МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Микіч Христина Ігорівна

УДК 004.827+004.89

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОБЛЕМНИХ СИТУАЦІЙ НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Микіч Х.І.

Науковий керівник –
Буров Євген Вікторович,
д.т.н., професор

Ідентичність всіх примірників дисертації
ЗАСВІДЧУЮ:
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

/Р.Л. Бунь/

Львів – 2018

АНОТАЦІЯ

Микіч Х.І. Методи та засоби ідентифікації проблемних ситуацій на основі онтологічного підходу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 01.05.03 «Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем» (12 «Інформаційні технології»). – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2018.

Дисертацію присвячено дослідженню та розробці нових моделей, методів та засобів ідентифікації проблемних ситуацій на базі онтологій із використанням механізмів логічного виведення, які застосовано в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень для задач тестування програмного забезпечення.

Актуальність вирішення науково-технічної задачі розробки методів та засобів ідентифікації проблемних ситуацій полягає у стрімкому розвитку автономних інтелектуальних систем та розширенні потреб у ситуаційній обізнаності для таких галузей як робототехніка, бізнес-аналітика, розробка та тестування програмного забезпечення та ін., що передбачає необхідність розробки моделей та методів ситуаційної обізнаності для підтримки автономного прийняття рішень у таких системах.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розв’язанні науково-технічної задачі ідентифікації проблемних ситуацій в інтелектуальних системах на базі онтологій з використанням механізмів логічного виведення.

У першому розділі розглянуто поняття ситуаційної обізнаності, моделі представлення та опрацювання знань у системах із ситуаційною обізнаністю. Проведено аналіз існуючих методів подання знань із використанням ситуаційної обізнаності, що дало змогу краще зрозуміти структуру різних фреймворків і перспективу їх застосування при розробленні аналогічних

систем. Аналіз існуючих методів розробки показує, що майже всі дослідження, що проводилися дотепер, були зосередженні на людино-машинній взаємодії. Автономне прийняття рішення потребує розробки нових методів опрацювання знань та поєднання декількох методів в межах системи. Таким чином, відсутнім є спільний, об'єднуючий фреймворк, що дає змогу поєднувати декілька методів в межах єдиної системи, що і формує ціль дисертаційного дослідження.

У другому розділі розглянуто моделі подання знань у системах із ситуаційною обізнаністю, проаналізовано їх переваги та недоліки. Для подальшого удосконалення і проектування інтелектуальних систем із використанням ситуаційної обізнаності у роботі було використано формальну модель подання знань.

Опрацювання та представлення даних у вигляді алгебраїчної структури широко використовується у галузі інформаційних технологій. На сьогодні для подання предметної області та вирішення задач у системах із ситуаційною використовуються різні методи. Існуючі методи формалізації ситуації дають змогу відображати лише певні підзадачі ситуаційної обізнаності. Проте, процес прийняття рішення та ідентифікації ситуації у реальному світі вимагає поєднання декількох методів.

Таким чином у роботі розроблено такий цілісний підхід, що дає змогу використовувати у системі різні методи моделювання ситуаційної обізнаності. Це було досягнуто шляхом розроблення формальної алгебраїчної моделі та побудови переходів до інших моделей та методів.

Запропонований алгебраїчний підхід на базі алгебри систем відповідає загальній моделі синтезу даних (JDL модель), має достатню гнучкість і дає змогу використовувати для моделювання та вирішення задач інші математичні методи шляхом побудови взаємно-однозначних відображень.

У роботі було розроблено відображення між алгебраїчною моделлю, дескриптивною логікою та інтерпретованими системами. Це дає змогу використати методи логічного виведення, розроблені для дескриптивної

логіки та в теорії інтерпретованих систем для дослідження систем на базі онтологій.

У третьому розділі розроблено методи ідентифікації проблемних ситуацій у системах підтримки прийняття рішень. Запропоновано методи опрацювання знань про ситуації, що базуються на використанні апарату неточних множин та підходу гранулярного комп'ютингу. Вони дають змогу спростити операції визначення ситуацій та їх опрацювання. Підхід, що базується на онтологічному поданні знань про ситуації, використовується для досягнення ситуаційної обізнаності у складних інтелектуальних системах, де об'єкти можуть знаходитись у кількох ситуаціях одночасно або ситуація є неточно вираженою. Гранулярний комп'ютинг використовується для спрощення вирішення задач менеджменту знань про ситуації. Коли ознаки ситуації неточно задані, для формального визначення ситуації використовується апарат неточних множин.

У роботі подано формальну постановку задачі ідентифікації ситуації та розроблено методи ідентифікації ситуацій для різних типів ситуацій (ситуація як стан проблемної області, ідентифікація ситуації як процесу, ідентифікація ситуацій у випадку нечіткостей).

У четвертому розділі для моделювання методів ідентифікації проблемних ситуацій обрано галузь тестування програмного забезпечення. Галузь тестування програмного забезпечення безпосередньо пов'язана із його проблемами, адже вартість адміністрування програмного продукту і вартість збитків, пов'язаних із неякісним програмним забезпеченням в рази перевищує вартість програмного забезпечення. Тобто, на сьогодні, тестування програмного забезпечення є одним із найбільш затратних етапів життєвого циклу продукту, оскільки становить значну частину від загальних витрат відведених на розробку програмного забезпечення. Тестування базується на вимогах до програмного забезпечення: саме з вимог одержуються тестові дані та тестові приклади, що є результатом аналізу предметної області.

У роботі розроблено методи ідентифікації проблемних ситуацій у процесі онтологічного моделювання знань з метою підвищення якості процесу тестування програмного забезпечення шляхом ідентифікації та вчасного реагування на ситуації, що виникають у процесі тестування. Онтологічне представлення знань про предметну область дає змогу підвищити якість програмного забезпечення і, таким чином, забезпечити зростання якості програмного забезпечення.

Онтологічне подання знань про предметну область дає змогу формалізувати знання про ситуації на проекті, а застосування методів ідентифікації ситуацій забезпечить вчасне виявлення загрозливих ситуацій та формування рекомендацій по їх усуненню, що сприятиме зростанню якості як процесу розробки так і самого програмного продукту.

Розроблено архітектуру системи ідентифікації ситуацій, центральним компонентом якої є інструментальний засіб для онтологічного моделювання – Protégé. Для розширення функціональних можливостей редактора Protégé було використано два плагіни, за допомогою яких здійснено моделювання на базі мов SWRL, SQWRL.

Для визначення переваг та недоліків розробленого підходу з існуючими фреймворками побудови інтелектуальних систем із ситуаційною обізнаністю, здійснено порівняння їх функціональних можливостей. Проведений аналіз показує, що розроблені моделі та методи ідентифікації порівняно з існуючими підтримують більше функцій та є гнучкими і дають змогу поєднувати різні методи в межах єдиної системи.

Ключові слова: ситуаційна обізнаність, проблемна ситуація, ідентифікація ситуацій, формальна модель, онтологія, система підтримки прийняття рішень.

Список публікацій

1. Буров Є. В. Методи подання та опрацювання знань у системах зі ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Вісник

Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. – 2015. – № 832. – С. 205-216.

2. Буров Є. В. Дослідження причин виникнення невизначеностей у системах із ситуаційною обізнаністю та аналіз методів їх опрацювання» / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків : Технологічний центр2016. – №1 (79). – С. 19 – 27. – Режим доступу: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/60828/56926.
3. Burov Y. Algebraic framework for knowledge processing in systems with situational awareness / Burov Y., Mykich Kh. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 512. – ISSN 2194-5357. – DOI 10.1007/978-3-319-45991-2_18. − Springer International Publishing AG, 2017. − P. 217-227. – Access mode: http://www.springer.com/us/book/9783319459905).
4. Burov Y. The approach of granular computing and rough sets for identifying situations / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // ECONTECHMOD. An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. – 2017. − Vol. 6, No 2. − P. 45-50.
5. Буров Є. В. Розроблення методів спрощення менеджменту знань про ситуації у системах із ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Штучний інтелект. – 2017. – № 2. – С. 86-92.
6. Burov Y. Knowledge-based situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // 5th International Youth Science Forum "Litteris et Artibus" : proceedings, Nov. 26-28, 2015, Lviv, Ukraine / Lviv Polytechnic Nat. Univ. — Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2015. − P. 38-41.
7. Burov Y. Uncertainty in situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016) : proc. of the XIII Intern. conf., Febr., 23-26, 2016, Lviv-Slavske, Ukraine / Min. of Education and Science of Ukrainiane, Lviv Polytechn. Nat. Univ. − Lviv :

Lviv Polytechnic Publ. House, 2016. − P. 729-732.

8. Burov Y. Algebraic model for knowledge representation in situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // Computer Science and Information Technologies CSIT'2016 : proc. of the XI-th Intern. Scientific and Techn. Conf., 6-10 Sept. 2016, Lviv, Ukraine / Min. of Education and Science of Ukraine, Lviv Polytechn. Nat. Univ. − Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2016. − P. 165-167.

9. Буров Є. В. Онтологічне подання знань про ситуації у системах із ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2017 : матеріали XIII Міжнародної наукової конференції , 22–26 травня 2017, Залізний порт, Україна / Херсон : Видавництво ПП Вишемирський В. С., 2017. – С. 187-188.

10. Микіч Х. І. Ситуаційна модель як спосіб представлення знань про предметну область у системах із ситуаційною обізнаністю / Х. І. Микіч // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Гуманітарні, природничі та точні науки як фундамент суспільного розвитку», 19 – 20 вересня 2017, Харків, Україна / Наукове партнерство «Центр наукових технологій». – Харків : НП «ЦНТ», 2017. – С. 83-89.

ABSTRACT

Mykich Kh. I. Methods and means for identifying problematic situations on the basis of an ontological approach. – On the rights of manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 01.05.03 – Mathematical and software supply of computing machines and systems.– Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2018.

The dissertation is devoted to the research and development of new models, methods and means for identifying problem situation based on ontology using inferential mechanism, that are used in intellectual decision support systems for software testing.

The topicality of the solution of the scientific and technical task of developing methods and means for identifying problematic situations is the rapid development of autonomous intellectual systems and the extension of requirements for situation awareness for such industries as robotics, business intelligence, software development and testing, etc. It requires the development of situational awareness models and methods to support autonomous decision making in such systems.

The scientific novelty of the obtained results consists in solving the scientific and technical task of identifying problematic situations in intellectual systems based on ontologies using the mechanisms of logical reasoning.

In the first section, the concept of situation awareness, the models of representation and knowledge processing in systems with situational awareness are considered. The analysis of existing knowledge representation methods using situation awareness was carried out, which made it possible to better understand the structure of various frameworks and the perspective of their application in the development of similar systems. The analysis of existing development methods shows that almost all the studies conducted so far have focused on human-machine interaction. Automated decision making requires the development of new methods for knowledge processing and combining several methods within the system. Thus,

there is no common, unifying framework, which allows combining several methods within a single system, which forms the purpose of the dissertation research.

In the second section, models of presentation of knowledge in systems with situation awareness are considered, their advantages and disadvantages are analyzed. For the further improvement and design of intellectual systems with the use of situation awareness in the work, a formal model of presentation of knowledge are used.

The processing and presentation of data in the form of an algebraic structure is widely used in the field of information technology. Today, different methods are used to present the subject area and solve problems in situational awareness systems. Existing methods for formalizing the situation allow only certain subtask of situation awareness to be displayed. However, the decision-making process and the identification of the situation in the real world require a combination of several methods.

Thus, in this work, a holistic approach is developed that allows using different methods of situation awareness modeling in the system. This is was achieved by developing a formal algebraic model and constructing transitions to other models and methods.

The proposed algebraic approach based on the algebra of systems corresponds to the general model of the JDL, has sufficient flexibility and allows using other mathematical methods for modeling and solving problems by constructing mutually unambiguous mappings.

In order to represent multiple forms of situation models, mappings between the algebraic model, descriptive logic and interpreted systems were developed. This enables the use of logical inference methods developed for descriptive logic and in the theory of interpreted systems for the study of ontology-based systems.

In the third section, methods for identifying problem situations in decision support systems are developed. The methods of knowledge processing about the situation based on the use of the rough theory and the approach of granular

computing are offered. They make it possible to simplify situations definition and processing. An ontological presentation of situational knowledge is used to achieve situation awareness in complex intellectual systems, where objects can be in multiple situations simultaneously or the situation is inaccurately expressed. Granular computing is used to simplify the management of knowledge of situations. When the signs of the situation are inaccurately given, the theory of rough set is used to formally determine the situation.

A formal statement of the problem of situation identification and corresponding methods were developed for identifying situations for different types of situations (situation as the state of the problem area, identification of the situation as a process, identification of situations in the case of uncertainty).

In the fourth section, software testing industry has been selected to simulate problem-identification methods. The software testing area is directly related to its problems, since the cost of administering a software product and the cost of damages associated with low-quality software product is times more than the cost of software. That is, today's testing software is one of the most costly stages of the product life cycle, since it represents a significant part of the total cost of software development. Software testing is based on software requirements: it is from the requirements that test data and test cases are obtained, which is the result of domain analysis.

The methods for identifying problematic situations in the process of ontology-based knowledge modeling in order to improve the quality of the software testing process by identifying and timely responding to the situations that arise during the testing process. An ontology representation of the subject area allows improving the definition of software requirements, improving their quality, and thus ensuring the growth of software quality.

Ontology-based knowledge processing about the subject area allows formalizing knowledge about the situation on the project, and application of methods for situations identification will ensure timely detection of threatening situations and the formation of recommendations for their elimination, which will

contribute to the growth of quality as a development process of software product and the software product itself.

The architecture of the system of situations identification is developed. The central component in the architecture is an instrument for ontological modeling – Protégé. To extend the functionality of the Protege editor, two plugins were used to make logical reasoning using SWRl and SQWRL.

To determine the advantages and disadvantages of the developed approach with existing frameworks for the construction of intellectual systems with situational awareness, a comparison of their functional capabilities was made.
The analysis shows that the developed models and methods of identification compared with the existing ones support more functions and are flexible and allow combining different methods within a single system.

Key words: situational awareness, problematic situation, situation identification, formal model, ontology, decision support system.

References

1. Burov Y.V. Methods of knowledge representation and processing in systems with situational awareness / Y. V. Burov, Kh. I. Mykich // Reporter of Lviv Polytechnic National University. "Information systems and networks". – 2015. – Edition 832. – P.205 – 216.

2. Burov Y.V. Research of uncertainties in situational awareness systems and methods of their processing / Y. V. Burov, Kh. I. Mykich // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkiv : Technological center 2016. – №1(79). – P. 19 – 27. – Access mode: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/60828/56926.

3. Burov Y. Algebraic framework for knowledge processing in systems with situational awareness / Burov Y., Mykich Kh. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 512. – ISSN 2194-5357. – DOI

10.1007/978-3-319-45991-2_18. − Springer International Publishing AG, 2017. − P. 217-227. – Access mode: http://www.springer.com/us/book/9783319459905.

4. Burov Y. The approach of granular computing and rough sets for identifying situations / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // ECONTECHMOD. An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. – 2017. − Vol. 6, No 2. − P. 45-50.
5. Burov Y. Situational knowledge management in situational awareness systems / Y. Burov, Kh. Mykich // Artificial Intelligence. - 2017. – No. 2. – P. 86-92.
6. Burov Y. Knowledge-based situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // 5th International Youth Science Forum "Litteris et Artibus": proceedings, Nov. 26-28, 2015, Lviv, Ukraine / Lviv Polytechnic Nat. Univ. — Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2015. − P. 38-41.
7. Burov Y. Uncertainty in situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016): proc. of the XIII Intern. conf., Febr., 23-26, 2016, Lviv-Slavske, Ukraine / Min. of Education and Science of Ukrainiane, Lviv Polytechn. Nat. Univ. − Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2016. − P. 729-732.
8. Burov Y. Algebraic model for knowledge representation in situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // Computer Science and Information Technologies CSIT'2016 : proc. of the XI-th Intern. Scientific and Techn. Conf., 6-10 Sept. 2016, Lviv, Ukraine / Min. of Education and Science of Ukraine, Lviv Polytechn. Nat. Univ. − Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2016. − P. 165-167.
9. Burov Y.V. Ontological knowledge representation about situations in situational awareness systems / Y. Burov, Kh. Mykich // Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence

ISDMCI’2017: Conference Proceedings, May 22 – 26 2017, Zaliznyj Port, Ukraine / Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. – P. 187-188.

10. Mykich Kh. I. Situational model as a way of situational knowledge representation about the domain in situational awareness systems / Kh. Mykich // Materials of the V Ukrainian scientific and practical conference "Humanitarian, natural and exact sciences as the foundation of social development", September 19 – 20 2017, Kharkiv, Ukraine / Scientific partnership "Center of scientific technologies". – Kharkiv: SP “CST”, 2017. – P. 83-89.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів 16
Вступ 17
Розділ 1 . Аналітичний огляд літературних джерел 25
1.1. Поняття терміну ситуаційна обізнаність 25
1.2. Зв'язок між ситуацією і ситуаційною обізнаністю 29
1.3. Моделі представлення та опрацювання знань у системах із ситуаційною обізнаністю 31
1.4. Мовні засоби для формального подання ситуаційної обізнаності 35
1.5. Архітектурні фреймворки систем із ситуаційною обізнаністю 40
1.6. Наявні методи штучного інтелекту для ідентифікації ситуацій 44
1.6.1. Специфікаційні методи 46
1.6.2. Методи, що базуються на навчанні 47
1.7. Постановка задачі дослідження 49
Висновки до розділу 1 49
Розділ 2. Розробка формальної моделі подання та опрацювання проблемної ситуації в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень 51
2.1. Вибір типів моделей даних для представлення ситуаційної обізнаності 51
2.1.1 Формальна модель представлення знань про предметну область... 54
2.1.2 Онтологічне моделювання предметної області з використанням апарату алгебри систем 57
2.2. Процедура відображення дескриптивної логіки в алгебраїчну модель ... 61
2.3. Процедура відображення інтерпретованих систем в алгебраїчну модель 64
Висновки до розділу 2 69
Розділ 3. Розробка методів ідентифікації проблемних ситуацій в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень 70
3.1. Поняття ідентифікації проблемних ситуацій 70

3.2. Опрацювання невизначеностей у системах із ситуаційною обізнаністю ……... 74
3.2.1. Методи опрацювання невизначеностей на першому етапі досягнення ситуаційної обізнаності 78
3.2.2. Методи опрацювання невизначеностей на другому етапі досягнення ситуаційної обізнаності 80
3.2.3. Методи опрацювання невизначеностей на другому етапі досягнення ситуаційної обізнаності 82
3.3. Формальна постановка здачі ідентифікації ситуації 86
3.3.1. Методи ідентифікації для різних типів ситуацій 88
3.4. Менеджмент знань про ситуації 90
3.4.1. Використанння гранулярного комп'ютингу для ідентифікації ситуацій…… 92
3.4.2. Використання теорії неточних множин для ідентифікації ситуацій 92
Висновки до розділу 3 95
Розділ 4. Розробка програмних засобів ідентифікації проблемних ситуацій галузі тестування програмного забезпечення 96
4.1. Характеристика галузі тестування програмного забезпечення 96
4.2. Онтологія предметної області 98
4.3. Архітектура системи ідентифікації ситуацій 103
4.4. Ідентифікація ситуацій з використанням SQWRL 110
4.5. Порівняння функціональних можливостей розробленої системи з наявними фреймворками 115
Висновки до розділу 4 124
Висновки 126
Список літератури 128
Додаток А. Акти впровадження 142
Додаток В. Список публікацій та апробація результатів……..….....149

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

CO (Situation awareness, ситуаційна обізнаність)

JDL (Data Fusion Model, модель синтезу даних)

IC (Interpreted system, інтерпретовані системи)

DL (Дескриптивна логіка)

AM (Алгебраїчна модель)

ВСТУП

В сучасних умовах, що характеризуються дедалі більшими розвитком та впровадженням інтелектуальних систем виникла необхідність у розробці таких інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що є повністю автономними та використовують попередній досвід з ідентифікації проблемних ситуацій. Необхідною умовою побудови таких систем є формування та підтримка в них ситуаційної обізнаності (situation awareness). На сьогодні, термін «ситуаційна обізнаність» (СО) широко використовується і означає здатність отримувати інформацію про поточний стан середовища (системи) та на основі наявних знань формувати висновки про необхідні дії з метою уникнення помилок. Тобто, завдання системи із ситуаційною обізнаністю полягає у забезпеченні повністю автономного прийняття рішення інтелектуальною системою у динамічному середовищі.

Визначення змісту поняття ситуаційної обізнаності є досить складним завданням, оскільки різні автори трактували його по-різному. Поняття ситуаційної обізнаності передбачає не просто сприймання інформації (стану середовища, системи тощо), а глибоке розуміння поточного стану системи відповідно до її цілей, для того щоб мати змогу обрати потрібну дію.

Дослідження в області ситуаційної обізнаності довший час фокусувалися на людино-машинних застосуваннях. Наявні тенденції розвитку інтелектуальних систем визначають потреби зміни фокусу дослідження від людино-машинних систем до повністю автономних інтелектуальних систем, що здатні орієнтуватися та приймати рішення у реальних ситуаціях. Практично всі дослідження, що проводилися дотепер, були зосереджені на розробці ситуаційної обізнаності в системах із людиною-оператором і підтримки прийняття ним рішень. Ці дослідження базувались на моделях та враховували особливості когнітивних процесів людини. Дослідження чисто комп’ютерної ситуаційної обізнаності потребують інших моделей та методів ідентифікації ситуацій.

Для подання предметної області та вирішення задач у системах із ситуаційною обізнаністю потрібно не тільки використовувати різні моделі ситуацій та методи їх ідентифікації, але й поєднувати їх у межах єдиної системи. Поширеним є подання знань про предметну область у вигляді онтології, що дає змогу використовувати різні методи для вирішення різних задач у межах єдиної системи із ситуаційною обізнаністю.

Актуальність вирішення науково-технічної задачі розробки методів та засобів ідентифікації проблемних ситуацій полягає у стрімкому розвитку автономних інтелектуальних систем та розширенні потреб у ситуаційній обізнаності для таких галузей як робототехніка, бізнес-аналітика, розробка та тестування програмного забезпечення та ін., що передбачає необхідність розробки моделей та методів ситуаційної обізнаності для підтримки автономного прийняття рішень у таких системах.

Значний внесок у дослідження в напрямку розвитку моделей та методів ідентифікації ситуації в системах із ситуаційною обізнаністю проводилися у роботах Mieczyslaw Kokar, Mica Endsley, Alan Steinberg, Richard Neil Baumgartner, Jousselme Anne Laure, Benjamin Koo.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тема дисертації відповідає науковому напряму «Дослідження, розробка та впровадження інтелектуальних розподілених інформаційних технологій та систем на основі ресурсів баз даних, сховищ даних, просторів даних та знань з метою прискорення процесів формування сучасного інформаційного суспільства» кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка».

Дисертація виконана в межах науково-дослідної роботи кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка» «Розробка методів побудови та моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з ситуаційною обізнаністю» (номер державної реєстрації U0110U001102).

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційного дослідження є розширення функціональних можливостей програмних систем підтримки прийняття рішень шляхом розробки методів та засобів ідентифікації проблемних ситуацій на основі онтологічного підходу.

У процесі дисертаційного дослідження виконано такі завдання:

1) аналіз, класифікація, обґрунтування переваг та недоліків відомих методів ідентифікації проблемних ситуацій у системах із ситуаційною обізнаністю;
2) побудова моделі виявлення, опису використання та опрацювання проблемних ситуацій як різновиду знань інтелектуальної програмної системи підтримки прийняття рішень;
3) розроблення методів ідентифікації проблемних ситуацій для формування знань про такі ситуації в інтелектуальних програмних системах підтримки прийняття рішень;
4) розроблення структурно-функціональної моделі програмної системи ідентифікації проблемних ситуацій на основі онтологічного підходу;
5) розроблення програмних засобів для дослідження та моделювання проблемних ситуацій на прикладі систем підтримки прийняття рішень для тестування програмного забезпечення.

Об'єкт дослідження – процеси підтримки прийняття рішень.

Предмет дослідження – методи і засоби ідентифікації проблемних ситуацій інтелектуальними системами підтримки прийняття рішень.

Методи дослідження. Дослідження, що виконані під час роботи над дисертацією, ґрунтуються на підході та методах системного аналізу. Під час вирішення задачі аналізу та класифікації систем з ситуаційною обізнаністю був використаний методологічний фреймворк JDL. Для розроблення моделей формального подання та опрацювання знань про ситуації застосовано методи онтологічного моделювання, теорії множин, математичний апарат алгебри систем, дескриптивну логіку та методи інтерпретованих систем. Для

побудови моделей та методів ідентифікації проблемних ситуацій в умовах невизначеності використано методи гранулярного комп'ютингу, нечітку та розмиту логіки, теорію нечітких множин. У процесі створення програмної системи ідентифікації ситуацій використано методи моделювання на базі UML, а також мов OWL, SWRL, SQWRL.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертації полягає у розв'язанні науково-технічного завдання ідентифікації проблемних ситуацій інтелектуальними системами на базі онтологій з використанням механізмів логічного виведення. У дисертаційному дослідженні отримано такі нові наукові результати:

- вдосконалено модель синтезу даних (JDL) для інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень шляхом деталізації процесу ідентифікації ситуації, що дало змогу застосувати різні форми міркувань (reasoning) для ідентифікації проблемних ситуацій;
- вперше розроблено модель подання знань про проблемні ситуації на основі онтологічного підходу, яка дає змогу реалізувати ідентифікацію та оцінювання як для статичних, так і для динамічних типів ситуацій;
- вперше розроблено метод ідентифікації нечітких ситуацій, який відрізняється від відомих використанням апарату нечітких множин, що забезпечило можливості усунення таких ситуацій на різних етапах синтезу моделі даних;
- вперше розроблено метод ідентифікації як статичних так і динамічних ситуацій, який ґрунтується на використанні ключових ознак, що дало змогу спростити процес ідентифікації шляхом зменшення кількості проміжних операцій.

Одержав подальший розвиток:

- методи та засоби ідентифікації проблемних ситуацій, на відміну від існуючих методів штучного інтелекту, дали змогу в межах єдиної системи поєднувати кілька методів для різних типів ситуацій які

виникають у реальному масштабі часу, що, в свою чергу, дало змогу підвищити ефективність функціонування системи підтримки прийняття рішень.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні нових методів для виявлення та опрацювання проблемних ситуацій на основі методологічного фреймворку JDL розробленого із застосуванням онтологічного підходу. Розроблені математичні моделі та методи ідентифікації проблемних ситуацій є основою для проектування і розроблення інтелектуальних програмних систем підтримки прийняття рішень для тестування програмного забезпечення. У дисертаційній роботі розроблено програмний комплекс аналізу та моделювання проблемних ситуацій на прикладі систем підтримки прийняття рішень для тестування програмного забезпечення, що дає змогу підвищити ефективність процесу тестування та зменшити кількість помилок.

Результати роботи використані у науково-дослідній роботі кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка» «Розробка методів побудови та моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з ситуаційною обізнаністю», номер державної реєстрації U0110U001102, а також у навчальному процесі кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка» у дисциплінах «Теорія підтримки прийняття рішень», «Технологія процесів підтримки прийняття рішень», «Методи та засоби інженерії даних та знань», «Онтологічний інжиніринг» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр», що навчаються за напрямом 6.040303 «Системний аналіз», для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», що навчаються за напрямом 8.04030302 «Системи і методи прийняття рішень», а також для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня

«магістр», що навчаються за напрямом 8.05010104 «Системи штучного інтелекту».

Результати дисертаційних досліджень використовуються у навчальному процесі кафедри інформатики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка під час викладання дисциплін «Системний аналіз та теорія прийняття рішень», «Нечітке моделювання систем» та «Чисельне моделювання соціально-економічних процесів» для підготовки фахівців першого(бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти, що навчають за напрямом 014 середня освіта (Інформатика).

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи використано ТЗоВ «Елкан» з метою підвищення якості функціонування системи оптової торгівлі із використанням ситуаційної обізнаності. Розроблено механізм ідентифікації ситуацій та причинно-наслідкових зв’язків між подіями на підприємстві, що дає змогу ідентифікувати проблемну ситуацію, а також спрогнозувати майбутні дії щодо удосконалення роботи підприємства.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені в практичну діяльність ВАТ Заводу «ВЕСТА» при розробці системи підтримки прийняття рішення із використанням ситуаційної обізнаності для меблевої торгівлі та торгівлі кованими виробами.

Особистий внесок здобувача

Усі наукові результати, подані у дисертації, одержані здобувачем особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, внесок здобувача такий: [1] – порівняння онтологій ситуаційної обізнаності, визначення напрямків розвитку існуючих систем із врахуванням задач побудови автономних інтелектуальних систем; [2] – досліджено методи опрацювання різних типів невизначеностей та визначено способи їх подання та опрацювання; [3] – розроблення удосконаленої моделі синтезу даних (JDL); [4] – запропоновано використання гранулярного комп’ютингу для

спрощення менеджменту знань у системах із ситуаційною обізнаністю; [5] – запропоновано метод що базується на використанні апарату неточних множин; [6] – проаналізовано моделі подання знань про ситуації у системах із ситуаційною обізнаністю; [7] – досліджено головні типи невизначеностей для основних етапів JDL моделі; [8] – запропоновано алгебраїчну модель подання знань у системах із ситуаційною обізнаністю; [9] – запропоновано онтологічне подання знань про ситуації.

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертаційної роботи були представлені на таких міжнародних наукових конференціях та семінарах:

- 5th International youth science forum "Litteris et Artibus" (Lviv, November 26-28, 2015);
- XIII Міжнародна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії» TCSET'2016 **(**Львів-Славсько**,** 23-26 лютого, 2016);
- XI-th Intern. Scientific and Techn. Conf. "Computer Science and Information Technologies" CSIT'2016 (Lviv, 6-10 September, 2016);
- XIII Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» ISDMCI'2017 (Залізний порт, 22 – 26 травня 2017);
- V Всеукраїнська науково-практична конференція «Гуманітарні, природничі та точні науки як фундамент суспільного розвитку» (Харків, 19 – 20 вересня, 2017);
- XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Штучний інтелект і інтелектуальні системи» AIIS'2017 (Київ, 17 – 19 жовтня, 2017);
- Наукових семінарах кафедри «Інформаційні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка».

Публікації

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 10 наукових праць, з них: 2 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому фаховому виданні України, що включене до наукометричної бази даних Scopus; 2 статті в наукових періодичних виданнях інших держав, що включені в наукометричні бази; 5 тез доповідей на науково-технічних конференціях міжнародного та державного рівня.

Структура і обсяг роботи

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, що містять основні результати роботи, списку використаної літератури з 116 найменувань, 23 рисунків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 150 сторінок, з них 115 сторінок основного тексту.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

У розділі розглянуто поняття ситуаційної обізнаності, моделі представлення та опрацювання знань у системах із ситуаційною обізнаністю. Проведено аналіз існуючих методів подання знань із використанням ситуаційної обізнаності, що дало змогу краще зрозуміти структуру різних фреймворків і перспективу їх застосування при розробленні аналогічних систем. Аналіз існуючих методів розробки показує, що майже всі дослідження, що проводилися дотепер, були зосередженні на людино-машинній взаємодії. Автономне прийняття рішення потребує розробки нових методів опрацювання знань та поєднання декількох методів у межах системи.

1.1. Поняття терміну ситуаційна обізнаність

Ситуаційна обізнаність (СО, англ. situation awareness – SAW) є важливою частиною когнітивної діяльності людини. Не дивно, що вона завжди була предметом досліджень у наукових галузях психології, когнітики, штучного інтелекту, теорії прийняття рішень, робототехніки, теорії систем, що базуються на знаннях.

Поняття ситуаційної обізнаності було визначено під час першої світової війни пілотом та військовим тактиком Освальдом Бьолке (Oswald Boelke), який стверджував, що «важливо усвідомити обізнаність супротивника, перш ніж супротивник отримав аналогічні знання і винайшов спосіб досягнути цього» [12]. Ідея поділу між розумінням стану системи людиною-оператором і фактичним станом системи лежить в основі сучасного визначення ситуаційної обізнаності. Ситуаційна обізнаність не отримувала багато уваги в технічній та науковій літературі до кінця 1980-х років, але з того часу стала актуальною темою досліджень.

Перші дослідження з ситуаційної обізнаності як складової частини системи підтримки прийняття рішень проводилися для військових,

авіаційних та інших складних людино-машинних систем для забезпечення діяльності операторів [13]. Власне в таких системах ціна можливої помилки є дуже великою, а оператору доводиться враховувати у рішенні велику кількість факторів.

Системи із ситуаційною обізнаністю є новим напрямком розвитку інформаційних систем. Актуальність напрямку дослідження зумовлена зростанням потреб у розробці повністю автономних інтелектуальних систем, що здатні приймати правильні рішення. Аналіз ринку СО показує експоненційний ріст цього ринку. Таким чином, розробка систем із використанням СО та вдосконалення таких систем є актуальним, тому що існує потреба в розробці таких систем. На рис.1.1 показано прогнозування експертів щодо зростання потреб розробки систем із використанням ситуаційної обізнаності у країнах Європи та Америки.

