

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-02>

УДК 004.8:519.1/.8

Григорович Андрій Геннадійович¹, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-5361-8854>

Григорович Віктор Геннадійович², к.ф.-м.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5828-067X>

Жовнір Юрій Іванович², аспірант

<https://orcid.org/0009-0006-6186-2861>

Грибовський Олег Миколайович², аспірант

<https://orcid.org/0009-0005-6318-3611>

¹Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, м. Дрогобич, Україна

²Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ФОРМУВАННЯ ОБЕРНЕНО-АДИТИВНОЇ СЕМАНТИЧНОЇ МЕТРИКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ОНТОЛОГІЙ БЕЗПЕКОВИХ СИСТЕМ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ

Григорович А. Г., Григорович В. Г., Жовнір Ю. І., Грибовський О.М. **Формування обернено-адитивної семантичної метрики для аналізу онтологій безпекових систем багатоквартирних будинків.** Проблеми побудови метрик є ключовими для розв'язку задачі кількісного оцінювання як в цілому систем об'єктів довільної природи, так і відношень, що описують зв'язки між складовими вказаних систем. Для оцінювання відношень між концептами побудовано метрику для не таксономічної онтології (для довільної семантичної мережі концептів). Практичне значення дослідження полягає у розробленні точної та ефективної семантичної метрики, яка може покращити результати вирішення завдань опрацювання онтологій, зокрема таких як пошук інформації, класифікація та виявлення знань. Запропонована метрика може бути корисною для розробки ефективних інтелектуальних систем, які використовують онтології для подання знань, зокрема при розробленні безпекових систем багатоквартирних будинків чи житлових кварталів. Проведено аналіз та обґрунтування запропонованої метрики.

Ключові слова: онтологія, семантична мережа, метрика, розмір, відстань, концепт.

Hryhorovych A., Hryhorovych V., Zhovnir Yu., Hrybovskiy O.M. Inverse-additive semantic metric and distance calculation between ontology concepts. The problems of metric construction are crucial for solving the task of quantitative evaluation of both systems of objects of any nature and the relationships that describe the connections between the components of these systems. A metric has been developed for evaluating relationships between concepts in a non-taxonomic ontology (for any semantic network of concepts). The practical significance of the research lies in the development of an accurate and efficient semantic metric that can improve the outcomes of ontology processing tasks, such as information retrieval, classification, and knowledge discovery. The proposed metric can be useful for the development of effective intelligent systems that utilize ontologies for knowledge representation, particularly in the development of security systems for apartment buildings or residential neighborhoods. An analysis and justification of the proposed metric have been conducted.

Keywords: Ontology, semantic network, metrics, size, distance, concept.

Постановка наукової проблеми. В сучасних інформаційних системах моделюються предметні області, які містять об'єкти та системи складної будови. При цьому, мережева модель є однією з найбільш адекватних та зручних для опису навколишнього світу. Вважається, що довільну систему можна, зазвичай, описати за допомогою кінцевої множини мережевих структур.

Для кількісного оцінювання моделей систем першочерговим є побудова відповідної метрики, що дозволить визначити поняття «розмір системи» та «відстань між елементами системи», а також більш точно описувати системи та взаємозв'язки між елементами систем, перейти від їх якісних до кількісних характеристик.

Одним з яскравих прикладів таких мережевих структур є онтології – семантичні мережі, які описують поняття (концепти) певних предметних областей та взаємозв'язки між ними.

У випадку дослідження окремих елементів системи та відношень, що існують між цими елементами, важливими є метрики, що описують зв'язки між окремими складовими частинами систем. Для онтологій зазначені метрики дають можливість оцінювати, зокрема, «відстані» між окремими концептами.

Таким чином, вирішення проблеми побудови метрик для кількісного оцінювання мережевих структур, зокрема – онтологій, має важливе науково-методологічне та прикладне значення. Задання формалізмів вказаних метрик дозволить вирішувати ряд задач, пов'язаних із семантичним аналізом текстів – автоматичного реферування, побудови мережевих структур в UML нотаціях, дослідження

їх схожості, автоматичного оцінювання відповідей на відкриті тестові завдання, автоматичної побудови семантичної мережі заданого тексту тощо.

В цій роботі розглядається метрика для мережевих структур, що описуються за допомогою орієнтованих графів, придатна як семантична метрика для вимірювання відстані між концептами в довільній (не лише ієрархічній) онтології.

Аналіз досліджень. Метрикам для мережевих та ієрархічних структур, а також метрикам для оцінювання онтологій та концептів в онтологіях присвячено доволі багато публікацій. Описані в джерелах метрики можна поділити на такі види: морфологічні метрики, ймовірнісні (Байесові), метрики для адаптивних онтологій, метрики для оцінювання онтологій, метрики для оцінювання зв'язків між концептами в онтологіях.

Морфологічні метрики для ієрархічних дерев

Fenton N.E. та Pfleeger S.L. [1] описали набір простих морфологічних метрик для ієрархічних дерев, що ґрунтуються на характеристиках графів:

- розмір $Size = n$, де n – кількість вершин.
- густина взаємодії $R = e / n$ (відношення кількості ребер до кількості вершин). Для дерева $e = n - 1$.
- коефіцієнт розгалуження за виходом $Fan_out(i)$ – це кількість дочірніх вершин i -тої вершини.

Первинними характеристиками графу є кількість вершин n та кількість ребер e .

Для дерева до них додаються ще дві глобальні характеристики – висота і ширина:

- висота ($depth$) – кількість рівнів (кількість вершин в найдовшому шляху від кореневої вершини до листової);
- ширина ($width$) – максимальна кількість вершин, розміщених на будь якому одному рівні дерева. Ширина рівня – це кількість вершин дерева на даному рівні, тоді ширина дерева – це максимальна ширина на всіх рівнях.

q -метрика для зваженого графа та природня метрика для звичайного графа

В роботі [2] наведено метрику для звичайного графа:

Нехай $L[q] = (X, U; q)$ – звичайний граф з ваговою функцією q , яка ставить у відповідність до кожного ребра $u \in U$ дійсне число $q(u) > 0$ як довжини. Якщо Q – маршрут, то сума $q(Q) \equiv \sum_{u \in Q} q(u)$ по всім його ребрам називається його q -довжиною, а просто довжина – це кількість ребер маршруту (в обох випадках кожне ребро слід рахувати стільки разів, скільки воно зустрічається в маршруті).

Число

$$d(x, y) \equiv d_L^q(x, y) \equiv \min\{q(Q) \mid Q \in \mathbf{Q}(x, y)\}$$

де $\mathbf{Q}(x, y)$ – множина всіх простих ланцюгів із x до y , називається q -відстанню між вершинами $x, y \in X$ зваженого графа $L[q]$: якщо $x = y$, то Q – ланцюг нульової довжини і його q -довжина $q(Q) \equiv 0$, а якщо вершини x та y – відокремлені, то $\rho(x, y) \equiv +\infty$.

Легко побачити, що q -відстань задовольняє трьом аксіомам метрики Фреше (Fréchet):

$$\forall x, y \in X [d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y],$$

$$\forall x, y \in X [d(x, y) = d(y, x)],$$

$$\forall x, y \in X [d(x, y) + d(y, z) \geq d(x, z)],$$

тобто, є метрикою на множині X . В частковому випадку, коли всі $q(u) = 1$, тобто, коли q -відстань кожного ланцюга збігається з його звичайною довжиною, метрика $d(x, y) \equiv d_L^q(x, y)$ графа $L[q]$ називається природньою метрикою звичайного графа $L = (X, U)$.

Ймовірнісні (Байесові) метрики

В роботі К. Нейлора [3] запропоновано ймовірнісний підхід, що ґрунтується на теоремі Байеса, для оцінювання ієрархічних структур при побудові експертних систем.

Метрика для таких систем ґрунтується на теоремі Байеса: ймовірність здійснення деякої гіпотези H за наявності певних свідчень E , які підтверджують цю гіпотезу (тобто, при настанні подій E), обчислюється на основі апріорної ймовірності даної гіпотези без свідчень-підтверджень E та ймовірності здійснення свідчень за умов, що гіпотеза вірна або хибна:

$$P(H | E) = \frac{P(HE)}{P(E)} \Rightarrow P(HE) = P(H | E) \cdot P(E) = P(E | H) \cdot P(H)$$

$$P(H | E) = \frac{P(E | H) \cdot P(H)}{P(E)}$$

де

$P(H)$ – апіорна ймовірність гіпотези H ;

$P(H | E)$ – ймовірність гіпотези H при настанні подій E (апостеріорна ймовірність);

$P(E | H)$ – ймовірність настання подій E при істинності гіпотези H ;

$P(E)$ – ймовірність настання подій E .

