

ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЧНИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕОДНОЗНАЧНОСТІ

Ігор Карпов¹, Євген Буров²

^{1,2} Національний університет “Львівська політехніка”

¹ shad1ksen@gmail.com, ORCID 0000-0003-4885-5078

² yevhen.v.burov@lpnu.ua, ORCID 0000-0001-8653-1520.

© Карпов І., Буров Є., 2020

Зростання обсягів інформації, яку потрібно брати до уваги при прийнятті рішень визначають актуальність побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Передумовою прийняття коректного рішення є побудова коректної концептуальної моделі проблемної ситуації, яка враховує усі фактори, релевантні до цієї ситуації. Концептуалізація проблемної ситуації подається онтологією цієї ситуації. При формуванні онтології ситуації доцільно використовувати знання з існуючих онтологій. При цьому виникає проблема неоднозначності вибору елементів існуючих онтологій, які якнайточніше відповідають ситуації. Метою розроблення є дослідження особливостей застосування мереж онтологій для побудови онтологій проблемних ситуацій в умовах неоднозначності вибору, тобто коли потрібно вибрати найточніше за змістом онтологічне джерело.

Наведено формальні визначення онтології проблемної ситуації, відповідності між елементами онтології, мережі онтологій та правил відповідності. Правила відповідності визначено як відображення між підмножинами концептів, відношень та функцій інтерпретації двох онтологій. У роботі наведено концептуальну модель формування онтології проблемної ситуації на основі декількох вихідних онтологій. Розроблено структуру системи підтримки прийняття рішень на основі онтологічних мереж та визначено процес підтримки прийняття рішень у випадку застосування мереж онтологій. Центральним елементом такої системи є база знань, що містить моделі ситуації та посилання на зовнішні онтології з мережі для кожної такої моделі. Основою цих посилань є правила відповідності, що визначають, з яких онтологій отримувати знання та як перетворити їх перед записом в онтологію ситуації. При настанні проблемної ситуації онтологія ситуації формується динамічно, з врахуванням наявного контексту ситуації. Це також надає можливість використати актуальні знання з пов'язаних онтологій.

Запропоновано підходи до побудови систем підтримки прийняття рішень, що використовують мережі онтологій надають можливість динамічно вибрати концепти та відношення, що відповідають контексту ситуації. Результати роботи доцільно використовувати для розроблення систем підтримки прийняття рішень, що потребують даних з різних предметних областей та в умовах неоднозначності.

Ключові слова: онтологія, онтологічні мережі, система підтримки прийняття рішень.

Вступ. Актуальність побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень

У сучасному світі вміння приймати правильні рішення є однією з найважливіших якостей керівників підприємств, організацій чи органів влади. Причому чим вищий рівень управління, тим більше інформації та факторів, які необхідно врахувати, перш ніж приймати рішення. Оскільки люди не можуть оперувати такою кількістю даних, виникає потреба у спеціальних інтелектуальних системах, які аналізують інформацію та розробляють альтернативні варіанти рішень. Сьогодні більш ніж 70 % із 500 найбільших компаній світу використовують засоби штучного інтелекту та інженерії знань як частину системи підтримки прийняття рішень [1].

Постановка проблеми дослідження

Передумовою прийняття ефективного рішення є формування коректної концептуальної моделі проблемної ситуації. Така модель повинна містити концепти, відношення та обмеження, які якнайточніше відображають проблемну ситуацію. Результатом побудови такої моделі є концептуалізація проблемної ситуації. Така концептуалізація, подана формально, є онтологією цієї ситуації. Використання онтологій проблемних ситуацій дає змогу зберегти та повторно використовувати знання про прийняття рішення та застосувати інтелектуальні програмні агенти для підтримки прийняття рішень. Для побудови онтології проблемної ситуації доцільно використати знання з існуючих онтологій. Це є непростю задачею через наявність подібних за компетенцією онтологій. Принцип множинності онтологій сьогодні проявляється як на рівні онтологій вищого рівня (SUMO, DOLCE, UFO, GFO), які використовують різні принципи побудови, так і на рівні галузевих онтологій. Наприклад, автори GFO [2] поклали принцип множинності в основу своєї розробки та розглядають GFO як набір різних онтологій. Причиною такої множинності є те, що кожна онтологія відображає як спільне (common intentionality [2]), так і специфічне розуміння авторів щодо предметної області. Ця проблема на практиці знайшла відображення у складності побудови єдиної схеми даних навіть у межах одного підприємства, що стало підставою розроблення сервісно-орієнтованих архітектур [3]. Автори [4] обґрунтували переваги використання багатьох онтологій, зокрема можливість використання різниць у розумінні та специфікації концептів у різних онтологіях з метою вибору найкращого відповідника. Такі онтології утворюють мережі онтологій, в яких між концептами та відношеннями різних онтологій встановлено відношення відповідності, виражені в правилах відповідності (articulation rules). У процесі побудови онтології проблемної ситуації виникає проблема неоднозначності вибору, коли декілька онтологій мають подібні концепти, які можна використати в онтології проблемної ситуації.

