

УДК 004.94

ОНТОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Г.А. Піднебесна

*Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних
технологій та систем НАН та МОН України, м. Київ*

pidnebesna@irtc.org.ua

В роботі розглядаються онтології з точки зору їхнього місця в розвитку сучасних інформаційних технологій, причини виникнення онтологій, визначення, характеристики, проблеми та напрямки розвитку. Оглянуто приклади застосування онтологій в прикладних задачах в різних галузях інформаційних технологій.

Ключові слова: онтологія, штучний інтелект, інтелектуальні комп'ютерні системи

The work considers ontologies from the point of view of their place in the development of modern information technologies, the causes of occurrence of ontologies, definitions, characteristics, problems and directions of development. Examples of application of ontologies in applied problems in different branches of information technologies.

Keywords: ontology, artificial intelligence, intelligence computer systems.

В работе рассматриваются онтологии с точки зрения их места в развитии современных информационных технологий, причины возникновения онтологий, определения, характеристики, проблемы и направления развития. Рассмотрены примеры применения онтологий в прикладных задачах в различных направлениях информационных технологий.

Ключевые слова: онтология, искусственный интеллект, интеллектуальные компьютерные системы

Вступ.

Характерною рисою сьогодення є неймовірна кількість інформації. Без можливості отримувати, зберігати та обробляти необхідну інформацію не можливо уявити сучасне життя та бізнес. З розвитком інтернету, надзвичайно великої й постійно зростаючої кількості інформаційних ресурсів виникла потреба розробки засобів, інтелектуальних систем аналізу інформації з урахування семантики (змісту) цієї інформації. Наприкінці минулого століття, коли проблеми обробки інформації стали критичними, на перетині інформатики та менеджменту компаній з'явилися нові напрямки досліджень для підтримки процесів отримання, розподілу, обробки та використання знань. Бурхливий розвиток отримали технології розробки комп'ютерних засобів, заснованих на використанні знань (knowledge based systems - KBS).

В сучасному світі спостерігається все більше розповсюдження елементів штучного інтелекту, під чим ми розуміємо інтелектуальну поведінку комп'ютерних систем, роботу з великими обсягами даних, інформаційну інтеграцію знань, пошук та видобування інформації, навчання та адаптацію цих систем. Застосування онтологій відіграє специфічну роль в розв'язанні названих проблем. Онтологія дозволяє задавати складну структуру, що може містити дані різних типів, забезпечити просте для розуміння представлення структурованих знань, можливість їх автоматичного аналізу, виявлення та доповнення відсутніх логічних зав'язків та відносно нескладне їх сумісне використання та оновлення.

Внутрішня структура сучасних комп'ютерних систем є відображенням певних знань, які потрібно виразити явно у формальному вигляді. Це може полегшити опис задачі проектування складних систем з компонентів та впровадити програму, яка робить таку конфігурацію незалежною від продукту і самих компонентів, дає можливість повторного використання.

Поняття онтології.

Поняття онтології в галузі інформаційних технологій було застосовано Томом Грубером у 1993 р. і визначено як «експліцитна специфікація концептуалізації» [1].

Під концептуалізацією, пов'язаною з введенням абстрактних об'єктів для описання навколишнього світу, розуміється абстрактний, спрощений погляд на світ, представлений для досягнення конкретної мети.

Традиційно формальним визначенням онтології є наступне. Під онтологією O розуміють упорядковану трійку:

$$O = \langle C, R, F \rangle,$$

де C – скінченна непорожня множина концептів,

R – скінченна множина співвідношень між концептами предметної галузі,

F – скінченна множина функцій інтерпретації, визначених на множині концептів та/або співвідношень онтології предметної галузі.

Множини R та F можуть бути порожніми.

В роботі [2] формальне визначення онтології подається дещо інакше. Існує точка зору, що онтології предметної галузі D – це впорядкована четвірка

$$O = \langle X, R, F, A \rangle,$$

де X - множина концептів галузі D ,

R – множина співвідношень між концептами,

F – відношення інтерпретації з X , R , A в галузі D ,

A – множина аксіом.

Відношення представляють тип зв'язків між концептами предметної галузі, формально можуть бути представлені як підмножина декартового додатку n множин таких, що $R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$. (прикладі простих бінарних відношень: «бути частиною», «пов'язаний-з» тощо).

Функції – окремий випадок відношень, коли n -й елемент визначається по $(n-1)$ значенням попередніх елементів:

$$F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \Rightarrow C_n.$$

Аксіоми моделюють завжди істинні вирази.