Г. С. Теслер в роботі [4] розвиває запропонований К. Нейлором підхід:

Нехай $G = (V, E)$ – зв'язний граф, u та v – дві його різні вершини. Тоді відстанню між вершинами u та v буде довжина найкоротшого маршруту, яка позначається $d(u, v)$. При цьому виконуються всі аксіоми метрики.

Відомо, що всякий граф взаємно однозначно подається бінарним відношенням, яке можна задати матрицею суміжності. Елементи матриці суміжності $A(G)$ мають вигляд

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо вершини з номерами } i \text{ та } j \text{ - сумісні} \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Рангом графа G називається ранг його матриці суміжності, позначається $rank(G)$.

Якщо u – деяка вершина графу $G = (V, E)$, то величина $e(u) = \max d(u, v)$, $v \in V$ називається ексцентриситетом вершини u . Діаметром графа називають максимальний ексцентриситет серед його вершин і позначають $d(G) = \max e(u)$, $u \in V$.

У цьому випадку як міру можна було б використовувати діаметр графа і побудувати метрику графів на основі їх діаметрів – що еквівалентно одній з морфологічних метрик.

Як приклад ієрархії Г. С. Теслер наводить дерево хворіб людини та їх зв'язки в залежності від причин їх виникнення та механізмів їх розвитку. Як метрику для подібних систем використовують теорему Байєса. Використання такого підходу при побудові експертної системи для медичної бази знань MYCIN наведено в роботі [3]; подібний підхід для аналізу кристалічних структур хімічних сполук описано в роботі [5].

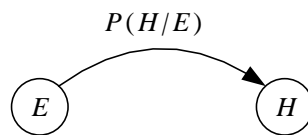


Рис.1. Ілюстрація до ймовірнісної метрики

Слід зауважити, що система MYCIN оперує поняттям «ступінь певності»: процедурні правила в ній формуються у вигляді «ЯКЩО ... ТО ... З ПЕВНІСТЮ Р», де ступінь певності – «приблизно те саме, що ми називаємо умовною ймовірністю $P(H | E)$ – ймовірність гіпотези H за умови, що подія E відбулася» [3]. При побудові системи MYCIN експерти-медики пропонували правила і вказували ступінь довіри до кожного правила в діапазоні від 1 до 10 – такі експертні оцінки і стали ступінню певності для відповідних процедурних правил. Отже, набір процедурних правил такої системи можна описати за допомогою орієнтованого графу, кожне ребро якого має вагу – умовну ймовірність переходу $E \rightarrow H$, тобто ймовірність гіпотези H за умови, що відбулася подія E (рис.1).

Очевидно, що такий підхід дозволяє оцінити лише окремі частини даного орієнтованого графу і не придатний для порівняння різних графів між собою, бо загальна ймовірність повної системи повинна дорівнювати одиниці: $P(G = (V, E)) = 1$.

Метрики для оцінювання онтологій

В роботі [6] запропоновано підхід машинного навчання для поєднання метрик, який використовує різні лінгвістичні та контексті профілі для виявлення відповідності між сутностями різних онтологій. Запропоновано метрики, які стосуються термінологічних та контекстних характеристик сутностей в онтології.

Робота [7] пропонує вирішення проблеми, пов'язаної із збільшенням кількості онтологій та семантичних веб-додатків. Кількість та складність таких онтологій ускладнює розробникам вибір, які саме онтології використовувати. Для спрощення цієї проблеми пропонується алгоритм

модуляризації, який може використовуватися для розділення онтологій на набори модулів. Для того, щоб оцінити якість модуляризації, запропоновано нову оціночну метрику, яка кількісно оцінює ефективність модуляризації онтологій.

В роботі [8] описано вирішення проблеми, пов'язаної із тим, що різноманітність способів концептуалізації домену призводить до створення різних онтологій із суперечливими частинами або частинами, які перекриваються. З цієї причини онтології потрібно узгодити (вирівняти). Одним з методів вирівнювання онтологій є порівняння назв класів та властивостей онтологій за допомогою метрик, що ґрунтуються на відстанях між літерними рядками.

Робота [9] – це огляд метрик для оцінки якості та правильності онтологій. ONTOMETRIC, OntoQA і Protégé представляють найважливіші інструменти для оцінки онтологій. Також існують різноманітні метрики зчеплення, зв'язку та ранжування, та такі методи, як OntoClean. В статті аналізуються ці інструменти та метрики, та розглядається сучасний стан метрик онтологій:

У статті [10] описано деякі метрики для нормалізації онтологій, розглядається сучасний стан та в основному пропонується нормалізація як попередній процес застосування структурних метрик. Цей процес нормалізації складається з п'яти етапів: найменування анонімних класів, найменування анонімних індивідів, ієрархічної класифікації та уніфікації імен, поширення індивідів до найглибших можливих класів та нормалізації властивостей об'єкта.

Роботи [11] та [12] пропонують деякі метрики для ранжування онтологій. В основному ця пропозиція складається з сервлета Java для опрацювання як вхідних даних певних ключових слів, введених користувачем. Потім фреймворк здійснює пошук за допомогою методу Swoogle1 і отримує всі уніфіковані ідентифікатори ресурсу, що представляють онтології, пов'язані з цими ключовими словами. Потім фреймворк здійснює пошук у своїй внутрішній базі даних, чи ці онтології раніше були проаналізовані та отримує їх інформацію. Нарешті, фреймворк ранжує отримані онтології.

Orme та ін. [13] запропонували набір метрик зв'язку для систем на основі онтологій, представлених в мові веб-онтологій, такими метриками є: кількість зовнішніх класів, посилань на зовнішні класи та включених посилань. Ця пропозиція визначає новий тип вимірювання зв'язку для розробки системи, який визначає метрику зв'язку на основі даних онтології та її структури. Перша запропонована метрика – представляє кількість різних зовнішніх класів, визначених поза онтологією, які використовуються для визначення нових класів та властивостей онтології. Зовнішні класи можуть включати стандартні класи, визначені як примітиви мови онтології, та визначені користувачем класи з інших онтологій. Це – пряма міра кількості класів онтології. Друга метрика – це кількість посилань на зовнішні класи онтології, – пряма міра кількості розгалужень (у цьому випадку розгалуження – це різні ієрархії класів із зовнішніми коренями). Третя метрика – це пряма міра кількості включених посилань в онтологію. Для поєднання цих метрик використовується стандартний аналізатор на основі XML.

В роботі [14] автори запропонували набір метрик з'єднання онтологій для вимірювання модульної зв'язаності мові веб-онтології. Ці показники – кількість кореневих класів (NoR), кількість листових класів (NoL) та середня глибина ієрархічного дерева успадкування для всіх листових вузлів (ADIT-LN). Автори визначають NoR-метрику як загальну кількість кореневих класів, явно визначених в онтології. Кореневий клас в онтології означає, що клас не має семантичного суперкласу, явно визначеного в онтології. Метрика NoL визначається як кількість класів листів, явно визначених в онтології. Листовий клас в онтології означає, що клас не має семантичного підкласу, явно визначеного в онтології. Нарешті ADIT-LN визначається як сума глибин усіх шляхів, поділена на загальну кількість шляхів.

Yinglong та ін. [15] запропонували інший набір метрик зв'язності онтології для вимірювання модульної зв'язаності онтологій у контексті динамічної та мінливої мережі Web. Ці метрики були визначені з урахуванням принципу зв'язаності з об'єктно-орієнтованого підходу, адаптованого до онтологій. Автори зосереджуються на вимірюванні невідповідностей в онтологіях і повністю розглядають онтологічну семантику, а не структуру. Метрики, які вони пропонують – це кількість онтологічних розділів (NOP), кількість мінімально неузгоджених підмножин (NMIS) та середнє значення аксіомних неузгодженостей (AVAI). У цій роботі також описані алгоритми для обчислення цих метрик та перевірки метрик за допомогою платформ валідації. Автори визначають метрику NOP як кількість семантичних розділів бази знань. NMIS визначається як кількість усіх мінімально несумісних підмножин у базі знань. Цей показник корисний для вимірювання масштабу

впливу неузгодженості бази знань. Третя метрика AVAI визначається як: відношення суми значень впливу неузгодженості всіх аксіом і тверджень до кардинальності (кількості елементів) бази знань.

Методологія OntoClean [16] пропонує використовувати деякі визначені мета-властивості: жорсткість, єдиність, ідентичність та залежність. Методологія складається з присвоєння цих мета-властивостей сутностям з метою надання їм логічного та смислового значення. Застосування цих мета-властивостей призводить до накладення декількох обмежень на таксономічну структуру онтології та дозволяє розробити концептуальний аналіз концептів та їх обґрунтованості. Більше того, ця методологія дозволяє аналізувати та виявляти логічно не узгоджені відношення.