Метою цієї роботи є дослідження особливостей застосування мереж онтологій для побудови онтологій проблемних ситуацій, розроблення структури системи підтримки прийняття рішення на основі мереж онтологій в умовах неоднозначності, тобто коли потрібно вибрати найточніше джерело серед множини близьких за змістом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій в області побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень

Система підтримки прийняття рішень [5] – це комп'ютеризована система, яка за допомогою аналізу великої кількості інформації може робити прогнози, з врахуванням яких будуть прийматися рішення. Сучасні системи передбачають обробку певних суджень, які розглядалися на різних етапах прийняття рішень. Ці судження можуть бути описані у вигляді об'єктів деякої предметної області, де кожен такий об'єкт є відображенням сукупності знань, з врахуванням яких і приймається рішення. Звідси постає потреба у забезпеченні обробки взаємопов'язаної інформації та її використання у системах з іншим призначенням для точнішого прогнозування.

Застосування методів інженерії знань, зокрема онтологій у системах підтримки прийняття рішень, є доволі поширеним. Так, у роботі [6] розглянуто інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень, що використовує графові моделі подання знань. Ситуація прийняття рішення розглядається як скінченний автомат, і задача вибору рішення подається як задача розпізнавання образів.

Робота [7] фокусується на розробленні онтологій підтримки прийняття рішень із врахуванням особливостей користувача. У роботі [8] описано застосування онтологій для підтримки прийняття рішень у системах медичної діагностики із застосуванням причинно-наслідкових міркувань.

Близьким змістовно до проблематики мереж онтологій є завдання інтеграції та встановлення відповідності між онтологіями та їхніми складовими. У цій області досліджень розглядають питання про концепти зі змістом, що перекривається. Наскільки відповідають вони один одному семантично? Чи можна розробити правила відображення одного концепту в інший? Зокрема у роботі [9] запропоновано алгебру відношень для формального подання відношень відповідності між концептами онтологій. У роботі [10] цю ідею розвинено у напрямку встановлення контекстно-залежної відповідності між концептами онтологій, що вже може бути використано для гнучкого та динамічного відображення концептів, яке необхідне для моделювання проблемних ситуацій.

Автори [4] обґрунтовують аргументи, чому використання мереж онтологій є кращим для інтелектуальних систем порівняно з централізованими онтологіями. Серед цих аргументів є можливість вибору найбільш відповідного подання потрібного концепту, можливість співіснування та використання різних поглядів на один і той самий концепт (інколи несумісних, але залежних від контексту). Мережа знань у цій роботі подається як мережа онтологій, пов'язаних відношеннями відображення між концептами. Автори також розробили алгебраїчну модель такого відображення.

Для визначення семантичної подібності концептів застосовують міри семантичної близькості [11]. У випадку побудови онтологій на основі аналізу текстів визначеної предметної області для визначення подібності використовують методи математичної лінгвістики [12, 13].

Отже, незважаючи на наявність багатьох робіт, результати яких можуть бути використані для побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, завдання побудови онтологій проблемних ситуацій на основі онтологічних мереж залишається значною мірою невирішеним.

Виклад основного матеріалу

Враховуючи вищесказане, перспективним рішенням є подання інформації у системі підтримки прийняття рішень у вигляді онтологічних мереж, де кожна така онтологія містить інформацію у певній предметній області, відношення до інших мереж, а також функції, що дають змогу отримати певні дані в процесі прийняття рішення.