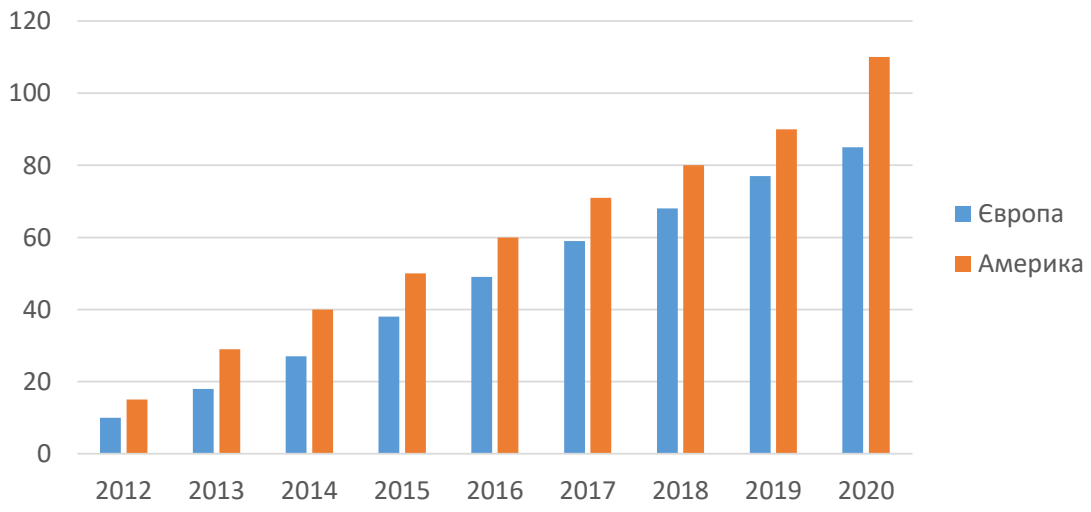

Рис.1.1. Дослідження зростання напрямку ситуаційної обізнаності

Ситуаційна обізнаність є ключовим елементом у системах підтримки прийняття рішень. Зокрема, у більшості випадків, якщо ситуація правильно оцінена, то це автоматично визначає послідовність дій яку потрібно ініціювати [14]. Методи, що вирішують задачу ідентифікації проблемних ситуацій дають змогу формалізувати знання експерта про ознаки проблемних ситуацій, накопичувати та повторно використовувати досвід щодо прийняття

рішень в аналогічних ситуаціях. Це дає змогу перевіряти правильність рішень в історичній перспективі, порівнюючи їх з аналогічними ситуаціями у минулому.

В сучасних умовах, що характеризуються дедалі більшими розвитком та впровадженням інтелектуальних систем, зокрема інтернету речей (IoT – Internet of things), завдання досягнення ситуаційної обізнаності модифікується з підтримки прийняття рішень оператором до забезпечення повністю автономного прийняття рішення інтелектуальною системою у динамічному середовищі. Вирішення цієї задачі потребує, у свою чергу, поглибленого вивчення існуючих і розробки нових принципів і методів формалізації знань про проблемні ситуації, моделей їх опрацювання, створення організаційного, інформаційного та програмного забезпечення, пов'язаних з підтримкою прийняття рішень.

Поняття ситуаційної обізнаності спочатку асоціювалося з діяльністю операторів технічних систем і її визначення відображали цей факт. Наприклад, Billings, C. E. (1995) визначив ситуаційну обізнаність як «абстракцію, яка існує в нашому розумі та описує явища, які ми спостерігаємо в людях, які працюють у складних та змінних середовищах» [15]. Багато авторів визначили ситуаційну обізнаність як здатність людини правильно реагувати на важливі інформаційні чинники [16-18].

Згодом дослідники виробили загальніше визначення ситуаційної обізнаності, яке з одного боку не обмежує її використання тільки агентом-людиною, а з іншого – визначає зміст та процес вироблення ситуаційної обізнаності. Так, класичне та загальноприйняте визначення ситуаційної обізнаності розроблене Ендслі (Endsley) звучить так: «Відслідковування елементів середовища у визначених просторово-часових межах, розуміння їх значення та прогнозування змін на найближче майбутнє» [19].

Інше визначення [14], що доповнює визначення Ендслі, вказує, що СО це «постійне отримання інформації з середовища, інтеграція цієї інформації з попередніми знаннями для формування цілісної картини та використання цієї

картини для керування подальшим отриманням інформації та прогнозування наступних подій».

Наявність великої кількості наукових статей, присвячених проблематиці ситуаційної обізнаності призвело до різного трактування значення цього терміну. Різні автори трактували СО як структурований набір даних, процес, або продукт. Для того, щоб уникнути такої нечіткості було запропоновано для процесу отримання ситуаційної обізнаності використовувати термін «Situation assessment» (оцінка ситуації), а для продукту цього процесу – термін «Situation awareness» (ситуаційна обізнаність) [19].

Інколи ситуаційну обізнаність визначають як ситуаційну оцінку (Situation Assessment) і в деяких джерелах ці поняття подають як синоніми. Проте, слід розуміти, що між цими поняттями існують деякі відмінності. Situation Assessment сфокусована на взаємодії системи, в той час як Situation awareness – на взаємодії користувача з системою. Тобто поняття ситуаційної обізнаності передбачає не просто сприймання інформації (стану середовища, системи тощо), а глибоке розуміння поточного стану системи відповідно до її цілей для того щоб мати змогу обрати потрібну дію. Отже, Situation awareness – це стан знань, а Situation Assessment – процеси, що використовуються для досягнення цих знань.

Критикуючи наявні визначення СО та наголошуючи на тому, що ситуаційна обізнаність є важливою частиною когнітивних процесів, Смит [20] визначає СО як «адаптивну, спрямовану назовні свідомість, що має свою базу знань про динамічне середовище і спрямована на виконання дій в цьому середовищі. Ситуаційна обізнаність, як ми визначили, є конкретним проявом адаптації. Адаптація – це процес, за допомогою якого агент передає свої знання і поведінку, щоб досягти мети, і регулюється умовами та обмеженнями. Це динамічна концепція, що існує на кордоні між агентом і його навколишнім середовищем».

1.2. Зв'язок між ситуацією і ситуаційною обізнаністю

Ситуаційна обізнаність ґрунтується на поданні та аналізі ситуацій. Неможливо провести коректний аналіз та досягнути розуміння поняття ситуаційної обізнаності без попереднього аналізу поняття ситуації. Поняття ситуації було проаналізовано та формалізовано Джоном Бервайсом та Джоном Перрі у класичних роботах [21-22]. Вони створили теорію ситуацій (Situation theory) у 80-х роках минулого століття як математичну теорію значень (семантична теорія), щоб підтримати науку про ситуаційну семантику (situation semantic) в аналітичному підході [23]. Розвиток цієї теорії сьогодні відбувається в результаті міждисциплінарних дослідних робіт, а саме когнітики, інформатики і штучного інтелекту, лінгвістики, логіки, філософії та математики. До ситуаційної теорії можна підходити з різних точок зору: або з точки зору доведення і математичної строгості, або з точки зору практичного використання. Теорія ситуацій є відомою математичною теорією значення (mathematical theory of meaning).

К. Девлін (K. Devlin) в [24] дослідив відношення між ситуацією та інформацією. За його словами, інформація завжди прив’язується до інформації про деяку ситуацію в теорії ситуацій. Це твердження ясно показує, що контекст інформації є ситуаційно-залежним і пояснює важливе місце теорії ситуації в семантичному і логічному аналізі інформації.

Відповідно до теорії ситуацій Бервайса, інтелектуальний агент сприймає світ як набір ситуацій – наприклад, ситуація в якій він знаходиться, ситуація, на яку посилається інший агент, ситуація, відображена в отриманому документі тощо. Таким чином, поведінка агента визначається та залежить від набору ситуацій. Неформально, ситуація – це певна обмежена область світу.

В цьому сенсі поняття ситуації є синонімом одного з розумінь терміну «контекст». Так, Cambridge Advanced Learner’s Dictionary [25] наводить визначення, яке ясно відображає це відношення: «Ситуація – це набір речей,

які відбуваються і умови, які існують в конкретному часі і місці. Контекст – це є ситуація, в якій щось існує чи відбувається».

Загальноприйнятим є подання ситуації як набору відношень. На реляційній природі ситуацій наголошено не тільки у теорії ситуацій Бервайса. Наприклад JDL модель [26] також визначає базову роль відношень для подання ситуацій і визначає процес досягнення ситуаційної обізнаності (Situation Assessment) як визначення та передбачення відношень між сутностями. Деякі автори [27] для аналізу ситуацій виділяють в окремий клас, т.зв. базові відношення (часові та просторові) та визначають необхідність спеціальних механізмів для їх опрацювання.

Згідно з теорією Бервайса ситуації доцільно розглядати як фізичні або абстрактні об’єкти, допустимо також визначення типів ситуацій.

Для математичного подання ситуацій Бервайсом були запропоновані інфони. Ситуація є об'єктом у теорії ситуації, що визначається набором інфонів (infons), які вона підтримує, де інфон (infon) є теоретико-ситуаційним об'єктом, що містить відношення, відповідну кількість аргументів і позитивну або негативну полярності.

Інфони – це дискретні інформаційні елементи, що мають вигляд:

$$(R_i, a_{1i}, \dots, a_{ni}, p), \dots, (R_j, a_{1j}, \dots, a_{kj}, p), \tag{1.1}$$

де R_i, R_j – відношення, значення p – полярність і $a_1, \dots, a_n$ – відповідні об'єкти для R. Таким чином, ситуація визначена як набір відношень. Полярність відображає істинність чи хибність інфону.

Для відображення відношення між даною реальною ситуацією s та її поданням у вигляді інфону σ, використовується відношення *Підтримує (Supports)*. Наприклад, якщо s підтримує σ:

$$s \vdash \sigma\,. \tag{1.2}$$

Тобто, ситуація виступає певною інформацією, яка будується з дискретних інформаційних елементів – інфонів. Інфон не є сам по собі елементом, що є хибним чи істиним, інфон є елементом, що може бути

істиним чи хибним щодо певної ситуації. Також, інфони можуть об’єднуватися, утворюючи складні інфони.

1.3. Моделі представлення та опрацювання знань у системах із ситуаційною обізнаністю

Для визначення складових частин СО та її місця у процесі вирішення когнітивних задач було розроблено ряд моделей СО.

Ендслі [19] першою запропонувала загальну модель ситуаційної обізнаності в плані обробки інформації (рис.1.2) людиною-оператором. Вона припустила, що ситуаційну обізнаність можна поділити на три рівні або етапи ментальної репрезентації.

Рівень 1 – сприйняття.

Сприйняття сигналів є фундаментальним. Без базового сприйняття важливої інформації, шанси на формування неправильної картини ситуації різко зростають. Джонс і Ендслі (Jones and Endsley) (1996) виявили, що 76% помилок ситуаційної обізнаності пілотів зводяться до проблем сприйняття необхідної інформації (у зв'язку як з порушенням роботи системи чи з її недоліками, так і з проблеми когнітивних процесів).

Обізнаність ситуації на цьому рівні виступає сприйняттям людини, що приймає рішення про статус, атрибути та динаміку відповідних елементів в навколишньому середовищі (ситуація прийняття рішення). Отже, цей рівень є найнижчим і базовим рівнем ситуаційної обізнаності. Досягнення рівня включає в себе основні процеси виявлення інформації.

Рівень 2 – розуміння.

Обізнаність ситуації як концепція виходить за рамки простого сприйняття. Вона також охоплює те, як люди поєднують, інтерпретують та зберігають інформацію. Таким чином, вона включає в себе більше, ніж сприйняття чи звернення уваги на інформацію, але також інтеграцію декількох частин інформації та визначення їх відношення щодо цілей людини.

Це аналогічно високому рівню розуміння прочитаного в порівнянні із простим читанням слів.

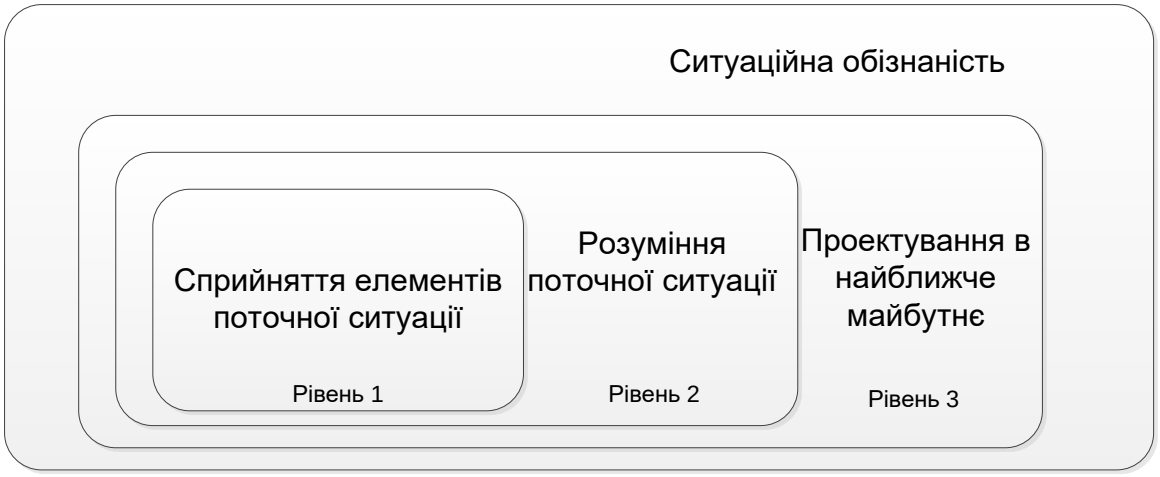

Рис.1.2. Модель ситуаційної обізнаності

Таким чином, ситуаційна обізнаність – це є розуміння людини, що приймає рішення щодо інформації, яка була сприйнята, тобто першого рівня. Рівень 2 досягається через розпізнавання, інтерпретацію та оцінку. Рівень 2 породжує повну картину навколишнього середовища.

Рівень 3 – проектування.

На найвищому рівні, оператори мають високий рівень розуміння ситуації і мають здатність прогнозувати майбутні події ситуації та динаміки системи. Ця здатність проектувати з поточних подій і динаміки, щоб передбачати майбутні події та їх наслідки і створює можливості для своєчасного прийняття рішень. У майже всіх областях (пілотування літаків, управління повітряним рухом, експлуатації електростанцій, медицини) було виявлено, що досвідчені оператори в більшості покладаються на майбутні прогнози. Це ознака кваліфікованого фахівця.

Модель синтезу даних (Data Fusion) була розроблена Об'єднанням директорів лабораторій даних Fusion Group, урядовою комісією Міністерства оборони США, що здійснює нагляд військової техніки США (the Joint Directors of Laboratories Data Fusion Group).

Метою даної моделі було:

- групувати різні типи процесів синтезу;

- забезпечити загальні принципи побудови системи класифікації для обговорення злиття;
- полегшити розуміння тих типів завдань, для яких застосовується злиття даних;
- систематизувати збіги серед проблем;
- допомогти в розширенні попередніх рішень;
- забезпечити основу для інвестицій в автоматизацію.

Слід підкреслити, що модель була задумана як функціональна модель, а не як модель процесу чи в якості архітектурної парадигми. Характерною особливістю моделі синтезу даних є абстрагування від виконання операцій збирання даних, оцінки ситуації та прийняття рішення тільки агентом–людиною, що уможливлює розгляд СО для систем людино-машинних, та чисто комп'ютерних агентів.

У 1988 році Вайт опублікував статтю, в якій була запропонована модель синтезу даних [28]. В 1998 році Штейнберг, Боумен, і Вайт (Steinberg, Bowman, and White) [29] розробили розширення для цієї моделі. Вони переглянули основні визначення моделі синтезу як концептуально, так і з точки зору «рівнів», які охарактеризовано у первинній моделі.

Розширена модель синтезу даних має такі рівні:

- Рівень 0: Сигнал/Функція оцінки – оцінка та прогнозування сигналу або функції стану.
- Рівень 1: Оцінка сутності – оцінка та прогнозування параметричної сутності та атрибутивного стану (тобто сутностей, що розглядаються як індивіди).
- Рівень 2: Оцінка ситуації – оцінка та прогнозування структури частин реальності (тобто відношення між сутностями та їх значення для станів пов'язаних сутностей).
- Рівень 3: Оцінка впливу – оцінка та прогнозування корисності/цінності сигналу, сутності або стану ситуації, у тому числі прогнозованих впливів заданих системою альтернативних варіантів.

- Рівень 4: Оцінка роботи – оцінка та прогнозування продуктивності системи в порівнянні з заданим бажаним станом і показником ефективності.

На рис.1.3. графічно продемонстровано модель синтезу даних.

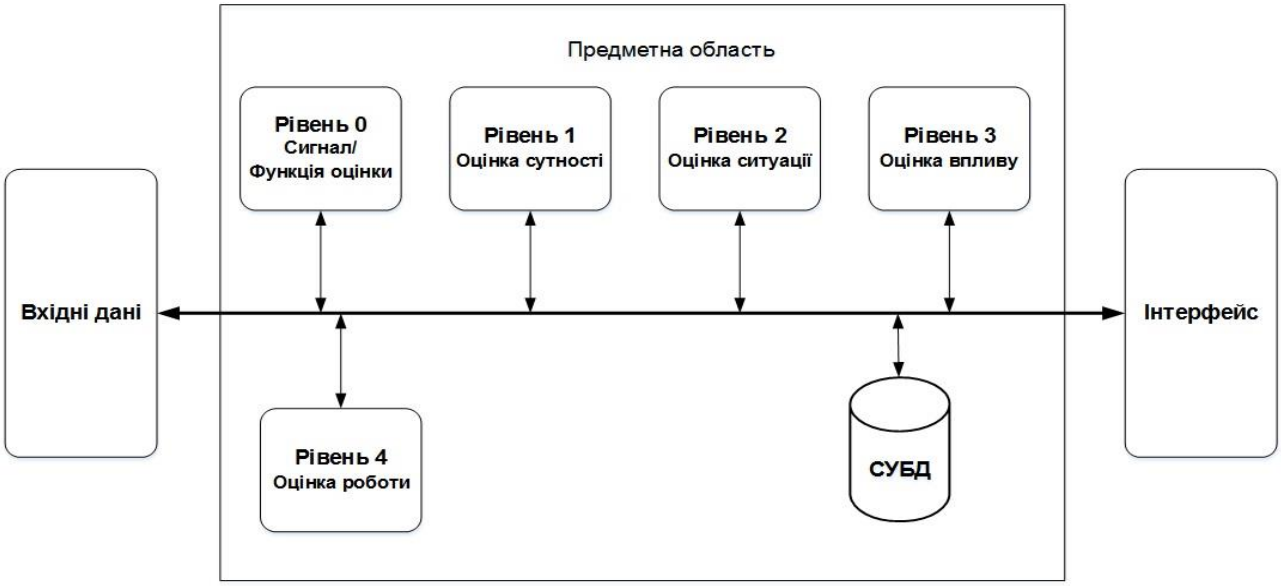

Рис.1.3. Модель синтезу даних

Подальші дослідження моделей ситуаційної обізнаності доцільно проводити у напрямку деталізації процесів, що відбуваються на окремих рівнях, побудови їх моделей та на їх основі – розробки методів ефективної реалізації як самих процесів, так і механізмів їх взаємодії. Деякі дослідження у цьому напрямку вже проводяться. Зокрема, у [30] розроблені принципи побудови ситуаційної обізнаності на основі аналізу когнітивних задач персоналу.

Для успішного функціонування системи, що реалізує ситуаційну обізнаність у певній предметній області необхідно використовувати модель цієї області, що відображає знання про цю область. У ранніх реалізаціях систем підтримки прийняття рішень із ситуаційною обізнаністю така модель існувала у неявному вигляді, була частиною програмного коду системи, або ж була реалізована апаратно.

1.4. Мовні засоби для формального подання ситуаційної обізнаності

Для кращого розуміння складових частин моделі предметної області у СО були розроблені мовні засоби для формального подання СО. Так у роботі [31], що базується на JDL моделі СО, запропоновано формалізацію СО на основі модифікованих мов UML, DAML та системи формальних методів Specware. Вибір такого широкого набору засобів обґрунтовано тим, що кожен з цих засобів має свої унікальні можливості, використання яких у комплексі дає змогу побудувати потужний засіб для дослідження. Формалізація СО будується авторами ієрархічно з використанням таких етапів розширення:

- базові конструкції – числа, атрибути, впорядковані структури;
- підтримка часових параметрів та параметрів розташування;
- відображення потоків даних від сенсорів. Відображення відношень;
- підтримка перетворення потоків. Розбиття та з'єднання потоків;
- підтримка опрацювання ситуацій, в ході чого потоки обирають залежно від виконуваного завдання.

Ситуаційна обізнаність є основною частиною другого рівня опрацювання у JDL моделі. Але тільки останніми роками вона стала центром уваги щодо досліджень синтезу інформації. Як часто трапляється з новим напрямком дослідження, результати цих досліджень важко спочатку інтегрувати в єдину концептуальну структуру. Тобто, галузь ситуаційної обізнаності потребує єдиного підходу, який виступатиме в якості загальної теорії для інтеграції результатів різних досліджень.

Більше того, наявні тенденції розвитку інтелектуальних систем визначають потребу зміни фокусу дослідження від людино-машинних систем до повністю автономних інтелектуальних систем здатних орієнтуватися та приймати рішення у реальних ситуаціях. Головна частина досліджень з СО, що проводилася дотепер, була зосереджена на розробці СО в системах з людиною – оператором і підтримки прийняття ним рішень. Ці дослідження

базувалися на моделях та враховували особливості когнітивних процесів людини. Дослідження чисто комп’ютерної ситуаційної обізнаності потребують інших моделей. Комп’ютерному процесу отримання СО як і раніше не вистачає систематичного опрацювання.

В зв’язку з цим, необхідно розробити однозначні специфікації, проекти та реалізації процесів ситуаційної обізнаності. Однією з тенденцій цього напрямку, що стала розвиватись останніми роками є використання обчислень, що базуються на онтологічному моделюванні як парадигмі, на якій розвиваються процеси ситуаційної обізнаності з використанням комп'ютера.

Обізнаність ситуації дає змогу агенту визначати значення інформації, яку він сприймає у високо динамічному середовищі і ділитися отриманими знаннями. Підходи СО на основі онтологій полегшили роботу агентів, оскільки були розроблені онтології вищого рівня, що забезпечили загальний словник для спільних агентів і джерел інформації.

Зокрема, в роботі [32] зроблена спроба розробки формальної мови подання СО, яка була би зрозумілою для людини, і водночас придатною для опрацювання комп’ютером. Автор розробив засоби для трансформації математичного опису ситуації з використанням інфонів у формальний онтологічний опис на мові OWL. Результатом роботи є онтологія теорії ситуацій (STO – Situation theory ontology), яка може відіграти роль спільної теорії для машинних систем з СО. Наведено приклади логічного виведення з використанням онтології STO.

З іншого боку, дослідники систем з ситуаційною обізнаністю зрозуміли, що в ситуаційній обізнаності існують сутності та відношення які не залежать від предметної області та є спільними для усіх систем ситуаційної обізнаності. Для побудови об’єднуючої онтології СО, що може бути повторно використана для різних предметних областей необхідно у першу чергу визначити такі спільні елементи та на їх основі побудувати базову (core) онтологію.

В роботі [33] запропоновано базову онтологію та проаналізовано її виразність (expressiveness) та продемонстровано її придатність для розширення шляхом введення нових сутностей та відношень.

Автори [34] проаналізували відношення, що існують між об’єктами у ситуаціях предметної області керування дорожнім рухом з метою визначення залежностей. Відповідно до таких характеристик відношення як його частота використання та залежність від предметної області було визначено чотири типи відношень (рис.1.4): базові (Primitive), провідні (Leading), ситуаційні (Situational), номінальні (Nominal). В роботі було показано, що складні, залежні від предметної області відношення можуть бути подані як комбінація базових відношень. Таким чином власне базові відношення, зокрема часові та просторові, мають бути використані для побудови базової онтології СО.

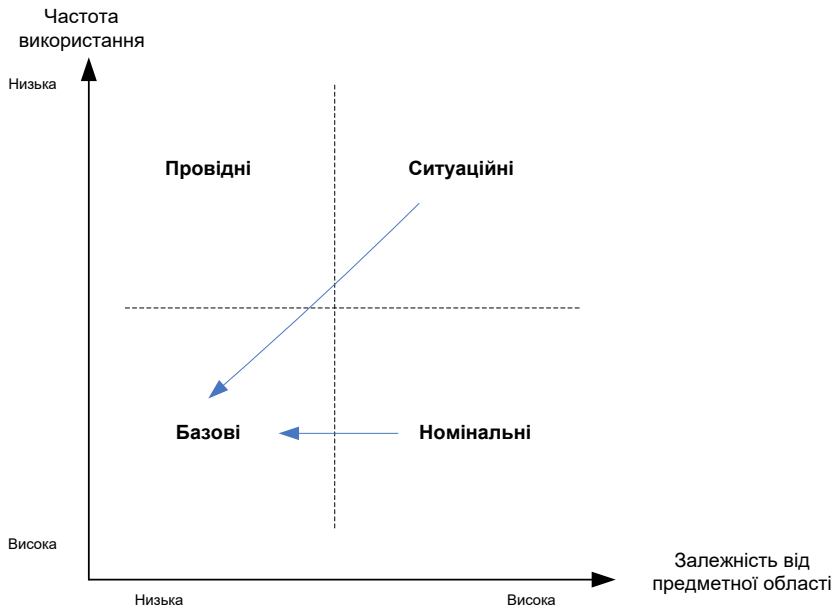

Рис.1.4. Класифікація відношень

Норберт Баумгартнер [35] запропонував фреймворк для оцінювання та порівняння онтологій верхнього рівня, з метою кращого розуміння різних підходів та виявлення відсутніх функцій. Зокрема, наявні онтології верхнього рівня було поділено на три категорії (рис.1.5):

1. Верхній рівень подання ситуаційної обізнаності (top-level concepts of SAW), який був отриманий із загальних онтологій верхнього рівня.

Цей рівень частково базується на роботах Сова (Sowa) [36] і використовується для деталізації верхнього рівня СО. Ці онтології верхнього рівня вибрані тому, що вони багато в чому узгоджуються із своїми характеристиками (наприклад, об’єкти є фізичними сутностями, ситуації співвідносяться з об’єктами).

2. СО-специфічна концепція (SAW-specific concepts), яка базується на ситуаційній теорії та JDL моделі синтезу даних. Ситуаційна теорія, яка бере початок з області філософії, є формальним підходом для визначення сенсу інформації, в межах наявної ситуації. Ця концепція забезпечує розуміння характеристик СО.
3. Результати моделювання характеристик онтологій вищого рівня в межах проекту *Cyc* та похідних від нього. Ці характеристики визначають, чи є онтологія універсальною і виразною.

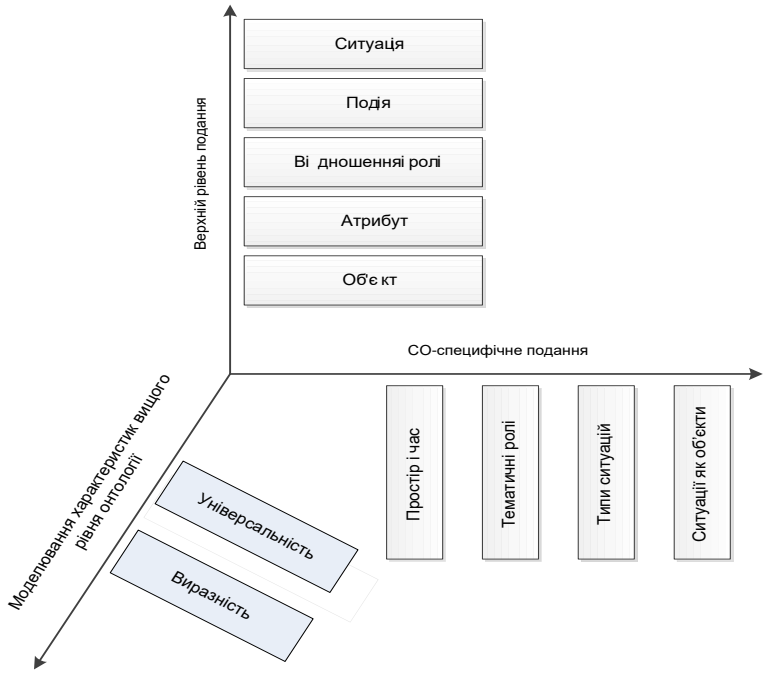

Рис.1.5. Типи онтологій верхнього рівня для СО

У [35] розглянуто та порівняно чотири онтології вищого рівня (табл.1.1), що походять з області ситуаційної обізнаності, а також підходи з області контекстної обізнаності (CAW).

Результат порівняння онтологій та умовні позначення наведено у таблицях 1.2 та 1.3 відповідно.

Таблиця 1.1. Онтології вищого рівня

Назва онтології	Характеристика
SAWA (Situation Awareness Assistant)	Онтологія СО верхнього рівня; походить із військової галузі.
Situation Ontology	Онтологія СО верхнього рівня для мобільного комп'ютерного середовища.
SOUPA (Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications)	Онтологія СО верхнього рівня для мобільного комп'ютерного середовища; частина контекстної архітектури брокера.
CONON (Context Ontology)	Онтологія СО верхнього рівня для контекстно – залежних обчислень.

Таблиця 1.2. Результати порівняння онтологій СО

Об'єкт		Верхній рівень представлення					SAW – спеціальне представлення				Моделювання характеристик онтологій вищого рівня	
			Атрибут	Відношення іролі	Події	Ситуація	Простір і час	Тематичні ролі	Типи ситуацій	Ситуації як об'єкти	Універсальність	Виразність
Підхід	SAWA	+	+	+	+	+	–	–	–	+	+	~
	Situation Ontology	~	~	–	–	+	–	–	–	+	–	–
	SOUPA	~	–	–	–	–	+	~	–	–	/	/
	CONON	~	–	~	–	–	–	~	–	–	/	/

Таблиця 1.3. Умовні позначення

+	відповідає критеріям
~	частково відповідає критеріям або припускається, що відповідає критеріям
–	не відповідає критеріям
/	критерії не застосовуються

Таким чином, найкращим підходом до побудови онтології СО є підхід SAWA. Проте, деякі з вимог, які не виконує даний підхід, наявні в інших підходах. Зокрема, підхід SOUPA щодо просторово-часового подання і можливості ситуаційної онтології для об'єднання ситуації явно є більш витонченим. Єдиною вимогою, яка не виконується жодним з підходів, є підтримка типів ситуацій. Що стосується модельних характеристик, виразність може розглядатися як більш складна характеристика ніж універсальність. Ситуаційна онтологія зазнає невдачі щодо цих вимог, зокрема, через дуже звужений погляд на СО. SOUPA і CONON не вимагають контекстного зв’язку і обізнаності ситуації; таким чином вони не були розглянуті стосовно модельних характеристик.

Розвиток онтологічного моделювання у системах із ситуаційною обізнаністю потребує підтримки базових параметрів ситуацій на рівні міжнародних стандартів. Потребують також дослідження формальні методи розробки, валідації та оцінки ефективності застосування онтологій у системах із ситуаційною обізнаністю.

1.5. Архітектурні фреймворки систем із ситуаційною обізнаністю

Застосування онтологічного моделювання для побудови систем із ситуаційною обізнаністю вимагає вирішення цілого комплексу взаємопов'язаних задач, зокрема:

- визначення методів подання та використання знань з врахуванням особливостей конкретної предметної області;

- розробки архітектури системи та визначення процесів взаємодії її компонент;
- розробки програмних компонент системи та забезпечення визначеного рівня їх швидкодії.

Системи із ситуаційною обізнаністю реалізовані для предметних областей медицини, військової, керування авіаційним та автомобільним рухом [37 – 39]. У роботі [39] подано досить розвинений підхід до побудови системи з СО на прикладі задач галузі керування дорожнім рухом. Фреймворк BeAware! (рис. 1.6) передбачає використання онтології базового рівня, в якій реалізовано базові мереотопологічні відношення, розроблені у попередніх роботах авторів.

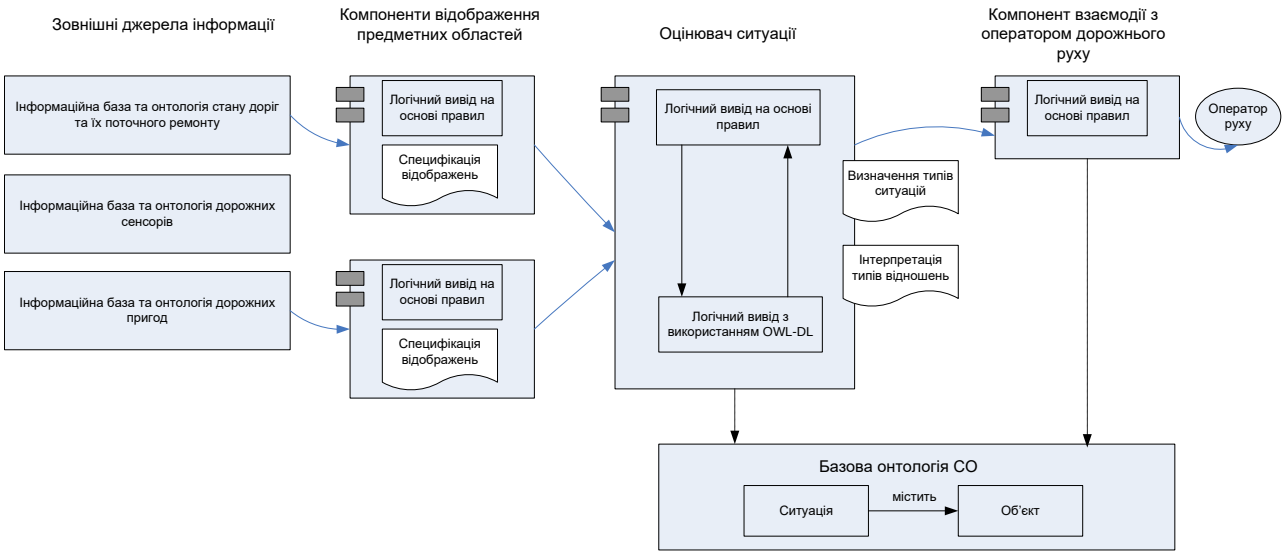

Рис. 1.6. Структура системи BeAware!