Z.Yang та ін. [17] запропонували метрики, які враховують еволюцію онтологій. Автори пропонують набір метрик складності, які в основному розглядають кількість, співвідношення та корелятивність понять та відношень, щоб оцінити онтології з точки зору складності та її еволюції. Ці метрики поділяються на дві групи: примітивні метрики та метрики складності. Примітивні метрики включають загальну кількість понять або класів, загальну кількість відношень, загальну кількість шляхів, де шлях визначається як маршрут від певного конкретного концепту до найбільш загального концепту в онтології. Перша метрика складності визначається як середня кількість відношень на концепт. Друга метрика – це середня кількість шляхів на концепт.

В роботі [18] розглядається питання пошуку ефективного методу оцінки онтологій, наводиться огляд наявних методів оцінки онтологій, обговорюються їх переваги та недоліки. Представлені методи оцінки онтологій можна згрупувати у чотири категорії: підходи, що ґрунтуються на золотому стандарті, на основі сукупності елементів, на основі завдань та на основі критеріїв.

Наприклад, Maedche і Staab (2002) розглядають онтології як двошарові системи, що складаються з лексичного та концептуального шару. На основі цієї основної моделі онтології цей підхід вимірює схожість між вивченою онтологією та онтологією сфери туризму, що моделюється експертами. Він вимірює подібність на основі поняття лексикону, опорних функцій та семантичної копії, які детально описані в [19].

Крім того, Ponzetto і Strube [20] оцінюють похідну систематику з Вікіпедії, порівнюючи її з двома базовими таксономіями. Цей підхід відображає вивчену систематику з ResearchCyc за допомогою денотаційного картографу лексеми до концепції.

Treeratpituk та ін. [21] оцінюють якість побудованої систематики з великого текстового корпусу, порівнюючи її з шістьма специфічними таксономіями золотого стандарту. Ці шість еталонних таксономій генеруються з Вікіпедії за допомогою запропонованого ними алгоритму GraVTax.

Zavitsanos та ін. [22] також оцінюють вивчену онтологію на основі золотого відліку. Цей новий підхід перетворює поняття онтології та їх властивості у векторне представлення простору та обчислює схожість та несхожість двох онтологій на лексичному та реляційному рівнях.

Цей тип підходу застосовують також Kashyap та Ramakrishnan [23]. Вони використовують базу даних MEDLINE як корпус документа, а тезаурус MeSH як золотий стандарт для оцінки побудованої систематики. Процес оцінювання порівнює сформовану таксономію з еталонною систематикою з використанням двох класів метрик: (1) Метод якості вмісту: він вимірює перекриття міток між двома таксономіями з метою вимірювання точності та відкликання. (2) Структурний показник якості: він вимірює структурну обґрунтованість етикетки. Тобто, коли в одній таксономії з'являються дві мітки у відносинах батько-дитина, вони повинні з'являтися у послідовному взаємозв'язку (батько-дитина або пращур-нащадок) в іншій таксономії.

Метрики для оцінювання зв'язків між концептами в адаптивних онтологіях

В роботах [24-27] запропоновано метрики на основі адаптивних онтологій для семантичних (наприклад, задач класифікації) та ознакових (наприклад, пошук релевантних прецедентів) задач.

Для семантичних задач відстань між прецедентом і ситуацією визначається як сума відстаней між „найважливішими” поняттями прецедента та поточної ситуації. Найважливіше поняття відповідає центру ваг концептуального графа, за допомогою якого подається адаптивна онтологія. Розглядається максимум три «найважливіших» поняття концептуального графа. В цьому випадку отримуємо три центри ваг i -го прецедента та три центри ваг поточної ситуації s^1, s^2, s^3 . Відстань між прецедентом та поточною ситуацією визначається як

$$d(pr, s) = \arg \min \sum_{n=1}^3 d_n, \quad d_n = d(pr_i^j, s^k), \quad j=1,2,3, \quad k=1,2,3$$

– з дев'яти різних відстаней $d(pr_i^j, s^k)$, $j=1,2,3$; $k=1,2,3$ вибираються такі три, щоб їх сума була мінімальною. Отримана сума і буде відстанню між прецедентом та поточною ситуацією.

Вказана метрика не оцінює всіх шляхів від одного концепту до іншого.

Онтології для опису метрик

В роботі [28] описано розроблення онтології для організації інформації про метрики та її потенційного застосування для визначення та управління метриками в проєкті CTSA (Clinical and Translational Science Award). Метою є підтримка інтегрованої бази даних всіх показників, що використовуються компонентами CTSA. Онтологія подається у вигляді концептуальної схеми даних типу «сутність-зв'язок».

Метою даної роботи є розроблення обернено-адитивної семантичної метрики, придатної для обчислення відстаней між концептами онтології з нетаксономічними зв'язками.

Для досягнення мети було необхідно вирішити наступні завдання:

Провести огляд існуючих семантичних метрик, що дозволить проаналізувати семантичні метрики, які використовуються для обчислення відстані між концептами в онтологіях, визначити переваги та недоліків різних підходів.

Розробити обернено-адитивну семантичну метрику, визначити теоретичні основи обернено-адитивної семантичної метрики, формалізувати її за допомогою математичних виразів та алгоритмів.

Провести оцінку обернено-адитивної семантичної метрики шляхом порівняння обернено-адитивної метрики з іншими існуючими метриками за допомогою експериментів та аналізу результатів та оцінювання точності, ефективності та надійності метрики в різних сценаріях.

Провести аналіз впливу обернено-адитивної семантичної метрики, зокрема, дослідження її впливу на виконання різних завдань з опрацювання онтологій, таких як пошук інформації, класифікація та виявлення знань, визначення потенційних сфер застосування метрики.

Аналіз ситуацій та формування прикладів у даній роботі кореспондуються з розробленням реальних інформаційних систем безпекового типу для багатоквартирних будинків, кварталів, мікрорайонів та міст. Водночас, результати дослідження можуть бути використані для розвитку методів семантичного аналізу та опрацювання онтологій, що може бути втілене в системах штучного інтелекту, інженерії даних і знань, в ряді інших галузей.

Онтологія – це «експліцитна специфікація концептуалізації» [29]. Онтологія – формальне та явне визначення концептуалізації, яка містить: концепти (поняття предметної області), їх визначення, ієрархічну організацію понять, відношення між поняттями, аксіоми для формалізації визначень та відношень.

Тут концептуалізація означає введення абстрактних об'єктів для абстрактного, спрощеного опису навколишнього світу.

Для автоматизації семантичного аналізу текстів потрібно ввести метрики на мережових структурах для оцінювання кількісних характеристик, що описують онтології в цілому, відношення між концептами певної онтології.

Проаналізовані метрики можна поділити на два види:

1. Метрики, що описують сукупні інтегральні характеристики онтології.

Вони дозволяють порівнювати різні онтології.

Інтегральні характеристики – це такі характеристики онтології, які

- оцінюють онтологію в цілому;
- дозволяють порівнювати різні онтології між собою.

Такими характеристиками є, наприклад, наступні характеристики графу онтології:

- кількість вузлів,
- кількість ребер,
- діаметр,
- максимальна, мінімальна, середня степінь вузла, тощо.

2. Метрики, що описують характеристики відношень між концептами однієї онтології.

Вони дозволяють порівнювати концепти в алгоритмах при розв'язуванні таких задач, як автоматичне реферування, пошук та оцінювання текстів, зокрема таких, як технічні умови, технічні завдання та інші види технічної документації тощо.

Всі відношення між концептами можна поділити на дві категорії:

- Таксономічні відношення.

Вони описують ієрархічні зв'язки «is-a» («...є різновидом...») між концептами, тобто відношення «підмножина – множина», «множина – надмножина».

- Не таксономічні відношення.

Вони описують не ієрархічні зв'язки, наприклад, зв'язок *used-in* («термін_1 зустрічається у визначенні терміну_2») або зв'язок *uses-of* («визначення терміну_1 використовує термін_2», чи «термін_1 посилається на термін_2»).

Наявні метрики цього виду оцінюють відстань між концептами в припущенні існування єдиного шляху від одного концепту до іншого.

У випадку, якщо онтологія є таксономією, тобто всі зв'язки між концептами – ієрархічні, то таке припущення справедливе і зазначені метрики вірні.

Проте, якщо існують не таксономічні відношення між концептами (наприклад, «термін_1 посилається на термін_2»), то така метрика не буде вірною, бо вони передбачають існування багатьох шляхів від одного концепту до іншого.

Метрика, основана на багатьох зв'язках між концептами, має враховувати:

- відстань як кількість переходів в орієнтованому графі онтології на шляху від одного вузла-концепту до іншого,
- кількість таких шляхів.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Побудуємо метрику, яка дозволить оцінювати відстані між концептами у випадку нетаксономічних зв'язків в онтології на прикладі онтологічної моделі, що описує та структурує знання про безпекову систему багатоквартирного будинку, а також продемонструємо можливість її адаптації та масштабування, зокрема, для охоплення безпекових систем житлового кварталу, мікрорайону та міста загалом.