Онтологію можна подати [14]:

$$O = \langle T, R, F, \rangle, \quad (1)$$

де T – це терміни предметної області; R – відношення між ними; F – функції інтерпретації. Причому при формуванні системи підтримки прийняття рішень множини R і F не можуть бути пустими. Тобто це є певна непуста множина об'єктів, якій приписують такі властивості:

- об'єкти формують деяку ієрархічну структуру;
- терміни інтерпретуються відповідно до функції інтерпретації;
- визначення термінів є аксіомами.

Така онтологія може бути представлена у вигляді певної інформаційної системи, яка складається з подібних термінів та зв'язків між ними, а результатом такої системи буде онтологічна база знань.

Однак, у процесі прийняття рішень є ще один важливий елемент, – це критерій, за яким відрізняються альтернативи з відповідної множини. Саме критерій має велике значення у прийнятті рішення людиною.

Отже, онтологію проблемної ситуації для системи підтримки прийняття рішень можна представити як [15]:

$$O = \langle T, R, F, R, \rangle, \quad (2)$$

де R – це критерії, які є у кожного елемента онтології та використовуються у задачі прийняття рішення. Таку задачу можна описати як множину альтернатив, в якій у кожного елемента є спеціальні значення, що є критеріями цієї альтернативи. А розв'язком такої задачі є підмножина якнайкращих альтернатив, розташованих за важливістю значення критерію. Причому критерії може змінюватися на усіх етапах прийняття рішень.

У роботі [9] дано основні формальні визначення щодо відношень відповідності між онтологіями у мережі онтологій. Так, якщо є дві онтології O та O' , з відповідними мовами подання $Ent(O), Ent(O')$ та множина відношень відповідності R , відповідність між їхніми елементами визначено як трійку $\langle e, e', r \rangle$ таку, що $e \in Ent(O), e' \in Ent(O')$ та $r \in R$. Інакше кажучи, відповідність – це твердження, що між концептами e та e' існує відношення відповідності r .

Відповідність між онтологіями загалом визначено як множину усіх відповістей між елементами.

Мережу онтологій визначено як двійку

$$\langle \Omega, \Lambda \rangle, \tag{3}$$

де Ω – це множина онтологій, а Λ – це відповідність між ними. Часто у позначенні відповідності вказують, між якими онтологіями її встановлено, наприклад $\Lambda(O, O')$.

Частиною відношення відповідності є правило відповідності (*ArtRu* – articulation rule), яке встановлює, як з елементів онтології O отримати елемент онтології O' . У найпростішому випадку це просто відображення між елементами двох онтологій:

$$ArtRu: e \rightarrow e'. \tag{4}$$

У загальному випадку правило відповідності – це відображення підмножини концептів, відношень та функцій інтерпретації вихідної онтології в підмножину концептів, відношень та функцій інтерпретації результуючої онтології:

$$ArtRu: \langle Sub(T), Sub(R), Sub(F) \rangle \rightarrow \langle Sub(T'), Sub(R'), Sub(F') \rangle, \tag{5}$$

де $Sub(T), Sub(R), Sub(F)$ – це підмножини концептів, відношень та функцій інтерпретації вихідної онтології, а $Sub(T'), Sub(R'), Sub(F')$ – підмножини концептів, відношень та функцій інтерпретації для результуючої онтології.