Онтологію можна розглядати як абстракцію комп'ютерної лексики, тезаурусу, глосарію чи іншого типу структурованої лексики, відповідним чином розширеного знаннями про певний домен. Таке подання знань предметної галузі описує можливі поняття та зв'язки між цими поняттями. Інформація, що міститься в такій онтології домену, може розглядатися як вихідна точка для концептуального опису цього домену, оскільки можуть бути витягнуті властивості концепцій та співвідношення між поняттями з такої онтології домену. Це фактично складає ієрархічний понятійний скелет предметної галузі. [3]

Онтологія як засіб представлення знань

В роботі [4] ретельно розглянуто питання визначення онтології в галузі досліджень штучного інтелекту, важливість їх використання для опису та структуризації знань предметної галузі. Онтологічний аналіз прояснює структуру знань, формує концептуальний словник як основу будь-якої системи представлення знань для конкретного домену. Онтологічний аналіз предметної галузі є першим кроком при розробці ефективних систем, заснованих на знаннях.

Не залежно від предметної галузі виділяють такі загальні риси, притаманні онтологіям:

- У світі є об'єкти.
- Об'єкти мають властивості або атрибути (цінність).
- Об'єкти можуть існувати в різних відносинах один до одного.
- Властивості та відносини можуть змінюватися в часі.
- Є події, які зустрічаються в різні часові моменти.
- Є процеси, в яких беруть участь об'єкти і які відбуваються з часом.
- Світ і його предмети можуть належати різними власникам.

- Події можуть викликати інші події або стани як результат події.
- Об'єкти можуть мати частини.

При аналізі та представленні знань конкретної предметної галузі може виникнути необхідність використання понять на більш високих рівнях спільності. Таким чином, дослідження онтології в галузі штучного інтелекту при розробці інформаційних систем призвели до необхідності визначення онтологій вищого рівня, які містять ряд загальних проблем, визначають речі або сутності як їх кореневий клас. Онтології взагалі представляють собою знання у вигляді таксономічного дерева концептуалізацій (онтограф), від дуже загальних і незалежних від домену на більш високих рівнях до конкретних, специфічних для предметної галузі. На рис.1 наведено приклад представлення фрагменту онтології «Множини та відношення» [2]. Способи представлення можуть бути різними, залежно від критеріїв, згідно яких будується онтологія.

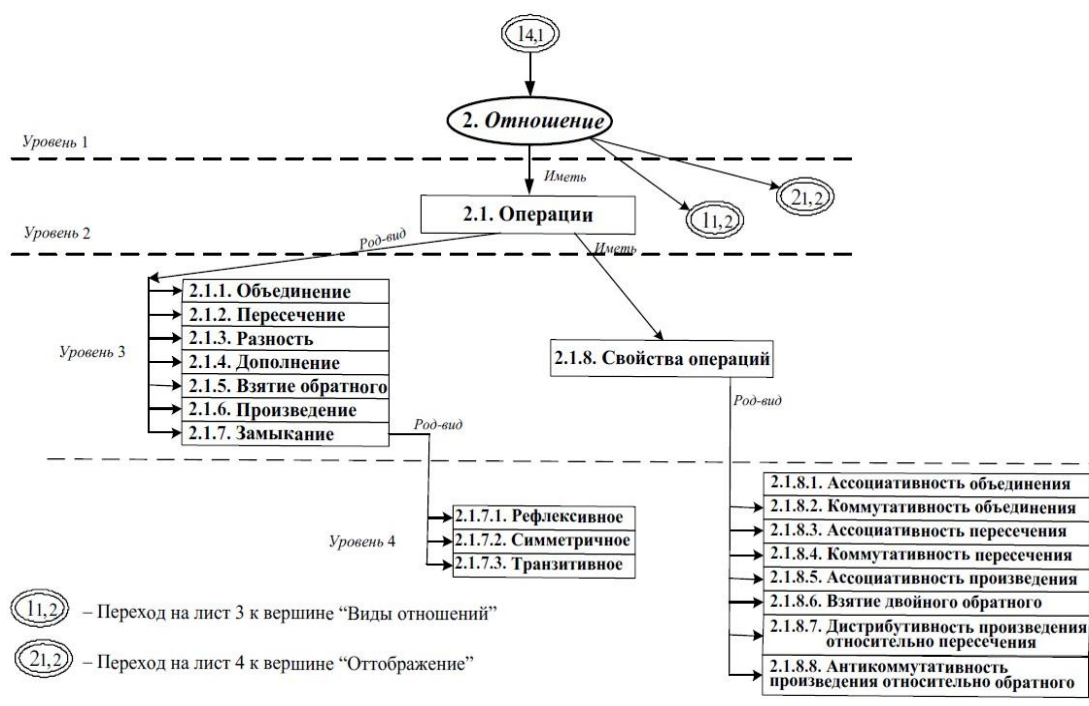


Рис.1. Фрагмент онтографа «Множини та відношення»

Важливою рисою онтології є незалежність її структури від засобів розробки.

Онтологія домену використовується як загальний концептуальний базис для ефективного компактного представлення системи знань в конкретній предметній галузі, узагальнює поняття домену, але відокремлену від самих конкретних задач.

