалізації метаграфів в якому враховується вкладеність вершин у метавершини при розрахунку їх взаємного розташування на площині та його розширення для випадку ієрархічних метаграфів.

Розроблено інформаційну технологію створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів, яка базується на удосконаленій моделі, розроблених

методах та алгоритмах. Для реалізації інформаційної технології створено комплекс інструментальних засобів створення та використання БНЗ для оброблення інформації при оцінюванні стану складного об'єкту, який включає модулі створення та редагування БНЗ на основі метаграфа, модуль візуалізації метаграфа, модуль підготовки метаграфа, модуль статичної верифікації БНЗ та модуль нечіткого-логічного виведення на основі метаграфа, модуль роботи з базами даних.

Ключові слова: база нечітких знань, статична верифікація, властивості баз нечітких знань, візуалізація, метаграф, інформаційна технологія.

АННОТАЦІЯ

Штогриня Е. С. Информационная технология создания и использования баз нечетких знаний с применением метаграфов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, 2016.

Диссертационная работа посвящена развитию существующих и созданию новых научных и практических результатов в области разработки интеллектуальных систем основанных на базах нечетких знаний (БНЗ), представлению БНЗ в виде метаграфа и дальнейшей его визуализации. Выполнен анализ достижений и разработок в области использования систем бизнес-аналитики, а в рамках них построения и использования интеллектуальных систем для оценки состояния сложных объектов, представления БНЗ, свойств БНЗ, а также визуализации графовых структур. Определены нерешенные проблемы и показана необходимость усовершенствования существующих и создания новых моделей, методов и алгоритмов, а также информационной технологии создания и использования БНЗ с применением метаграфов.

Усовершенствовано нечеткую логическую модель, которая создана для обработки информации, за счет представления иерархической БНЗ в виде метаграфа, введения ограничений на структуру метаграфа, упорядочивания его узлов для определения порядка применения правил и нечеткого логического вывода на основе части метаграфа, выделенной для оценки искомой лингвистической переменной.

Предложен метод статической верификации БНЗ, представленной в виде метаграфа, что предоставляет возможность проверить БНЗ на соответствие свойствам неизбыточности, лингвистической непротиворечивости, лингвистической полноты, отсутствия заикливания, используя структуру метаграфа.

Определены критерии, при выполнении которых, графическое представление метаграфа является правильным, т.е. соответствует аналитическому представлению метаграфа. Предложен метод визуализации метаграфа, который заключается в комбинировании силовых алгоритмов и позволяет строить графическое представление любого метаграфа в автоматическом режиме. Предложенный метод расширен для случая иерархических метаграфов.

Предложена информационная технология создания и использования БНЗ с применением метаграфов, которая базируется на основе описанных усовершенствованной нечеткой модели, разработанных методов и алгоритмов. Особенностью разработанной технологии является наличие комплекса

инструментальных средств создания и использования БНЗ для обработки информации по оценке состояния сложного объекта, а также возможность работы с БНЗ в графическом режиме, что позволило сократить время формирования, анализа, редактирования 1,5 – 5 раз. Использование информационной технологии при проведении оценки состояния сложного объекта позволило минимизировать привлечение экспертов и повысить эффективность работы лиц, принимающих решения и исследователей на 30% за счет автоматизации фиксации результатов наблюдений, одновременной их записи в БД, и формированию отчетов с результатами оценки состояния на их основе. Для практической реализации предложенной информационно технологии создана информационная система, соответствующие БНЗ и БД, которые внедрены в Национальном антарктическом научном центре Министерства образования и науки Украины.

Ключевые слова: база нечетких знаний, статическая верификация, свойства баз нечетких знаний, визуализация, метаграф, информационная технология.

ABSTRACT

Shtogrina O. S. Information technology of fuzzy knowledge base development and use based on metagraph. – Manuscript.

A Philosophy Doctor of Technical Sciences thesis in specialty 05.13.06 – information technologies. – National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, 2016.

The fuzzy logic model for information processing is improved in the thesis. Fuzzy knowledge base representation in the form of a metagraph, the algorithms for metagraph construction, numbering metagraph vertices, finding necessary metagraph's part and fuzzy inference based on metagraph are proposed. The requirements for structure of metagraph corresponding to non-redundant, linguistic non-contradicted and linguistic complete fuzzy knowledge base are defined. Fuzzy knowledge base properties static verification based on metagraph structure analysis is proposed. The thesis describes the method for metagraph and hierarchical metagraph visualization based on the principles of force-directed algorithms.

The information technology for based on metagraph fuzzy knowledge base development and usage is described. This technology includes improved model, developed methods and algorithms. The proposed technology includes tools for fuzzy knowledge base development and usage for complex object evaluation. It includes software module to create and edit based on metagraph fuzzy knowledge base, software module to visualize metagraph, software module for fuzzy knowledge base static verification, software module for based on metagraph fuzzy inference, software module to work with databases.

Keywords: fuzzy knowledge base, static verification, fuzzy knowledge base properties, visualization, metagraph, the information technology.