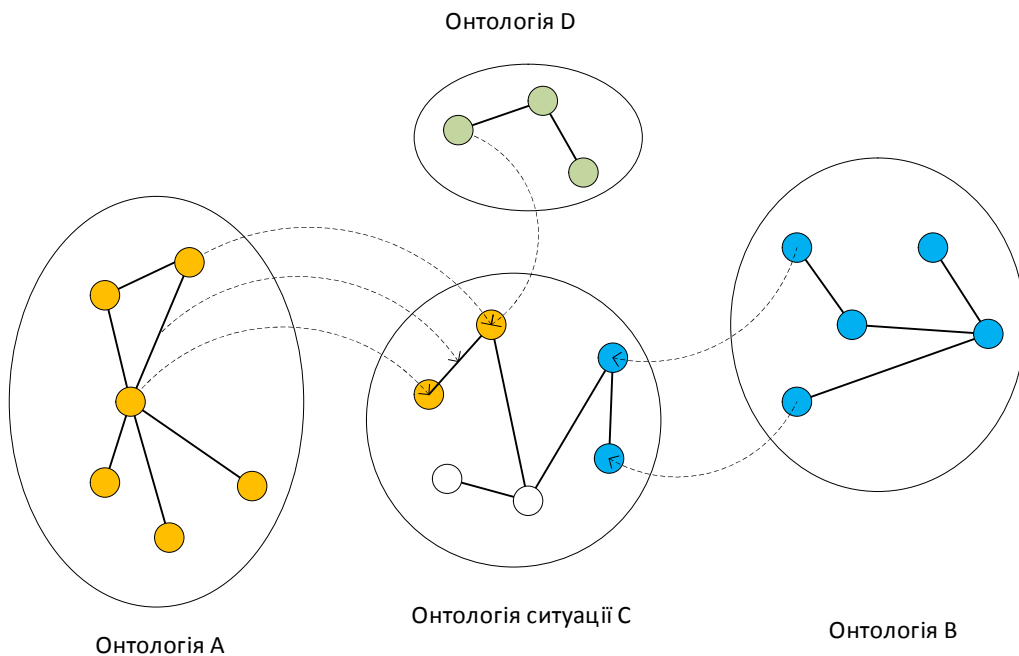


Рис. 1. Формування онтології проблемної ситуації у мережі онтологій

Онтологія проблемної ситуації O_s формується (рис. 1) на основі деякого шаблону – моделі ситуації, розроблено експертом. Спочатку він містить елементи та відношення, які після виконання

операції встановлення відповідності заміщуються елементами з інших онтологій. При цьому можуть використовуватися різні онтології для відображення різних частин онтології проблемної ситуації. Наприклад, при прийнятті рішення щодо надання студенту відпустки за станом здоров'я можуть знадобитися знання з декількох онтологій: онтології навчального закладу, яка описує деталі діяльності студента у навчальному процесі, особистої онтології, яка визначає майновий та сімейний стан, онтології поліклініки, де визначено перебіг хвороби студента, а також онтології законів про працю. На рис. 1 як приклад показано, що онтологія проблемної ситуації С ініціалізується концептами та відношеннями з онтологій А, В та D. При цьому один з концептів онтології ситуації сформовано на основі концептів двох онтологій.

На рис. 2 подано структуру системи підтримки прийняття рішень з використанням онтологій. Експерт проводить навчання системи, в процесі якого формується її база знань. Частиною цієї бази знань є онтологія задач, термінів та зв'язків.