Вимогами до такої онтології є повнота, точність, ясність, масштабованість, інтегрованість.

Онтологія повинна охоплювати всі ключові поняття та елементи, пов'язані з безпекою багатоквартирного будинку, також мати потенціал для розширення до рівня житлового кварталу. Концептуальні відношення та властивості в онтології повинні точно відображати реальні відношення та властивості в системах безпеки. Онтологія повинна бути чітко та зрозуміло подана з використанням формальної мови моделювання, та бути чітко документованою. Онтологія повинна бути модульною та розширюваною, щоб її можна було легко адаптувати до потреб безпекових систем житлового кварталу, району та ін. Вона повинна бути сумісною з існуючими стандартами та моделями знань у галузі безпеки житлових будівель. Безперечно, при розробленні онтології важливо врахувати різні типи систем безпеки, які використовуються в багатоквартирних будинках, такі як системи відеоспостереження, системи контролю доступу та системи протипожежної безпеки. Онтологія формується таким чином, щоб вона могла легко інтегруватися з існуючими системами безпеки та інструментами управління в них. Саме такий підхід сприятиме можливості переходу від онтології безпекової системи багатоквартирного будинку до онтології безпекової системи житлового кварталу та ін. Безперечно такий перехід потребує внесення низки додаткових вимог серед яких розширення обсягу охоплення, формування ієрархічної структури, використання багатоагентного підходу, розподіленість архітектури, забезпечення можливості інтеграції, наявність засобів управління динамічними змінами, забезпечення конфіденційності та безпеки.

Процес переходу від однієї онтологічної системи до іншої, ширшої, передбачає включення нових сутностей, до прикладу таких як територія житлового кварталу (будівлі, дороги, зелені зони), в'їзди та виїзди з кварталу, інфраструктура (мережі освітлення, водопостачання, електропостачання), персонал охорони та обслуговування, системи централізованого моніторингу та управління. Удосконалюються ієрархічні відношення між сутностями, наприклад, «будівля є частиною житлового кварталу» та застосовуються принципи композиції та успадкування для презентації спільних характеристик та спеціалізації різних типів сутностей (житлові будинки, адміністративні будівлі, комерційні приміщення). Проводиться моделювання взаємодії між різними

агентами системи, такими як системи безпеки окремих будівель, центральний пульти управління, персонал охорони, мешканці житлового кварталу, визначення протоколів та правил взаємодії для забезпечення координації та спільних дій.

Розроблення розширеної онтології відбувається з урахуванням розподіленої архітектури системи безпеки житлового кварталу. Моделювання локальної автономії та децентралізованого прийняття рішень відбувається на рівні окремих будівель з можливістю подальшого централізованого контролю та координації. Важливим є забезпечення можливості інтеграції в онтології описів систем, що використовуються в житловому кварталі (системи диспетчеризації, системи автоматизації будівель, системи відеоспостереження) та використання стандартів та протоколів обміну даними для забезпечення їх сумісності та взаємодії. Розроблення механізмів для оновлення та адаптації онтології відповідно до динамічних змін в житловому кварталі (будівництво нових будівель, зміна інфраструктури, зміна персоналу) та використання методів машинного навчання для автоматичного виявлення та опрацювання змін в даних про систему безпеки є перспективними кроками трансформаційних змін, пов'язаних з набуттям нових знань. При цьому важливим є впровадження механізмів контролю доступу та захисту даних для забезпечення конфіденційності та безпеки інформації про систему безпеки житлового кварталу та використання криптографічних методів для захисту даних під час їх зберігання та передачі. Наявність можливості впровадження зазначених змін дозволить створити гнучку та масштабовану онтологічну систему, яка коректно представлятиме та підтримуватиме роботу складної динамічної системи безпеки житлового кварталу.

Масштабування та формування нових аплікацій онтологічних систем вимагає побудови метрики мережевих структур, що була б придатною для вимірювання відстаней між концептами таких онтологій.

Ця метрика повинна забезпечувати оцінювання відстаней між концептами онтології в припущенні існування не єдиного шляху від одного концепту до іншого. Такі мережні структури описуються довільними орієнтованими графами.

Обернено-адитивна метрика

Позначимо N_i – кількість переходів від концепту A до концепту B по i -му шляху, $i=1, \dots, K$, де K – кількість різних шляхів, якими можна перейти по орієнтованому графу певної онтології від концепту A до концепту B .

Визначимо відстань $d(A, B)$ між концептами A та B наступним чином:

$$\frac{1}{d(A, B)} = \sum_{i=1}^K \frac{1}{N_i}$$

Приклад:

Припустимо, що між концептами A та B є два шляхи. Перший шлях містить один перехід, а другий – два (рис.2):

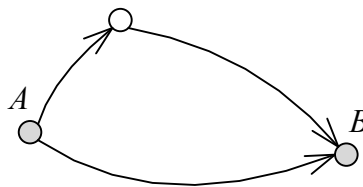


Рис.2. Ілюстрація до прикладу обернено-адитивної метрики

Тоді відстань $d(A, B)$ між ними:

$$\frac{1}{d(A, B)} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}, \quad d(A, B) = \frac{2}{3}$$

Аналогією до цієї метрики є правило обчислення електричного опору для послідовного і паралельного з'єднання. На основі закону Ома, для послідовного з'єднання опорів R_1 та R_2 загальний опір

$$R = R_1 + R_2,$$

для паралельного з'єднання:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Обґрунтування

Як відомо, метрика ґрунтується на понятті відстані. Відстань $d(x, y)$ – однозначна, невід'ємна, дійсна функція $d: X \times X \rightarrow \mathbb{R}$, визначена для $\forall x, y \in X$, яка задовольняє трьом аксіомам метрики:

- 1) $d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x \equiv y$ (аксіома тотожності)
- 2) $d(x, y) = d(y, x)$ (аксіома симетрії)
- 3) $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$ (аксіома трикутника)

Доведемо, що ці аксіоми справджуються для вказаної метрики:

Аксіома тотожності

$$d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x \equiv y \quad (\text{аксіома тотожності})$$

В нашому випадку $R(A, A) = N$, де N – кількість переходів від вузла A до вузла A , $N=0$.

Перша аксіома – справджується.

Аксіома симетрії

$$d(x, y) = d(y, x) \quad (\text{аксіома симетрії})$$

Слід зауважити, що в загальному випадку для орієнтованого графа не може існувати симетрії в тлумаченні другої аксіоми метрики. Тобто, не може виконуватися правило $R(A, B) = R(B, A)$, оскільки кількість переходів від вузла A до вузла B буде збігатися із кількістю переходів від вузла B до вузла A лише у тому випадку, коли є цикл $A \rightarrow B \rightarrow A$ та відстань (кількість переходів) на шляху $A \rightarrow B$ дорівнює відстані на шляху $B \rightarrow A$.

Введення пар симетричних зв'язків, наприклад, для онтології – це пара зв'язків використовує (*uses-of*) – використовується (*used-in*), дозволяє забезпечити виконання аксіоми симетрії для запропонованої метрики в наступному тлумаченні:

$$d_{used-in}(A, B) = d_{uses-of}(B, A)$$

Якщо розглядати пару взаємно симетричних відношень (відношення *uses-of* симетричне до відношення *used-in*), то друга аксіома – справджується.

Аксіома трикутника

$$d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z) \quad (\text{аксіома трикутника})$$

Розглянемо орієнтований граф, для якого обґрунтуємо правило трикутника (рис.3):

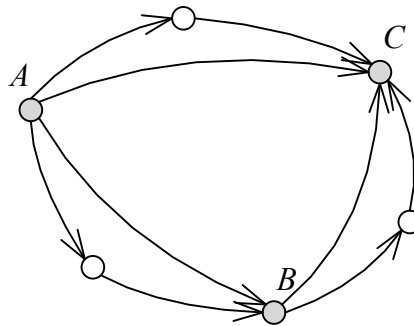


Рис.3.Ілюстрація до правила трикутника для обернено-адитивної метрики

Позначимо:

- $d(A, B) = d(\widehat{AB})$ – відстань між вузлами A та B . \widehat{AB} – всі шляхи від вузла A до вузла B .
- $d(B, C) = d(\widehat{BC})$ – відстань між вузлами B та C . \widehat{BC} – всі шляхи від вузла B до вузла C .
- $d(A, C)$ – відстань між вузлами A та C .
- $d(\widehat{AC})$ – відстань між вузлами A та C по шляху \widehat{AC} , який не проходить через вузол B .
- $d(\widehat{ABC})$ – відстань між вузлами A та C по шляху \widehat{ABC} , який проходить через вузол B .