Базова онтологія СО та відповідна інформаційна база використовуються компонентами логічного виводу *Оцінювач ситуації* та *Взаємодія з оператором*. Обидва компоненти у своїй роботі використовують правила, а *Оцінювач ситуації* – ще й логічний вивід з використанням мов OWL та DL. Компонент *Взаємодія з оператором* безпосередньо генерує рекомендації для керування дорожнім рухом. Для забезпечення можливості вироблення коректних рекомендацій система взаємодіє та отримує відомості

з зовнішніх баз знань, що зберігають інформацію про стан доріг та поточні ремонти, оперативні дані з сенсорів дорожнього руху, відомості про дорожні пригоди. Кожна з цих баз знань використовує свою онтологію. Отже, у системі BeAware! додатково реалізують компоненти для відображення онтологій зовнішніх баз знань в онтологію системи. При цьому використовується як статична специфікація відображення, так і механізми логічного виводу на базі правил.

Крім онтологічного підходу, для реалізації систем з СО часто використовують машини станів та інтерпретовані системи. Зокрема, у роботах [40, 41] такий підхід застосовують для моделювання непевності та нечіткості у ситуаціях.

До систем з ситуаційною обізнаністю ставляться жорсткі вимого щодо швидкодії. Адже вони працюють у режимі реального часу і суттєва затримка у прийнятті рішень є недопустимою. Тому важливими і нетривіальними є питання проектування архітектури програмних засобів СО. В роботі [42] розроблено програмну архітектуру на базі архітектурних паттернів багаторівневості та «каналів та фільтрів» (pipes and filters). Ця архітектура забезпечила високу масштабованість та можливість повторного використання компонент.

Незважаючи на популярність наукового напряму ситуаційної обізнаності та наявність великої кількості робіт, дослідження СО залишаються актуальними. Це пояснюється наявними тенденціями у системах підтримки прийняття рішень, розвитком автономних інтелектуальних систем прийняття рішень, розширенням потреб в ситуаційній обізнаності для таких галузей як бізнес-аналітика та ін. Значна кількість проблем досліджена недостатньо. У кожній частині галузі систем з ситуаційною обізнаністю існують невирішені проблеми та завдання, які потребують подальших глибоких розвідок. В результаті проведеного аналізу були визначені такі перспективні напрямки подальших досліджень у галузі інтелектуальних систем з ситуаційною обізнаністю:

1) подання даних та знань у СО. Незважаючи на те, що загальноприйнятим зараз є онтологічний підхід до подання знань, залишаються проблеми з поданням та опрацюванням часових та просторових даних та знань [39]. Зокрема, пропонується реалізувати підтримку часового параметра на рівні OWL або RDF. Вимагають подальшого вивчення питання систематичного підходу до створення, модифікації та розширення онтології у системах з СО. Недостатньо глибоко, досліджені також питання формалізації відношень, їх опрацювання, збереження та перетворення. Адже ситуація має реляційну природу та визначається як набір відношень [23];
2) врахування особливостей предметної області. Складність побудови систем з ситуаційною обізнаністю у значній мірі випливає з динамічного характеру середовища в якому працює система і необхідністю швидко виявляти зміни та реагувати на них. Більше того, користувачів системи як правило цікавить не тільки виявлення певного стану предметної області, але й тенденції зміни станів, процес руху до цих станів, пограничні та перехідні стани. Так у роботі [39] запропоновано використовувати ідею «концептуального сусідства» та будувати відповідні графи, які відображають переходи між сусідніми станами ситуації;
3) іншою проблемою, пов'язаною з предметною областю є обмеженість, неповнота, нечіткість інформації про неї. У роботі [45] проаналізовані наявні класифікації неповноти та нечіткості інформації з метою виявлення місця різних видів неповноти у задачах ситуаційної обізнаності. У роботі [46] запропоновано використання нечітких графів для підтримання СО. Водночас, завдання коректного ситуаційного оцінювання з врахуванням різних видів неповноти інформації ще не вирішене;
4) проблеми вимірювання якості СО. Питання визначення якості СО було актуальним з самого початку розвитку систем з СО. У роботах [47-49]

критерії якості СО визначені з врахуванням параметрів людини-оператора та її когнітивних процесів. Зрозуміло, що такий підхід не підходить для оцінки якості СО в автономних інтелектуальних системах. Завдання теоретичного осмислення та побудови загального підходу до оцінки якості СО в різних типах систем та проблемних областей потребує вирішення;

5) спільне створення та використання знань про ситуації. Задачі ситуаційного оцінювання часто розглядають як збирання даних про певне середовище в інтересах особи, що приймає рішення [50]. Для збирання даних часто використовують багато різних агентів, що вимагає додаткового вирішення задач узгодження та злиття даних, отриманих різними агентами [51]. Водночас відкритим залишаються питання сумісного використання та поширення знань про ситуацію для зовнішніх організацій. Таке використання вимагає вирішення питань формування та реалізація політик та процедур доступу;
6) ситуаційна обізнаність та контекстно-залежний комп'ютинг. Формування ситуаційної обізнаності є необхідною передумовою для організації контекстно-залежних обчислень, в яких виконувані дії залежать від стану середовища. В роботі [52] наведено приклад побудови контекстно –залежної системи підтримки прийняття рішень. У [53] описано контекстно-залежну програму, що враховує емоційний стан відвідувача музею та інші деталі поточного контекста. При цьому використовується онтологічний підхід до побудови ситуаційної обізнаності. Відкритим залишається загально-теоретичне осмислення місця ситуаційної обізнаності в контекстно-залежному комп'ютингу.

1.6. Наявні методи штучного інтелекту для ідентифікації ситуацій

Основним завданням сучасних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення є звільнення від втручання в роботу системи людини-оператора, тобто повністю автоматизована інтеграція сенсорних даних

практично без прямої взаємодії з користувачем. Такі системи повинні взаємодіяти і обмінюватись інформацією із зовнішнім середовищем. Сенсори накопичують дані, що надходять із зовнішнього середовища. Ці дані належать до об’єктів у базі фактів [3]. Взагалі, система підтримки прийняття рішень, що базується на сенсорних даних, повинна зосереджуватись не на конкретних характеристиках цих даних, а інтегрувати ці дані, що отримані від зовнішнього середовища у якесь доменно-релевантне поняття більш високого рівня. У даному випадку таке поняття і буде називатись ситуацією [43] – абстрактний стан зацікавлених об’єктів.

Ситуація є чисто онтологічним елементом, що складається із інших елементів. В даному випадку, використання поняття ситуації дає змогу забезпечити просте та зрозуміле уявлення про саму ситуацію (тобто про дані, що отримані із сенсорів) звільняючи нас від складності читання сенсорних даних, шуму даних датчиків тощо.

При опрацюванні великої кількості інформації та при роботі з широкомасштабними системами, можуть виникати безліч ситуацій, які потрібно розпізнати. Ці ситуації містять в собі велику кількість сенсорних даних що використовуються для ідентифікації ситуації. Отже, важливим при розробці інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень є задача визначення та керування ситуаціями у таких системах. Це завдання включає в себе:

- визначення, які ситуації відносяться до даного контексту;
- визначення, як ці ситуації відносяться до даного контексту;
- визначення, як різні ситуації взаємодіють між собою.

Система також повинна знати які ситуації не можуть відбуватися одночасно. Проте, враховуючи неточність інформації, а також той факт, що дані можуть бути спотвореним, існує великий ризик неточного виявлення ситуації. Дані, що надходять із сенсорів є невідформатованими (або, як правило, мінімально опрацьовані). Ці дані в подальшому агрегуються в контекст – середовище, в якому система існує та опрацьовує інформацію.

Тобто, за допомогою певних дій, операцій (логічні виведення, прогнозування тощо) дані, що прямо отримані із сенсорів (первинний контекст) перетворюються у додатковий контекст. Отже, ситуація – це абстрактність подій, що відбуваються в реальному часі та отримані з певного контексту.

1.6.1. Специфікаційні методи

На ранніх етапах дослідження ідентифікації ситуації починались із існування декількох датчиків, дані яких легко було інтерпретувати і встановити відношення між сенсорними даними і ситуацією було досить просто. Дослідження в основному складались із специфікаційних методів, що відображають експертні знання логічних правил та застосування механізму формування міркувань для здійснення висновку про приналежність отриманих поточних сенсорних даних до правильної ситуації [44].

Використання специфікаційних методів, як правило, полягає у побудові ситуаційної моделі на основі експертних (теоретичних) знань та здійснення логічних висновків на основі отриманих вхідних даних.

У таблиці 1.4 подано порівняльну характеристику найосновніших наявних специфікаційних методів штучного нтелекту.

Таблиця 1.4. Порівняльна характеристика специфікаційних методів

Специфікаційні методи	Переваги	Недоліки
Логічне програмування	• забезпечення теоретичної основи для побудови СО систем із функціональними можливостями; • формальне подання логічного визначення ситуації; • перевірка цілісності та узгодженості поняття ситуації у базі правил.	• складність реалізації; • відсутність засобів розробки для великих програм; • недостатні засоби підтримки модульного принципу програмування.
Просторова і часова логіка	• дає змогу інтелектуальній системі поповнювати інформацію (первинні описи) про ситуацію навіть якщо вона є явно відсутньою в тексті;	• складність реалізації динамічної системи.

Продовження таблиці 1.4. Порівняльна характеристика специфікаційних методів

	• містить базу знань, у якій будуть зберігатися закономірності подій, що відповідають часовій структурі подій та можливості їх просторової організації	
Нечіткі множини	• використовується для визначення ступеня невизначеності у системах (якою мірою елемент належить до нечітких множин); • дають змогу подавати отриману нечітку інформацію наближеними значеннями та кількісно	• застосовують нечіткі висновки щодо ієрархії ситуаційних контекстних онтологій на концептуальному рівні.
Теорія свідчень	• дає змогу подавати кілька типів невизначеностей; • є простою і зрозумілою для людського сприйняття.	• залежить від експертних знань, оскільки повинна бути заздалегідь визначена.
Онтологія	• забезпечення формального подання даних, отриманих із сенсорів у добреструктуровану термінологію, що робить їх представлення зрозумілим та забезпечує повторне використання знань; • використання логічних правил.	• є формальним підходом до подання знань і вимагає значних зусиль для побудови бази знань предметної області.

1.6.2. Методи, що базуються на навчанні

На сьогодні, різноманітність датчиків призводить до складності інтерпретації їх результатів. Саме поява широкого кола сенсорів і усунула на другий план специфікаційні методи і сприяла появі методів, що базуються на навчанні. На відміну від специфікаційних методів, що використовують тільки знання експертів, методи, що базуються на навчанні використовують машинне навчання та засоби інтелектуального аналізу даних [44].

У таблиці 1.5 подано порівняльну характеристику найосновніших наявних методів штучного нтелекту, що базуються на навчанні.

Таблиця 1.5. Порівняльна характеристика методів, що базуються на навчанні

Методи, що базуються на навчанні	Переваги	Недоліки
Наївний байєсівський класифікатор	• дає змогу віднести певні дані до найбільш ймовірного класу; • простота реалізації; • низькі обчислювальні витрати при навчанні та класифікації.	• модель точна лише у випадку, коли виконується припущення про незалежність; • невисока якість класифікації в більшості реальних завдань.
Байєсівські мережі	• подання причинно-наслідкових зв'язків у вигляді графа.	• висока складність обчислень для складних графів; • труднощі масштабування алгоритму для виконання в розподілених системах.
Приховані марківські мережі	• система, що моделюється, розглядається як процес із прихованими станами; • дають змогу обчислити окремі параметри статистичного процесу та виявити залежності даних в моделі.	• складність реалізації широкомасштабних систем: моделювання великих мереж потребує великих обчислювальних ресурсів.
Дерева рішень	• створює прості правила класифікації, що легко піддаються аналізу; • результат роботи алгоритму можна інтерпретувати в наочних термінах; • існують програми наочного графічного відображення дерев рішень.	• складність реалізації для великого набору даних; • потребує великих часових затрат.
Метод опорних векторів	• висока стійкість до перенавчання.	• вимагає великого обсягу пам'яті і значних витрат машинного часу на навчання; • неефективний для широкомасштабних систем.

Для дослідження та ідентифікації ситуацій у роботі використано специфікаційний метод – онтологію. Використання онтологічного моделювання для подання та ідентифікації ситуацій створює додаткові можливості та обмеження на вирішення задачі ідентифікації. Перевагою є здатність застосування логічного виведення та використання аксіом у процесі міркувань про ситуації. Це відкриває перспективу розробки методів ідентифікації ситуацій, що базуються на логічному виведенні на основі інформації про поточний стан предметної області та знань про цю область.

1.7. Постановка задачі дослідження

Основними проблемами, що виникають при ідентифікації ситуацій є те, що всі дослідження що проводилися до сьогодні були зосередженні на людино-машинній взаємодії. Проте, в зв’язку із стрімким розвитком інформаційних технологій, зросла потреба у розробці повністю автономних інтелектуальних систем, що здатні приймати правильні рішення на основі ідентифікації ситуацій для уникнення помилок в майбутньому. Проте, в реальному масштабі часу, виникають різні типи ситуацій, наприклад, ситуацію можна розглядати як ситуацію статичних станів, неточні ситуації, ситуації наближених станів тощо. Тому виникла необхідність у розробці таких методів та засобів ідентифікації проблемних ситуації із використанням онтологічного моделювання, що здатні ідентифікувати різні типи ситуацій та відносити їх до певного класу. В цьому і полягає актуальність наукового дослідження.

Висновки до розділу 1

1. Подано поняття ситуаційної обізнаності та визначено основні його характеристики. Визначено зв'язок між поняттям ситуації та ситуаційної обізнаності.
2. Розглянуто основні моделі представлення знань у системах із ситуаційною обізнаністю.

3. Проаналізовано наявні методи ідентифікації проблемних ситуацій у штучному інтелекті, з чого випливає необхідність розроблення формальної моделі подання знань у системах із СО та такого методу ідентифікації проблемних ситуацій, що дасть змогу в межах системи поєднувати кілька різних методів.

Результати розділу опубліковані у наукових роботах [1, 5].

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА ФОРМАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПОДАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ПРОБЛЕМНОЇ СИТУАЦІЇ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У розділі розглянуто моделі подання знань у системах із ситуаційною обізнаністю, проаналізовано їх переваги та недоліки та розроблено нові моделі, які дають змогу сумісного використання різних підходів до виявлення проблемних ситуацій у системах підтримки прийняття рішень. Розроблено відображення між алгебраїчною моделлю, дескриптивною логікою та інтерпретованими системами. Це дає змогу використати методи логічного виведення, розроблені для дескриптивної логіки та в теорії інтерпретованих систем, для дослідження систем на базі онтологій.

2.1. Вибір типів моделей даних для представлення ситуаційної обізнаності

На сьогодні значного розвитку набули класичні методології підтримки прийняття рішень, що реалізують вибір рішення з множини альтернатив для добре визначених та структурованих задач. Водночас, сфера неструктурованих та недостатньо визначених задач вимагає подальших досліджень. Складовою частиною проблематики підтримки прийняття рішення для складних задач є виявлення та формалізація знань експерта про процес прийняття рішень.

Важливим завданням є розробка формальних моделей та фреймворків для подання та опрацювання знань у системах із СО. На сьогодні для подання предметної області та вирішення задач у системах із СО використовуються різні методи. Зокрема, дедалі більшого поширення отримують онтології для подання предметної області [39] та дескриптивна

логіка [39] для формування логічних висновків. Для розгляду динамічних станів використовують апарат інтерпретованих систем [40].

Для дослідження СО користуються моделями, в яких деталізуються складові частини СО та їх взаємозалежності. Вибір конкретного типу моделі залежить від постановки задачі дослідження, особливостей предметної області, вимог до системи з СО.

У літературі [40] запропоновано три типи моделей СО – процесні моделі, функціональні та формальні моделі. Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки і сферу застосування.

Процесні моделі подають СО як процес з декількох етапів. На кожному етапі вирішується специфічна задача. Результати її вирішення є вхідними даними для вирішення наступної задачі. Так, наприклад петля OODA (Observe, Orient, Decide, Act) складається з задач *Спостереження*, *Орієнтування*, *Прийняття рішення* та *Дії*. Кібернетична модель Лоусона [40] аналогічно, передбачає виконання операцій *Спостереження*, *Опрацювання*, *Порівняння*, *Прийняття рішення* та *Дії* (*Sense*, *Process*, *Compare*, *Decide*, *Act*). Модель SHOR (Stimulus-Hypothesis-Option-Response) [40] розроблена психологами для подання процесу прийняття рішення людиною. Важливою особливістю процесних моделей є наявність зворотних зв’язків, які дають змогу уточнити об’єкти спостереження, процедури орієнтування та прийняття рішень (рис. 2.1).

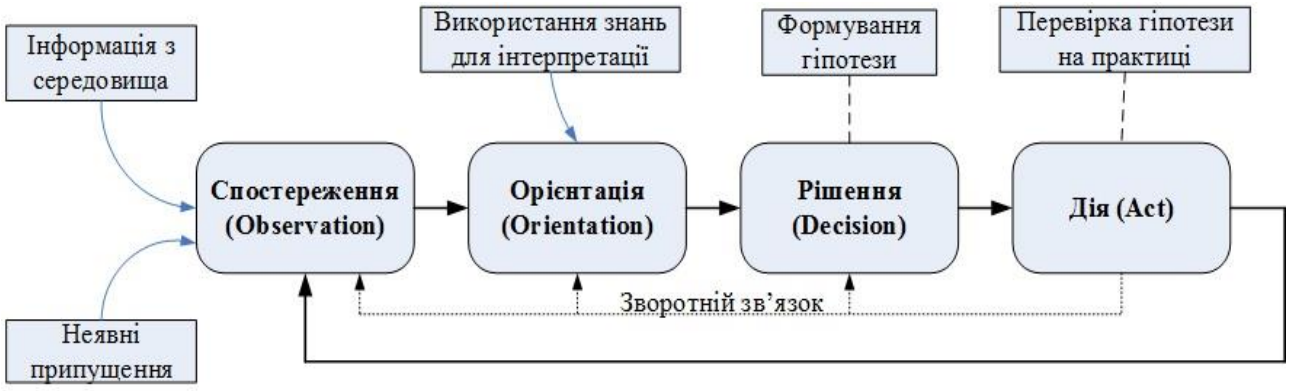

Рис. 2.1. Петля OODA

Моделі СО у вигляді процесів дають змогу побачити процес отримання СО у цілому, залежності між окремими стадіями процесу, відобразити та зрозуміти петлі зворотного зв'язку. Вони краще підходять для вирішення практичних задач та зрозуміліші для виконавців.

Недоліками процесних моделей є їх реактивність – вони спрямовані на реагування на стан середовища, а не на проактивні дії у цьому середовищі. Критики також підкреслюють загальний характер формулювання змісту окремих етапів, що не сприяє застосуванню моделі для вирішення практичних задач. З іншого боку, багато процесних моделей створювалося для застосування у визначених сферах діяльності (військова справа, психологія) та не придатні для використання в інших.

Подолання цих недоліків здійснюється шляхом параметризації моделей, наприклад у моделі динамічного прийняття рішень [54] досліджуються затримки між окремими операціями моделі. Інший шлях розвитку – це деталізація складових задач моделі, визначення функцій для цих задач та перехід до процесно-функціональних моделей. Так, у роботі [54] запропонована процесно-функціональна модель DOODA процесу прийняття рішень у військовій галузі. Для практичного застосування процесних моделей важливо розробити формальні методи подання та опрацювання знань у системі. Наприклад, у роботі [55] запропоновано підхід до використання онтологій у моделі OODA для систем підтримки прийняття рішень.

У функціональних моделях етапи процесної моделі деталізуються, для кожного з них визначають набір типових функцій. Найбільш відомими функціональними моделями є модель [19] та JDL модель [28, 29].

Розроблені моделі ситуаційної обізнаності визначають структуру процесу досягнення СО. Недоліком найбільш розвинених функціональних моделей СО є недостатня увага до взаємозв'яку окремих задач, відсутності дослідження механізмів зворотнього зв'язку [56] і таким чином цілісного розгляду системи з СО. У роботах [56, 57] визначено необхідність

врахування в системі з СО когнітивної участі людини-експерта навіть у чисто автономних технічних системах. Зокрема, у роботі [58] ставиться завдання побудови уніфікованої моделі системи з СО, яка включає як технологічні, так і людські когнітивні складові, які доповнюють одна одну у вирішенні задачі СО.

Функціональні та процесні моделі СО є концептуальними моделями. На відміну від них, формальні моделі дають змогу специфікувати предметну область та процес отримання СО, задіяти математичні методи для подання та повторного використання знань, реалізувати механізми логічного виведення, провести валідацію моделей. Шляхом аналізу математичних моделей знань та даних про предметну область дослідники отримують нові знання про предметну область та про процес досягнення СО.

2.1.1 Формальна модель представлення знань про предметну область

Побудова формальної моделі є необхідною умовою для кращого розуміння вимог до системи з СО та є основою для подальшої розробки фреймворків та архітектур систем з СО.

Запропонована така класифікація формальних моделей СО [40] (рис. 2.2).

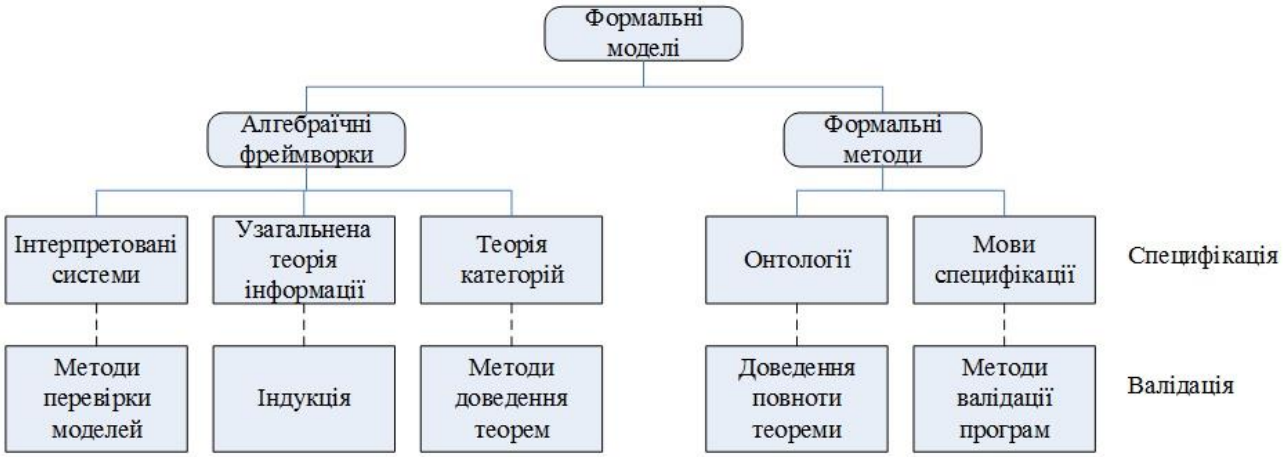

Рис. 2.2. Класифікація формальних моделей СО

Тобто, на сьогодні використовують:

- Теорія категорій – досліджуються процеси об’єднання інформації. Використовує традиційний підхід доведення теорем.

- Узагальнена теорія інформації – для моделювання процесу опрацювання інформації та невизначеностей на всіх рівнях JDL моделі (модель синтезу даних). В основному базується на використанні індукції.
- Інтерпретовані системи – новий підхід, що базується на семантиці інтерпретованих систем. Використовувався спочатку для аналізу розподілених систем. Цей підхід базується на ефективній методиці перевірки моделі.

Існуючі методи формалізації ситуації дають змогу відображати лише певні підзадачі СО. Проте, процес прийняття рішення та ідентифікації ситуації у реальному світі вимагає поєднання декількох методів. Тобто, необхідно розробити такий цілісний підхід, що дає змогу в межах єдиної системи поєднувати різні методи моделювання СО. Це може бути досягнуто шляхом розробки основної формальної моделі і побудови переходів від неї до інших методів та моделей. Також, однією із причин складності ідентифікації ситуацій є те, що в різних практичних задачах ситуацію розуміють по-різному. Різні форми подання та розуміння ситуацій вимагають розроблення різних методів ідентифікації.

Ситуацію можна розглядати як:

- статичних станів;
- наближених станів – груп станів як одного стану;
- сусідніх станів та граничних станів;
- динаміки переходів між станами;
- траєкторій руху між станами, асоціативних та наслідкових зв’язків;
- використання онтологій для подання предметної області та можливості логічного виведення (дескриптивна логіка, інші форми логіки, використання моделей);
- можливість врахування нечіткостей та розумування про нечіткості.

Для вирішення задачі ідентифікації проблемних ситуацій потрібно створити метод, що дає змогу формалізувати знання експерта про ознаки

проблемних ситуацій, накопичувати та повторно використовувати досвід щодо прийняття рішень в аналогічних ситуаціях.

Процес використання знань у СО системах (рис.2.3):

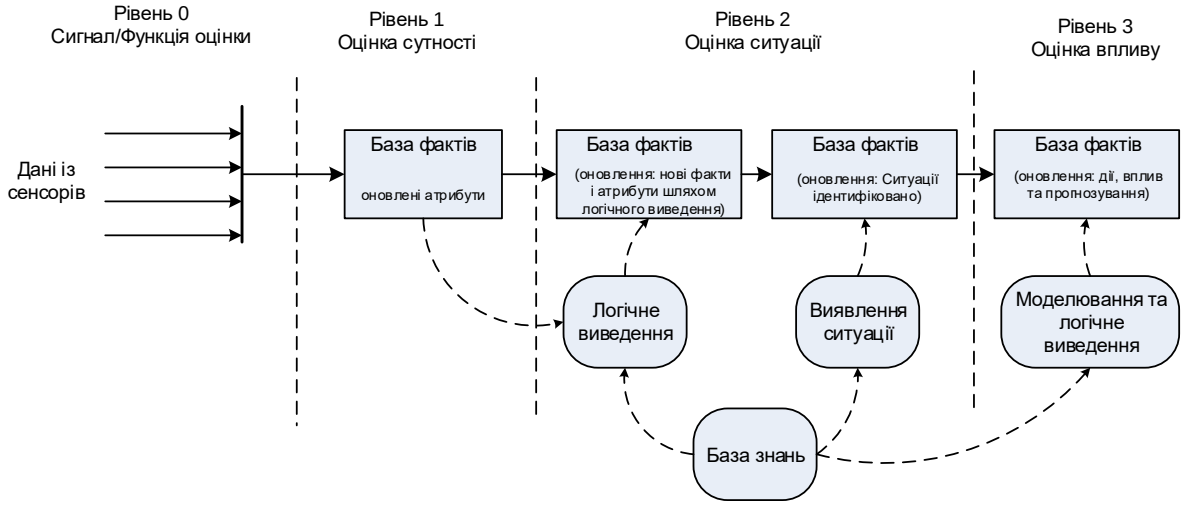

Рис.2.3. Процес опрацювання знань у системах із СО

Сенсори накопичують дані, що надходять із зовнішнього середовища. Ці дані належать до об’єктів у базі фактів (перший рівень JDL моделі). Дані у базі фактів опрацьовуються за допомогою логічних висновків, використовуючи доступні знання для здійснення висновку. Як результат, база фактів є оновленою новими фактами та значеннями атрибутів. Далі здійснюється процес моделювання ситуації для того щоб ідентифікувати проблемну ситуацію. Він також використовує знання про правила ідентифікації ситуацій та властивості самих ситуацій. Ці дії відповідають другому рівню JDL моделі. На третьому рівні JDL моделі, що базується на ідентифікації ситуації та контекстному знанні про предметну область плануються необхідні дії, створюються впливи та прогнозування [29].

Використання формальних методів подання знань у основі яких лежить строга математична теорія є досить поширеним явищем. Класичними прикладами формальних методів є обчислення висловлювань, числення предикатів першого порядку, теорія множин, формальні методи, що базуються на алгебраїчному підході.

Подання даних у вигляді алгебраїчних структур є природнім для багатьох спеціалістів у галузі інформаційних технологій. Наприклад, починаючи з відомої роботи Кодда [59], застосування алгебраїчних методів поширилось на моделювання баз даних. Об'єктами дослідження у його роботах стали алгебраїчні системи з операціями над відношеннями реляційної алгебри. Суть реляційного підходу до моделювання даних полягає у тому, що будь-який стан можна подати у вигляді відношення (таблиць), а опрацювання даних зводиться до операцій над цими відношеннями.

Алгебра – це математична структура, що містить множини операторів та операндів. Це можна записати у вигляді кортежу:

$$A = (\{Operands\}, \{Operators\}). \quad (2.1)$$

Взагалі, алгебра постає ефективно-репрезентативною мовою опису систем, оскільки оператори можна перезаписати на основі формальних виразів, що базуються на таких формальних властивостях як асоціативність чи комутативність. Операнди в свою чергу можуть кодувати інформаційний зміст алгебраїчних виразів використовуючи абревіатури та константи.

2.1.2 Онтологічне моделювання предметної області з використанням апарату алгебри систем

У роботі [60 – 62] розглянуто фреймворк «Алгебра систем» (Algebra of Systems), що дає змогу подати складні системи та автоматизувати вирішення задач. Даний фреймворк базується на багатосортній алгебрі [63], оскільки домен складається з підмножини різних алгебраїчних доменів.

Розглядаючи поняття системи абстракції необхідно взяти до уваги два аспекти: що є системою і що ця система виконує. Алгебра систем (AoS) використовує абстракції даних для параметризації властивостей систем.

Алгебру систем формально можна записати як:

$$AoS = \langle \{P, B, C\}, \{encd, enum, eval\} \rangle, \quad (2.2)$$

де P є властивістю домену, B – булеве значення і C – вміст домену. $Encd, enum, eval$ – операції кодування, підрахунку та оцінки. Елементи

області композиції відображають процес перетворення об’єкта під час моделювання (рис.2.4) у вигляді дводольного графу.

Рис.2.4. Відображення перетворення об’єкту у вигляді графу

Алгебра систем як алгебраїчний фреймворк моделювання дає змогу представити як декларативні дані так і функції абстракції. Алгебра систем є метамовою, що підтримує базову множину абстракцій і може бути підлаштована для різних областей застосування.

На рис.2.5 показано процес моделювання складних систем використовуючи фреймворк «Алгебра систем»:

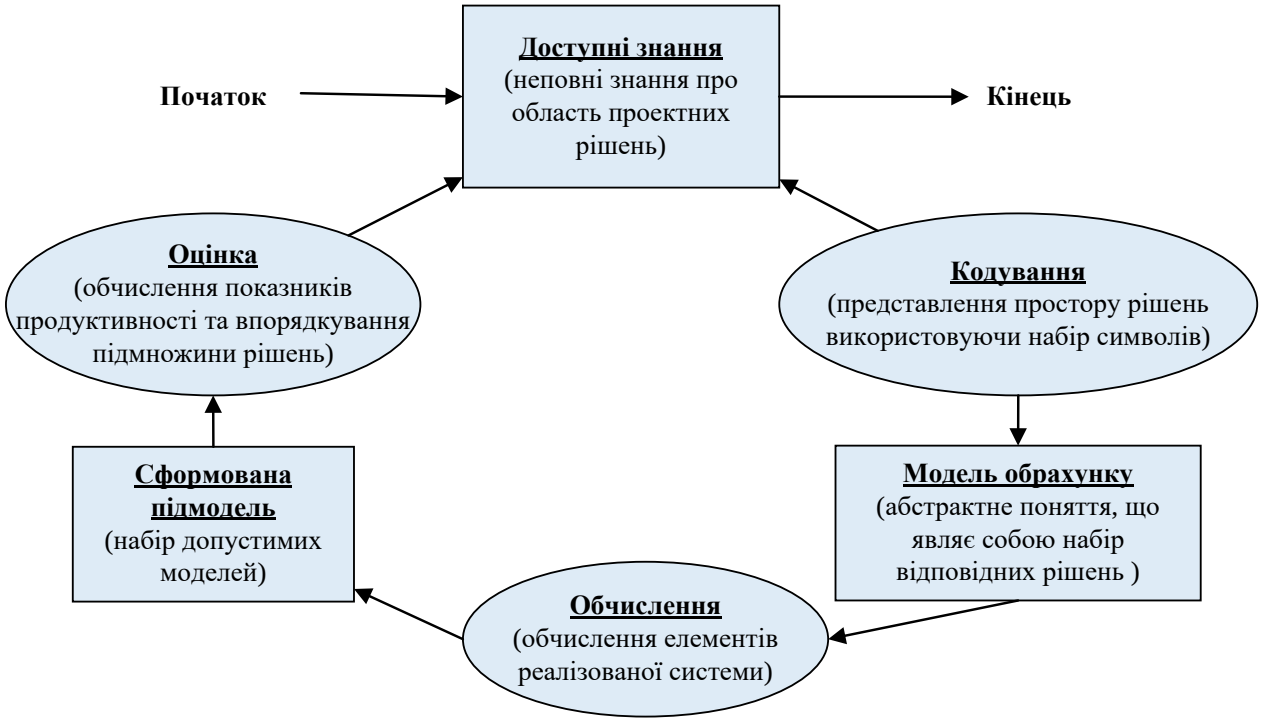

Рис.2.5. Процес моделювання системи з використанням знань

Цей процес може бути представлений у вигляді послідовності перетворень доступних (наявних) знань. На рис.2.5 артефакти подано у

вигляді прямокутників, а операції – у вигляді овалів. Операція кодування спрямована на створення алгебраїчної моделі з доступних знань. В результаті створюються моделі обрахунку. Операція обчислення створює нові моделі та дає змогу отримати сформовані підмоделі, повторно їх оцінюючи за допомогою операції оцінки. Відповідні та ефективні моделі використовуються для створення нових та оновлення існуючих знань.