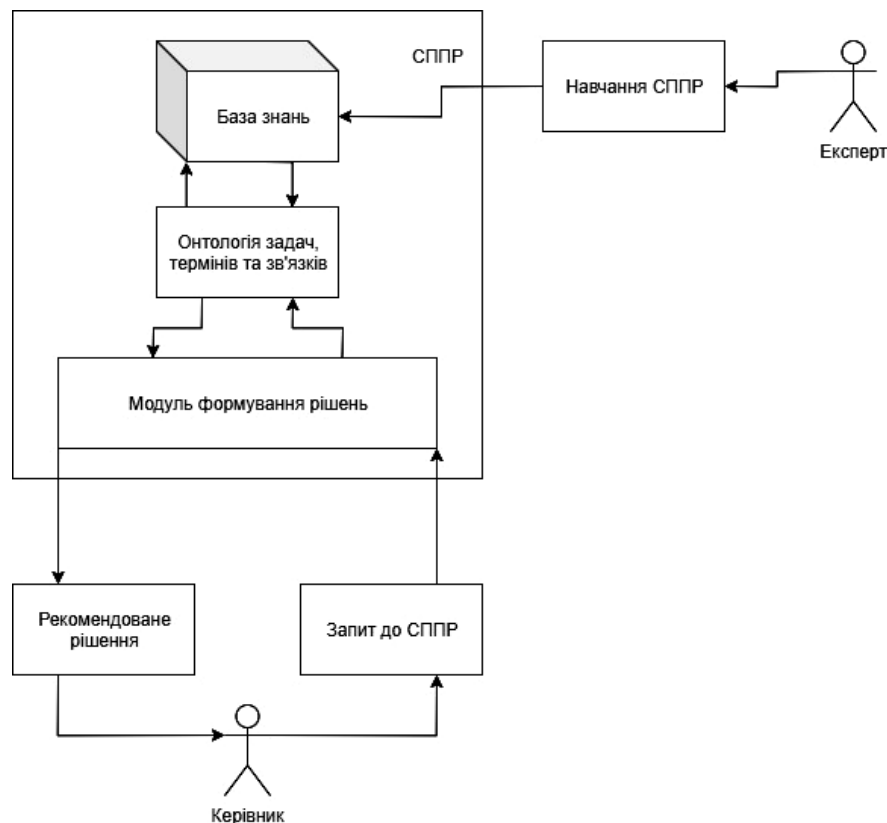


Рис. 2. Структура СППР з використанням онтологій

Загалом процес прийняття рішення проходить у декілька етапів [16, 17]:

1. Постановка задачі.
2. Пошук інформації та її аналіз. Збирається вся доступна інформація на момент прийняття рішення, джерелом якої можуть бути: інтернет, експерти, опитування.
3. Формування критеріїв. На цьому етапі значно допомагають дані, зібрані на попередньому етапі.
4. Побудова онтології, тобто множини альтернатив.
5. Фільтрація альтернатив.
6. Вибір найкращої альтернативи.

Переваги використання онтологій як бази для системи підтримки прийняття рішень [17]:

1. У минулому більшість систем були закритими, сьогодні онтології є відкритими даними, викладеними в інтернеті, що означає: інформація є доступною для всіх.
2. Оскільки дані знаходяться у вільному доступі, створюються системи, які агрегують інформацію з різних веб-сервісів, тим самим створюючи все більші та складніші бази.

Деякі етапи в процесі прийняття рішення можуть бути передані сучасним службам, які надаються компаніями, що в цьому спеціалізуються.

Із врахуванням нових ідей для побудови онтологій з'являється можливість повторного використання існуючих баз знань. Для вирішення завдань підтримки прийняття рішень вже розроблено багато систем. Існують спеціалізовані програми для створення систем підтримки прийняття рішень у таких сферах, як управління продажами чи управління банківськими операціями. Однак, для вирішення проблем у вузьких сферах стає необхідним використання не одного алгоритму, а поєднання кількох.

У такому випадку постає необхідність у створенні базової системи підтримки прийняття рішень, яка працюватиме з онтологічними мережами. Така система виглядатиме як базовий проєкт з готовим пакетом бази знань, яку представляють онтології. На основі такого проєкту під час роботи над інтеграцією системи для вирішення складніших завдань необхідно буде лише доставити посилання на онтології, пов'язані з конкретною задачею.

У такої системи є два входи: один для експерта, задача якого полягає в поповненні/поновленні джерел знань, а другий – для керівника з можливістю задавати запити до системи. Потім йде модуль джерела знань, у якому зберігаються усі підключені онтології та зв'язки між ними. З бази знань формується один із модулів системи підтримки прийняття рішень, а саме база знань, яку використовує ядро. Модуль ядра відповідає за всі інші задачі, наприклад: прийом запиту від керівника, завантаження необхідних знань із бази знань відповідно до термінів, запуск формування множини альтернатив, вибір альтернатив, що якнайкраще відповідають запиту, вибір найкращої альтернативи та виведення рішення.

Як видно з рис. 3, мережу онтологій використовують на всіх етапах роботи системи. Перш за все це формування бази знань через використання представлених зв'язків, а також формування нових. Та на етапі роботи ядра онтологія допомагає швидко знайти відповідні дані.

Наступною задачею при розробленні базової системи може бути надання можливості редагування бази знань, ядром системи. Це допоможе під час формування рішення при складних запитах, коли рішення, сформоване у попередніх запитах, є важливим для подальших. Рішенням в такому випадку може бути впровадження локальної бази даних між ядром та базою даних.

Висновки

Запропоновані підходи до побудови систем підтримки прийняття рішень, що базуються на використанні мереж онтологій, надають можливість вибору знань з онтологій, що якнайточніше відповідають контексту проблемної ситуації. Водночас відкритим залишається питання розроблення методів вибору онтологій та їхніх елементів. На нашу думку, такі методи повинні враховувати як близькість сфер використання онтологій до проблемної ситуації, так і семантичну близькість обраних елементів онтології до онтології проблемної ситуації.