Згідно з визначенням цієї метрики, після того, як до шляхів \widehat{AB} та \widehat{BC} буде додано шлях \widehat{AC} , відстань $d(A, C)$ буде визначатися формулою

$$\frac{1}{d(A, C)} = \frac{1}{d(\widehat{AC})} + \frac{1}{d(\widehat{ABC})}$$

Тоді

$$\begin{aligned} d(A, C) &= \left(\frac{1}{d(\widehat{AC})} + \frac{1}{d(\widehat{ABC})} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{d(\widehat{AC})} + \frac{1}{d(\widehat{AB}) + d(\widehat{BC})} \right)^{-1} = \\ &= \left(\sum_{i=1}^{K_{\widehat{AC}}} \frac{1}{N_i} + \left(\left(\sum_{i=1}^{K_{\widehat{AB}}} \frac{1}{N_i} \right)^{-1} + \left(\sum_{i=1}^{K_{\widehat{BC}}} \frac{1}{N_i} \right)^{-1} \right)^{-1} \right)^{-1} \end{aligned}$$

Оскільки

$$d(A, B) = d(\widehat{AB}) = \left(\sum_{i=1}^{K_{\widehat{AB}}} \frac{1}{N_i} \right)^{-1} = \left(\sum_{i=1}^{K_{\widehat{AB}}} \frac{1}{N_i} \right)^{-1}$$

та

$$d(B, C) = d(\widehat{BC}) = \left(\sum_{i=1}^{K_{\widehat{BC}}} \frac{1}{N_i} \right)^{-1} = \left(\sum_{i=1}^{K_{\widehat{BC}}} \frac{1}{N_i} \right)^{-1}$$

то

$$\frac{1}{d(A, C)} \geq \frac{1}{d(A, B) + d(B, C)}$$

Звідси

$$d(A, C) \leq d(A, B) + d(B, C)$$

Що і слід було довести.

Розглянемо випадок, зображеного на рис. 3.

Тут:

$$\begin{aligned} d(A, B) + d(B, C) &= \frac{4}{3} \\ \frac{1}{d(A, C)} &= \sum_{i=1}^6 \frac{1}{N_i} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} = \frac{24 + 8 + 3}{12} \\ d(A, C) &= \frac{12}{35} \leq R(A, B) + R(B, C) = \frac{4}{3} \end{aligned}$$

Пошук відстані між концептами

Як приклад розглянемо концептуальну онтологію, яка відображає зв'язки між ключовими концептами безпекових систем багатоквартирних будинків:

Безпека - основна концепція, що включає всі аспекти захисту багатоквартирних будинків.

Системи безпеки - це узагальнене уявлення про комплекс взаємопов'язаних елементів, заходів, методів та процесів, спрямованих на забезпечення захисту певної системи, організації або середовища від потенційних загроз, ризиків або небезпек. Цей концепт охоплює всі аспекти безпеки, включаючи фізичні, інформаційні, кібернетичні, правові та інші компоненти, які разом формують цілісну структуру для підтримки стійкості та збереження цілісності захищеної системи і включає концепти **відеоспостереження, контроль доступу, сигналізація, протипожежні системи, інтелектуальні системи, аварійні системи.**

Багатоквартирні будинки - об'єкт, для якого розробляються і впроваджуються **системи безпеки.**

Кожна складова концепту **системи безпеки** розкладається на окремі елементи - типи.

Відеоспостереження - тип систем безпеки, який використовується для моніторингу і складається з систем моніторингу, дистанційного контролю.

Контроль доступу -тип систем безпеки, який регулює вхід і вихід в будівлю і містить концепти **домофонні системи, інтелектуальні системи, інтегровані системи безпеки**.

Охоронні системи-тип систем безпеки, що забезпечує захист від несанкціонованого доступу і містить концепти **охоронні компанії, приватна безпека**.

Пожежна безпека- частина безпеки, спрямована на запобігання пожежам і містить концепти **протипожежні системи, аварійні системи**.

Давачі руху - компонент систем безпеки, використовується для виявлення руху і містить концепти сигналізації, інтелектуальні системи моніторингу.

Сигналізація- тип систем безпеки, що попереджає про небезпеку і містить зв'язок з концептом **давачі руху, аварійні системи**.

Інтелектуальні системи - розширені системи безпеки з використанням технологій штучного інтелекту і містить зв'язок з концептами **відеоспостереження, доступ контролю, давачів руху**.

Домофонні системи - тип систем безпеки, що забезпечує аудіо- і відеозв'язок між мешканцями і відвідувачами і містить зв'язок з концептами **контроль доступу, інтеграційні систем безпеки**.

Моніторинг - процес спостереження за системами безпеки і передбачає зв'язок з концептами **відеоспостереження, інтелектуальні системи, дистанційний контроль**.

Аварійні системи - системи, що активуються в надзвичайних ситуаціях і передбачає зв'язок з концептами **сигналізація, протипожежна система**.

Вентиляційні системи- інфраструктурні системи, що підтримують якість повітря і передбачає зв'язок з концептом **пожежна безпека**.

Охоронні компанії - організації, що надають послуги безпеки передбачає зв'язок з концептами **охоронні системи, приватна безпека**.

Інтегрована система безпеки – система, що об'єднує різні системи безпеки в єдину структуру передбачає зв'язок з **концептами відеоспостереження, контроль доступу, охоронна система, домофонні системи, інтелектуальні системи** .

Приватна безпека - служби безпеки, що надаються приватними компаніями передбачає зв'язок з концептами **охоронні компанії, охоронні системи**.

Кібербезпека - захист цифрових систем, що використовуються для систем безпеки передбачає зв'язок з концептами **інтелектуальні системи, інтегровані системи безпеки, дистанційний контроль**.

Дистанційний контроль -управління системами безпеки з віддаленого місця передбачає зв'язок з концептами **відеоспостереження, моніторингу, інтелектуальні системи**.

Протипожежні системи - системи, що запобігають або ліквідують пожежі передбачає зв'язок з концептами **пожежна безпека, аварійні системи**.

Наведена онтологія відображає базові взаємозв'язки між ключовими концептами, що дозволяє краще розуміти структуру та взаємодію компонентів у безпекових системах багатоквартирних будинків, кварталів, мікрорайонів та ін.

Фрагмент owl-файлу, що містить онтологію концептів, має вигляд, поданий на рис.4:

```
// Основний концепт
file << " OS [label=\\"Охоронні системи\"];\\n";

// Компоненти охоронних систем
file << " D [label=\\"Давачі\"];\\n";
file << " S [label=\\"Сигналізація\"];\\n";
file << " KD [label=\\"Контроль доступу\"];\\n";
file << " VS [label=\\"Відеоспостереження\"];\\n";
file << " CSU [label=\\"Централізовані системи управління\"];\\n";

// Типи давачів
file << " DR [label=\\" Давачі руху\"];\\n";
file << " DQ [label=\\"Давач відкриття дверей/вікон\"];\\n";
file << " DS [label=\\" Давачі розбиття скла\"];\\n";
file << " DD [label=\\" Давачі диму\"];\\n";

// Типи сигналізації
file << " ZS [label=\\"Звукові сигналізації\"];\\n";
file << " SS [label=\\"Світлові сигналізації\"];\\n";
file << " MO [label=\\"Мобільні оповіщення\"];\\n";

// Типи контролю доступу
file << " KSD [label=\\"Карткові системи доступу\"];\\n";
file << " BZD [label=\\"Біометричні системи доступу\"];\\n";
file << " DS1 [label=\\"Домофонні системи\"];\\n";
file << " EZ [label=\\"Електронні замки\"];\\n";
```

Рис.4. Фрагмент owl-файлу, що містить онтологію концепту «Охоронні системи»

Як бачимо, подається основний концепт, а потім його складові. Компоненти охоронних систем», «Типи давачів», «Типи сигналізації», «Типи контролю доступу». Кожний концепт та складова починається тегом // . Концепти, пов'язані з поточним концептом відношенням «складається з», вказані в підсекціях, які відповідають тегам file << . Таким чином, синтаксичний аналіз owl-файлу дозволяє виявляти зв'язки між концептами онтології.

Використовуючи відомі алгоритми обходу орієнтованого графу можемо знайти всі наявні шляхи від одного заданого концепту до іншого, і на їх основі – обчислити відстані між заданими концептами. Фактично, слід розв'язати задачу транспортного потоку в орієнтованому графі онтології від вузла-джерела, що відповідає першому концепту, до вузла-приймача, що відповідає другому концепту.

Обговорення та аналіз отриманих результатів. Є певні проблеми, пов'язані з тим, що в загальному випадку онтологія є орієнтованим графом, вузли якого – концепти, а ребра – зв'язки між концептами.

Онтологія подається у вигляді мультиграфа – оскільки допускається наявність кратних ребер: прості ребра, які мають одні й ті ж самі кінцеві вершини. Іншими словами, дві вершини можуть бути з'єднані більш ніж одним ребром.