В основу процесу оцінювання та ідентифікації ситуації покладемо онтологічне моделювання предметної області з використанням апарату алгебри систем.

Нехай у предметній області існує n множин об'єктів:

$$A_1, A_2, \dots, A_n. \tag{2.3}$$

Об'єкти, які належать кожній множині класифікують як екземпляри певного поняття. Ці множини є множинами-носіями для n багатосортних алгебр. Окремі екземпляри, що належать цим множинам позначимо $a_1, \dots, a_n$. Екземпляр об'єкту може належати декільком множинам одночасно. Екземпляри об'єктів формують базу фактів.

Домен концептів. На основі кожної множини A_i визначено абстрактний тип даних E_i:

$$E_i = (Name, A_i, EOP), \tag{2.4}$$

де $Name$ – назва типу, A_i – множина екземплярів, EOP – множина операцій. До цієї множини віднесемо операції теорії множин.

Домен атрибутів At. Визначимо алгебраїчний домен атрибутів At на списку значень атрибутів у вигляді пар $(key, value)$. Елемент пари key визначає ідентифікатор атрибуту, а $value$ – його значення. Для цього домену визначено операції об'єднання, підстановки, видалення, інтерпретації $\{merge, substitute, delete, interp\}$.

Булевий домен Cs. Булевий домен складається із виразів, результат підрахунку яких належить булевій множині $\{true, false\}$. Операндами цих виразів є константи та змінні, що належать іншим алгебраїчним доменам.

Будемо інтерпретувати елементи булевого домену як аксіоми Cs. Операціями для булевого домену є булеві операції $\{and, or, negation\}$, а також операція інтерпретації $interp$, яка відображає спрощення та підрахунок булевих виразів. Екземпляром булевого домену є конкретна аксіома.

Домен концептів з атрибутами T. Визначено на множині кортежів $\langle E_i, At_j, Cs_i^* \rangle$. Для кожного i існує тільки один j, що входить в елемент цього домену:

$$\forall i \exists^1 j : \langle E_i, At_j \rangle. \tag{2.5}$$

Кожна аксіома $Cs_j \epsilon Cs_j^*$ є виразом з операндами, що належать домену At_j. Операціями над елементами цього домену є об'єднання та поділ сутностей $\{merge, split\}$. Операція об'єднання сутностей розглядається як формування нової сутності – спільного набору властивостей та обмежень сутностей-операндів. Операція поділу сутності – зворотна до об'єднання.

Домен відношень Rl. Множиною – носієм цього домену виступають структури виду:

$$\left\{\left(T_{1,i} \times T_{2,i} \times \ldots \times T_{k,i}, At_i^r, Cs_i^*\right)\right\}. \tag{2.6}$$

Кожна структура є кортежем, що містить декартовий добуток алгебраїчних типів даних з домену T, тип з домену атрибутів At (визначає атрибути відношення), та множина аксіом Cs^*. Кожна аксіома $Cs_i \epsilon Cs_i^*$ є булевим виразом з операндами, що належать доменам $At_{1,i}, At_{2,i}, \ldots, At_{k,i}, At_i^r$.

Над відношеннями визначено операції об'єднання відношень, відокремлення, підстановки $\{merge, split, substitute\}$. Операції об'єднання та відокремлення відношень трактуються подібно до аналогічних операцій з домену T. В операції підстановки замість однієї сутності домену T підставляємо відношення, яке при цьому трактується як сутність з атрибутами (реіфікація).

Онтологія є кортежем, поданим доменами понять (концептів) з атрибутами, відношень та аксіомами з булевого домену, що стосуються доменів понять та відношень:

$$On = \langle T, Rl, Cs^* \rangle. \quad (2.7)$$

Запропонована алгебраїчна модель представлення знань про предметну область має свої переваги в порівнянні із дескриптивною логікою та інтерпретованими системами:

2.2. Процедура відображення дескриптивної логіки в алгебраїчну модель

Дескриптивна логіка використовується для побудови логічного висновку в системах із використанням онтологічного підходу до подання знань. В її основі лежить логіка предикатів першого порядку. Дескриптивна логіка є популярною, оскільки широко використовується для побудови онтологій та є основою для стандартних мов опису (OWL).

Дескриптивна логіка використовується у системах, що базуються на знаннях для:

- перевірки приналежності певного об’єкту;
- для наслідування властивостей від інших об’єктів;
- перевірки відношення узгодженості;
- побудови нових концептів за допомогою конструктора аксіом.

В той час коли побудова логічних висновків за допомогою дескриптивної логіки завершена, інформаційна база змінюється та з’являються нові факти, значення атрибутів, факт відношень чи змінюються існуючі факти.

Дескриптивна логіка розглядає окремі об’єкти предметної області як єдине ціле. Концепт називається групою об’єктів. Будь-який вказаний об’єкт може належати декільком концептам в один і той же час. Бінарні відношення (ролі) між об’єктами характеризують залежності між цими об’єктами. Аксіоми дескриптивної логіки використовуються для побудови нових концептів та представляють залежності між ними. В основу логічних висновків також покладено аксіоми. Дескриптивна логіка використовує логіку першого порядку та теорію множин у всіх сферах застосування.

Використання логічного міркування є важливою частиною будь-якої системи бази знань, оскільки дає змогу підтримувати логічну стійкість моделі предметної області та коректність даних. Незважаючи на популярність дескриптивної логіки, існує ряд недоліків її використання. Наприклад, спрощена модель дескриптивної логіки, що базується на логіці першого порядку, не дає змоги здійснити інші типи міркувань (індуктивні, статистичні, міркування що базуються на аналогії тощо) що є корисними для когнітивної діяльності людини.

Запропонована алгебраїчна модель, так як і інші моделі що використовуються у системах із ситуаційною обізнаністю, спирається на поняття концепту як типів об'єкту, де концепт визначається його атрибутами та відношеннями між іншими концептами.

Для представлення алгебраїчної моделі предметної області за допомогою дескриптивної логіки використовується маркування між цими двома представленнями.

Тим не менше, не всі об'єкти в алгебраїчній моделі (AM модель) повинні бути відображені у модель дескриптивної логіки (DL модель), а лише ті об'єкти, що використовуються у аксіомах та відношеннях успадкування, оскільки інші об'єкти не підлягають логічному міркуванню. Відображення повинне бути ін'єктивним, тобто після початкового відображення AM моделі у DL модель та після побудови всіх інших необхідних відображень, результат можна було відобразити у зворотному напрямку, тобто з DL моделі у AM модель.

Формально, дескриптивна логіка – це кортеж вигляду (N_C, N_R, N_O), де N_C – набір імен концептів, N_R– набір імен відношень та N_O– набір імен об'єктів.

База знань (БЗ) – це впорядкована пара (T, A), де T – це набір $TBox$ аксіом та A – це набір $ABox$ аксіом.

Процедура відображення алгебраїчної моделі (AM) у дескриптивну логіку (DL) містить такі кроки:

1. Визначення аксіом $Csl \subseteq Cs^*$, пов'язаних із концептами $Tl \subseteq T$, та відношеннями $Rll \subseteq Rl$, що використовує алгебраїчна модель. Як результат, створена онтологія: $(Tll, Rll, Csl) \subseteq On$.
2. Відображення Onl елементів у DL об'єкти, концепти, ролі та аксіоми:
   - ✓ в першу чергу відображаються об’єкти; множина імен об’єктів визначається на основі об’єктів у AM моделі, що належать концептам у Tl:

     $$N_o = Al = \bigcup_{i=1}^{n} Al_i \quad (2.8)$$

     та $\forall\, al_i \in Al_i : Type(Al_i) = El_i$ і El_j є частиною концепту $Tl_i, Tl_j \in Tl$;
   - ✓ наступними відображаються концепти; множина концептів N_c відповідає множині Tl; кожному об’єкту al_i ставиться у відповідність аксіома-твердження, що стосується його концепту Tl_i; множина цих аксіом є множиною $ABox$ аксіом у базі знань;
   - ✓ для кожного атрибута $At_i \in Tl_i$ створюється відповідне відношення (роль) rla_i

     $$Rla = \bigcup_{i=1}^{n} rla_i; \quad (2.9)$$
   - ✓ кожне відношення $rll_i \in Rll$ розбивають на бінарні відношення; множина відношень отриманих у результаті і є Rlr; створено множину ролей у дескриптивній логіці:

     $$N_R = Rla \cup Rlr; \quad (2.10)$$
   - ✓ на додаток, аксіоми відображають відношення успадкування, а також інші аксіоми із *AM* моделі, які можуть бути подані як логічні вирази у *DL* моделі.
3. Виконати процедури міркування використовуючи *DL* модель.
4. Оновити AM модель використовуючи відображення і результати міркування.

Розширене відображення моделей виконується тільки один раз на початковому етапі при побудові моделі. Надалі, в процесі роботи системи із

ситуаційною обізнаністю тільки відображають оновлені компоненти між моделями.

2.3. Процедура відображення інтерпретованих систем в алгебраїчну модель

Підхід інтерпретованих систем (ІС) широко застосовується для подання часової динаміки та розумування у мультиагентних системах із ситуаційною обізнаністю [40]. Аналіз ситуації у таких системах відбувається на основі перевірки часово-залежних тверджень із бази знань. Це дає змогу не тільки враховувати динаміку змін стану предметної області, але й моделювати процеси прийняття рішень агентами в нечітких умовах, використовуючи числові міри ймовірності, можливості, нечіткості.

Модель інтерпретованих систем визначає стани та переходи між ними у дискретному часі. Для підтримки відображення між алгебраїчною моделлю та інтерпретованою системою, факти АМ повинні також містити часовий параметр як один з атрибутів. Формалізм інтерпретованих систем базується на таких групах понять як:

- стани, історії, системи;
- відрізки, дії, протоколи;
- інтерпретована система.

Розглянемо їх, а також відображення у АМ окремо.

Стани, історії та система

Мультиагентну систему визначено як множину агентів $Ag = \{ag_1, \dots, ag_n\}$ та середовище $En = \{en\}$, яке розглядається як окремий різновид агента. Глобальний стан системи визначено як:

$$(St_{en}, St_{ag1}, \dots, St_{agn}), \tag{2.11}$$

де St_{en} – це стан середовища, а St_{ag1} – стан агента. Відповідно, множина усіх глобальних станів визначена як:

$$G: L_{en} \times L_1 \times \dots L_n, \tag{2.12}$$

де L_{en} – це множина усіх можливих станів середовища, а L_i – множина усіх можливих станів агента i.

Для подання змін станів системи у часі використовується поняття історії (run) R як функції- відображення між часом та множиною глобальних станів G, $R: T \to G$. Множина моментів часу є дискретною та подається як множина цілих додатних чисел. У системі може бути багато різних історій.

Стан St (point) – це стан з історії r у певний момент часу m. Він подається парою (r, m).

Система Sy визначається як множина усіх можливих історій у G.

Для відображення станів та історій в алгебраїчній моделі визначено концепт *Агент* (домен T), що відповідає агентам ІС. Між іншими концептами АМ, які можуть відігравати роль агента та концептом *Агент* встановлюється відношення *БутиАгентом.* Середовище подається усіма іншими концептами АМ.

Стани агентів та середовища визначаються фактичними станами екземплярів агентів та середовища у визначені моменти часу. Аналогічно, історія $r(m)$ подається як послідовність станів системи до визначеного моменту часу m.

Система визначається як множина можливих історій.

Відрізки, дії та протоколи

Відрізок історії $rn(m)$ – це частина історії між двома сусідніми моментами часу $(m-1)$ та m.

Агенти та середовище змінюють глобальний стан в результаті виконання дій протягом відрізків історії. Нехай Act_i – множина дій агента i та Act_e – множина дій середовища.

Сумісна дія $GAct$ – це кортеж з діями агентів та середовища $(ac_{e,} ac_1, \dots, ac_n)$, де $ac_{e,} \in Act_e$ та $ac_{i,} \in Act_i$.

В результаті виконання сумісної дії змінюється глобальний стан системи, що відображено функцією переходів:

$$Tr: (G, GAct \rightarrow G). \quad (2.13)$$

Агенти визначають, які дії виконувати з використанням протоколу – набору правил вибору дій:

$$Pr_i: St_{agi} \rightarrow Act_i. \quad (2.14)$$

Протоколи різних агентів узагальнюють у понятті сумісного протоколу $Pr = (Pr_1, \dots, Pr_n)$.

В інтелектуальній системі із ситуаційною обізнаністю доцільно пов'язати дії агентів із ситуаціями, в якій ці агенти знаходяться. Отже, при виконанні відображення між АМ та ІС для кожного агента визначають ситуацію, за його біжучим станом, історією та глобальним станом системи. Для кожної ситуації визначено набір дій агента. Для мультиагентної системи визначення ситуації [62] проводиться в контексті кожного агента. Правила дій, відображені протоколом в ІС для АМ замінюють правилами ідентифікації ситуацій та правилами дій у кожній ситуації.

Інтерпретована система

Вчені у [64, 65] ввели поняття інтерпретованої системи як формального семантичного фреймворку для міркування про знання і невизначеності в мультиагентних системах. Нехай Φ є множиною основних тверджень на ς, що описує основні факти про систему. Інтерпретованою системою I є пара (R, π), де R є системою на множині ς глобальних станів та π – інтерпретацією Φ на ς. Отже, для кожного $p \in \Phi$ та $s \in \varsigma$ маємо $\pi(s)(p) \in \{true, false\}$.

Існують різні типи інтерпретованих систем, що становлять основу щодо проблеми моделювання ситуаційного аналізу [41].

1) Інтерпретовані алгоритмічні системи (An interpreted Algorithmic Systems) – це інтерпретована система I у якій локальний стан для кожного агента i в точці (r, m) є пара $\langle A_i, l_i \rangle$, де A_i– i – *й* локальний алгоритм та l_i– *i-mi* локальні дані. Алгоритмічні знання позначаються через модальний оператор X_i, який потім визначається як:

$$(I, r, m) \Vdash X_i \emptyset \quad iff A_i(\emptyset, l_i) = 'Yes'$$

$$for\ A_i\ alg_i(r,m)\ and\ l_i = data_i(r,m) \quad (2.15)$$

2) Інтерпретовані ймовірнісні системи (Interpreted Plausibility Systems) – це кортеж $(R, \pi, P_1, \dots, P_n)$, де (R, π) є інтерпретованою системою і P_i є ймовірнісне присвоєння, що перетворює кожну точку (r,m) (r,m) в ймовірнісний простір $P_i(r,m) = \left(S_{(r,m,i)}, PL_{(r,m,i)}\right)$, що описує відносну ймовірність подій з точки зору агента i в (r,m).

3) Інтерпретовані системи зміни довіри (Interpreted Belief Change Systems). Для того щоб змоделювати зміни довіри, інтерпретована ймовірнісна система була обмежена для того щоб задовільнити деякі додаткові умови, що ведуть до інтерпретованих довірчих систем змін. Тобто інтерпретована система зміни довіри – це інтерпретована ймовірнісна система $(R, \pi, P_1, \dots, P_n)$, що задовольняє деяким додатковим умовам [41].

Для формування часово-залежних логічних висновків використовують часові оператори □ (завжди), ◊ (з часом, колись), *O* (у наступний момент), *U* (поки).

В АМ логічні твердження належать булевому домену Cs. Між Φ та булевими виразами домену Cs існує взаємно-однозначне відображення що уможливлює застосування методів дослідження та розумування ІС для систем поданих алгебраїчною моделлю у вигляді онтології.

У табл. 2.1 наведено порівняльну характеристику використаних підходів для побудови моделей ситуацій.

Таким чином, використання алгебраїчної моделі для подання знань в системі із ситуаційною обізнаністю дає змогу однозначно відобразити модель системи подану у вигляді інтерпретованої системи для моделювання динаміки станів системи.

Як результат, у таблиці 2.1. наведено порівняльну характеристику вищеподаних підходів до подання ситуацій, що дає змогу краще зрозуміти їх переваги та недоліки.

Табл. 2.1. Порівняльна характеристика підходів до подання ситуацій

	Переваги	Недоліки
Алгебраїчна модель	- поєднання декількох методів міркувань та логік у межах єдиної системи; - поєднання декларативних та процедурних способів подання знань.	- більша складність реалізації; - складність виявлення помилок та протиріч; - відхилення від стандартних мов опису онтології (OWL).
Дескриптивна логіка	- використовується для побудови онтології та побудови логічного висновку в системах із використанням онтологічного підходу до подання знань; - використовує логіку предикатів; - наявність засобів моделювання та логічного виведення (Protégé).	- не дає змоги здійснити інші типи міркувань, такі як причинно-наслідкові, використання немонотонних логік; - програми логічного виведення не можуть змінювати онтологію та факти.
Інтерпретовані системи	- використовується для подання ситуації як процесу; - описує роботу багатоагентних систем; - дає змогу описувати динамічні системи.	- більша складність подання даних та міркування; - немає інструментальних програмних засобів, які підтримують моделювання та логічне виведення; - більше використання ресурсів для реалізації; - діє в дискретному часі і весь час міняється стан системи

Отже, розроблення відображення між алгебраїчною моделлю, дескриптивною логікою та інтерпретованими системами дасть змогу використати методи логічного виведення, розроблені для дескриптивної логіки та в теорії інтерпретованих систем, для дослідження систем на базі онтологій.

Висновки до розділу 2

1. У розділі розроблено формальну модель подання знань про ситуації на основі підходу алгебри систем, яка на відміну від існуючих дає змогу реалізувати моделювання, ідентифікацію та міркувати про ситуації для різних форм подання ситуацій та підтримує різні види міркувань.
2. Здійснено відображення розробленої формальної моделі у модель дескриптивної логіки для здійснення логічного висновку в системах із використанням онтологічного підходу до подання знань та відображення у модель інтерпретованих систем для моделювання динаміки станів системи.

Результати розділу опубліковані у наукових роботах [3, 8].

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОБЛЕМНИХ СИТУАЦІЙ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У даному розділі розроблено методи ідентифікації проблемних ситуацій у системах підтримки прийняття рішень для різних типів ситуацій, що виникають у реальному масштабі часу. Запропоновано методи опрацювання знань про ситуації, що базуються на використанні апарату неточних множин та підходу гранулярного комп'ютингу. Подано методи опрацювання невизначеностей у системі із СО що дає змогу інтегрувати та повторно використовувати знання з метою зменшення впливу невизначеностей.

3.1. Поняття ідентифікації проблемних ситуацій

На будь-якому етапі людської та комп'ютерної діяльності можна зіштовхнутись із труднощами, коли на основі наявних знань та фактів неможливо вирішити певну проблему відомими методами. Таким чином, перед нами постає проблемна ситуація, яку ми повинні ідентифікувати, а також розробити такі методи та засоби ідентифікації проблемних ситуацій, за допомогою яких можна було б не тільки ідентифікувати ситуацію та її стан в системах підтримки прийняття рішень, а й виявляти неполадки у таких системах та уникнути повторного виникнення таких проблемних ситуацій.

Проблемна ситуація – це ситуація, для якої або існує або не існує заздалегідь адекватна модель прийняття рішення та основну роль у пошуку рішення відповідно, відіграє людина, яка самостійно розробляє процедуру його прийняття [66]. Отже, проблемна ситуація – це свого роду певна класифікація: віднесення поточного стану середовища до певного класу.

Ідентифікація ситуації – це встановлення відповідності між біжучим станом об'єкта системи та певним його шаблоном. Взагалі, ідентифікація є

частковим випадком задачі класифікації, оскільки класифікація проводиться шляхом залучення різних методів порівняння, розпізнавання і в тому числі ідентифікації.

У зв’язку із стрімким розвитком інформаційних технологій та систем підтримки прийняття рішень, збільшилась кількість автоматизованих систем що використовуються не тільки в конкретних галузях, але й у побуті. З цього випливає, що ідентифікація проблемної ситуації постає ключовим фактором щодо підвищення точності та якості роботи складної системи. Зокрема, ідентифікація ситуації є важливою для систем із ситуаційною обізнаністю, оскільки при правильній оцінці ситуації на основі наявних знань дає змогу удосконалити наявну системи і уникнути аналогічних помилок у майбутньому.

Оскільки ситуаційна обізнаність – це здатність ідентифікувати процес і зрозуміти найважливіші елементи інформації про те, що стається, то з цього стає зрозумілим, що системи із ситуаційною обізнаністю є важливими не тільки з точки зору штучного інтелекту, але й з точки зору інших галузей, адже розробка систем, здатних ідентифікувати проблемну ситуацію і спрогнозувати майбутні дії є перспективним напрямком будь-якої галузі розробки. Яскравим прикладом є застосування ідентифікації ситуації у економіці (так зване поняття інтелектуального підприємства).

У роботі [67] подано розробку механізму ідентифікації ситуацій та причинно-наслідкових зв’язків між подіями на підприємстві із використанням методів та інструментів інтелектуального аналізу даних. Автор зазначив, що проблемна ситуація може бути досліджена за схемою: проблема (наслідок) – симптоми (індикатор) – параметри – фактори – причини – першопричини.

Відмінність цього механізму прийняття управлінських рішень і підходу, поданого у роботі, полягає у наступному:

- у роботі [67] розглянуто людино-машинний підхід, тобто система допомагає аналітику виявити потенційні ситуації. У

дисертаційній роботі система є автономною, тобто система виявляє ситуації, використовуючи наявні знання про них, подані у формі онтологічних моделей;

- дисертаційна робота розглядає випадок неточності, тобто інформація може бути неповною чи нечітко вираженою тощо;
- робота [68] містить постановку задачі ідентифікації ситуації на концептуальному рівні, дисертаційна робота – метод вирішення ідентифікації.

У роботі [68] розглянуто ідентифікацію проблемних ситуацій та їх станів у складних технічних системах із використанням модифікованого алгоритму ФОРЕЛ.

У роботі [69] проаналізовано моделювання процесу кластерного аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті. У цій роботі використано програмний засіб DEDUCTOR, що базується на класичному алгоритмі k-means та модифікованому алгоритмі k-means.

Процес ідентифікації ситуації на основі JDL моделі показано на рис.3.1.

Ідентифікація ситуації відбувається на другому рівні моделі JDL для систем з ситуаційною обізнаністю. На нульовому рівні дані зчитуються з сенсорів та інтерпретуються за їх змістом. Значення, отримані з подібних сенсорів групуються. На першому рівні моделі отримані на попередньому рівні дані асоціюються з певними об’єктами у базі фактів та їх атрибутами. На другому рівні, аналізуючи наявні значення у базі фактів ідентифікують ситуації. Таким чином, вхідними даними для ідентифікації ситуації виступають наявні факти у базі знань та значення їх атрибутів. Задачі отримання та опрацювання інформації від сенсорів та ідентифікації об’єктів та їх властивостей за значеннями зчитаних даних у даній роботі не розглядаються.

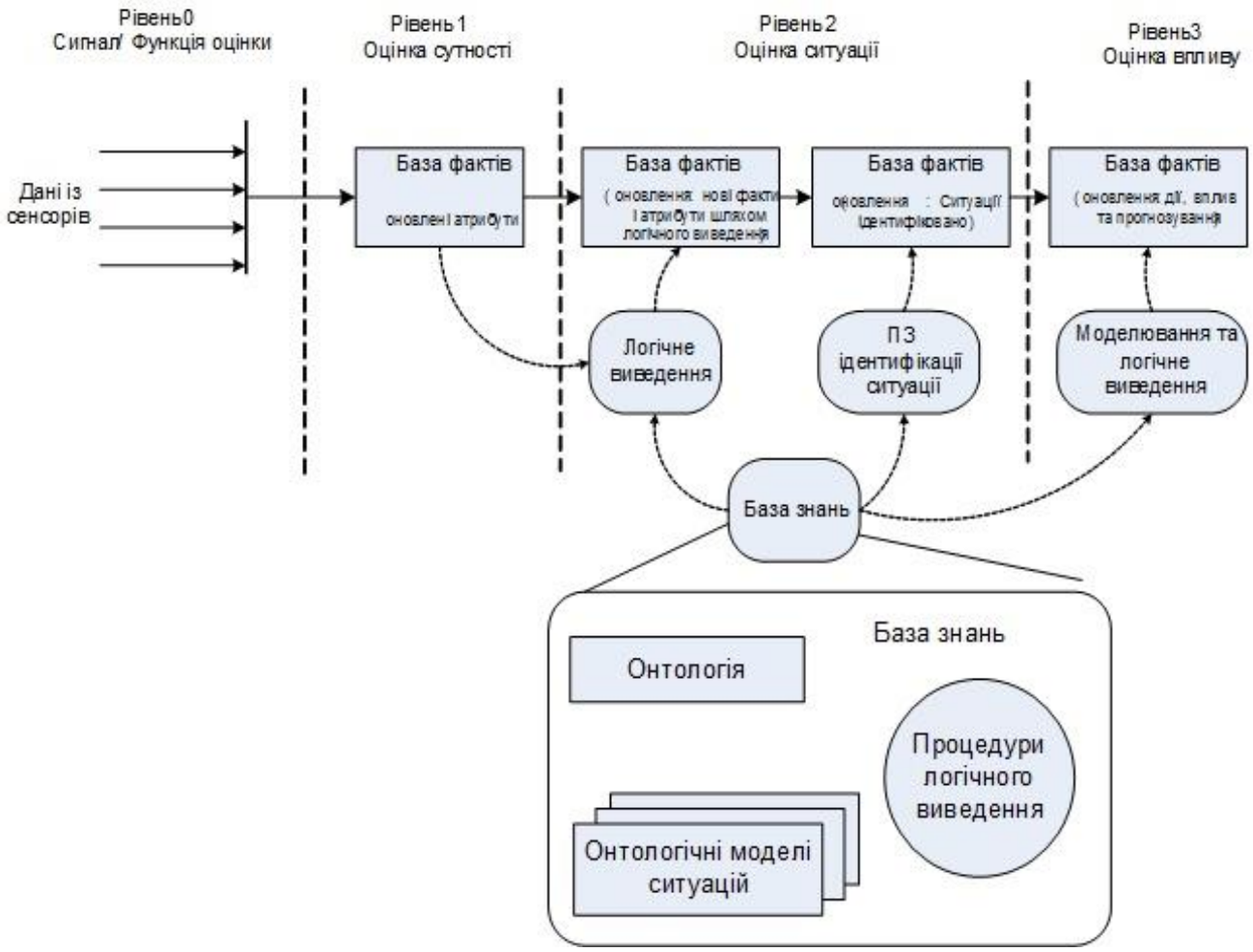

Рис.3.1. Процес ідентифікації ситуації

Коректна та ефективна ідентифікація ситуацій вимагає вирішення цілої низки задач та подолання різноманітних труднощів та обмежень. На практиці під ситуацією розуміють набір взаємопов’язаних фактів, параметри яких утворюють певний паттерн, який можна ідентифікувати. З іншого боку, виявлення ситуації має сенс тільки тоді, коли в результаті ініціюється виконання певних дій, які призводять до бажаних змін у середовищі, або у зміні фактів та поповненні знань у базі знань.

Одна з причин складності ідентифікації ситуацій полягає у тому, що в різних практичних задачах ситуацію розуміють по-різному. Наприклад, її можна подавати як стан об’єкту або групи об’єктів. Ідентифікувати таку ситуацію – це виявити означений стан. Інколи потрібно ідентифікувати

ситуацію для групи наближених або подібних станів. В деяких практичних застосуваннях вивчають не стільки окремі визначені стани, але переходи між станами, наприклад між граничним та цільовим станом. З іншого боку, інколи ситуацію розглядають у динаміці, як процес, що розгортається у часі. Виявити таку ситуацію – це ідентифікувати біжучий стан та попередні стани об’єкту зі станами визначеного шаблону процесу. Різні форми подання та розуміння ситуацій вимагають розроблення різних методів ідентифікації.

З іншого боку, досягнення ситуаційної обізнаності часто необхідно для систем, що приймають рішення у реальному масштабі часу. При цьому критичним стає час прийняття рішення та обсяг задіяних інформаційних та обчислювальних ресурсів.

Використання онтологічного моделювання для подання та ідентифікації ситуацій створює додаткові можливості та обмеження на вирішення задачі ідентифікації [70]. Перевагою є здатність застосування логічного виведення та використання аксіом у процесі міркувань про ситуації. Це відкриває перспективу розробки методів ідентифікації ситуацій, що базуються на логічному виведенні на основі інформації про біжучий стан предметної області та знань про цю область.

Вихідна інформація, що отримана від сенсорів є неточною, і методи ідентифікації також часто є неточними (приблизними), що випливає з необхідності мінімізації часу прийняття рішення. Врахування неточностей, помилок та неповних знань про предметну область є важливою вимогою для методів ідентифікації

3.2. Опрацювання невизначеностей у системах із ситуаційною обізнаністю

Невизначеність є невід’ємною властивістю систем з ситуаційною обізнаністю (СО). Джерела невизначеності існують на всіх стадіях процесу досягнення СО. Так, на стадії *Спостереження* (у термінології процесу OODA) [54] такими джерелами виступають неточності та похибки

вимірювань. На стадії *Орієнтації* на ці похибки накладається помилки інтерпретації та розуміння результатів спостереження. Сама постановка задачі спостереження, яка передбачає вибір параметрів середовища, значення яких вимірюють, передбачає багатозначність та можливість помилок у визначенні процедури спостереження. Таким чином, у системах з СО опрацьовують комбінацію різних типів невизначеностей, які виникають як на рівні даних (похибки вимірювань, неповнота даних) так і на рівні інформації (неправдиві, нечіткі або відсутні факти, їх багатозначність) так і на рівні знань (помилкова інтерпретація набору фактів, упередженість).

На сьогодні розроблено багато методів опрацювання невизначеностей. Ці методи відрізняються для різних типів невизначеностей. Крім того, методи моделювання та опрацювання невизначеностей для різних наукових галузей також відрізняються одні від одних. У літературі [45] ця проблема вирішується шляхом побудови фреймворків для різних предметних галузей та створення засобів взаємодії між ними, або використанням єдиного фреймворку. Недоліком першого підходу є відсутність повторного використання знань та надлишковість, а у другому підході складно відобразити специфіку конкретної предметної області. Опрацювання невизначеностей у системах з ситуаційною обізнаністю є принципово іншою задачею, адже тут розглядається результат комбінації різних типів невизначеностей в одній системі.

Невизначеність є широко поширеним терміном у галузі штучного інтелекту, інженерії та підтримки прийняття рішень. Невизначеність має різні джерела та форми математичної формалізації. Не дивно, що автори у цій галузі дослідження не завжди в змозі досягнути єдиного розуміння щодо значення цього терміну та побудувати єдину класифікацію невизначеностей. Так, більшість [45] погоджується, що всі типи невизначеностей можна поділити на дві групи:

- невизначеність як фізична властивість інформації;

- невизначеність як властивість та результат процесу інтерпретації інформації агентом.

Перше значення відображає фізичні обмеження технічних систем, що вимірюють, передають та опрацьовують дані. Друге значення невизначеності відноситься до способу інтерпретації наявних даних агентом, що не володіє необхідною інформацією чи знаннями для прийняття рішення.

У роботі [45] запропоновано класифікацію (1989 р.), де коренем дерева є незнання, тобто невизначеність постає як вид незнання, більше того «як один із прийнятних його видів». Автор [24] поділяє незнання на дві категорії:

- стан незнання (помилка, error) – стан, що слідує з різноманітних причин (наприклад, перекручені чи неповні знання);
- дія незнання (невідповідність, irrelevance) – відповідає цілеспрямованому нехтуванню чогось неважливого по відношенню до вирішення проблемної ситуації.

Автор [45] вважає, що невизначеність є неповнотою і поділяє її на три види: ймовірнісна (probability), розмита (vagueness) та багатозначна (ambiguity).

Принцип класифікації автора [45] є важливим для побудови систем з СО. Адже знання необхідні для коректної оцінки ситуації фактів є ключовим фактором успішної роботи такої системи. Ще однією перевагою цієї класифікації порівняно з іншими в контексті використання у системах з СО є використання нерелевантності як виду невизначеності. До систем з СО нерідко ставлять вимогу швидко реагувати на зміни у середовищі. Для забезпечення допустимих параметрів швидкодії необхідно визначити мінімальний набір параметрів спостереження та процедур їх опрацювання, які достатні для прийняття коректних рішень. Це передбачає визначення та використання тільки релевантних даних, інформації та знань.