Результати роботи доцільно використовувати для розроблення систем підтримки прийняття рішень, що потребують даних з різних предметних областей та в умовах неоднозначності.

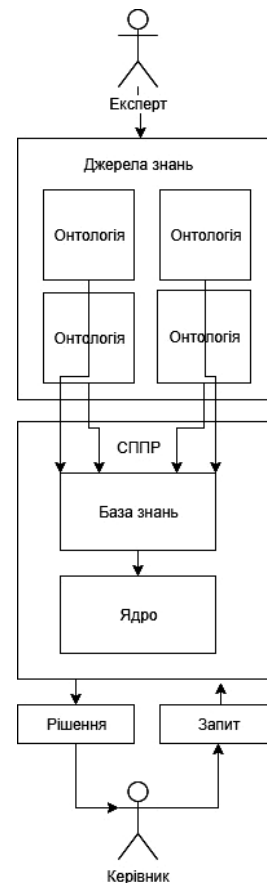


Рис. 3. Структура базової СППР із використанням онтологічних мереж

Список літератури

1. Aditya Das. (2013). Artificial intelligence and decision support systems. Retrieved February 02, 2020, from <https://prezi.com/knlzizgxme9a/artificial-intelligence-and-decision-support-systems/>.
2. Herre, H. (2010). General Formal Ontology (GFO): A foundational ontology for conceptual modelling. In *Theory and applications of ontology: computer applications* (с. 297–345). Springer, Dordrecht.
3. Raz et al. (2006). *Fast and Efficient Context-Aware Services*. John Wiley & Sons.
4. Prasenjit, M., & Gio, W. (2003). *An Ontology-Composition Algebra*.
5. Гаврилова, Т. А. (2001). Описание структуры. *Базы знаний интеллектуальных систем*, (с. 56).
6. Tarapata, Z. (2007). Multicriteria weighted graphs similarity and its application for decision situation pattern matching problem. In *Proceedings of the 13th IEEE/IFAC International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics* (с. 1149–1155).
7. Miah, S.J., Gammack, J. & Kerr, D., (2007). Ontology development for context-sensitive decision support. In *Semantics, Knowledge and Grid, Third International Conference on* (с. 475–478). IEEE.
8. Rahim, N. R., Nordin, S., & Dom, R. M. (2019). A Clinical Decision Support System based on Ontology and Causal Reasoning Models. *Jurnal Intelek*, 14(2), 187–197.
9. Euzenat, J. (2008). *Algebras of ontology alignment relations*.
10. Euzenat, J., David, J., Locoro, A., & Inants, A. (2015). Context-based ontology matching and data interlinking.
11. Sánchez, D., Batet, M., Isern, D., & Valls, A. (2012). Ontology-based semantic similarity: A new feature-based approach. *Expert Syst. Appl.*, 39, 7718–7728.
12. Lytvyn, V., Vysotska, V., Peleshchak, I., Basyuk, T., Kovalchuk, V., Kubinska, S., ... & Salo, T. (2019, September). Identifying Textual Content Based on Thematic Analysis of Similar Texts in Big Data. In *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 2, pp. 84–91)*. IEEE.
13. Vysotska, V., Lytvyn, V., Kovalchuk, V., Kubinska, S., Dilai, M., Chyrun, L., ... & Brodyak, O. (2019, September). Method of Similar Textual Content Selection Based on Thematic Information Retrieval. In *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 3, pp. 1–6)*. IEEE.
14. Hermann, H. (2006). *Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language*.
15. Alter, S. L. (1980). *Decision support systems : current practice and continuing challenges*.
16. Scott, M. S. (1971). *Management Decision Systems: Computer-based Support for Decision Making*.
17. Marakas, G. M. (1999). *Decision support systems in the twenty-first century*.