Проблема симетрії зв'язків між концептами – проблема симетрії зв'язків для орієнтованого графа

Проблема полягає в тому, що в загальному випадку, для орієнтованого графа онтології правило симетрії не виконується:

$$d(A, B) \neq d(B, A)$$

Тут відстань між концептами визначена на основі морфологічної метрики – як кількість переходів N між вузлами орієнтованого графа онтології на шляху від концепту A до концепту B :

$$d(A, B) = N$$

Цю проблему можна вирішити шляхом побудови пар взаємо-обернених зв'язків, наприклад для кожного зв'язку будуємо обернений до нього зв'язок.

Можна виділити два підходи до побудови не таксономічних відношень між концептами в онтологіях.



Рис. 5. Онтологія концепту «Охоронні системи»

Перший підхід забезпечує максимальну повноту опису предметної області в онтології. Згідно цього підходу, ми якнайповніше представляємо зв'язки між поняттями предметної області за допомогою відношень між концептами в онтології.

Якщо розглядати не таксономічні відношення, то кожна пара концептів, які представлені сусідніми вузлами в семантичній мережі онтології, буде представлена парою зв'язків *used-in* та *uses-of*.

При цьому велика кількість зв'язків між концептами робить онтологію занадто «громіздкою», що ускладнює її практичне використання в прикладних системах.

Побудуємо семантичну мережу для понять ПРОГРАМА та АЛГОРИТМ на основі наступного визначення: «програма – це запис алгоритму за допомогою мови програмування».

Визначення терміну ПРОГРАМА використовує (*uses-of*) термін АЛГОРИТМ, а термін АЛГОРИТМ використовується (*used-in*) при визначенні терміну ПРОГРАМА (рис.5):



Рис.5 – Ілюстрація до семантичної мережі із зв'язками «використовує» (*uses-of*) та «використовується в» (*used-in*) між концептами

Відстань між концептами *A* та *B* в такій семантичній мережі можна визначити як відстань, що враховує існування двох шляхів, що відповідають симетричним зв'язкам «використовує» (*uses-of*) та «використовується в» (*used-in*) між цими концептами:

$$\frac{1}{d(A, B)} = \frac{1}{d_{used-in}(A, B)} + \frac{1}{d_{uses-of}(A, B)}$$

Саме цей підхід дозволяє забезпечити симетрію зв'язків, при цьому

$$d(A, B) = d(B, A)$$

Другий підхід забезпечує простоту подання онтології та, як наслідок, – швидкість обчислень та ефективність при побудові прикладних систем. Оскільки відношення *used-in* виводяться із відношень *uses-of*, можна не визначати їх явно в онтології. При цьому ми навмисно нехтуємо повнотою представлення предметної області задля спрощення онтології.

Для нашого прикладу семантична мережа відповідає фразі «Визначення терміну ПРОГРАМА використовує (*uses-of*) термін АЛГОРИТМ» (рис.6):

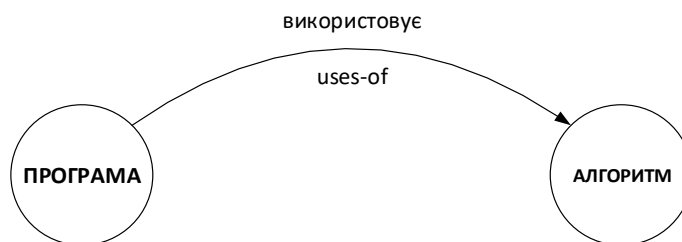


Рис.6. Ілюстрація до семантичної мережі, що має лише зв'язки «використовує» (*uses-of*) між концептами

Для такого підходу правило симетрії не виконується:

$$d(A, B) \neq d(B, A)$$

Проблема правила трикутника для орієнтованого графа

Як і з аксіомою симетрії, є проблеми з аксіомою трикутника: в загальному випадку правило трикутника для орієнтованого графа не виконується.

Знову, розглянемо випадок, коли відстань між концептами визначена на основі морфологічної метрики – як кількість переходів N між вузлами орієнтованого графа онтології на шляху від концепту A до концепту B :

$$d(A, B) = N$$

Розглянемо наступний приклад (рис.7):

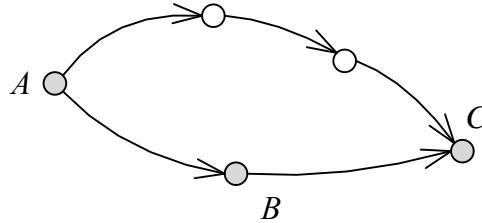


Рис.7. Ілюстрація до проблеми правила трикутника для морфологічної метрики в орієнтованому графі

Для цього прикладу

$$d(A, B) = 1, \quad d(B, C) = 1, \quad d(A, C) = 3,$$

Очевидно, що у цьому випадку правило трикутника

$$d(A, C) \leq d(A, B) + d(B, C)$$

– не виконується.

Природня метрика [1, 2] дозволяє вирішити цю проблему: відстань між вузлами визначена як $d(A, B) = \min\{N_i\}$, де N_i – кількість переходів від концепту A до концепту B по i -му шляху, $i=1 \dots, K$, де K – кількість різних шляхів, якими можна перейти по орієнтованому графу певної онтології від концепту A до концепту B .

Тоді, враховуючи, що від вузла A до вузла C існує 2 шляхи: шлях \widehat{ABC} , який проходить через концепт B , та шлях \widehat{AC} , який не проходить через концепт B , і що $d(A, B) = 1$, $d(B, C) = 1$, $d(\widehat{ABC}) = 2$, $d(\widehat{AC}) = 3$, $d(A, C) = \min\{d(\widehat{ABC}), d(\widehat{AC})\} = \min\{2, 3\} = 2$, отримаємо правило трикутника

$$2 = d(A, C) \leq d(A, B) + d(B, C) = 2$$

Ще одним варіантом вирішення проблеми може стати введення обернено-адитивної метрики, яка теж враховує ситуацію, при якій є два шляхи від концепту A до концепту C .

Тоді

$$d(A, B) = 1, \quad d(B, C) = 1$$

$$\frac{1}{d(A, C)} = \frac{1}{d(\widehat{ABC})} + \frac{1}{d(\widehat{AC})} = \frac{1}{d(A, B) + d(B, C)} + \frac{1}{d(\widehat{AC})} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6}$$

Звідси

$$d(A, C) = \frac{6}{5} = 1,2$$

Тепер правило трикутника виконується:

$$1,2 = d(A, C) \leq d(A, B) + d(B, C) = 2$$

Проблема циклів – циклічних зв'язків між концептами

Це – помилка в організації онтології, – проблема, яка виникає із-за наявності рекурсивних циклів.

Граф зв'язків між такими концептами зображено на рис.8:

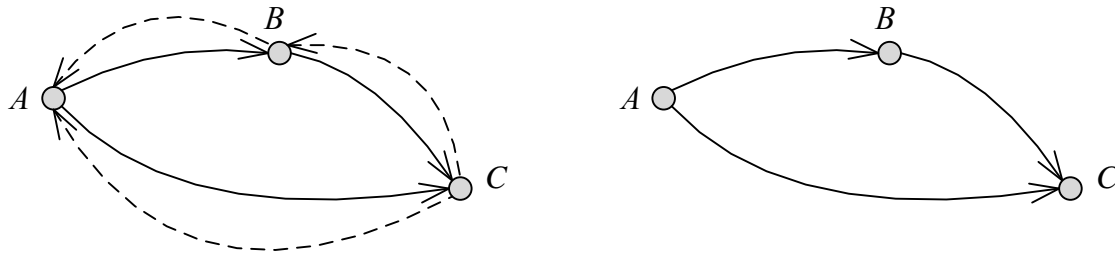


Рис.8. Ілюстрація до семантичних мереж, що мають рекурсивні зв'язки між концептами; ліворуч – «використовує» (*uses-of*) та «використовується в» (*used-in*); праворуч – лише «використовує» (*uses-of*)

Тоді відстань $d(A, B)$ між концептами A та B в цій семантичній мережі можна визначити так:

$$\frac{1}{d(A, B)} = \frac{1}{d_{AB}(A, B)} + \frac{1}{d_{BCA}(B, A)}$$

де $d_{AB}(A, B)$ – відстань від вузла A до вузла B по шляху $A \rightarrow B$, $d_{BCA}(B, A)$ – відстань від вузла B до вузла A по шляху $B \rightarrow C \rightarrow A$.

Визначена таким чином відстань $d(A, B)$ враховує наявність двох шляхів, які з'єднують вузли A та B .