У роботі [71] запропоновано альтернативу класифікації автора [45], де на відміну від незнання, коренем дерева класифікації є невизначеність.

Автори [71] розрізняють два її аспекти: простий (одинарний) – невизначеність застосовується до окремого об’єкту та теоретико-множинний – невизначеність застосовується до множини об’єктів. Обидва аспекти зводяться або до протиріччя знань або до незнання (нестачі знань). Дана класифікація стосується першої групи невизначеностей.

У літературі [71] також запропонована модель невизначеності. Ця модель показує відмінність між двома основними значеннями невизначеності. Якщо її читати справа на ліво, то невизначеність виступає як стан мислення, а якщо зліва на право – то як фізична властивість інформації.

У праці [72] запропоновано типологію, що базується на відмінностях математичного подання та опрацювання невизначеності і безпосередньо зв’язана із похибкою обчислення (measure of uncertainty). Автор [73] ввів поняття інформації, що базується на невизначеності і розглядав невизначеність як нечіткість (fuzziness) або багатозначність (ambiguity). По суті, дана класифікація, є не що інше як інтеграція певної частини понять автора [45], а також множини теоретичних аспектів авторів [56].

У роботі [73] запропоновано замість класифікації невизначеності класифікацію недосконалої інформації (Imperfection of information). Модель автора [73] пропонує три категорії недосконалої інформації:

- неточна (imprecision);
- нецілісна (inconsistency);
- невизначена.

Автор [74] розглядає невизначеність як вид неточності (imprecision). Невизначеність може бути як об’єктивною (властивість інформації, значення невизначеності I) так і суб’єктивною (властивість агента, значення невизначеності II). Автор по суті базується на протиставленні понять невизначеність/неточність.

Невизначеність можна розглядати і з точки зору епістемічної логіки. Під епістемічною інтерпретацією ми маємо на увазі спосіб отримання оцінки невизначеності (uncertainty evaluation). В такій моделі в корені дерева

знаходиться поняття невизначеності, яке поділяється на емпіричне та індуктивне.

Таким чином, наявні класифікації невизначеностей відображають тільки частину усіх факторів та причин невизначеностей, характерних для систем з СО. Дослідження невизначеностей у контексті задач СО та з використанням моделей СО дає змогу глибше зрозуміти місце невизначеностей у процесі здобуття СО та їх взаємні залежності, прослідкувати вплив різних типів невизначеностей на створення СО та на рішення, що приймаються на основі СО. У роботі розглядаються методи опрацювання невизначеностей, які базуються на знаннях. При цьому використовується поняття онтологічного моделювання предметної області, подані в [74].

У роботі розгляд невизначеностей буде відбуватися в контексті задач, що вирішуються для систем з СО на різних стадіях визначених у моделях СО. Головна увага буде приділена невизначеностям, що виникають у технічних системах. Таким чином, вилучаємо з розгляду невизначеності, джерелом яких є мова (наприклад, неоднозначне трактування термінів) та невизначеності не характерні для задач СО.

3.2.1. Методи опрацювання невизначеностей на першому етапі досягнення ситуаційної обізнаності

На першому етапі досягнення СО (нульовий рівень відповідно до моделі JDL) відбувається отримання даних про середовище від набору сенсорів. Система з СО на цьому етапі працює з даними – наборами чисел, які генеруються сенсорами та інтерпретуються як результати вимірювання того чи іншого параметру. Причинами невизначеності на цьому етапі є похибки вимірювання величин сенсорами (неточність), помилки, які виникають через несправність сенсору або при передаванні даних (недостовірність). Дані від деяких сенсорів можуть бути відсутні взагалі (NULL). Крім того, дані, що генеруються сенсорами можуть бути спотворені

зловмисниками навмисно з метою введення системи в оману. Такі дії призводять до порушення довіри до результатів і можливих конфліктів при інтерпретації результатів вимірювань на наступних етапах процесу досягнення СО (недовіра, конфлікт). Нарешті, дані деяких сенсорів можуть бути надлишковими стосовно завдань системи (нерелевантність), або, навпаки, деяких сенсорів та даних від них може бракувати (незнання) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Методи опрацювання невизначеностей (нульовий рівень моделі JDL**)**

Причини невизначеності	Тип невизначеності	Методи опрацювання
Похибка вимірювання	Неточність	Нечіткі та нерозрізненні множини (Fuzzy sets, rough sets)
Помилки вимірювання, передавання	Недостовірність	Довірча ймовірність. Теорія Байеса та Теорія свідчень (Bayes theory, Evidence theory)
Відсутні дані від існуючих сенсорів	NULL	Значення за замовчуванням
Спотворення результатів вимірювань введені навмисно	Недовіра, конфлікт	Довірча ймовірність, використання надлишковості сенсорів
Результати вимірювання є зайвими у контексті задач що вирішуються системою	Нерелевантність	Визначення релевантності сенсорів по біжучій ситуації та можливих змінах
Відсутність необхідних сенсорів або даних	Незнання	Аналіз помилок прийняття рішень

3.2.2. Методи опрацювання невизначеностей на другому етапі досягнення ситуаційної обізнаності

На наступному, першому рівні моделі JDL дані, отримані від сенсорів, ставляться у відповідність атрибутам певних об'єктів – фактів предметної області. Типи об'єктів, та набори їх атрибутів визначені онтологією предметної області. Таким чином, тут опрацьовують семантично інтерпретовані дані – інформацію. Невизначеності цього рівня в значній мірі визначаються невизначеністю даних отриманих від сенсорів, але тут додаються види невизначеності специфічні для цього рівня.

Так, значення атрибуту факту може бути неточним, приблизним (нечіткість, нерозрізненість). Неправдивість атрибуту призводить до неправдивості та недостовірності факту загалом. Під час віднесення даних з сенсорів можливі помилки атрибуції – коли значення присвоюється атрибуту не того факту, якого воно стосується (недостовірність факту). Значення з сенсора може порушувати обмеження цілісності, визначені в онтології (нецілісність). Факт може не мати значень для атрибутів, навіть коли такі значення, відповідно до вимог онтології є обов'язковими (NULL, нецілісність). Сенсори можуть надавати для одного атрибута декілька коректних, але різних значень (багатозначність). Можлива також ситуація, коли сенсори надають для значення атрибуту протирічиві значення (конфлікт, протиріччя). Протиріччя можуть бути вирішені методами адаптивних онтологій [74]. Нарешті, атрибути фактів можуть бути нерелевантними в контексті комплексу задач, які вирішує система (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Методи опрацювання невизначеностей (перший рівень моделі JDL)

Причини невизначеності	Тип невизначеності	Методи опрацювання
Приблизне значення атрибутів факту	Нечіткість	Нечіткі онтології (Fuzzy ontology)

Продовження таблиці 3.2. Методи опрацювання невизначеностей (перший рівень моделі JDL)

Причини невизначеності	Тип невизначеності	Методи опрацювання
Неправдивість факту або значення його атрибуту	Недостовірність	Ймовірнісні моделі – правдоподібність. Використання теорії свідчень. Використання методів технічної діагностики
Помилки віднесення (атрибуції)	Недостовірність	Формування та тестування гіпотез
Відсутність значень атрибуту факту	NULL	Логіка за замовчуванням (Default logic)
Протиріччя у значенні атрибутів факту. Недотримання обмежень	Нецілісність	Аналіз фактів та атрибутів у конфлікті. Визначення причин конфлікту. Адаптивні онтології
Конфлікт значень атрибута – сенсори дають протирічиві дані для одного атрибуту	Конфлікт	
Присвоєння атрибуту різних значень (коректне)	Багатозначність	Оновлення онтології
Атрибути фактів є зайвими та не використовуються в процесі прийняття рішень	Нерелевантність атрибутів	Визначення надлишковості в онтології та її усунення

3.2.3. Методи опрацювання невизначеностей на другому етапі досягнення ситуаційної обізнаності

На другому рівні моделі JDL відбувається оцінка ситуації. При цьому відбувається інтерпретація фактів з використанням наявних знань про предметну область (у формі онтології, правил, онтологічних моделей). Основні джерела невизначеностей тут лежать або у недосконалостях фактів, або відображають недоліки наявних знань.

Так, наявність недостовірних фактів призводить на цьому етапі до неправильних висновків та рішень. Тому важливо своєчасно виявити такі факти.

Наявні факти можуть протирічити один одному або протирічити наявним знанням про предметну область (конфліктна інформація, нецілісність на рівні знань). Рішення не приймається, якщо відповідна модель рішення не має усіх необхідних фактів (NULL невизначеність).

Аналогічно до рівня фактів, на рівні знань можливі помилки атрибуції – коли в релевантній моделі використовують нерелевантні факти, або коли використовують нерелевантну для біжучої ситуації модель (нерелевантість). З поняттям релевантності пов’язане на цьому рівні ігнорування фактів, які треба враховувати, або використання фактів, які треба ігнорувати. Деякі моделі для прийняття рішень самі можуть бути помилковими, наприклад, робити невірні припущення або висновки (недосконаліть). Крім того, для певних реальних ситуацій прийняття рішення відповідні моделі можуть бути відсутні (незнання) (табл. 3.3).

Таким чином, опрацювання невизначеностестей на трьох рівнях моделі JDL базується на використанні знань про предметну область, поданих онтологіями та моделями ситуацій. При цьому виконується сумісне використання різних математичних методів для зменшення впливу невизначеностей та інтерпретація їх результатів з використанням бази знань. Результати опрацювання невизначеностей також зберігають у базі знань для повторного використання. При цьому знання отримані в результаті

опрацювання невизначеності на певному рівні можуть бути використані для зменшення впливу невизначеностей на інших рівнях.

Таблиця 3.3. Методи опрацювання невизначеностей (другий рівень моделі JDL)

Причини невизначеності	Тип невизначеності	Методи опрацювання
Недостовірні факти (помилки, брехня)	Недостовірність	Теорія свідчень, теорія Байеса
Факти протирічать один одному	Конфлікт	Аналіз конфлікту експертом
Факти протирічать наявним знанням	Конфлікт, нецілісність, дисонанс	Аналіз причин нецілісності та визначення фактів, що її поводують
Відсутність фактів	NULL	Логіка за замовчуванням, абдуктивна логіка
Помилки інтерпретації фактів – використання в невідповідних моделях	Некоректні знання	Формування та тестування гіпотез, що пояснюють помилки
Помилкове ігнорування фактів	Релевантність	Аналіз результатів прийняття рішень та помилкових рішень. Оновлення знань
Використання фактів, які треба ігнорувати		
Схеми знань є помилковими	Недосконалість	
Відсутні моделі (схеми) знань для інтерпретації наявних фактів	Незнання	

Важливим етапом загального процесу досягнення СО є оновлення знань про предметну область та систему підтримки прийняття рішень на основі аналізу результатів застосування прийнятих рішень чи тестування сформульованих на попередньому кроці гіпотез. Остаточним критерієм ефективності та коректності роботи системи з СО є практика – аналіз успішності виконання прийнятих рішень та досягнення передбачених та запланованих змін у предметній області. Власне на основі аналізу результатів застосування прийнятих рішень виправляють такі недоліки системи, як відсутність або помилковість моделей прийняття рішень, нерелевантність фактів та помилки їх інтерпретації.

Для зменшення впливу невизначеностей було розроблено багато методів та засобів, серед яких технічні, математичні, та методи інженерії знань. Як правило, кожен з цих методів спрямований на вирішення певної задачі та подолання впливу конкретного типу невизначеності.

Для подання та опрацювання *похибок вимірювань* доцільно використати апарат нечітких (fuzzy set) або нерозрізненних (rough set) множин.

Для боротьби зі *помилками вимірювання та спотвореннями передавань* використовують завадостійкі коди та контрольні суми. *Недостовірність* показів можна описати довірчими ймовірностями даних кожного сенсору. Для визначення кількісних оцінок недостовірності доцільно визначити довірчі ймовірності експертним шляхом, або на основі аналізу статистики попередніх вимірювань. Довірчі ймовірності показів сенсорів доцільно уточнювати за результатами аналізу прийнятих рішень. При цьому використовують методи теорії свідчень (evidence theory) або методи теорії Байеса. Ці ж методи застосовують для моделювання недостовірності фактів.

Гіпотеза про те, що *результати вимірювання було спотворено навмисно*, будується в процесі інтерпретації загального набору результатів та на основі наявних знань про предметну область, динаміку зміни її стану. Ця гіпотеза додатково тестується з використанням надлишковості показів інших

сенсорів (наприклад, коли поля зору декількох камер спостереження частково перекриваються), або методів технічної діагностики, коли сенсори перевіряють працездатність один одного.

Якщо *дані від сенсору відсутні*, то важливо розрізняти ситуації, коли сенсор не працює та нульові значення даних. Для опрацювання відсутніх значень доцільно використати дані за замовчуванням, а для розумування з такими даними – апарат логіки за замовчуванням (default logic) та теорії можливостей (possibility theory).

У випадку *багатозначності, або конфлікту значень* атрибутів та фактів, доцільно додатково оцінити ступінь довіри до фактів, які конфліктують. При цьому можна використати довірчі ймовірності, експертні оцінки, або сформулювати додаткові гіпотези та провести їх тестування. В результаті тестування для вирішення конфлікту можна відкинути факти з низьким ступенем довіри.

При *відсутності, або неповноті інформації* для прийняття рішення в процесі розумування застосовують апарат теорії можливостей та абдуктивну логіку, яка дає змогу отримати найбільш правдоподібні висновки на основі відомих фактів.

Помилки атрибуції, за своїми проявами подібні до недостовірності при роботі з даними або фактами. Але вони відрізняються від помилкової, або спотвореної інформації тим, що факти, які лежать в їх основі – коректні. Тому замість відкидання цих фактів доцільно виправити помилку атрибуції. Для цього формулюють гіпотезу, що наявна помилка атрибуції та тестують її.

Проблему *нерелевантності даних та інформації* доцільно розглядати на рівні знань. Наявні в онтології та онтологічних моделях ситуацій та операцій прийняття рішення параметри визначають набір релевантних даних та фактів. З іншого боку, онтологія та моделі визначають максимально можливий набір типів параметрів для всіх передбачуваних ситуацій у предметній області. При цьому не враховується ефективність та доцільність використання значень параметрів у біжучій ситуації. Враховуючи

обмеженість ресурсів у кожний конкретний час доцільно використовувати тільки підмножину параметрів онтології, які необхідні для СО у біжучій ситуації. Ця підмножина визначається набором можливих переходів (змін) у біжучій ситуації, який визначається на рівні знань. Інтелектуальна система з СО повинна постійно адаптувати набір релевантних параметрів до біжучої ситуації.

Помилки, причиною яких є відсутність знань, чи недосконалі знання, знаходять у результаті аналізу результатів прийнятих рішень. Якщо результати суттєво відрізняються від очікуваних, то це є підставою для експертів предметної області до корекції бази знань.

3.3. Формальна постановка здачі ідентифікації ситуації

Центральним компонентом бази знань є онтологія On, яка є формальним поданням певної концептуальної моделі предметної області.

Онтологія подається такою трійкою [75]:

$$On = (T, Rl, Cs), \tag{3.1}$$

де T – множина сутностей, Rl – множина відношень, Cs – множина обмежень або аксіом.

Знання про ситуації подані у формі ситуаційних моделей також зберігаються у базі знань, а сутність «ситуація» є частиною онтології.

Формально, модель ситуації подається кортежем, який містить сутності T та відношення Rl_s релевантні для ситуації, умови або інформацію для ідентифікації ситуації Id_s, та множину дій Ac_s, які треба виконати, якщо ситуація буде виявлена:

$$T_{mds} = (T_s, Rl_s, Id_s, Ac_s). \tag{3.2}$$

Умови ідентифікації ситуації використовують значення фактів, типи яких подані у моделі ситуації.

Вирішення задачі ідентифікації ситуації зводиться до розпізнавання у базі фактів умов та залежностей, специфікованих у ситуаційній моделі. У цьому відношенні ця задача є подібною до задачі розпізнавання образів.

База фактів BF є множиною окремих фактів: $BF = \{bf\}$ з онтології $On:$

$$BF = \{bf_i | \forall i(bf_i \in T \ \vee \ bf_i \in Rl)\}. \quad (3.3)$$

Множина моделей ситуацій, в якій кожен елемент належить типу ситуації T_s з онтології $On:$

$$MdSi = \{mdsi_j | \forall j(mdsi_j \in T_s)\}. \quad (3.4)$$

Для вирішення задачі ідентифікації ситуації необхідно побудувати функцію Fid відображення бази фактів у множину моделей ситуацій,

$$Fid: BF \rightarrow MdSi \quad (3.5)$$

таку що мінімізує неточність розпізнавання.

Таку функцію втрат, наприклад, можна побудувати шляхом порівняння результату виконання функції ідентифікації з результатом деякої ідеально точної функції ідентифікації Fzr над тою ж базою фактів BF. Таким чином, функція втрат, що визначає неточність ідентифікації

$$Flos = min\, \Delta(Fzr(BF), Fid(BF)) \, . \quad (3.6)$$

Функція відображення може бути побудована як функція відстані (подібності) поточного стану до моделі:

$$D(BF, mdsi_j) \, . \quad (3.7)$$

При цьому ідентифікувати ситуацію це знайти модель $mdsi_{min}$, для якої відстань між біжучим станом BF є мінімальною:

$$mdsi_{min} = Min_j(D(BF, mdsi_j)) \, . \quad (3.8)$$

Оцінка якості ідентифікації ситуацій повинна враховувати як точність (безпомилковость) ідентифікації, так і ефективність, тобто обсяг витрачених ресурсів при заданих обмеженнях на точність ідентифікації.

Безпомилковість ідентифікації ситуації подається як сукупність двох оцінок:

- ймовірності хибного розпізнавання (FAR). Ситуація ідентифікована, але насправді ситуація не має місця.
- ймовірності хибного нерозпізнавання ситуації (FRR). Ситуація не ідентифікавана, але насправді ситуація має місце.

На практиці, коли визначено багато подібних за ознаками ситуацій, які вимагають різних дій, можливо замість ситуації, яка мінімізує значення відстані $mdsi_{min}$ ідентифікувати іншу ситуацію $mdsi_k$. Тоді оцінку точності ідентифікації подамо як різницю відстані знайденої моделі та моделі мінімальної відстані:

$$\Delta_D = D(BF, mdsi_k) - D(BF, mdsi_{min}) . \quad (3.9)$$

3.3.1. Методи ідентифікації для різних типів ситуацій

Розглянемо методи ідентифікації для різних типів ситуацій:

- ситуація як стан проблемної області

Функція ідентифікації для даного стану бази фактів приймає істинне значення, де δ_{mdi} – це умова наявності ситуації:

$$Fid(BF, \delta_{mdi}) = True . \quad (3.10)$$

Проблема складності умови – багато складових умов, великі затрати обчислювальних ресурсів.

Метод використання ключів

Ключ – це часткова умова виконання якої, яка не гарантує наявності ситуації, але:

а) завжди виконується якщо ситуація має місце та

б) вимагає мінімум ресурсів на перевірку.

Тобто ми визначаємо ключ математично як необхідну умову:

$$\delta_{mdi}^{key} = true , \quad (3.11)$$

якщо $\delta_{mdi} = true$.

Група ключів – це множина умов-ключів $S(\delta_{mdi}^{key})$, які перевіряють паралельно та мають виконуватися для ідентифікації ситуації.

Таким для зменшення складності ідентифікації ситуації рекомендуємо подати цей метод як послідовність перевірок груп ключів

$$S_1(\delta_{mdi}^{key}), S_2(\delta_{mdi}^{key}), \dots, S_n(\delta_{mdi}^{key}) . \quad (3.12)$$

- ідентифікація ситуації як процесу

Для ідентифікації ситуації як процесу ми використовуємо модель інтерпретованих систем, тобто стани бази фактів у різні моменти часу та переходи між ними. Стани системи при цьому розглядають у визначені моменти часу як пари (BF, t_i). Ситуації у розумінні стану бази фактів також розуміють з прив'язкою до часу їх виявлення: (Si_i, t_i).

Для ідентифікації ситуації як процесу визначимо модель процесу як множину впорядкованих у часі пар ситуацій:

$$MdProc = S\left((Si_i, t_i), \left(Si_j, t_j\right)\right) \mid t_i < t_j \ . \quad (3.13)$$

Визначимо траєкторію зміни ситуацій як послідовність ситуацій:

$$SiT = (Si_1, t_l), (Si_2, t_{l+1}), \dots (Si_k, t_k), \quad (3.14)$$

де кожна ситуація $(Si_i, t_i) \in MdProc$ та ситуації ідентифіковані у послідовні моменти часу. Функція ідентифікації:

$$Fid(BF, MdProc) = \exists SiT_m : \forall (Si_i, t_i) \in SiT_m \ \exists MdProc : (Si_i, t_i) \in MdProc = true \ . \quad (3.15)$$

Метод ідентифікації передбачає пошук траєкторій для різних моделей процесів.

- ідентифікація ситуацій у випадку нечіткостей.

В деяких випадках наявність ситуації визначається неточно. Тобто для біжучого стану бази фактів *BFi* функція ідентифікації ситуації моделюється як функція приналежності до нечіткої множини.

Така функція може бути задана трьома умовами, які поділяють усі факти певного типу *Ti* на три підмножини. Для однієї з них ситуація точно виконується, для іншої точно не виконується, а третя група фактів – для яких виконання ситуації є можливим.

$$Fid(BF, \delta^1_{mdi}, \delta^{fz}_{mdi}, \delta^0_{mdi}) \ . \quad (3.16)$$

Наприклад, така функція може бути використана для побудови плану тестування, в якому умова δ^1_{mdi} визначає тесткейси, які мусять бути обов'язково перетестовані, δ^0_{mdi} – тесткейси які перетестовувати недоцільно, та δ^{fz}_{mdi} – які бажано, але не обов'язково перетестувати.

В деяких випадках неможливо точно задати ознаки ситуації, або ж для певних об’єктів, для яких задана ситуація, існують виключення. Тоді для формального визначення ситуації доцільно застосувати апарат неточних множин та апроксимувати популяцію об’єктів ситуації двома множинами.

3.4. Менеджмент знань про ситуації

Існує безліч методів ідентифікації проблемних ситуацій у складних технічних системах. Зокрема, найбільш відомими є кластерний аналіз, асоціативні правила тощо. Проте, незважаючи на різні підходи, щодо ідентифікації проблемних ситуацій, часто виникають труднощі при використанні наявних методів.

Отже, вирішення задачі ідентифікації ситуацій у системах із ситуаційною обізнаністю стикається з такими труднощами:

- Складність задачі менеджменту знань про ситуації.

Складність задач менеджменту знань про ситуації та їх моніторингу випливає зі складності самої предметної області, наявності великої кількості об’єктів та різноманітних залежностей між ними. Це ускладнює завдання визначення та збереження знань про ситуації, підтримку цілісності таких знань та уникнення протиріч та помилок.

- Значна кількість потенційно можливих ситуацій для кожного об’єкту.

Кількість ситуацій визначених для об’єкту моніторингу може бути значною. Відповідно, аналіз ситуацій шляхом простого перебору таких визначень призводить до нераціонального використання ресурсів.

- Нечіткість та неточність у визначенні ситуацій.

В кожний момент часу об’єкт може знаходитися у багатьох ситуаціях, які часто визначені неточно з можливими виключеннями, або ж різні ситуації для того самого об’єкту можуть специфікувати протирічиві дії.

- Залежність ситуацій від контексту.

Ситуація та відповідна ситуаційна модель часто відображає декілька об’єктів, сполучених відношеннями та визначається на атрибутах цих

об’єктів та відношень. Виявлення та формальне подання таких контекстно-залежних ситуацій є непростою задачею. Крім того, при ідентифікації ситуації необхідно приймати до уваги стан усіх об’єктів у її визначенні та стан їх відношень, що додатково ускладнює вирішення задачі.

Використання знань про предметну область поданих у формі онтології та онтологічних моделей для ідентифікації ситуацій має суттєві переваги порівняно з використанням таблиць, дерев рішень чи наборів правил. Зокрема, воно дає змогу зберігати та використовувати знання про предметну область та можливі ситуації в ній у цілісній формі з врахуванням взаємозалежностей між об’єктами та ситуаціями, поданими у формі відношень. Крім того, застосування онтологій для ідентифікації ситуацій надає додаткові можливості для завдання та опрацювання інформації про ситуації шляхом використання структурних особливостей та механізмів логічного виведення онтології [76, 77].

Формально, у межах онтології знання про ситуації зберігаються як нащадки окремого класу *Situation*. Водночас у описі ситуації (атрибут *DefinedFor*) є посилання на класи для яких така ситуація визначена. Це спрощує пошук ситуацій у процесі вирішення практичних задач, в яких необхідно знайти ситуацію, в якій може перебуває конкретний об’єкт певного класу.

Якщо $\overline{S} = \{S_1, S_2, ..., S_n\}$ – множина ситуацій, то визначена функція $F_{TS} : T \to \overline{S}$ яка відображає множину класів онтології у множину ситуацій. Ця функція дає змогу поділити множину ситуацій на підмножини, що відповідають класам онтології:

$$\overline{S} = \bigcup_{i=1}^{nt} S_{Ti} \quad . \tag{3.17}$$

Множини S_{Ti}, можуть перетинатися, тому що об’єкт певного класу може знаходитися у декількох ситуаціях.

3.4.1. Використання гранулярного комп'ютингу для ідентифікації ситуацій

Перспективним напрямом спрощення процесу менеджменту знань про ситуації є використання парадигми гранулярного комп'ютингу [78], тобто задання ситуацій для великих груп об'єктів. У випадку онтології, де класи утворюють ієрархію і атрибути класів успадковуються підкласами, застосування підходу гранулярного комп'ютингу передбачає задання ситуацій, якщо це можливо, для класів, що належать вищим рівням ієрархії. Визначення ситуації S_j містить атрибут *SDefinition* $-At_{def}$, в якому зберігається булева сигнатура Cs_j, який приймає істинне значення для об'єктів даного класу, які знаходяться у визначеній ситуації. Тобто, об'єкт $t_{ij} \in T_i$ знаходиться у ситуації S_{Ti} якщо $Cs_{Sti}(t_{ij}) = True$.

У найпростішому випадку, коли ситуація визначена станом об'єкту визначеного класу T_i, сигнатура Cs_j містить тільки атрибути цього класу:

$$CS_j = BooleanExpression(a_1, a_2, \ldots, a_n), \qquad (3.18)$$

де $\forall i: a_i \in At_i \in T_i$, $BooleanExpression(a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – це булевий вираз з аргументами$(a_1, a_2, \ldots, a_n)$.

3.4.2. Використання теорії неточних множин для ідентифікації ситуацій

В основі механізмів логічного виведення онтологічного моделювання лежить дескрипційна логіка, яка використовує апарат теорії множин для формування аксіом та конструювання нових класів онтології на основі існуючих [79-82]. Цей апарат доцільно використати для формування *ситуаційно- орієнтованих концептів онтології*. Такі концепти та відповідні їм класи онтології визначаються через визначення ситуацій та є підкласами класів онтології для яких діють такі ситуації. Прикладами таких ситуаційно-орієнтованих концептів є концепти «учасник зборів» або «порушник правил дорожнього руху» [83]. Визначення концептів онтології через ситуації дає

змогу не тільки обгрунтувати їх створення, але й знайти усі необхідні атрибути та відношення таких концептів.

Набір об'єктів (популяція) ситуаційного класу T_s, визначеного для класу T_i ситуацією S_{Ti} задається підмножиною об'єктів класу T_i для якої аксіома CS_{STi} ситуації S_{Ti} є конструктором класу.

$$\forall t_s: Cs_{STs}(t_S) = True, T_s \subseteq T_i. \quad (3.19)$$

Крім атрибутів та відношень успадкованих від старших класів ієрархії такі ситуаційно-орієнтовані класи онтології мають власні атрибути та відношення визначені у моделі ситуації. Використання ситуаційних концептів дає змогу збагатити онтологічну модель предметної області та використати логічне виведення для отримання та використання нових знань про ситуації.

З іншого боку, застосування механізмів логічного виведення на базі дескрипційної логіки дає змогу будувати складні ситуаційні концепти використовуючи базові операції теорії множин і, таким чином, розглядати та знаходити об'єкти які, наприклад, одночасно знаходяться у декількох різних ситуаціях.

На практиці ситуація часто визначається через відношення об'єктів декількох різних типів. Нехай для ситуації S_i ситуаційна модель містить множину класів онтології $\{T_1, T_2, \dots, T_k\}$сполучені відношеннями $\{R(T_i, T_j)\}$, де $i = 1 \div k - 1, j = i + 1 \div k$.

Кожен клас моделі T_i має набір атрибутів At_{Ti}, а кожне відношення $R(T_i, T_j)$ також характеризується набором атрибутів $At_{Ri,j}$. Тоді сигнатура, що визначає ситуацію s_i містить атрибути класів та відношень ситуаційної моделі:

$$CS_{Si} = BooleanExpression(a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (3.20)$$

де $\forall i$: $a_i \epsilon At_{Ti} \cup At_{Rij}$.

В деяких випадках неможливо точно задати ознаки ситуації, або ж для певних об'єктів, для яких задана ситуація, існують виключення. Тоді для

формального визначення ситуації доцільно застосувати апарат неточних множин та апроксимувати популяцію об'єктів ситуації двома множинами.

Нехай ситуація S^i визначена для певного класу онтології T^k з використанням булевої сигнатури Cs^i. При цьому деякі об'єкти, які підпадають під це визначення точно не відносяться до ситуації, або ж експерти мають сумніви щодо їх віднесення до цієї ситуації. У цьому випадку верхня апроксимація популяції ситуації буде визначена як підмножина об'єктів класу T^k для яких виконується Cs^i.

$$\overline{Po}(S^i) = \{t^k | t^k \in T^k, Cs^i(t^k) = True\}. \quad (3.21)$$

Для визначення нижньої апроксимації необхідно виокремити підмножину об'єктів, які не повністю відповідають ситуації. Така гранична підмножина $Po_B(S^i)$ визначається експертами шляхом перерахування об'єктів, що входять в неї. Тоді нижня апроксимація популяції ситуації S^i визначена формулою:

$$\underline{Po}(S^i) = \overline{Po}(S^i) - Po^B(S^i). \quad (3.22)$$

У частковому випадку, коли об'єкти, що не відповідають ситуації можуть бути визначені через значення атрибутів класу умовою $Cs^B(S^i)$ наприклад, коли ситуація визначена на рівні певного загального класу об'єктів, але не для всіх його підкласів, гранична підмножина визначається як:

$$Po^B(S^i) = \{t_k | t_k \in T_k, Cs_i^B(t_k) = True\}, \quad (3.23)$$

а нижня апроксимація визначається за формулою (3.22).

В процесі розробки методів ідентифікації ситуацій постає проблема складності задачі менеджменту знань. Саме тому, у роботі використано парадигми гранулярного комп'ютингу та неточних множин, що дасть змогу суттєво спростити вирішення задач менеджменту знань.

Висновки до розділу 3

1. У розділі розроблено методи ідентифікації проблемних ситуацій у системах підтримки прийняття рішень із використанням ситуаційної обізнаності для різних типів ситуацій.
2. Запропоновано методи опрацювання знань про ситуації, що базуються на використанні апарату неточних множин та підходу гранулярного комп’ютингу.
3. Подано методи опрацювання невизначеностей у системі із СО що дає змогу інтегрувати та повторно використовувати знання з метою зменшення впливу невизначеностей.

Результати розділу опубліковані у [2, 4, 7].

РОЗДІЛ 4
РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОБЛЕМНИХ СИТУАЦІЙ ГАЛУЗІ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У даному розділі для практичного застосування розроблених моделей та методів ідентифікації проблемних ситуацій обрано галузь тестування програмного забезпечення. Розроблено методи ідентифікації проблемних ситуацій у процесі онтологічного моделювання знань з метою підвищення якості процесу тестування шляхом ідентифікації та вчасного реагування на ситуації, що виникають у процесі тестування. Онтологічне представлення знань про предметну область дає змогу покращити визначення вимог до програмного забезпечення, підвищити їх якість і, таким чином, забезпечити зростання якості програмного забезпечення.

4.1. Характеристика галузі тестування програмного забезпечення

Стрімкий розвиток галузі програмного забезпечення та інформаційних технологій, створення нових та вдосконалення наявних технологій щодо побудови програмних систем, розширення сфери застосування та використання автономних систем підтримки прийняття рішень у сучасному світі зумовлюють паралельний розвиток усіх частин процесу побудови та впровадження програмного забезпечення. Підвищена складність та багатокомпонентність сучасних програмних систем вимагають спеціалізованого підходу для створення таких систем.

На сьогодні, основною вимогою до автоматизованих системи, програмного забезпечення є досягнення високого рівня надійності, що дає змогу їм ставати ефективним інструментом у світі сучасних технологій. За будь-яким дефектом розробленої системи можуть слідувати серйозні наслідки та втрати, що є неприпустимим у сучасному світі конкуренції.

Тому, саме тестування програмного продукту є одним і з методів забезпечення якості цього продукту [84, 85].