References

1. Aditya Das. (2013). Artificial intelligence and decision support systems. Retrieved February 02, 2020, from <https://prezi.com/knlzizgxme9a/artificial-intelligence-and-decision-support-systems/>.
2. Herre, H. (2010). General Formal Ontology (GFO): A foundational ontology for conceptual modelling. In *Theory and applications of ontology: computer applications* (pp. 297–345). Springer, Dordrecht.
3. Raz et al. (2006). *Fast and Efficient Context-Aware Services*. John Wiley & Sons
4. Prasenjit, M., & Gio, W. (2003). *An Ontology-Composition Algebra*.
5. Gavrilova, Т. А. (2001). Structure description. *Intelligent systems knowledge base*, (pp. 56).
6. Tarapata, Z. (2007). Multicriteria weighted graphs similarity and its application for decision situation pattern matching problem. In *Proceedings of the 13th IEEE/IFAC International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics* (pp. 1149–1155).
7. Miah, S.J., Gammack, J. & Kerr, D., (2007). Ontology development for context-sensitive decision support. In *Semantics, Knowledge and Grid, Third International Conference on* (pp. 475–478). IEEE.
8. Rahim, N. R., Nordin, S., & Dom, R. M. (2019). A Clinical Decision Support System based on Ontology and Causal Reasoning Models. *Jurnal Intelek*, 14(2), 187–197.
9. Euzenat, J. (2008). *Algebras of ontology alignment relations*.
10. Euzenat, J., David, J., Locoro, A., & Inants, A. (2015). Context-based ontology matching and data interlinking.
11. Sánchez, D., Batet, M., Isern, D., & Valls, A. (2012). Ontology-based semantic similarity: A new feature-based approach. *Expert Syst. Appl.*, 39, 7718–7728.

12. Lytvyn, V., Vysotska, V., Peleshchak, I., Basyuk, T., Kovalchuk, V., Kubinska, S., ... & Salo, T. (2019, September). Identifying Textual Content Based on Thematic Analysis of Similar Texts in Big Data. In 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 2, pp. 84–91). IEEE.
13. Vysotska, V., Lytvyn, V., Kovalchuk, V., Kubinska, S., Dilai, M., Chyrun, L., ... & Brodyak, O. (2019, September). Method of Similar Textual Content Selection Based on Thematic Information Retrieval. In 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 3, pp. 1–6). IEEE.
14. Hermann, H. (2006). *Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language*.
15. Alter, S. L. (1980). *Decision support systems : current practice and continuing challenges*.
16. Scott, M. S. (1971). *Management Decision Systems: Computer-based Support for Decision Making*.
17. Marakas, G. M. (1999). *Decision support systems in the twenty-first century*.

USE OF ONTOLOGICAL NETWORKS IN DECISION SUPPORT SYSTEMS UNDER AMBIGUITY

Ihor Karpov¹, Eugene Burov²

^{1,2} Lviv Polytechnic National University

¹ shad1ksen@gmail.com, ORCID 0000-0003-4885-5078

² yevhen.v.burov@lpnu.ua, ORCID 0000-0001-8653-1520.

© Karpov I., Burov E., 2020

The increasing amount of information that needs to be taken into account in decision making determines the relevance of building intelligent decision support systems. The prerequisite for making the right decision is to build a correct conceptual model of the problem situation, which takes into account all the factors relevant to this situation. The conceptualization of the problem situation is presented by the ontology of that situation. When forming the ontology of a situation, it is advisable to use knowledge from existing ontologies. This raises the problem of ambiguity in the selection of elements of existing ontologies that most accurately fit the situation.

The purpose of the work is to investigate the usage of ontology networks for the construction of ontologies for problematic situations in the conditions of choice ambiguity, that is, when it is necessary to select the most accurate ontological source taking in consideration the context.

Formal definitions of the ontology of the problem situation, the correspondence between the elements of the ontology, the network of ontologies and the rules of conformity are given. Matching rules are defined as mappings between subsets of concepts, relationships, and interpretation functions of two ontologies. The paper presents a conceptual model of ontology formation of a problematic situation based on several source ontologies. The structure of decision support system on the basis of ontological networks was developed and the process of decision support in case of using ontology networks was defined. A central element of such a system is the knowledge base, which contains situation models and links to external ontologies from the network for each such model. The basis of these references is a set of articulation rules that determine which ontologies should be used to acquire knowledge from and how to transform them before writing them into an ontology of a situation. When a problematic situation occurs, the ontology of the situation is formed dynamically, taking into account the existing context of the situation. It also provides an opportunity to use current knowledge in related ontologies.

Proposed approaches for building decision support systems using ontology networks provide the ability to dynamically select concepts and relationships that are relevant to the context of the situation. The results of the work should be used to develop decision support systems that require data from different subject areas in conditions of ambiguity.

Key words: ontology, ontological networks, decision support system.