Запропонований в даній роботі підхід за своєю сутністю дозволяє зробити ще один крок до автономної побудови систем алгоритмічних алгебр, які містили б оператори згортання структур проблемних областей для автономної побудови так званих знанневих клонів. Засоби алгоритмічної формалізації і синтезу знань предметних областей є тріадою – абстракції, біології та екології програмування. Як абстрактний механізм використовується алгебраїчний апарат теорії клонів. Біологічна компонента відповідає за розповсюдження отриманих алгоритмічних знань на інші задачі. Екологічна компонента призначена для формування інструментальних засобів підтримки методів абстрактної та біологічної компонент, що складають теорію клонів. В рамках екологічної компоненти пропонуються різні інтерпретації алгоритмічних операцій, дослідження паралелізмів та механізмів виводу алгоритмічних знань [30]. В подальшому планується продовжити дослідження методів та засобів «клонування» знань при побудові інтелектуальних інформаційних систем безпекового типу в їх розвитку від систем будинків, розрахованих на проживання однієї сім'ї до багатоквартирних будинків, кварталів, мікрорайонів, регіонів та загалом міст

Висновки. У рамках проведеного дослідження було розроблено методологію формування обернено-адитивної семантичної метрики, що дозволяє здійснювати більш точний та комплексний аналіз онтологій безпекових систем багатоквартирних будинків. Запропонована метрика дозволяє оцінювати відстані між концептами в онтології при наявності багатьох шляхів від одного концепту до іншого, допускає дробові значення відстаней між вузлами-концептами орієнтованого графа онтології та забезпечує вірну оцінку для не таксономічних відношень між концептами.

Запропонована метрика дозволить більш коректно та точно вирішувати задачі, пов'язані із семантичним аналізом текстів – автоматичного реферування, зокрема, текстів технічних умов, технічних завдань, автоматичної побудови семантичних мереж заданих текстів тощо. Основна мета запропонованої метрики полягає в забезпеченні більш високої точності у виявленні та оцінці семантичних зв'язків між різними елементами онтологій, що є критично важливим для процесів системного проектування та управління розлогими безпековими системами.

Продемонстровано можливості адаптації та масштабування онтології для безпекової системи житлового кварталу та проведено оцінювання корисності онтології для представлення, аналізу та управління знаннями про безпеку житлових будівель. Сформовано нові інструменти, які можна використовувати для проектування, розроблення та впровадження більш ефективних та надійних систем безпеки житлових будівель.

Запропонована обернено-адитивна семантична метрика демонструє більш високу ефективність у порівнянні з традиційними підходами до аналізу онтологій. Вона дозволяє знизити

рівень семантичної неоднозначності та підвищити точність відповідності елементів онтології, що сприяє більш точному моделюванню безпекових систем. Використання обернено-адитивної семантичної метрики дозволяє адаптувати систему до змін у навколишньому середовищі, забезпечуючи можливість оновлення та вдосконалення онтології відповідно до нових викликів і загроз. Це дозволить робити систему безпеки більш гнучкою та стійкою до можливих змін в умовах експлуатації. Завдяки більш точному аналізу онтологій, запропонована метрика може сприяти прийняттю більш обґрунтованих та ефективних безпекових рішень. Це особливо важливо в контексті багатоквартирних будинків, для яких системи безпеки повинні бути інтегровані та скоординовані з урахуванням інтересів великої кількості мешканців.

Запропонована метрика є одним з інструментів, що дозволяє покращити якість та ефективність аналізу онтологій у контексті систем безпеки багатоквартирних будинків. Водночас, запропонована метрика може використовуватись для побудови систем автоматичного генерування текстів програмного коду з використанням концепції клонування знань на базі формалізмів систем алгоритмічних алгебр, запропонованих свого часу в роботах В.М. Глушкова, Цейтліна, Л. М. Захарії.

Список бібліографічного опису

1. Fenton, N. E. Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach. 2nd Edition / N. E. Fenton, S. L. Pfleeger. – Berlin: International Thompson Computer Press, 1997. – 195 с.
2. Wilson, R. J. Introduction to Graph Theory / R. J. Wilson. – Longman, 2010. – 201 с.
3. Naylor C. Build your own PC expert system / C. Naylor. – London: Sigma Press, 1983. – 167 с.
4. Теслер, Г. С. Метрики і норми в ієрархії категоріальних семантик і функцій / Г. С. Теслер // Математичні машини і системи. – 2005. – №2. – С. 65-68.
5. Величко, В. Ю. Розв'язання аналітичних задач в дискретних середовищах методами виведення за аналогією / В. Ю. Величко. – Київ: Інститут кібернетики, 2004. – 170 с.
6. Ngo, D. H. Generic Approach for Combining Linguistic and Context Profile Metrics in Ontology Matching / D. H. Ngo, Z. Bellahsene, R. Coletta // Proceedings of the ODBASE'2011: 10th International Conference on Ontologies, DataBases, and Applications of Semantics, Oct 2011, Crete, Greece. – Crete, 2011. – P. 800-807.
7. Algergawy A. A New Metric To Evaluate Ontology Modularization / A. Algergawy, S. Babalou, B. König-Ries // Proceedings of the 2nd International Workshop on Summarizing and Presenting Entities and Ontologies Co-located with the 13th Extended Semantic Web Conference. – Af Workshop, 15th Int. World Wide Web Conference. – Crete, 2006. – P. 235-240.
8. Stoilos, G. A String Metric for Ontology Alignment / G. Stoilos, G. Stamou, S. Kollias // In Proceedings of the International Semantic Web Conference ISWC 2005: The Semantic Web – ISWC 2005. – 2005. – Pp. 624-637.
9. García J. F. A Survey on Ontology Metrics / J. F. García, F. J. García-Peñalvo, R. Therón // In Proceedings of the World Summit on Knowledge Society WSKS 2010: Knowledge Management, Information Systems, E-Learning, and Sustainability Research. – 2010. – Pp. 22-27.
10. Vrandečić D. How to Design Better Ontology Metrics / D. Vrandečić, Y. Sure // The Semantic Web: Research and Applications. – Springer-Verlag, 2007. – Pp. 311-325.
11. Alani, H., Brewster, C., Shadbolt, N. Ranking Ontologies with AKTiveRank / H. Alani, C. Brewster, N. Shadbolt // In Proceedings of the International Semantic Web Conference, ISWC 2006: 5th International Semantic Web Conference (ISWC). – November 2006, Georgia, USA.
12. Alani, H. Metrics for Ranking Ontologies / H. Alani, C. Brewster // In Proceedings of the 4th International EON Workshop, 15th International World Wide Web Conference. – 2006.
13. Orme, A., Yao, H., Etkorn, L. Coupling Metrics for Ontology-Based Systems / A. Orme, H. Yao, L. Etkorn // IEEE Software. – Afiny, 2006. – P. 102-108.
14. Yao, H. Cohesion Metrics for Ontology Design and Application / H. Yao, A. Orme, L. Etkorn // Journal of Computer Science. – 2005. – Vol. 1(1). – P. 107-113.
15. Ma, Y., Jin, B., Feng, Y. Semantic oriented ontology cohesion metrics for ontology-based systems / Y. Ma, B. Jin, Y. Feng // The Journal of Systems and Software. – Elsevier, 2009.
16. Guarino, N. An Overview of OntoClean / N. Guarino, C. Welty // The Handbook on Ontologies. – Berlin: Springer-Verlag, 2004. – Pp. 151-172; Guarino, N., Welty, C. Evaluating Ontological Decisions with OntoClean / N. Guarino, C. Welty // Communications of the ACM. – ACM Press, 2002. – Pp. 61-65.
17. Yang, Z. Evaluation Metrics for Ontology Complexity and Evolution Analysis / Z. Yang, D. Zhang, C. Ye // Proceedings of the IEEE International Conference on e-Business Engineering (ICEBE'06). – 2006.
18. Raad, J. A Survey on Ontology Evaluation Methods / J. Raad, C. Cruz // Proceedings of the 7th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. – Lisbon, Portugal, November 2015.
19. Maedche, A. Measuring similarity between ontologies / A. Maedche, S. Staab // In Knowledge engineering and knowledge management: Ontologies and the semantic web. – Springer Berlin Heidelberg, 2002. – Pp. 251-263.
20. Ponzetto, S. P. Deriving a large scale taxonomy from Wikipedia / S. P. Ponzetto, M. Strube // In AAIL. – Vol. 7, July 2007. – Pp. 1440-1445.
21. Treeratpituk, P. Graph-based Approach to Automatic Taxonomy Generation (GraBTax) / P. Treeratpituk, M. Khabsa, C. L. Giles // arXiv preprint arXiv:1307.1718. – 2013.