Жодна сфера діяльності в сучасному світі не може обійтися без комп'ютерів з різноманітним програмним забезпеченням. Комп'ютери та мобільні пристрої присутні в житті кожної сучасної людини. Стрімкий розвиток розробки програмного забезпечення зростає з кожним днем, як і зростають можливості розробленого програмного забезпечення. Разом з цим, стрімко зростають і вимоги користувачів до якості розробленого програмного забезпечння. Це демонструють світові лідери ІТ-індустрії, такі як Microsoft, Apple, Google тощо, у компаніях яких для забезпечення високої якості програмного забезпечення вже працює більше тестувальників ніж самих розробників програмного продукту (програмістів). В сучасник умовах стрімкого розвитку ІТ ринку тенденція забезпечення якості буде тільки зростати.

Тестування програмного забезпечення є важливою складовою розробки програмного забезпечення, оскільки спрямоване на перевірку програмного продукту, що розробляється і для якнайшвидшого пошуку помилок, що виникають при його розробці.

Галузь тестування програмного забезпечення безпосередньо пов'язана із його проблемами, адже вартість адмінстрування самого програмного продукту і вартість збитків, пов'язаних із неякісним програмним забезпеченням в рази перевищує саму вартість програмного забезпечення [86]. Тобто, на сьогодні, тестування програмного забезпечення є одиним із найбільш затратних етапів життєвого циклу продукту, оскільки близько 50% – 65% загальних витрат від вартості програмного забезпечення відводяться на його тестування [86].

Сфера тестування програмного забезпечення є однією із досить молодих професій, якої поки що не навчають в жодному навчальному закладі України. Світова статистика показує теж не найкращі результати: існує всього декілька університетів, у яких можна оволодіти навичками тестування

програмного забезпечення. Незважаючи на наявні проблеми, компетенті спеціалісти в цій галузі вкрай необхідні. Саме тому, галузь тестування програмного забезпечення на сьогодні є актуальною.

4.2. Онтологія предметної області

У роботі розроблено методи ідентифікації проблемних ситуацій у процесі онтологічного моделювання знань з метою підвищення якості процесу тестування шляхом ідентифікації та вчасного реагування на ситуації, що виникають у процесі тестування. Онтологічне представлення знань про предметну область дає змогу покращити визначення вимог до програмного забезпечення, підвищити їх якість і, таким чином, забезпечити зростання якості програмного забезпечення [87-89].

Використання онтологічного моделювання для подання та ідентифікації ситуацій також створює додаткові можливості та обмеження на вирішення задачі ідентифікації. Перевагою є здатність застосування логічного виведення та використання аксіом у процесі міркувань про ситуації [90]. Це відкриває перспективу розробки методів ідентифікації ситуацій, що базуються на логічному виведенні на основі інформації про поточний стан предметної області та знань про цю область.

Онтологія предметної області використовується для збереження сутностей та відношень галузі тестування програмного забезпечення та використовується для побудови правил щодо виявлення ситуацій.

Онтологія містить модель домену, представлену як таксономія класів [91, 92]. Це створює можливість для однозначної інтерпретації всіх об'єктів предметної області з інформаційної бази, визначати для них загальні атрибути та властивості. Система реагує на певний діапазон подій (ситуацій, що виникають) у зовнішньому світі, ідентифікує їх та створює нові або змінюючи існуючі факти про неї (здійснює логічне міркування).

Процес створення онтології розпочинається з аналізу предметної області складається з певних етапів [93], які подано на рис.4.1.

Рис.4.1. Процес створення онтології предметної області

Для створення онтології предметної області використано редактор онтологій Protégé [93]. Отже, після аналізу предметної області, важливим є виділення основних концептів(класів) та створення ієрархії. На рис. 4.2 показано додавання нової сутності:

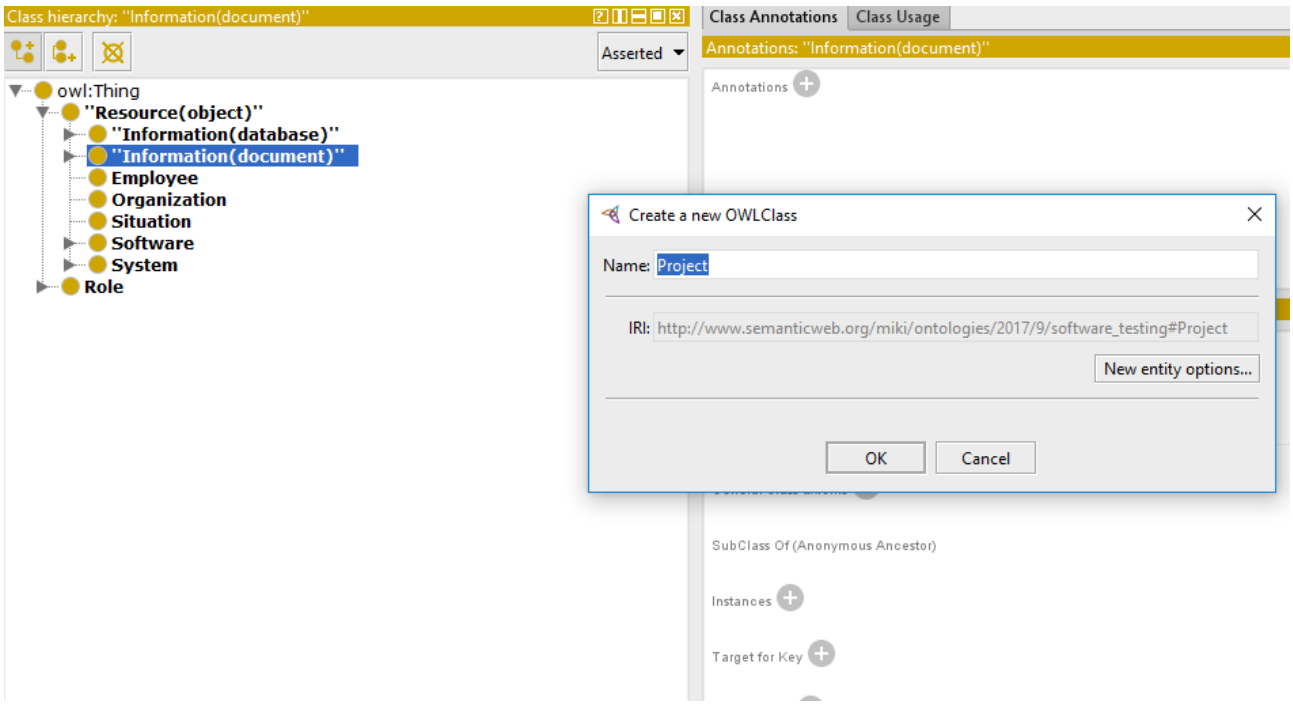

Рис.4.2. Процес створення сутностей предметної області

Як результат, створена онтологія предметної області галузі тестування (рис.4.3).

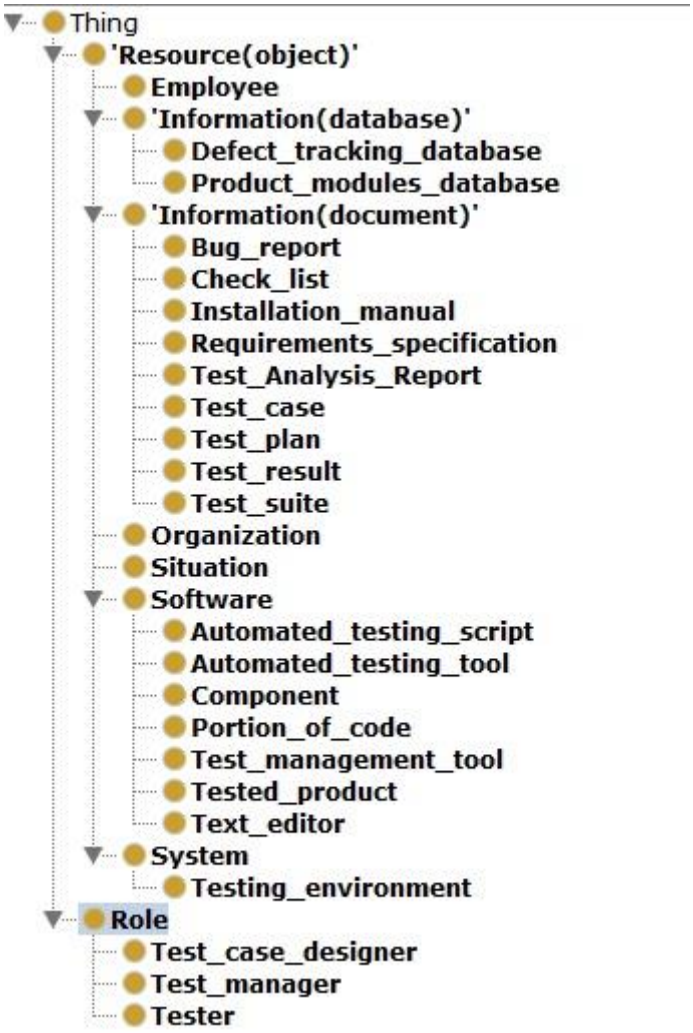

Рис.4.3. Онтологія предметної області

Дана онтологія містить такі сутності:

- Employee – у даній сутності зберігається інформація про працівників фірми;
- Information (database) – у даній сутності зберігається інформація щодо відповідних баз даних;
    - Defect tracking database (база даних відстеження помилок) – це база даних, що містить інформацію про виявлені помилки (дефекти);

    - Product modules database (база даних модулів продукту) – інформація про модулі системи, що тестується;
- Information (document)
    - Bug report (баг репорт) – технічний документ, який містить повний опис дефекту;
    - Check list (контрольний список) – документ, який описує що повинно бути протестовано;
    - Installation manual – інструкція, яким чином проінсталювати продукт;
    - Requirements specification (специфікація вимог) – спеціальний документ, що містить інформацію про те, як повинна себе поводити система, які функції виконувати, яке навантаження витримувати тощо;
    - Test Analysis Report – документ, що містить аналіз отриманих результатів;
    - Test case (тестовий випадок) – містить інформацію (сукупність кроків, конкретних умов і параметрів), яка є необхідною для перевірки реалізації продукту, що тестується;
    - Test plan (тест план) – це певний документ-стратегія, який складає керівник проекту та який містить весь об’єм роботи з тестування програмного забезпечення;
    - Test result – міститься інформація про результат тестування тест кейса;
    - Test suite – це набір тест кейсів;
- Organization
- Situation – використовується для збереження ситуацій, які ідентифіковано;
- Software

    - Automated testing script – це набір інструкцій для автоматичної перевірки певної частини програмного забезпечення;
    - Automated testing tools – програмне забезпечення, за допомогою якого фахівець з автоматизованого тестування здійснює створення, налагодження, виконання та аналіз результатів прогону тест скриптів;
    - Component – комплекс компонентів (модулів) з яких складається система;
- Portion of code – використовується при посиланні на фрагмент, що містить помилку;
    - Test management tools – це інструменти керування процесом тестування програмного забезпечення;
    - Tested product – певний програмний комплекс, який тестується;
    - Text editor – це певні текстові редактори, що використовуються для збереження різної інформації, наприклад тестового плану тощо;
- System
    - Testing environment – середовище, в якому буде здійснюватися перевірка коректної роботи продукту;
- Role
    - Test case designer – створює тест кейси;
    - Test manager (керівник проекту) – складає тест план і визначає що і як тестувати;
    - Tester – тестує тест кейси.

Наступним кроком є створення відношень (відношення можуть бути двох типів: відношення між класами та відношення між типами даних) [94, 95]. Наприклад, сутність Тестер (Tester) пов’язана із сутністю Тест-кейс (Test_case) відношенням «тестує», або, наприклад, тест-кейс має відношення типів даних «має назву» (тип даних string) чи «має оцінку тривалості

виконання» (тип даних int) тощо. На рис.4.4 показано створення відношення «тестує» для тестера.

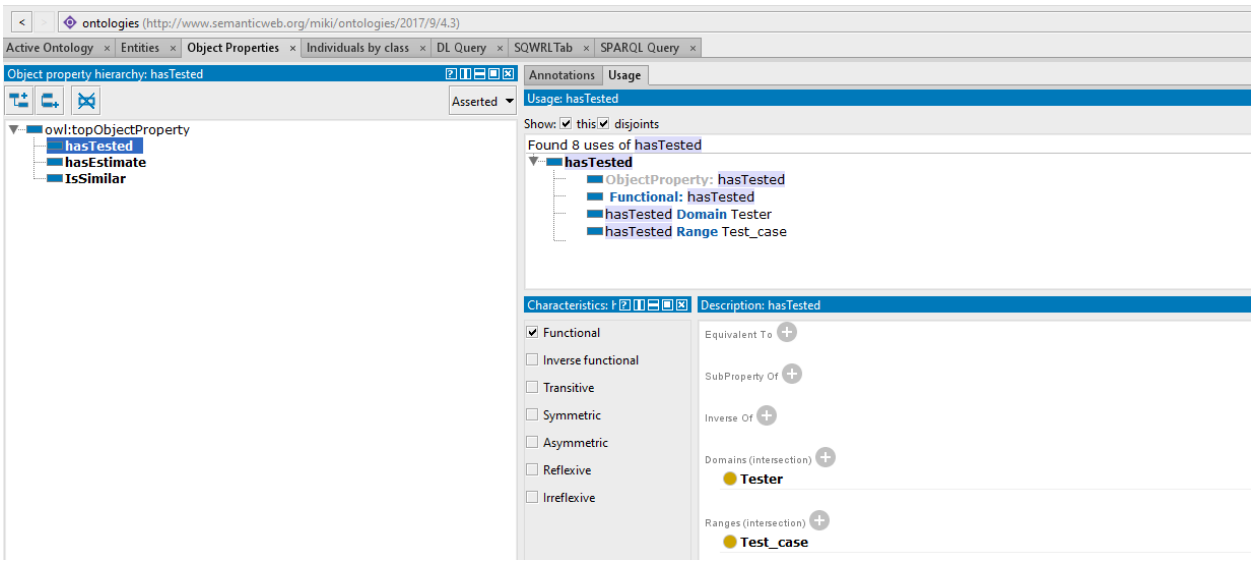

Рис.4.4. Створення відношень між сутностями

4.3. Архітектура системи ідентифікації ситуацій

Система ідентифікації ситуацій використовує онтологічне моделювання предметної області та на його основі, за допомогою логічних правил, здійснює висновки про поточні ситуації.

Для створення онтології предметної області було використано відомий редактор онтологій Protégé. Protégé – це інструмент для конструювання онтології певної галузі, а також за його допомогою можна створювати логічне міркування [96-99].

Архітектура розробленої системи дає змогу краще зрозуміти як відбувається ідентифікація ситуацій в системі і як взаємодіють в ній використані програмні модулі та плагіни (рис.4.5).

Центральним компонентом архітектури системи є інструментальний засіб для онтологічного моделювання – Protégé. Цей програмний засіб підтримується мовою програмування Java та використовує інтерфейс прикладного програмування (API – Application Programming Interface), який дозволяє розробникам вбудовувати компоненти, що доповнюють та змінюють функціональні можливості редактора). Також за користувацький

інтерфейс та його додаткові можливості відповідає компонента Protégé GUI. Програмний засіб Protégé містить онтології, що були створені, а також OWL файли (OWL – Web Ontology Language – мова опису Web-онтологій).

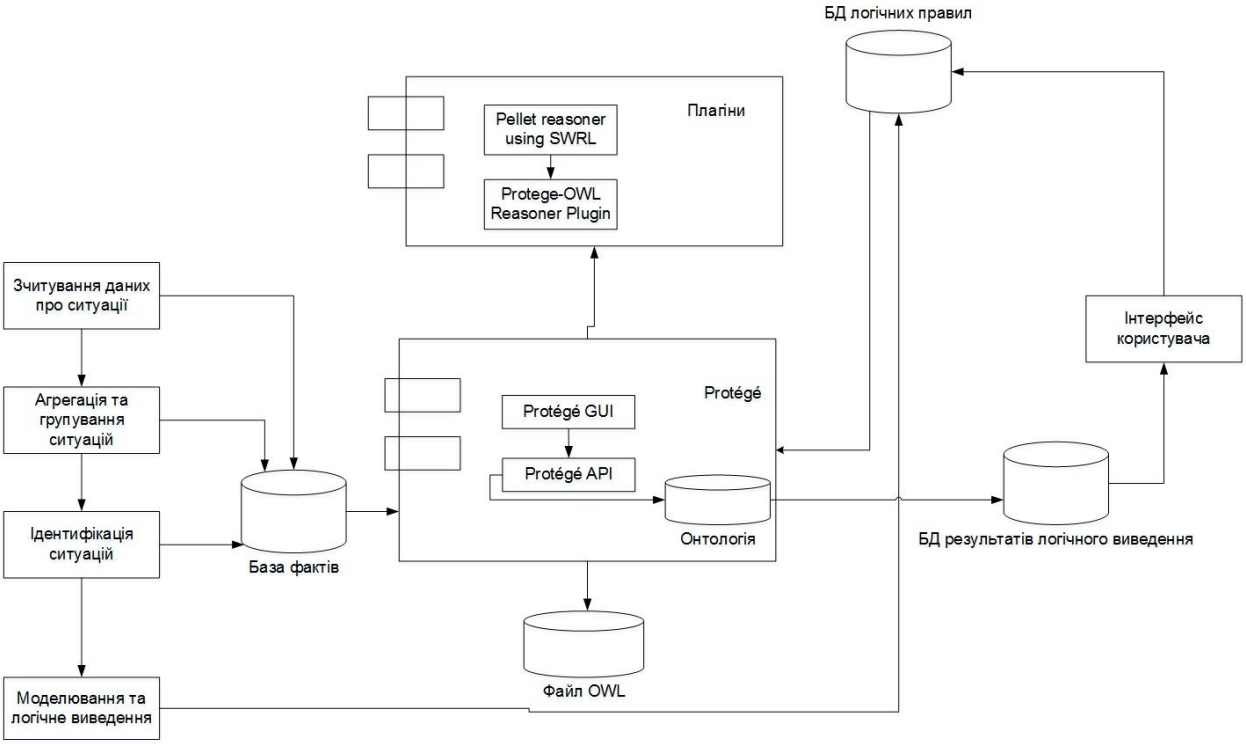

Рис.4.5. Архітектура системи

Для розширення функціональних можливостей редактора Protégé було використано два плагіни, за допомогою яких можна здійснювати логічне міркування з використанням SWRl, базуючись на OWL, а також будуючи правила використовувати дескриптивну логіку.

Система містить базу фактів, у якій зберігаються:

- дані про ситуацію, яку потрібно ідентифікувати;
- агрегація та групування. Оскільки, як зазначалось, у реальному масштабі часу існують різні типи ситуацій, система після ідентифікації поточної ситуації повинна віднести її до певного класу ситуацій;
- ідентифікації ситуацій. База даних повинна зберігати ситуації, які відбувались з метою повторного їх використання та уникнення помилок в майбутньому.

Також у системі наявні бази даних:

- логічних правил. Тобто, це база даних, що містить логічні правила для моделювання ситуацій.
- результатів логічного виведення. Ця база даних зберігає результати здійснення логічних міркувань над ситуаціями.

Робота системи починається з того, що наявна певна ситуація, що виникає під час тестування програмного забезпечення. Система зчитує цю ситуацію та відносить її до певного класу. Після цього, за допомогою логічних правил, система робить певний висновок про те, чи має місце дана ситуація. Всі дані заносяться в базу даних.

Блок-схема алгоритму роботи системи подана на рис.4.6.

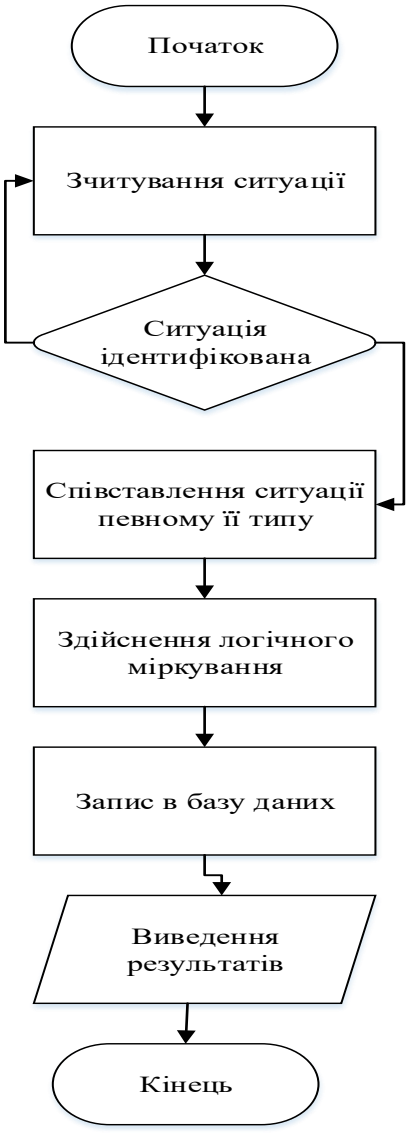

Рис.4.6. Блок-схема алгоритму роботи системи

Розробка будь-якого програмного забезпечення починається із аналізу вимог до його функціональності [101, 104-106]. Під час такого аналізу виявляють користувачів розроблюваного програмного забезпечення і перелік основних аспектів його поведінки в процесі взаємодії із користувачами та системою.

У процесі створення програмної системи ідентифікації ситуацій використано метод моделювання на базі UML: подано діаграму використання (use case) розробленої системи, яка є корисною для визначення переліку можливостей, які повинна мати система, що проектується (рис.4.7) та діаграму діяльності, на якій буде зображено послідовність дій в системі на основі діяльностей (рис. 4.8):

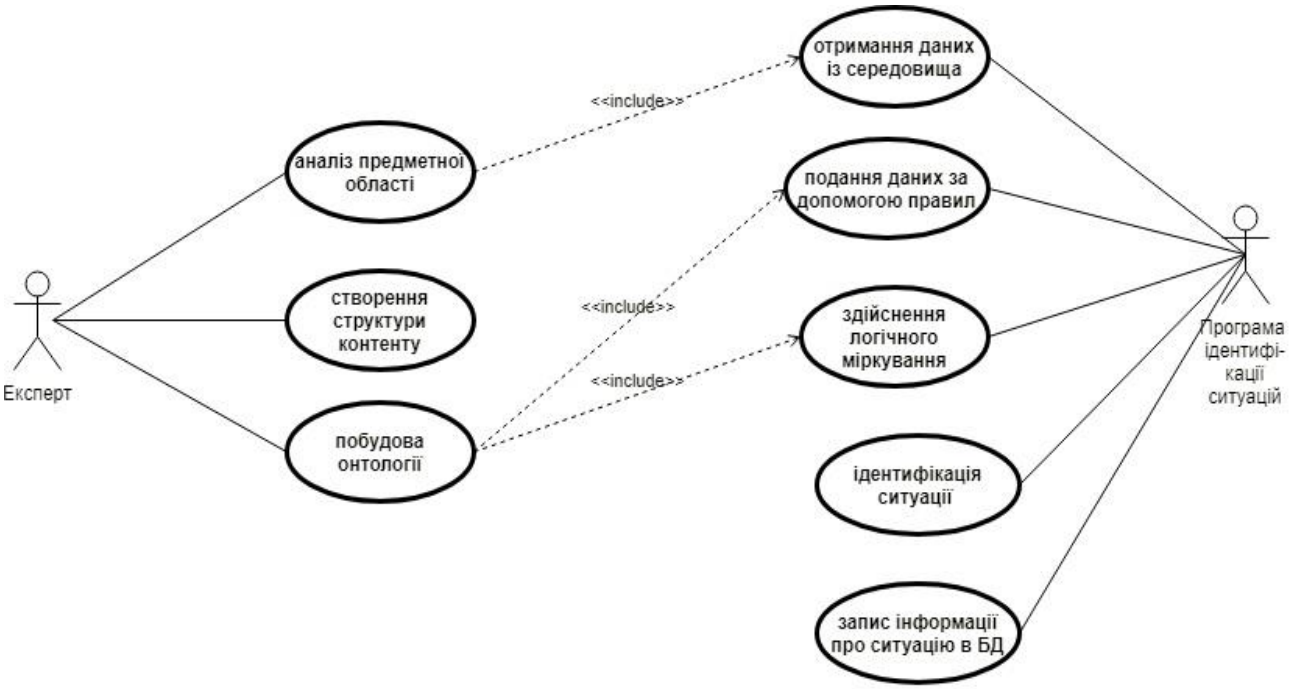

Рис. 4.7. Діаграма використання системи ідентифікації ситуацій

Як показано на рис.4.7, акторами є:

- експерт, що аналізує предметну область;
- програма ідентифікації ситуацій.

Прецедентами (варіантами використання) для експерта є:

- аналіз предметної області – експерт аналізує дані предметної області;

- створення структури контенту – створення ієрархічної структури предметної області та встанолення зв’язків між ними;
- побудова онтології – на основі наявних даних експерт створює онтологію за допомогою редактора онтологій Protégé.

Прецедентами (варіантами використання) для програми ідентифікації ситуацій є:

- отримання даних із середовища – система отримує дані, визначені експертом;
- подання даних за допомогою правил – подання даних у прийнятному для онтологічного моделювання виді, тобто за допомогою правил, що дасть змогу здійснювати логічне міркування;
- здійснення логічного міркування – здійснено логічне міркування із використанням SWRl;
- ідентифікація ситуацій – за допомогою міркування, система ідентифікує поточну ситуацію та відносить її до певного класу;
- запис інформації про ситуацію в базу даних – вся інформація про ситуації зберігається в базі даних, що дає змогу повторно використовувати дані.

Діаграма діяльності системи ідентифікації ситуацій моделює поведінку проектованої системи [105]. Одна діяльність відповідає певному стану системи. Дана діаграма зосереджує увагу на послідовності виконанні дій, які виконує дана система з метою кращого розуміння алгоритму роботи системи. Як показано на рис.4.8, спочатку дані надходять у систему для ідентифікації певної ситуації. Після цього здійснюється перевірка, чи дані внесено в базу знань. Перевірка містить два варіанти розгортання подій:

1. Якщо дана ситуація вже відбувалась, то інформація про неї вже міститься у базі знань. Відповідно, відбувається повторне використання знань (тобто витягування вже існуючої інформації з бази

знань). Як результат, ситуація ідентифікована і програма завершує роботу;

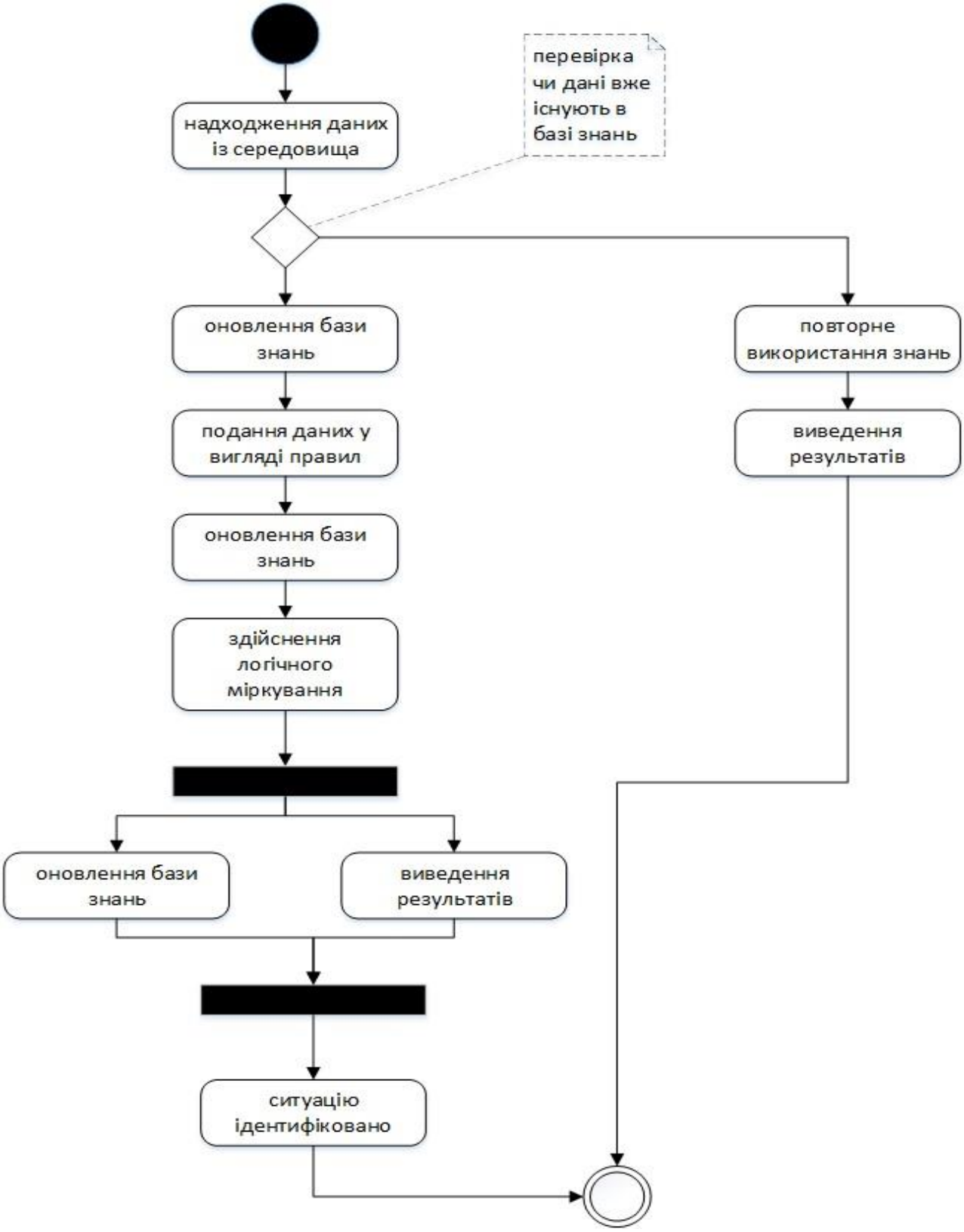

Рис. 4.8. Діаграма діяльності системи ідентифікації ситуацій

2. Якщо ситуація не відбувалась, база знань оновлюється новими фактами, що надійшли із середовища. Після цього інформація про поточну ситуацію подається у вигляді правил, для того щоб можна було здійснити логічне міркування. База знань знову оновлюється новими фактами. Після цього відбувається процес логічного міркування і результати виводяться на екран та записуються у базу фактів. Отже, ситуація ідентифікована і програма завершує свою роботу.

Одним із основних способів подання онтології предметної області, є її графічне подання у вигляді графу [107]. На рис. 4.9 подано онтологію галузі тестування програмного забезпечення у вигляді графу.

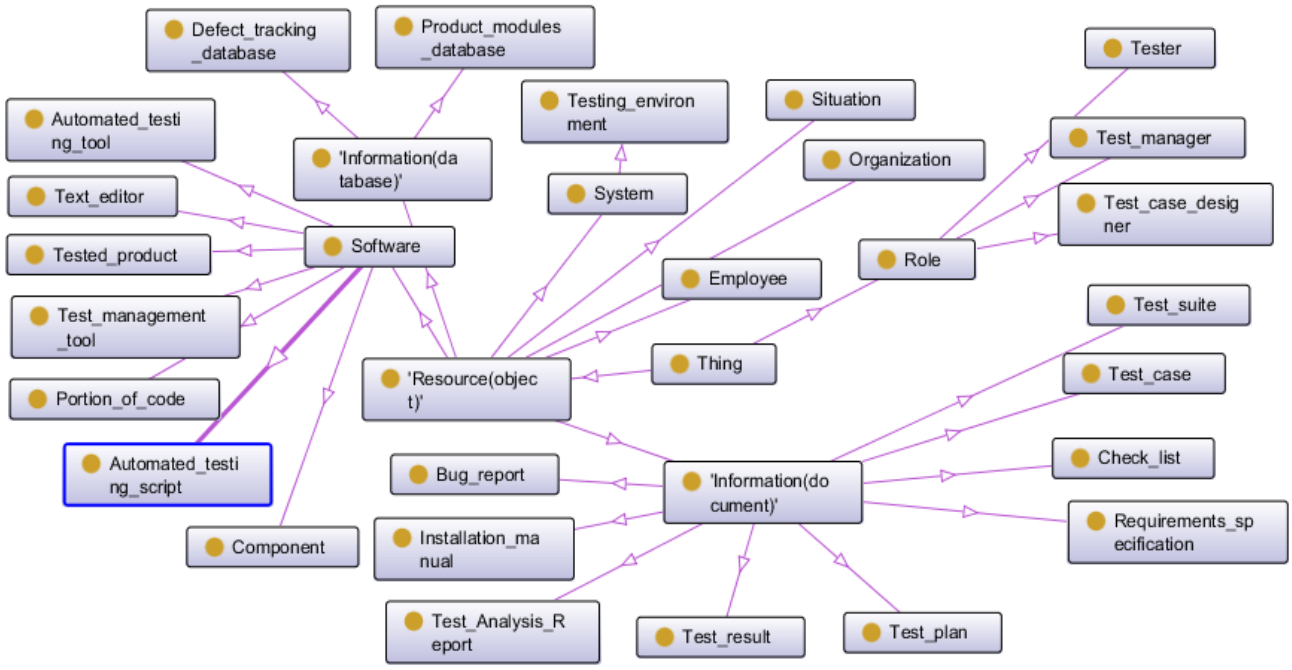

Рис.4.9. Подання онтології предметної області у вигляді графу

Основним способом подання знань про ситуацію в роботі є ситуаційна модель, яка може бути подана у вигляді графу з такими типами вершин:

- сутність;
- відношення;

- дія;
- ситуаційний концепт.

Таку ситуаційну модель можна подати у вигляді кортежу:

$$\left\langle T_i, R\left(T_i, T_j\right), Ac, Tc^* \right\rangle. \quad (4.1)$$

Розробка методів подання та опрацювання знань із використанням СО у сфері тестування програмного забезпечення є перспективним напрямком роботи, оскільки дає змогу формалізувати знання експерта та повторно їх використовувати з метою уникнення помилок у майбутньому та створення більш якісного програмного забезпечення.

Ситуаційну модель процесу тестування подано на рис. 4.10.

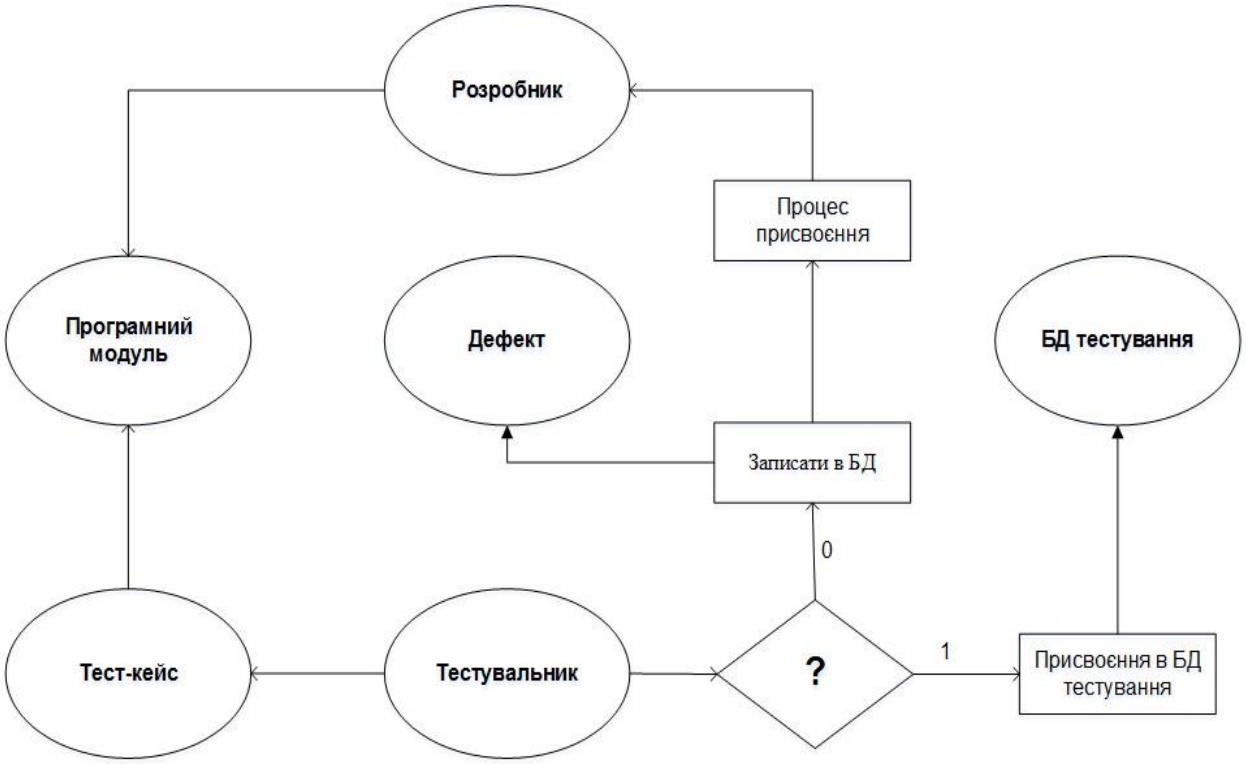

Рис.4.10. Ситуаційна модель процесу тестування

4.4. Ідентифікація ситуацій з використанням SQWRL

Для створення онтології предметної області використано формальну мову OWL, яка є розширенням RDF/RDFS. Формальною основою мови опису OWL-онтологій є дескриптивна логіка, яка дає змогу здійснювати логічне виведення [108-109].

Для здійснення запитів до створеної онтології існують різні мови запитів, а саме: OWL-QL, SQWRL, SPARQL Query, DL Query. У роботі використано мову запитів SQWRL.

SQWRL (Semantic Web Rule Language) – це мова запитів, що використовується для вираження правил і використовує як основу мову запитів SWRL. Проте, на відміну від SWRL, яка має певні обмеження, SQWRL володіє більшими функціональними можливостями [108].

Розроблена система виявлення ситуацій працює як консультант, який бачить загальну картину та містить інформацію про попередні тестування. Вона виявляє типові паттерни, подані ситуаціями та повідомляє про це керівника відділу якості, топ-менеджера та розробників.

Вона також працює для топ-менеджерів для виявлення катастрофічних ситуацій на проекті, тому що часто керівник проекту сподівається що якось буде, або просто не бачить загальної картини.

Користувачі системи: Керівник відділу якості, топ-менеджер, керівник проекту.

Вхідні дані для роботи беруться з бази даних тестування та онтології.

Результат роботи: виявлення типових ситуацій та повідомлення користувачів.

Приклади ситуацій на тестуванні (фрагменти), які відповідають розробленим методам виявлення:

а) Недостатньо часу на проведення тестування перед релізом

Дано:

- Дата релізу.
- Набір тесткейсів для перетестування.
- Кожен тесткейс має оцінку тривалості виконання.
- Кількість тестерів.
- Бюджет часу кожного тестера, або призначені тесткейси.

Процедура: рахується час необхідний для тестування та порівнюється з тим, що залишилося.

Дія: повідомлення про ризик не виконання, визначення перевантажених тестерів.

П1.Множина непротестованих тесткейсів:

TestCase(?t)^notTested(?t,?NotTestedStatus) → NotTested(?t)

У базі знань містяться тесткейси, які вже були протестовані і які не є ще протестовані. В результаті виконання цього правила, виведено ті тесткейси, які не є протестованими (рис. 4.11).

Рис.4.11. Результат виконання правила

П2. Загальний час на тестування відповідно до оцінок

NotTested(?t)^HasEstimate(?t,?y^^xsd:time) → query:sum(?y^^xsd:time) → TestLoad(?z^^xsd:time)

П3. Кількість днів перед релізом:

rld^^xsd:date – release date

today^^xsd:date – today date

swrlb: subtractDayTimeDurations(rld, today)->DaysLeft^^xsd:integer

П4. Множина тестерів та їх бюджет часу за день:

Tester(?p)^WorkingOnProject(?p,OurProject)->OurTesters(?p)

OurTesters(?p)^HasTimeBudget(?p,?bd^^xsd:time)->query:sum(?bd)->TestBudgetDay^^xsd:time

П5. Кількість днів, необхідних тестерам для перетестування

П6. Ідентифікація ситуації.

б) Не протестовані вимоги замовника. Або ж відсутні тесткейси для певних вимог замовника.

Дано:

- Набір тесткейсів. Тесткейс може бути асоційовано з вимогою Замовника, або дефектом.

- Набір вимог замовника.

Процедура: Перевірити, чи усі вимоги мають асоційовані тесткейси. Перевірити, чи всі ці тесткейси дійсно пройшли. Виявлення ситуації проводиться на стадії фінального тестування, а також, щоб повідомити про покриття вимог тесткейсами.

Дія: повідомити керівника проекту та QA менеджера.

П1. Перевірити, чи усі вимоги мають асоційовані тест-кейси

Requirement(?rq)^IsTestedByTestCase(?rq,?t)ºsqwrl:makeSet(?srq,?t)^sqwrl:isEmpty(?srq)->ReqNotTested(?rq)

П2. Надіслати повідомлення, що вимога не тестується

Requirement(?rq)^ ReqNotTested(?rq) ^IncludedInProject(?rq,?prj)^ ProjectHasManager(?prj,?pm)-> SendMessage(?pm, ^^xsd:ReqNotTested).

в) Неправильні оцінки тривалості тестування. (нечіткі ситуації)

Дано: Тесткейс з вказівкою на аналогічні тесткейси у минулому. Середній реальний час їх тестування у минулому.

Процедура: порівняти оцінку з середнім часом

Дія: вказати якщо є значні відхилення

П1. Визначити групу тест-кейсів аналогів даного тест-кейсу

TestCase(?t)^IsSimilar(?tc)-> SimilarTestCases(?t)

П2.Знайти середній час виконання аналогічного тест кейсу.

SimilarTestCases(?t)^TestingTime(?t,?tti)->sqwrl:avg(?tti)->
AverageTestingTime(?tti)

П3. Ідентифікувати ситуацію якщо середній час виконання перевищує оцінку більш ніж на 30%, та 50%

TestCase(?t) ^ HasEstimate(?t,?est) ^ HasAverageTestingTime(?t,?tti)
^swrlb:multiply(?ttr,?tti, 1.3) ^ swrlb:greaterThan(?est,?ttr)->
SmallErrorInEstimate(?t,?est)-> WrongEstimate(?t,?est)

TestCase(?t) ^ HasEstimate(?t,?est) ^ HasAverageTestingTime(?t,?tti)
^swrlb:multiply(?ttr,?tti, 1.5) ^ swrlb:greaterThan(?est,?ttr)->
LargeErrorInEstimate(?t,?est)-> WrongEstimate(?t,?est).

П4. Надіслати попередження про помилкове оцінювання

TestCase(?t)^ WrongEstimate(?t,?est) ^ SmallErrorInEstimate(?t,?est)^
AssignedQA(?t,?qm)-> SendMessage(?qm, ^^xsd:SmallError)

TestCase(?t)^ WrongEstimate(?t,?est) ^ LargeErrorInEstimate(?t,?est)^
AssignedQA(?t,?qm)-> SendMessage(?qm, ^^xsd:LargeError)

г) Автоматизоване тестування: класифікація збоїв та реакції. Кого включати у список розсилки?

Дано: скрипт автоматизованого тестування, який виконується щоночі.

Процедура: Аналізують помилки, які виникли підчас виконання скрипту та в залежності від цього формують список розсилки результатів.

- успішне виконання – повідомити QA менеджера;
- скрипт не запустився, або ж впав до початку виконання тесткейсів – (QA менеджера, розробник скрипта);
- скрипт виявив, що програма не запускається та закінчується аварійно (QA менеджер, Project Manager);
- скрипт виявив відхилення у певних модулях. (QA менеджер, розробники модулів).

д) Відхилення від графіку проведення тестувань (врахування моделі процесу, залежність ситуації від стадії процесу)

Дано: план тестування з проміжними етапами та видами тестування. Набір тесткейсів та стан їх тестування.

Процедура: система визначає ідеальний стан тестування на сьогоднішню дату в контексті загального плану виконання проекту, та знаходить відхилення від ідеального плану.

Дія: повідомити QA менеджера

є) Якщо отримано рішення клієнта про зупинення розробки то припинити тестування також (залежні ситуації).

Дано: повідомлення клієнта про призупинення розробки.

Процедура та дії:

- припинити розробку;
- припинити тестування та розробку скриптів для автоматизованого тестування;
- перекинути ресурси на інший проект

ж) Визначення тесткейсів для тестування (гранулярний підхід та опрацювання виключень).

Дано: модифіковано певний програмний модуль продукту. Множина тесткейсів. Наявні ресурси.

Процедура: відібрати усі тест-кейси пов’язані зі зміненим модулем (гранулярний підхід). В залежності від обмежень ресурсів виключити з плану тестувань косметичні, низькопріоритетні тесткейси.

Дія: сформувати план інтеграційного тестування та передати його QA менеджеру.

4.5. Порівняння функціональних можливостей розробленої системи з наявними фреймворками

Для визначення переваг та недоліків розробленого підходу з існуючими фреймворками побудови інтелектуальних систем із ситуаційною обізнаністю, здійснено їх порівняння.

В результаті аналізу існуючих фреймворків було визначено такі основні характеристики, за якими і здійснювалося порівняння:

- повторне використання знань – дана характеристика використовується для збереження інформації про ситуації, що відбувались у минулому, з метою врахування помилок і уникнення повторного їх використання в майбутньому;
- врахування історії – дана характеристика використовується для визначення історії станів у різні моменти часу системи, оскільки

поведінка об’єкта – це складний процес, на який впливають різноманітні стани в різний момент часу;

- логічне виведення – дана характеристика використовує логіку для відслідковування різноманітних відношень між сутностями, що дає змогу вирішити завдання класифікації даних;
- використання правил – дана характеристика використовується для дослідження взаємозв’язку між подіями, що відбуваються із застосуванням логічних правил;
- часово-просторові – дана характеристика використовується для часово-просторових систем (рухомих систем), для яких, відповідно, змінюється стан із врахуванням простору та часу;
- міркування на основі подібностей – дана характеристика використовується для демонстрації ефективності розробленої системи, тобто за допомогою певної міри, співставляють отримані результати із певними шаблонними показниками;
- здатність навчатися – характерна для системи, яка використовує різні алгоритми машинного навчання, що орієнтовані, в даному контексті, на самостійне навчання. Тобто, як правило, ми маємо велику кількість даних, і на основі певного методу, «навчаємо» вибірку вхідних даних;
- підтримка різних форм міркувань – дана характеристика орієнтована на використання в межах єдиної системи різних форм міркувань, наприклад, логічних міркувань, причинно-наслідкових міркувань, міркувань в умовах невизначеності тощо, що дає змогу працювати з різними типами даних;
- спрощення процесу ідентифікації – дана характеристика орієнтована на використання різних методів з метою спрощення процесу ідентифікації ситуації та менеджменту знань про такі ситуації;
- нечіткість та неповнота даних – в реальному світі дані, отримані із сенсорів можуть бути нечіткими (неможливо точно віднести до

певного класу) чи неповними (відсутні певні дані, що унеможливлює точну їх класифікацію);

- врахування контексту – дана характеристика зосереджена на використання контекстної інформації для того, щоб прийняти правильні рішення, оскільки при розробці автоматизованих систем часто виникає питання про те, як потрібно описати і відобразити певну ситуацію, щоб система могла її ідентифікувати і чи потрібно описувати тільки поточну ситуацію чи також розглядати її попередні стани, чи можна інформацією, яка є неважливою, знехтувати. Тобто, врахування контексту дає змогу адаптуватись системі до певних характеристик середовища та потрібної інформації.

Отже, за цими характеристиками, було здійснено порівняльний аналіз таких існуючих фреймворків побудови інтелектуальних систем із ситуаційною обізнаністю:

1. Фреймворк із використанням часової логіки як методу дослідження, запропонований автором Jaroucheh [109].

Основною ідеєю запропонованого фреймворку є те, що на основі інформації про стан відповідного процесу із застосуванням певного методу видобування знань (mining algorithms) отримується модель процесу (збираючи існуючі контекстні стани журналів). Точність сформованої моделі залежить від кількості розглянутих станів та обраного алгоритму видобування даних [109].

Даний фреймворк відповідає таким трьом вищепереліченим характеристикам:

- врахування історії – при побудові моделі процесу використовує так званий журнал (log), який містить стани поточної ситуації у різні моменти часу і дає змогу отримати загальну картину процесу та зрозуміти поведінку об’єкта;

- врахування контексту – врахування інформації, що орієнтована на стан середовища та нехтування тією інформацією, що на думку розробника, є неважливою для ідентифікації ситуації;
- врахування нечіткості та неповноти даних – враховує те, що дані, отримані із середовища можуть бути неповними та нечіткими і не всі стани ситуації, що ідентифікується, можна точно описати. Тобто, у цьому фреймворку ідентифікуються нечіткі ситуації – коли характеристики ситуації можуть не зовсім співпадати з шаблоном (є відхилення, які система вважає незначними).

2. Фреймворк із використанням онтології як методу дослідження, запропонований автором Baumgartner [39].

Основною ідеєю цього фреймворку є використання онтології базового рівня, в якій реалізовано базові мереотопологічні відношення та зовнішніх баз знань, де зберігається інформація щодо предметної області для часово-просторових систем [39].

Даний фреймворк відповідає таким трьом характеристикам:

- повторне використання знань – використання онтології та зовнішніх баз знань, де зберігається інформація щодо предметної області та повторне її використання;
- логічне виведення – використання логічного виводу на базі правил із використанням мов OWL та DL;
- часово-просторові – використання просторово-часових базових зв'язків між спостережуваними реальними об'єктами;

    спрощення процесу ідентифікації – використання базових відношень як спрощення ідентифікації за рахунок повторного використання цих базових відношень у подані складних ситуацій та відношень.

3. Фреймворк із використанням нейронних мереж як методу дослідження, запропонований автором Brannon [110].

Автор [110] використовує штучні нейронні мережі, що базуються на теорії адаптивного резонансу. Підхід, запропонований автором, полягає у використанні штучних нейронних мереж для навчання вибірки даних та використання відповідної наявної інформації без втручання людини-оператора.

Даний фреймворк відповідає тільки одній характеристиці:

- здатність навчатися – фреймворк складається з трьох рівнів, тобто поєднує в межах однієї системи три різні підходи машинного навчання та дає змогу опрацьовувати велику кількість даних, що здатні навчатися.

4. Фреймворк із використанням міркування на основі прецедентів (CBR – case-based reasoning) як методу дослідження, запропонований автором Nwiabu [111].

Основна ідея даного фреймворку полягає у використанні міркування на основі прецедентів, що дає змогу зрозуміти поточну ситуацію порівнявши її з подібною ситуацією, яка відбулась у минулому [111].

Даний фреймворк відповідає таким характеристикам:

- повторне використання знань – наявна бібліотека ситуацій (Case-based situation libary), яка містить ситуації, що відбувалися у минулому та їх рішення;
- врахування історії – для зберігання історії станів у даному фреймворку існує певна компонента – стан середовища (State of the environment), яка накопичує сигнали про поточну ситуацію та надсилає її до іншої компоненти (Perception component);
- міркування на основі подібностей – використовується функція *f(x)*, яка знаходиться в межах [0; 1] і на її основі, обчислюється загальна оцінка ситуації: найбільш важливі характеристики враховуються, а ті, які є менш важливі, опускаються;
- врахування контексту – дає змогу системі адаптуватись відповідно до конкретних потреб окремого оператора, оскільки ситуаційна

обізнаність може мати різні значення для різних операторів у тому ж середовищі.

5. Фреймворк із використанням графу як методу дослідження, запропонований автором Tarapata [112].

Основна ідея фреймворку полягає у використанні багатокритеріальних зважених графів подібності та на основі шаблонів ситуацій прийняття рішень та поточної ситуації прийняття рішення шукається найбільш подібна шаблонна ситуація, яка міститься у базі даних [112].

Даний фреймворк відповідає таким характеристикам:

- Повторне використання знань – повторне використання знань, поданих шаблонами.
- міркування на основі подібностей – у даному фреймворку представлено підхід, що поєднує структурні та неструктурні подібності між графами. Подано міру обчислення подібності у зваженому графі.

6. Фреймворк із використанням асоціативних правил як методу дослідження, запропонований автором Feng [113].

Даний фреймворк складається із двох компонент: ситуаційної моделі та агентів сутностей. Ситуаційна модель базується на класичній моделі Ендслі, що складається з трьох рівнів [19], проте додатково ще містить модель місцевості (Terrain model). Агенти сутності враховуючи контекст користувача, забезпечують його інформацією про поточну ситуацію [113].

Даний фреймворк відповідає таким характеристикам:

- використання правил – за допомогою виводу на основі правил, агенти сутностей забезпечують класифікацію даних та рекомендації щодо дій пов’язаних із підтримкою прийняття рішень;
- врахування контексту – запропоновано загальну ситуаційну модель, яка забезпечує операторів інформацією за допомогою агентів сутностей, які існують для кожного конкретного оператора окремо. Агенти сутностей витягують інформацію, що є релевантною відповідно до контексту кожного користувача.

7. Фреймворк із використанням онтології як методу дослідження, запропонований автором Jousselme [114].

Основна ідея фрейворку полягає у використанні онтології, яка яка базується на URREF (uncertainty representation and reasoning evaluation framework), що дає змогу зберігати інформацію про різні типи невизначеностей та їх оцінку [114].

Даний фреймворк відповідає таким характеристикам:

- повторне використання знань – використання онтології для представлення невизначеності, яка базується на URREF та побудова додаткових елементів, дає змогу зберігати дані про невизначеність та повторно їх використовувати;
- нечіткість та неповнота даних – врахування різних типів невизначеності та їх представлення, а також міркування з використанням невизначеності за допомогою фреймворку URREF.

8. Фреймворк із використанням графу як методу дослідження, запропонований автором Nagi [115].

Основна ідея фреймворку полягає у тому, що дані подано за допомогою нечіткого графу. Нечіткі дані, отримані при спостережені злагоджуються та співставляються з графовим шаблоном, вказуючи на невизначеність у ситуації [115].

Даний фреймворк відповідає тільки одній характеристиці:

- нечіткість та неповнота даних – використання нечітких графів для визначення невизначеності в поточній ситуації.

9. Фреймворк із використанням онтології як методу дослідження, запропонований автором Waltenegus [116].

Основна ідея фреймворку полягає у використанні відомого методу дослідження – онтології. У роботі створено онтологію, що описує систему та сервери та використано дескрипційну логіку для ідентифікації ситуації. Використання дескрипційної логіки дає змогу працювати з неповними та нечіткими даними [116].

Даний фреймворк відповідає таким характеристикам:

- повторне використання знань – використання онтології для збереження інформації про систему та ситуації, що виникають та можливість повторного їх використання;
- логічне виведення – використання дескрипційної логіки для ідентифікації ситуацій за допомогою мови опису онтологій OWL;
- нечіткість та неповнота даних – дає змогу враховувати нечіткість та неповноту даних за допомогою побудови аксіом, використовуючи мову опису онтологій OWL.

10. Фреймворк, розроблений у дисертації базується на онтології та алгебрі систем як методах дослідження.

Основна ідея розробленого у роботі фреймворку полягає у використанні онтології, для подання предметної області та розробленні формальної моделі на базі алгебри систем, що дає змогу в межах єдиної системи поєднувати різні методи ідентифікації ситуацій.

Розроблений фреймворк відповідає таким характеристикам:

- повторне використання знань – використання онтології для подання предметної області та зберігання інформації про ситуації;
- врахування історії – використання підходу інтерпретованих систем для подання часової динаміки та розумування;
- логічне виведення – здійснено логічне міркування з використанням SWRl, базуючись на OWL;
- використання правил – побудова правил із використанням дескриптивної логіки;
- підтримка різних форм міркувань – розроблення формальної моделі подання знань про ситуації, яка дає змогу реалізувати моделювання, ідентифікацію та міркувати про ситуації для різних форм подання ситуацій та підтримує різні види міркувань;

- спрощення процесу ідентифікації – використання гранулярного комп’ютингу для задання ситуацій для великих груп об’єктів та апарату неточних множин у випадку, коли ознаки ситуації неточно задані.
- нечіткість та неповнота даних – врахування нечіткості та неповноти даних, моделювання процесів прийняття рішень в нечітких умовах.

Результати, отримані шляхом аналізу функціональних можливостей існуючих фреймворків, зведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Порівняння функціональних можливостей фреймворків із використанням ситуаційної обізнаності

Автори	**Повторне використання знань**	**Врахування історії**	**Логічне виведення**	**Використання правил**	**Часово-просторові**	**Міркування на основі подібностей**	**Здатність навчатися**	**Підтримка різних форм міркувань**	**Спрощення процесу ідентифікації**	**Нечіткість та неповнота даних**	**Врахування контексту**
Jaroucheh (Часова логіка)		+								+	+
Baumgarner (Онтології)	+		+		+				+		
Brannon (Нейронні мережі)							+				
Nwiabu (Міркування на основі прецедентів)	+	+				+					+
Tarapata (Граф)	+					+					
Feng (Ассоціативні правила)				+							+
Jousselme (Онтології)	+									+	
Nagi (Граф)										+	
Waltenegus (Онтології)	+		+							+	
Mykich (Онтології та алгебра систем)	+	+	+	+				+	+	+	

Отже, підхід розроблений в дисертації, відповідає багатьом характеристикам, що ставляться до фреймворків побудови інтелектуальних систем із ситуаційною обізнаністю та основною його перевагою є гнучкість та поєднання різних методів в межах єдиної системи для міркування різних типів ситуацій що виникають у середовищі.

Висновки до розділу 4

Застосування інтелектуального системного підходу із використанням ситуаційної обізнаності для підтримки розробки та тестування програмного забезпечення дає змогу формалізувати експертні знання про ситуації та використовувати їх повторно.

Онтологічне моделювання – це системний підхід до побудови онтології загальної області, що має додаткові переваги виконуваних програм-задач. Ця модель завдань дає змогу не лише автоматизувати виконання деяких простих завдань, але й на основі наявних знань про ситуації здійснювати логічне міркування у системах із СО.

Онтологічне подання знань про предметну область дає змогу формалізувати знання про проблемні ситуації, що виникають на проекті, а застосування розроблених методів ідентифікації ситуацій у системі забезпечить вчасне виявлення загрозливих ситуацій та формування рекомендацій по їх усуненню. Всі ці фактори сприятимуть зростанню якості програмного продукту, що розробляється.

У даному розділі було розроблено:

1) онтологію предметної області;
2) розроблено програмні засоби для аналізу та моделювання проблемних ситуацій на прикладі систем підтримки прийняття рішень галузі тестування.
3) здійснено логічне міркування з використанням SWRl;

4) проведено порівняння функціональних можливостей розробленої системи із наявними фреймворками побудови інтелектуальних систем із СО.

Результати розділу опубліковані у [6, 9, 10].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв’язано актуальне науково-технічне завдання ідентифікації проблемних ситуацій в інтелектуальних системах на базі онтологій з використанням механізмів логічного виведення.

У процесі проведення наукового дослідження отримано такі основні наукові результати:

1. Проаналізовано термінології та існуючі методи штучного інтелекту щодо ідентифікації проблемних ситуацій в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, здійснено їх класифікацію, обґрунтовано переваги та недоліки.
2. Удосконалено модель синтезу даних (JDL) шляхом деталізації процесу ідентифікації ситуації з використанням різних форм міркувань на базі моделі онтологічного подання знань, що дало змогу розширити функціональні можливості системи підтримки прийняття рішень.
3. Розроблено формальну модель подання знань про ситуації на основі підходу алгебри систем, яка на відміну від існуючих дає змогу реалізувати моделювання, ідентифікацію та міркувати про ситуації для різних форм подання ситуацій та підтримує різні види міркувань.
4. Здійснено відображення розробленої формальної моделі у моделі дескриптивної логіки та інтерпретованих систем, що дало змогу застосовувати ці моделі в межах єдиної системи підтримки прийняття рішень.
5. Розроблено методи ідентифікації як статичних, так і динамічних ситуацій на базі формальної моделі подання знань з використанням ключових ознак, що дало змогу спростити процес ідентифікації.
6. Проаналізовано джерела помилок на різних етапах моделі синтезу даних, запропоновано та класифіковано методи їх усунення, що дало змогу розробити методи ідентифікації нечітких ситуацій з

використанням підходу гранулярного комп’ютингу, нечіткої та розмитої логік.

7. Розроблено структурно-функціональну модель програмної системи підтримки прийняття рішень для реалізації ідентифікації ситуацій галузі тестування на основі онтологічного підходу.
8. Розроблено програмні засоби для аналізу та моделювання проблемних ситуацій на прикладі систем підтримки прийняття рішень галузі тестування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Буров Є. В. Методи подання та опрацювання знань у системах зі ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. – 2015. – № 832. – С. 205-216.
2. Буров Є. В. Дослідження причин виникнення невизначеностей у системах із ситуаційною обізнаністю та аналіз методів їх опрацювання» / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків : Технологічний центр2016. – №1 (79). – С. 19 – 27. – Режим доступу: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/60828/56926.
3. Burov Y. Algebraic framework for knowledge processing in systems with situational awareness / Burov Y., Mykich Kh. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 512. – ISSN 2194-5357. – DOI 10.1007/978-3-319-45991-2_18. − Springer International Publishing AG, 2017. − P. 217-227. – Access mode: http://www.springer.com/us/book/9783319459905).
4. Burov Y. The approach of granular computing and rough sets for identifying situations / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // ECONTECHMOD. An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. – 2017. − Vol. 6, No 2. − P. 45-50.
5. Буров Є. В. Розроблення методів спрощення менеджменту знань про ситуації у системах із ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Штучний інтелект. – 2017. – № 2. – С. 86-92.
6. Burov Y. Knowledge-based situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // 5th International Youth Science Forum "Litteris et Artibus" : proceedings, Nov. 26-28, 2015, Lviv, Ukraine / Lviv Polytechnic Nat. Univ. — Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2015. − P. 38-41.
7. Burov Y. Uncertainty in situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // Modern Problems of Radio Engineering,

Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016) : proc. of the XIII Intern. conf., Febr., 23-26, 2016, Lviv-Slavske, Ukraine / Min. of Education and Science of Ukrainiane, Lviv Polytechn. Nat. Univ. − Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2016. − P. 729-732.

8. Burov Y. Algebraic model for knowledge representation in situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // Computer Science and Information Technologies CSIT'2016 : proc. of the XI-th Intern. Scientific and Techn. Conf., 6-10 Sept. 2016, Lviv, Ukraine / Min. of Education and Science of Ukraine, Lviv Polytechn. Nat. Univ. − Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2016. − P. 165-167.
9. Буров Є. В. Онтологічне подання знань про ситуації у системах із ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI’2017 : матеріали XIII Міжнародної наукової конференції , 22–26 травня 2017, Залізний порт, Україна / Херсон : Видавництво ПП Вишемирський В. С., 2017. – С. 187-188.
10. Микіч Х. І. Ситуаційна модель як спосіб представлення знань про предметну область у системах із ситуаційною обізнаністю / Х. І. Микіч // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Гуманітарні, природничі та точні науки як фундамент суспільного розвитку», 19 – 20 вересня 2017, Харків, Україна / Наукове партнерство «Центр наукових технологій». – Харків : НП «ЦНТ», 2017. – С. 83-89.
11. Bölcke O. An Aviator's Field Book / Oswald Bölcke. –New York: Broadway, 1917. – 64 p.
12. Lagervik C. A System Theoretical Approach to Situation Awareness: A holistic view of purposeful elements / Charlie Lagervik, Madeleine Norstedt Larsson, Per M. Gustavsson // 9th International Conference on Information Fusion, Volume 1 of 4, Florence, Italy, 2006. – P. 9 – 16.

13. Durso F. Situation awareness: Handbook of applied cognition / Francis T. Durso, Scott D. Gronlund. – University of Oklahoma, 1999. – P. 283 – 314.
14. Billings C. E. Situation awareness measurement and analysis: A commentary / C. E. Billings // Proceedings of the International Conference on Experimental Analysis and Measurement of Situation Awareness. – Embry-Riddle Aeronautical University Press, FL.
15. Hartman B. Situational awareness is more than exceptional vision. Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol. 62, 1995. – P. 1084 – 1089.
16. Harwood K. Situational awareness: A conceptual and methodological framework / K. Harwood, B. Barnett, C. Wickens // In Proceedings of the Psychology in the Department of Defense Eleventh Symposium (Tech. Report No. USAFA-TR-88-1). – Colorado Springs, CO: US Air Force Academy, 1988. – P. 316-320.
17. McMillan G. Report of the Armstrong Laboratory Situation Awareness Integration (SAINT) Team (Briefing Transcript) // Situation Awareness: Papers and Annotated Bibliography (U). Armstrong Laboratory, Wright-Patterson AFB: OH, 1994.
18. Endsley M. Theoretical underpinnings of situation awareness: a critical review Process More Data ≠ More Information / M. Endsley, R. Mica // Edited by Array. Most, Vol. 301, 2000. – P. 3 – 32.
19. Smith K. Situation awareness is adaptive, externally directed consciousness / Kip Smith, P. A. Hancock // Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. – vol.37.1, 1995. – P.137 – 148.
20. Barwise J. Situations and Attitudes / Barwise J, Perry J.- // The Journal of Philosophy, vol 78, no 11. – MIT Press, Cambridge MA, 1983. – P.668 – 691.
21. Barwise J. Situations in logic. //CSLI lecture notes, no 18. – Leland university, 1988. – P. 315.

22. Barwise J. Situation Theory and Its Applications / Jon Barwise // Center for the Study of Language (CSLI), Vol. 26, 1991. – P. 631.

23. Devlin K. Situation theory and situation semantics / Devlin, Keith // Handbook of the History of Logic, vol. 7, 2006. – P 601 – 664.

24. Situation. Cambridge dictionary online. – Access mode: http://dictionary.cambridge.org /dictionary/english/situation.

25. Steinberg A. Rethinking the JDL Data Fusion Levels / Alan N. Steinberg, Christopher L. Bowman // Nssdf Jhapl № 38, 2004. – P. 1 – 18.

26. Baumgartner N. Towards a situation awareness framework based on primitive relations / N. Baumgartner, W. Retschitzegger // Conference Proceedings of 2007 Information, Decision and Control, IDC, 2007. – P. 291 – 295.

27. White F. E. A Model for Data Fusion / F. E. White // Proc. 1st National Symposium on Sensor Fusion, 1988.

28. Steinberg A. N. Revisions to the JDL Model / Steinberg A. N., Bowman C. L., White F. E // Joint NATO/IRIS Conference Proceedings. – Quebec, 1998 and in Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications, Proceedings of the SPIE, Vol. 3719, 1999. P. 430 – 441.