22. Zavitsanos, E. Gold standard evaluation of ontology learning methods through ontology transformation and alignment / E. Zavitsanos, G. Paliouras, G. A. Vouros // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2011. – Vol. 23(11). – Pp. 1635-1648.
23. Kashyap, V. Taxa Miner: an experimentation framework for automated taxonomy bootstrapping / V. Kashyap, C. Ramakrishnan, C. Thomas, A. Sheth // International Journal of Web and Grid Services. – 2005. – Vol. 1(2). – Pp. 240-266.
24. Литвин, В. В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / В. В. Литвин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 234 с.
25. Інтелектуальні системи, базовані на онтологіях / Д. Г. Досин, В. В. Литвин, Ю. В. Нікольський, В. В. Пасічник. – Львів: Цивілізація, 2009. – 256 с.
26. Литвин, В. В. Спосіб введення метрики для визначення відстані між текстовими документами / В. В. Литвин // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. – 2008. – №621. – С. 162–171.
27. Lytvyn, V. Methods of building intelligent decision support systems based on adaptive ontology / V. Lytvyn, V. Vysotska, D. Dosyn, O. Lozynska, O. Oborska // Proceedings of the IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing. – 2018. – Pp. 198-203.
28. Soergel, D. A Metrics Ontology. An intellectual infrastructure for defining, managing, and applying metrics / D. Soergel, O. Helfer // Knowledge Organization for Sustainable World Challenges: Perspectives from Culture, Science, Technology, Sharing, and Connecting Societies. – 2016. – Pp. 333-341.
29. Gruber, T. R. A translation approach to portable ontologies / T. R. Gruber // Knowledge Acquisition. – 1993. – №5(2). – Pp. 199-220.
30. Цейтлін Г.Е. Екологічні аспекти подання знань засобами алгебри алгоритміки / Г.Е. Цейтлін, Л.М. Захарія, О.В. Захарія, Ю.І. Жовнір // Проблеми програмування. - 2010. - №2-3: Спеціальний випуск. - С.369-375.

References

1. Fenton, N. E. Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach. 2nd Edition / N. E. Fenton, S. L. Pfleeger. – Berlin: International Thompson Computer Press, 1997. – 195 с.
2. Wilson, R. J. Introduction to Graph Theory / R. J. Wilson. – Longman, 2010. – 201 с.
3. Naylor C. Build your own PC expert system / C. Naylor. – London: Sigma Press, 1983. – 167 с.
4. Tesler, H. S. Metrics and norms in the hierarchy of categorical semantics and functions / H. S. Tesler // Mathematical Machines and Systems. – 2005. – №2. – Pp. 65-68.
5. Velichko, V. Yu. Solving analytical problems in discrete environments by methods of derivation by analogy: Ph.D. thesis / V. Yu. Velichko. – Kyiv: Institute of Cybernetics, 2004..
6. Ngo, D. H. Generic Approach for Combining Linguistic and Context Profile Metrics in Ontology Matching / D. H. Ngo, Z. Bellahsene, R. Coletta // Proceedings of the ODBASE'2011: 10th International Conference on Ontologies, DataBases, and Applications of Semantics, Oct 2011, Crete, Greece. – Crete, 2011. – P. 800-807.
7. Algergawy A. A New Metric To Evaluate Ontology Modularization / A. Algergawy, S. Babalou, B. König-Ries // Proceedings of the 2nd International Workshop on Summarizing and Presenting Entities and Ontologies Co-located with the 13th Extended Semantic Web Conference. – Af Workshop, 15th Int. World Wide Web Conference. – Crete, 2006. – P. 235-240.
8. Stoilos, G. A String Metric for Ontology Alignment / G. Stoilos, G. Stamou, S. Kollias // In Proceedings of the International Semantic Web Conference ISWC 2005: The Semantic Web – ISWC 2005. – 2005. – Pp. 624-637.
9. García J. F. A Survey on Ontology Metrics / J. F. García, F. J. García-Peñalvo, R. Therón // In Proceedings of the World Summit on Knowledge Society WSKS 2010: Knowledge Management, Information Systems, E-Learning, and Sustainability Research. – 2010. – Pp. 22-27.
10. Vrandečić D. How to Design Better Ontology Metrics / D. Vrandečić, Y. Sure // The Semantic Web: Research and Applications. – Springer-Verlag, 2007. – Pp. 311-325.
11. Alani, H., Brewster, C., Shadbolt, N. Ranking Ontologies with AKTiveRank / H. Alani, C. Brewster, N. Shadbolt // In Proceedings of the International Semantic Web Conference, ISWC 2006: 5th International Semantic Web Conference (ISWC). – November 2006, Georgia, USA.
12. Alani, H. Metrics for Ranking Ontologies / H. Alani, C. Brewster // In Proceedings of the 4th International EON Workshop, 15th International World Wide Web Conference. – 2006.
13. Orme, A., Yao, H., Eitzkorn, L. Coupling Metrics for Ontology-Based Systems / A. Orme, H. Yao, L. Eitzkorn // IEEE Software. – Afiny, 2006. – P. 102-108.
14. Yao, H. Cohesion Metrics for Ontology Design and Application / H. Yao, A. Orme, L. Eitzkorn // Journal of Computer Science. – 2005. – Vol. 1(1). – P. 107-113.
15. Ma, Y., Jin, B., Feng, Y. Semantic oriented ontology cohesion metrics for ontology-based systems / Y. Ma, B. Jin, Y. Feng // The Journal of Systems and Software. – Elsevier, 2009.
16. Guarino, N. An Overview of OntoClean / N. Guarino, C. Welty // The Handbook on Ontologies. – Berlin: Springer-Verlag, 2004. – Pp. 151-172; Guarino, N., Welty, C. Evaluating Ontological Decisions with OntoClean / N. Guarino, C. Welty // Communications of the ACM. – ACM Press, 2002. – Pp. 61-65.
17. Yang, Z. Evaluation Metrics for Ontology Complexity and Evolution Analysis / Z. Yang, D. Zhang, C. Ye // Proceedings of the IEEE International Conference on e-Business Engineering (ICEBE'06). – 2006.
18. Raad, J. A Survey on Ontology Evaluation Methods / J. Raad, C. Cruz // Proceedings of the 7th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. – Lisbon, Portugal, November 2015.

19. Maedche, A. Measuring similarity between ontologies / A. Maedche, S. Staab // In Knowledge engineering and knowledge management: Ontologies and the semantic web. – Springer Berlin Heidelberg, 2002. – Pp. 251-263.
20. Ponzetto, S. P. Deriving a large scale taxonomy from Wikipedia / S. P. Ponzetto, M. Strube // In AAAI. – Vol. 7, July 2007. – Pp. 1440-1445.
21. Treeratpituk, P. Graph-based Approach to Automatic Taxonomy Generation (GraBTax) / P. Treeratpituk, M. Khabsa, C. L. Giles // arXiv preprint arXiv:1307.1718. – 2013.
22. Zavitsanos, E. Gold standard evaluation of ontology learning methods through ontology transformation and alignment / E. Zavitsanos, G. Paliouras, G. A. Vouros // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2011. – Vol. 23(11). – Pp. 1635-1648.
23. Kashyap, V. Taxa Miner: an experimentation framework for automated taxonomy bootstrapping / V. Kashyap, C. Ramakrishnan, C. Thomas, A. Sheth // International Journal of Web and Grid Services. – 2005. – Vol. 1(2). – Pp. 240-266.
24. Lytvyn, V. V. Knowledge bases of intelligent decision-making support systems / V. V. Lytvyn. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2011. – ISBN 978-617-607-059-7.
25. Dosyn, D. G., Lytvyn, V. V., Nikolskyi, Yu. V., Pasichnik, V. V. Intelligent systems based on ontologies / D. G. Dosyn, V. V. Lytvyn, Yu. V. Nikolskyi, V. V. Pasichnik. – Lviv: Civilization, 2009.
26. Lytvyn, V. V. A method of entering a metric to determine the distance between text documents / V. V. Lytvyn // Visnyk of the National Lviv Polytechnic University. Information Systems and Networks. – 2008. – №621. – Pp. 162–171.
27. Lytvyn, V. Methods of building intelligent decision support systems based on adaptive ontology / V. Lytvyn, V. Vysotska, D. Dosyn, O. Lozynska, O. Oborska // Proceedings of the IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing. – 2018. – Pp. 198-203.
28. Soergel, D. A Metrics Ontology. An intellectual infrastructure for defining, managing, and applying metrics / D. Soergel, O. Helfer // Knowledge Organization for Sustainable World Challenges: Perspectives from Culture, Science, Technology, Sharing, and Connecting Societies. – 2016. – Pp. 333-341.
29. Gruber, T. R. A translation approach to portable ontologies / T. R. Gruber // Knowledge Acquisition. – 1993. – №5(2). – Pp. 199-220.
30. Tseitlin, H. E., Zakharija, L. M., Zakharija, O. V., Zhovnir, Yu. I. Ecological aspects of knowledge representation using algorithmic algebra / H. E. Tseitlin, L. M. Zakharija, O. V. Zakharija, Yu. I. Zhovnir // Problems of Programming. – 2010. – №2-3: Special Issue. – Pp. 369-375.