29. Erbacher R. A multi-phase network situational awareness cognitive task analysis.// Erbacher R, Frincke D, Wong P // Information Visualization, v.9, 2010. – P. 204 – 219.

30. Kokar M. Formalization of Situation Awareness / [Kokar M. and other] // In Proceedings of the Eleventh OOPSLA Workshop on Behavioral Semantics.- Citeseer, 2002. – P. 1 – 15.

31. Kokar M. Ontology-Based Situation Awareness / Baclawski Kenneth, M Kokar, C Matheus, // International Journal of Information Fusion, Vol. 10, 2009. – P. 83 – 89.

32. Kokar M. A Core Ontology for Situation Awareness / Baclawski Kenneth, M Kokar, C Matheus, // In Proceedings of Sixth International Conference on Information Fusion, Cairns, Australia, July 2003. – P. 545 – 552.

33. Baumgartner N. Towards a situation awareness framework based on primitive relations / N. Baumgartner and W. Retschitzegger // Conference Proceedings of 2007 Information, Decision and Control, IDC, 2007. – P. 291 – 295.

34. Baumgartner N. A Survey Of Upper Ontologies For Situation Awareness / N. Baumgartner and W. Retschitzegger // Knowledge Sharing and Collaborative Engineering (KSCE 2006), 2006. – P. 1 – 9.

35. Sowa J. Knowledge Representation — Logical, Philosophical, and Computational Foundations/ John F. Sowa,- Pacific Grove, California, USA. – Brooks/Cole, 2000. – P.608.

36. Wright M. Objective Measures of Situation Awareness in a Simulated Medical Environment / Wright M. C, J. M Taekman, M. R Endsley // Quality & Safety in Health Care, Vol. 13 Suppl 1. – P. i65 – i71.

37. Chmielewski M. Ontology Applications for Achieving Situation Awareness in Military Decision Support Systems / Chmielewski Mariusz // Lecture Notes in Computer Science (including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics, Vol. 5796 LNAI, 2009. – P. 528 – 539.

38. Baumgartner N. BeAware!-Situation awareness, the ontology-driven way / N. Baumgartner [and other] // Data and Knowledge Engineering, Vol. 69, 2010. – P. 1181 – 1193.

39. Jousselme A. Interpreted Systems for Situation Analysis / Jousselme Anne Laure, Patrick Maupin // FUSION 2007 - 2007 10th International Conference on Information Fusion, 2007.

40. Farahbod R. Integrating Abstract State Machines and Interpreted Systems for Situation Analysis Decision Support Design / Farahbod Roozbeh Uwe Glässer, Eloi Bosse, Adel Goutouni // Proceedings of the 11th International Conference on Information Fusion, 2008. P. 1566 – 1573.

41. Baumgartner N. A Software Architecture for Ontology-Driven Situation Awareness / Baumgartner N., W. Retschitzegger, W. Schwinger // Proc. of

the 23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing. – Fortaleza, Ceara, Brazil, 2008. – P. 2326–2330.

42. Costa P. D. Situations in conceptual modeling of context / P.D. Costa, G. Guizzardi, J.P.A. Almeida, L.F. Pires, M. van Sinderen // EDOCW'06: Proceedings of the 10th IEEE on International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops, IEEE Computer Society, Hong Kong, China, October 2006. – pp. 6 – 16.
43. Dobson S. Situation identification techniques in pervasive computing: A review / Juan Ye, Simon Dobson, Susan McKeever // Journal Pervasive and Mobile Computing, volume 8, issue 1, 2012. – P. 36 – 66.
44. Jousselme A. Uncertainty in a Situation Analysis Perspective /A. Jousselme, P. Maupin, E. Bosse // 6th Annual Conference on Information Fusion, 2003. – p. 1207 – 1214.
45. Gross G. A fuzzy graph matching approach in intelligence analysis and maintenance of continuous situational awareness/ Gross Geoff, Nagi Rakesh, Sambhoos Kedar.// Information Fusion, v.18, 2014.- P. 43-61.
46. Endsley M. Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems. – Vol. 37, 1995. – P. 65 – 84.
47. Salmon P. M. Measuring Situation Awareness in Complex Systems: Comparison of Measures Study / P. M. Salmon [and other] // International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 39, 2009. – P. 490 – 500.
48. Salmon P. M. Situation Awareness Measurement: A Review of Applicability for C4i Environments / P. M. Salmon [and other] // Applied Ergonomics, Vol. 37, 2006. – P. 225 – 238.
49. Bolstad S. Modeling Shared Situation Awareness / S. Bolstad [and other] // Proceedings of the 14th Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation, 2005.
50. Seppänen H. Developing shared situational awareness for emergency management / Seppänen H., Mäkelä J, Luokkala P, Virrantaus K // Safety science, v.35, 2013. – P.1 – 9.

51. Feng Y. Modelling Situation Awareness for Context-Aware Decision Support / Feng Yu Hong, Teck Hou Teng, Ah Hwee Tan // Expert Systems with Applications, Vol. 36, 2009. – P. 455 – 463.
52. Kuderna-Iulian B. Ontology Based Affective Context Representation / Ben Kuderna-Iulian, Anca Rarău, Marcel Cremene // Proceedings of the 2007 Euro American conference on Telematics and information systems EATIS 07, 2007. – P.1
53. The Dynamic OODA Loop: Amalgamating Boyd's OODA Loop and the Cybernetic Approach to Command and Control: Proceedings of the 10th international command and control research technology symposium. – Swedish National Defence College, 2005. – P. 1 – 15.
54. Литвин В. Метод використання онтологій у петлі OODA / В. В. Литвин // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2014. – №783. – С. 137 – 144.
55. Endsley M. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures / Mica Endsley // Journal of Cognitive Engineering and Decision Making. – 2015. – V. 9. – N. 1. – P. 101 – 111.
56. Nilsson M. Information fusion in practice: A distributed cognition perspective on the active role of users / Maria Nilsson, Joeri van Laere, Tarja Susi, Tom Ziemke // Information Fusion. – 2012. – P. 60 – 87.
57. Niklasson L. Extending the scope of Situation Analysis: Information Fusion // 11th International Conference, 30 June – 3 July, 2008 c. Cologne. – IEEE, 2008. – P. 1 – 8.
58. Codd E. Relational Completeness of Data Base Sublanguages / E. F. Codd. – IBM corporation, vol. 54, 1972 – pp. 65 – 98.
59. Koo B. Algebra of Systems: A metalanguage for Model Synthesis and Evaluation / B. Koo, W.L. Simmons, E.F. Crawley // IEEE Transactions On 39.3, Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 2009. – pp. 501 – 513.

60. Koo B. Meta-language for Systems Architecting / B. A. Koo // In Engineering Systems and Management Massachusetts Institute of Technology, 2005. – P. 168.
61. Koo B. A valuation technology for product development option using an executable meta-modeling language in Complex Systems Concurrent Engineering / B. Koo, W. L. Simmons, E .F. Crawley // Collaboration, Technology Innovation and Sustainability. New York: Springer-Verlag, 2007. – P. 107–115.
62. Burris S. A Course in Universal Algebra / S. Burris, H. P. Sankappanavar. – New York: Springer-Verlag, 1981. – pp. 129 -154.
63. Fagin, R., Halpern, J. Reasoning about knowledge and probability / R. Fagin, J. Halpern // Journal of the ACM, 41(2), 1994. – 340 – 367.
64. Fagin, R. Belief, awareness, and limited reasoning / R. Fagin, J. Halpern // Artificial Intelligence, 34(1), 1987. – P. 39 – 76.
65. Литвин В. В. Проектування інтелектуальних агентів прийняття рішень в просторі ознак з використанням онтологічного підходу / В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, Н. В. Шкутяк // Штучний інтелект. – 2010. – № 3. – С. 254–262.
66. Катренко А.В. Теорія прйняття рішень / А.В Катренко, В.В. Пасічник, В. П.Пасько. – К.:ВНV, 2009. – 448 с.
67. Чорноус Г. Механізм ідентифікації ситуацій та причинно-наслідкових зв’язків між подіями на підприємстві / Г. Чорноус // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка. – 2012. – №132. – С.15 – 20.
68. Савчук Т. О. Ідентифікація проблемних ситуацій та їх станів у складних технічних системах з використанням модифікованого алгоритму Форел / Т. О. Савчук, С. І. Петришин // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. – 2014. – № 783. – С. 187 – 193.

69. Савчук Т. О. Оцінювання результатів моделювання процесу кластерного аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті / Т. О. Савчук, С. І. Петришин // Вінницький національний технічний університет. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2012. – №1.– С. 135 – 140.
70. Bouchon-Meunie B. Les incertitudes dans les systemes intelligents / Bouchon-Meunier, B., Nguyen, H. T. – Press Universitaires de France, Paris, 1996.
71. Krause P. Representing Uncertain Knowledge / Krause P. Clark D. // An Artificial Intelligence Approach. – Kluwer Academic Publishers, 1993.
72. Klir G. J. Uncertainty-Based Information: elements of generalized information theory: 2 edition / Klir, G. J., & Wierman, M. J. – Verlag Berlin Heidelberg 15, 1999. – 178 p.
73. Smets P. Imperfect information: Imprecision and uncertainty / P. Smets // Uncertainty Management in Information Systems, 1997. – P. 225 – 254.
74. Olive A. Conceptual Modeling of Information Systems / A. Olive // Springer Berlin Heidelberg, 2007. – 471 p.
75. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications / Gruber T. R. // Knowledge Acquisition. – 1993. – vol 5. – P.199 – 220.
76. Burov E. Complex ontology management using task models / E. Burov // Int. J. knowledge-based Intell. Eng. Syst., vol. 18, no. 2, 2014. – pp. 111–120.
77. Буров Є.В. Концептуальне моделювання інтелектуальних програмних систем: монографія/ Є.В. Буров. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012.- 432 с. - ISBN 978-617-607-189-1.
78. Yao Y. Information granulation and rough set approximation / Y. Y. Yao // International Journal of Intelligent Systems, Vol. 16. No. 1, 2001. – 87 – 104.
79. Литвин В. В. Проектування інтелектуальних агентів прийняття рішень в просторі ознак з використанням онтологічного підходу /

В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, Н. В. Шкутяк // Штучний інтелект. – 2010. – № 3. – С. 254–262.

80. Литвин В. В. Використання адаптивних онтологій в інтелектуальних системах прийняття рішень / В. В. Литвин, В. Я. Крайовський, Н. Б. Шаховська // Східно – Європейський журнал передових технологій. – 2009. – V. 4, № 3. – С. 1 – 12.
81. Литвин В. В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень: Монографія / В. В. Литвин. – Львів: Видавництво «Львівської політехніки», 2011. – 240 с.
82. Rissino1 S. Rough Set Theory — Fundamental Concepts, Principals, Data Extraction, and Applications, Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications, Julio Ponce and Adem Karahoca (Ed.), ISBN: 978-3-902613-53-0, InTech. – p.3-57/
83. Settembre G.P. 2007. Multi-agent approach to Situation Assessment / G.P. Settembre. – University “Sapienza” of Rome, 2007. – P. 1 – 106.
84. Руда О. А. Методи та моделі тестування програмного забезпечення / О. А. Руда, Ю. Б. Моденов // Вісник національного авіаційного університету. Проблеми інформатизації та управління. – 2013. – 2(42). – С. 93 – 98.
85. Liu Y. Investigation of Knowledge Management Methods in Software Testing Process / Y. Liu, J. Wu, X. Liu, and G. Gu // Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Sci., 2009. – pp. 90–94.
86. Software Bugs Cost U.S. Economy $59.6 Billion Annually, RTI Study Finds [Electronic Resource]. – Mode of access]: http://www.nist.gov/director/prog-ofc/report02-3.pdf.
87. Guo S. An application of ontology to test case reuse / S. Guo, J. Zhang, W. Tong, and Z. Liu // Int. Conf. Mechatron. Sci. Electr. Eng. Comput., 2011. – pp. 775–778.
88. Botzenhardt A. Developing a domain ontology for software product management / A. Botzenhardt, A. Maedche and J. Wiesner // 5th

International Workshop on Software Product Management, IWSPM 2011 – Part of the 19th IEEE International Requirements Engineering Conference, 2011. – pp. 7–16.

89. OWL Web Ontology Language [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.w3.org/TR/owl-guide/

90. Kitchenham A. B. Towards an ontology of software maintenance / A. B. Kitchenham, G. H. Travassos, A. Von Mayrhauser, F. Niessink, N. F. Schneidewind, J. Singer, S. Takada, R. Vehvilainen, and H. Yang // J. Softw. Maint. Res. Pract., vol. 11, no. 6, 1999. – pp. 365–389.

91. Ikeda M. Task ontology: Ontology for building conceptual problem solving models / M. Ikeda, K. Seta, O. Kakusho, R. Mizoguchi // Environment, 1998. – pp. 126–133.

92. Mitsuri Ikeda. Task ontology: Ontology for building conceptual problem solving models / Mitsuri Ikeda, Kazuhisa Seta, Osamu Kakusho, Riichiro Mizoguchi // Workshop note of application of ontologies and problem-solving meyhods, ECAI98, 1998.

93. Taylor P. Ontology-Based Task Simulation / P. Taylor, M. Raubal, W. KuhnSpat. Cogn. Comput., vol. 4, no. 917247301, 2004. – pp. 15–37.

94. Kazuhisa S. Building ontologies for conceptual model management/ Seta Kazuhisa, Koyama Kazuya, Hayashi Yusuke, Ikeda Mitsuru// WSEAS Transactions on Information Science and Applications, v.3, 2006. – P. 546 – 553.

95. Arnicans G. Semi-automatic generation of a software testing lightweight ontology from a glossary based on the ONTO6 methodology / G. Arnicans, D. Romans, U. Straujums // Front. Artif. Intell. Appl., vol. 249, 2013. – pp. 263–276.

96. Guarino N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation // International Journal of Human-Computer Studies. – 1995. – N 43(5-6). – P. 625–640.

97. Литвин В.В. Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології Радіоелектроніка, інформатика, управління: наук. журн. / Запорізький національний технічний університет. – 2009. – № 2(21). – С. 120–126.
98. Johnson P. Task-Related Knowledge Structures: Analysis, Modelling and Application / Johnson Peter, Johnson Hilary, Waddington Ray, Shouls Alan // Knowledge Creation Diffusion Utilization, 1988. – P. 35 – 62.
99. Буров Є.В. Опрацювання знань у когнітивній інформаційній системі керованій моделями / Буров Є.В / Східно-Європейський журнал передових технологій, №6/7.- Харків: Технологічний центр, 2009. – с. 40 – 49.
100. Lytvyn V. Design of intelligent decision support systems using ontological approach / V. Lytvyn // ECONTECHMOD. An international quarterly journal Vol. 2, №1, 2013. – P. 31-37.
101. Dargie W. Situation Recognition for Service Management Systems Using OWL 2 Reasoners / Waltenegus Dargie, Eldora, Julian Mendez, Christoph Möbius, Kateryna Rybina, Veronika Thost, Anni-Yasmin Turhan // Proceedings of the 10th IEEE Workshop on Context Modeling and Reasoning, 2013. – pp. 31 – 36.
102. Niu L. Cognition-Driven Decision Support for Business Intelligence / Li Niu, Jie Lu, Guangquan Zhang. – Springer Verlag, 2009. – 235 p.
103. Golbreich Ch. Combining SWRL rules and OWL ontologies with Protégé OWL Plugin, Jess, and Racer / Christine Golbreich & Atsutoshi Imai // Computer and Computing Technologies in Agriculture VII: 7th IFIP WG 5.14 International Conference, CCTA 2013, Beijing, China, September 18-20, 2013. – p. 1 – 17.
104. Chen P. Active Conceptual Modeling of Learning / Peter P. Chen LeahY.Wong(Eds.). – Springer Verlag, 2007. – 243 p.
105. Фаулер М. UML в кратком изложении / М. Фаулер, К. Скотт. – М.: Мир, 1999. –340 с.

106. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя. 2-еизд.: Пер. с англ. Мухин Н. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 496 с.

107. Sowa J. Conceptual Graphs as a universal knowledge representation // In: Semantic Networks in Artificial Intelligence, Spec. Issue of An International Journal Computers & Mathematics with Applications. (Ed. F. Lehmann). – 1992. – Vol. 23, N 2–5. – P. 75–95.

108. O'Connor M. SQWRL: a query language for OWL / Martin O'Connor, Amar Das // OWLED'09 Proceedings of the 6th International Conference on OWL: Experiences and Directions. – Volume 529, pp. 208 – 215.

109. Fudholi D.H. Application of Protégé, SWRL and SQWRL in fuzzy ontology-based menu recommendation / Dhomas Hatta Fudholi, Noppadol Maneerat, Ruttikorn Varakulsiripunth, Yasushi Kato // 2009 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2009) December 7-9, 2009. – p.631-634.

110. Jaroucheh Z. Recognize contextual situation in pervasive environments using process mining techniques / Zakwan Jaroucheh, Xiaodong Liu, Sally Smith // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing Volume 2, issue 1, 2011. – pp. 53-69. doi:10.1007/s12652-010-0038-7. ISSN 1868-5137.

111. Brannon N. G. Coordinated machine learning and decision support for situation awareness / N. G. Brannon, J. E Seiffertt, T. J. Draelos, D. C Wunsch // Neural networks: the official journal of the International Neural Network Society 22(3), 2009. – pp. 316 – 325.

112. Nuka N. Case-Based Situation Awareness / Nwiabu Nuka, Ian Allison, Patrik Holt, Peter Lowit, and Babs Oyeneyin // In 2012 IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support, CogSIMA 2012. – pp. 22 – 29.

113. Tarapata Z. Multicriteria weighted graphs similarity and its application for decision situation pattern matching problem / Z. Tarapata // Proceedings of

the 13th IEEE/IFAC International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Szczecin, Poland, August, 2007. – pp. 27 – 30.

114. Feng Yu-H. Modelling Situation Awareness for Context-Aware Decision Support / Yu Hong Feng, Teck Hou Teng and Ah Hwee Tan // Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 1 (January 2009), 2009. – pp. 455 – 463.
115. Jousselme A-L. Semantic criteria for the assessment of Uncertainty handling fusion models / Anne-Laure Jousselme // 19th International Conference on Information Fusion (FUSION), 5 – 8 July 2016. – pp. 488 – 495.
116. Nagi R. A fuzzy graph matching approach in intelligence analysis and maintenance of continuous situational awareness / Geoff Gross, Rakesh Nagi, Kedar Sambhoos // Journal Information Fusion, Volume 18, issue number 1, 2014. – pp. 43 – 61.

Додаток А. Акти впровадження

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
_____ Н.І. Чухрай
_____ 2017 р.

АКТ
використання наукових результатів дисертаційної роботи
Микіч Христини Ігорівни
«Методи та засоби ідентифікації проблемних ситуацій на основі онтологічного підходу»
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
01.05.03 – Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем

Комісія в складі: голови комісії – начальника науково-дослідної частини, к.т.н., доцента Жук Л.В. та членів комісії – завідувача кафедри інформаційних систем та мереж, д.т.н., професора Литвина В. В., завідувача відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень, к.т.н. Лазько Г.В. і заступника начальника планово-фінансового відділу Чулой Т.М., цим актом підтверджують, що результати дисертаційної роботи Микіч Х.І., використовувалися при виконанні науково-дослідної роботи кафедри інформаційних систем та мереж «Розробка методів побудови та моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з ситуаційною обізнаністю» (№ держреєстрації 0116U006720).

Микіч Х.І. розроблено формальну модель подання знань про ситуації на основі підходу алгебри систем та онтологічного моделювання, яка дає змогу реалізувати моделювання, ідентифікацію та міркувати про ситуації для різних форм подання ситуацій. На основі формальної моделі подання знань розроблено методи ідентифікації як статичних так і динамічних ситуацій з використанням ключових ознак, що дало змогу спростити процес ідентифікації.

Голова комісії:

начальник науково-дослідної частини, к.т.н. доцент _____ Жук Л.В.

Члени комісії:

зав. відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень, к.т.н. _____ Лазько Г.В.

заст. нач. планово-фінансового відділу _____ Чулой Т.М.

зав. каф. інформаційних систем та мереж, д.т.н., проф. _____ Литвин В.В.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Проректор з науково-педагогічної роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
_____ О.Р. Давидчак
"_7_" ___11___ 2017 р.

А К Т
про впровадження в навчальний процес результатів
кандидатської дисертаційної роботи
Микіч Христини Ігорівни

Цей акт складено про те, що результати кандидатської дисертаційної роботи Микіч Христини Ігорівни на тему «Методи та засоби ідентифікації проблемних ситуацій на основі онтологічного підходу», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, використовуються у навчальному процесі кафедри «Інформаційні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка». Матеріали дисертаційного дослідження використовуються під час написання студентами курсових робіт, кваліфікаційних бакалаврських та магістерських робіт, а також під час викладання дисциплін «Теорія прийняття рішень», «Технології підтримки процесів прийняття рішень», «Онтологічний інжиніринг»» та «Методи та засоби інженерії даних та знань».

Зокрема, у навчальному процесі використовуються запропоновані Х.І. Микіч:

- формальна модель подання та використання, виявлення та опрацювання проблемних ситуацій як різновиду знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (дисципліна «Теорія прийняття рішень» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр», що навчаються за напрямом 6.040303 «Системний аналіз», тема 2 «Загальна схема процесу прийняття рішення»; дисципліна «Технології підтримки процесів прийняття рішень» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», що навчаються за напрямом 8.04030302 «Системи і методи прийняття рішень», тема 1 «Основи технології підтримки прийняття рішень в ІС»);
- методи та засоби онтологічного моделювання предметної області (дисципліна «Онтологічний інжиніринг» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», що навчаються за напрямом 8.05010104 «Системи штучного інтелекту», тема 2 «Застосування онтології», тема 6 «Процес побудови онтології»);
- методи ідентифікації проблемних ситуацій у процесі онтологічного моделювання знань про такі ситуації в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень (дисципліна «Методи та засоби інженерії даних та знань» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», що навчаються за напрямом 8.05010104 «Системи штучного інтелекту», тема 3 «Методи представлення знань. Формальні методи подання знань. Логічні моделі. Логіка висловлювань. Логіка предикатів»).

Директор ІКНІ,
д.т.н., професор М.О. Медиковський

Завідувач кафедри ІСМ,
д.т.н., професор В.В. Литвин

Професор кафедри ІСМ, д.т.н. А.Ю. Берко

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Проректор з наукової роботи
Дрогобицького державного педагогічного
університету ім. Івана Франка

_____М.П. Пантюк
«12» вересня 2017 р.

А К Т
про впровадження в навчальний процес результатів
кандидатської дисертаційної роботи
Микіч Христини Ігорівни

Цей акт складено про те, що результати кандидатської дисертаційної роботи Микіч Христини Ігорівни на тему «Методи та засоби ідентифікації проблемних ситуацій на основі онтологічного підходу», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, використовуються у навчальному процесі кафедри «Інформатики та інформаційних систем» Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка. Матеріали дисертаційного дослідження використовуються під час написання студентами курсових робіт, бакалаврських та магістерських робіт, а також під час викладання дисциплін «Системний аналіз та теорія прийняття рішень», «Нечітке моделювання систем» та «Чисельне моделювання соціально-економічних процесів».

Зокрема, у навчальному процесі використовуються запропоновані Х.І. Микіч:

- формальна модель подання та використання, виявлення та опрацювання проблемних ситуацій як різновиду знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (дисципліна «Системний аналіз та теорія прийняття рішень» для підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, що навчаються за напрямом 014 Середня освіта (Інформатика));
- методи ідентифікації нечітких ситуацій з використанням нечіткої та розмитої логік (дисципліна «Нечітке моделювання систем» для підготовки фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти, що навчаються за напрямом 014 Середня освіта (Інформатика));
- методи ідентифікації проблемних ситуацій у процесі онтологічного моделювання ситуацій в соціально-економічних процесах (дисципліна «Чисельне моделювання соціально-економічних процесів» для другого (магістерського) рівня вищої освіти, що навчаються за напрямом 014 Середня освіта (Інформатика)).

Завідувач кафедри інформатики та
інформаційних систем,
к.т.н., доцент О.В. Сікора

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
А.Я. Коблик
_____
«__» _____ 2017 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційної роботи
аспіранта кафедри «Інформаційні системи та мережі»
Національного університету «Львівська політехніка»
Микіч Христини Ігорівни
в ТЗоВ «ЕЛКАН»

Цей акт підтверджує, що результати кандидатської дисертаційної роботи Микіч Х.І., були впроваджені в практичну діяльність при розробці системи підтримки прийняття рішення для оптової торгівлі ТЗоВ «ЕЛКАН» у м. Червоноград у 2016 -2017 рр.

Терміни проведення досліджень: жовтень 2016 р. – жовтень 2017 р. Впровадження отриманих результатів дисертаційного дослідження Х.І. Микіч полягає у наступному:

- формування теоретичного базису для розроблення принципів побудови та функціонування системи оптової торгівлі із використанням ситуаційної обізнаності. Створення онтології для предметної області оптової торгівлі для інтеграції даних та повторного їх використання;
- розробка механізму ідентифікації ситуацій та причинно-наслідкових зв'язків між подіями на підприємстві, що дає змогу ідентифікувати проблемну ситуацію, а також спрогнозувати майбутні дії щодо удосконалення роботи підприємства;
- використання методу ключів, який дає змогу використовувати мінімум ресурсів на перевірку наявності певної ситуації;
- використання онтологічного моделювання для подання та ідентифікації ситуацій, що виникають на підприємстві, що дає змогу використовувати логічне виведення та поєднувати різні методи в межах єдиної системи.

Розроблені результати дисертаційного дослідження дозволили:

- зберігати та використовувати знання про предметну область оптової торгівлі та можливі ситуації в ній у цілісній формі з врахуванням взаємозалежностей між об'єктами та ситуаціями, поданими у формі відношень. Крім того, застосування онтологій для ідентифікації ситуацій надає додаткові можливості для задання та опрацювання інформації про ситуації шляхом використання структурних особливостей та механізмів логічного виведення онтології;
- використовувати різні типи ситуацій, тобто система підтримки прийняття рішення після ідентифікації поточної ситуації повинна віднести її до певного класу ситуацій;

• за рахунок використання методу ключів зменшити складність ідентифікації ситуації подавши цей метод як послідовність перевірок груп ключів;

• порівняти похибки отриманих результатів ідентифікації проблемних ситуацій розробленою системою підтримки прийняття рішень та похибки отриманих результатів традиційними методами у порівнянні із еталонними показниками.

Використання розроблених у дисертаційному дослідженні методів ідентифікації ситуацій дало змогу зменшити похибку ідентифікації з 16% до 6% порівняно з традиційними методами.

Члени комісії

Технічний директор В.В. Скрипник

Заст.директора по торгівлі А.Є. Шахневич

ЗАТВЕРДЖУЮ
Голова правління ВАТ «Завод«Веста»
І.Б..Климковський
«14» 09 2017 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційної роботи
аспіранта кафедри інформаційних систем та мереж
Національного університету «Львівська політехніка»
Микіч Христини Ігорівни
в ВАТ «Завод«Веста»

Цей акт підтверджує, що результати кандидатської дисертаційної роботи «Методи і засоби ідентифікації проблемних ситуацій на основі онтологічного підходу» Микіч Христини Ігорівни були впроваджені в практичну діяльність ВАТ «Завод «ВЕСТА» у м. Стрий у 2016 – 2017 рр. при розробці системи підтримки прийняття рішення із використанням ситуаційної обізнаності для меблевої торгівлі та торгівлі кованими виробами. Терміни проведення досліджень: травень 2016 р. – вересень 2017 р.

Впровадження отриманих результатів дисертаційного дослідження Х. І. Микіч полягає у наступному:

- побудова та використання формальної моделі, що описує окремі аспекти проблемних ситуацій, що виникають на підприємстві при, наприклад, торгівлі товарами чи онлайн замовленні тощо;
- подання та зберігання знань про товари та працівників підприємства у формі онтології, що дає змогу повторно їх використовувати з метою уникнення помилок в майбутньому;
- використання випадку неточності, тобто коли певна інформація про товар може бути неповною чи нечітко вираженою;
- використання підходу інтерпретованих систем для подання часової динаміки щодо інформації про зміни стану вартості на певний товар чи послугу;
- використання парадигми гранулярного комп'ютингу для задання ситуацій для великих груп об'єктів, наприклад при пошуку товарів за певними критеріями.

Розроблені результати дисертаційного дослідження дали змогу:

- в межах єдиної системи поєднувати різні методи ідентифікації для різних типів ситуацій, що виникають у реальному середовищі за рахунок розробленої формальної моделі на базі алгебри систем;
- використання онтологічного моделювання для представлення знань та використання цих знань людиною-агентом, а також застосування дескриптивної логіки безпосередньо на базі знань агента;
- врахування нечіткості та неповноти даних, моделювання процесів прийняття рішень в нечітких умовах;
- аналізувати ситуації, що виникають у системах на основі перевірки часово-залежних тверджень із бази знань;
- задання ситуацій для великих груп об'єктів (задання ситуацій, якщо це можливо, для класів, що належать вищим рівням ієрархії), що значно спрощує процес менеджменту знань про такі ситуації і підвищує швидкодію розробленої системи підтримки прийняття рішень;
- порівняти похибки отриманих результатів ідентифікації проблемних ситуацій розробленою системою підтримки прийняття рішень та похибки отриманих результатів традиційними методами у порівнянні із еталонними показниками.

Використання розроблених у дисертаційному дослідженні методів ідентифікації ситуацій дало змогу зменшити похибку ідентифікації з 18% до 7 % порівняно з традиційними методами.

Члени комісії

Начальник виробництва Я.В. Бабець

Головний бухгалтер Л.П. Сербіна

Додаток В. Список публікацій та апробація результатів

1. Буров Є. В. Методи подання та опрацювання знань у системах зі ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. – 2015. – № 832. – С. 205-216.
2. Буров Є. В. Дослідження причин виникнення невизначеностей у системах із ситуаційною обізнаністю та аналіз методів їх опрацювання» / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків : Технологічний центр2016. – №1 (79). – С. 19 – 27. – Режим доступу: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/60828/56926.
3. Burov Y. Algebraic framework for knowledge processing in systems with situational awareness / Burov Y., Mykich Kh. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 512. – ISSN 2194-5357. – DOI 10.1007/978-3-319-45991-2_18. − Springer International Publishing AG, 2017. − P. 217-227. – Access mode: http://www.springer.com/us/book/9783319459905).
4. Burov Y. The approach of granular computing and rough sets for identifying situations / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // ECONTECHMOD. An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. – 2017. − Vol. 6, No 2. − P. 45-50.
5. Буров Є. В. Розроблення методів спрощення менеджменту знань про ситуації у системах із ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Штучний інтелект. – 2017. – № 2. – С. 86-92.
6. Burov Y. Knowledge-based situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // 5th International Youth Science Forum "Litteris et Artibus" : proceedings, Nov. 26-28, 2015, Lviv, Ukraine / Lviv Polytechnic Nat. Univ. — Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2015. − P. 38-41.
7. Burov Y. Uncertainty in situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016) : proc. of the XIII Intern. conf., Febr., 23-26, 2016, Lviv-Slavske, Ukraine / Min. of Education and Science of Ukrainiane, Lviv Polytechn. Nat. Univ. − Lviv : Lviv Polytechnic Publ.

House, 2016. − P. 729-732.

8. Burov Y. Algebraic model for knowledge representation in situational awareness systems / Yevhen Burov, Khrystyna Mykich // Computer Science and Information Technologies CSIT'2016 : proc. of the XI-th Intern. Scientific and Techn. Conf., 6-10 Sept. 2016, Lviv, Ukraine / Min. of Education and Science of Ukraine, Lviv Polytechn. Nat. Univ. − Lviv : Lviv Polytechnic Publ. House, 2016. − P. 165-167.

9. Буров Є. В. Онтологічне подання знань про ситуації у системах із ситуаційною обізнаністю / Є. В. Буров, Х. І. Микіч // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI’2017 : матеріали XIII Міжнародної наукової конференції , 22–26 травня 2017, Залізний порт, Україна / Херсон : Видавництво ПП Вишемирський В. С., 2017. – С. 187-188.

10. Микіч Х. І. Ситуаційна модель як спосіб представлення знань про предметну область у системах із ситуаційною обізнаністю / Х. І. Микіч // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Гуманітарні, природничі та точні науки як фундамент суспільного розвитку», 19 – 20 вересня 2017, Харків, Україна / Наукове «Центр наукових технологій». – Харків : НП «ЦНТ», партнерство 2017. – С. 83-89.

Основні положення дисертаційної роботи були представлені на таких конференціях: 5th International youth science forum "Litteris et Artibus" (Lviv, November 26-28, 2015); XIII Міжнародна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп’ютерної інженерії» TCSET’2016 (Львів-Славсько, 23-26 лютого, 2016); XI-th Intern. Scientific and Techn. Conf. “Computer Science and Information Technologies” CSIT'2016 (Lviv, 6-10 September, 2016); XIII Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» ISDMCI’2017 (Залізний порт, 22 – 26 травня 2017); V Всеукраїнська науково-практична конференція «Гуманітарні, природничі та точні науки як фундамент суспільного розвитку» (Харків, 19 – 20 вересня, 2017); XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Штучний інтелект і інтелектуальні системи» AIIS’2017 (Київ, 17 – 19 жовтня, 2017).