Знання, які використовуються для побудови онтологій в інформаційних системах для розв'язання складних задач, бувають двох видів:

- доменне фактичне знання забезпечує знання про предметну галузь;
- знання, що дозволяє розв'язати проблему, досягти поставлених цілей.

В останні роки розробляються методи, які відокремлюють процес проектування на високому та низькому рівні, допомагаючи розробляти реалістичні методи взаємодії [5]. Іншим напрямком є методи, які використовують більш орієнтований на користувача. Доречно розділяти онтології користувача системи та розробника [6].

Спільне використання онтологічного представлення знань

Інтероперабельність. Одним з актуальних питань та найважливіших призначень онтології є потенційна можливість спільного використання такого представлення знань. Добре розроблена онтологія забезпечує основу представлення знань домену. Крім того, вона допомагає ідентифікувати семантичні категорії, які зустрічаються цьому домені, відіграє роль концептуального словника. Проте, навіть у конкретних предметних галузях різні системи, засновані на знаннях, можуть зіткнутись з проблемами «порозуміння».

Одним з найвідоміших проектів, який претендує на статус стандарту для онтологій вищого рівня, є SUMO (The Suggested Upper Merged Ontology), розроблений IEEE SUO (Standard Upper Ontology Working Group). SUMO написано на мові SUO-KIF (Knowledge Interchange Format), і є безкоштовним. [7].

Проблеми інтегрування та інтероперабельності сучасних систем є одним з найактуальніших напрямків досліджень, розвитку відкритих семантичних технологій проектування інтелектуальних систем OSTIS (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems). Цій технології комплексного компонентного (модульного, збірного) проектування інтелектуальних систем присвячена щорічна міжнародна конференція OSTIS [8]. Онтології та пов'язані з ними системи інтелектуальних міркувань є ключовими для вирішення цих проблем [9].

Semantic Web. У сучасному світі з необмеженою кількістю інформації дуже актуальним є питання автоматичного пошуку в Інтернеті та обробки інформації. Інтернет ресурси в більшості уявляють собою неструктурований контент, призначений для використання людиною. Для автоматизації роботи з інформацією виник напрямок стандартизації представлення інформації у вигляді, який дає можливість машинної обробки. Це так звана семантична паутина - *semantic web*. Цю назву вперше було введено винахідником

Інтернета Тімом Бернерсом-Ли (Tim Berners-Lee) у вересні 1998 року. Він визначив це як «наступних крок в розвитку всесвітньої павутини» [10]. Концепція Semantic Web була прийнята консорціумом Всесвітньої павутини (World Wide Web Consortium, W3C) – організацією, яка розробляє та впроваджує технологічні стандарти для Всесвітньої павутини [11].

Можна виділити три основних переваги застосування технологій Semantic Web: гнучка модель, розширені аналітичні можливості та переваги в розробці сервісів роботи з даними [12]. Під моделлю розуміється онтологія для опису типів, сутностей, відношень, допустимих значень та семантики. Вона не прив'язана до способу зберігання даних, що дозволяє зміни в моделі набагато простіше, ніж в реляційних структурах.

Семантичне представлення даних надає широкі можливості пов'язувати їх різними типами відношень, які мають семантичні властивості. Тобто на базі семантики відношень можливо зробити логічні висновки або отримати інші відношення. Завдяки опису метаданих та взаємозв'язкам цих даних семантичні технології дозволяють будувати потужні прикладні системи аналізу контексту, де онтології є словником концептів, необхідних для такого аналізу.

Напрямки використання онтологій в різних галузях інформаційних технологій

Онтології предметної галузі. Наймасштабнішою та деталізованою онтологією загального знання є відкрита для загального користування база знань OpenCyc [13]. Це онтологія вищого рівня, яка містить інформацію з різних предметних галузей: філософія, математика, хімія, біологія, психологія, лінгвістика тощо. Структурно база знань OpenCyc складається з констант (термінів) та правил (формул), які оперують цими константами. Правила діляться на два види: аксіоми (введені експертами вручну твердження) та ствердження, які можуть бути виведені логічно.

В багатьох галузях сучасного життя проводяться роботи, спрямовані на створення та впровадження загальних індустріальних (галузевих) онтологій, які могли би бути основою для обміну даними між компаніями індустрії. Наприклад, самою потужною в *фінансовому світі* вважається FIBO, яка підтримується багатьма фінансовими системами [14].

Онтологічний підхід для управління корпоративними знаннями в бізнес-системах. Правильно вибраний напрямок інформаційно-функціональної підтримки може привести до значно вищого рівня розв'язання поточних задач та, відповідно, до зростання ефективності роботи компанії.

В роботі [15] розглядаються задачі, які виникають у компаній при проектуванні автоматизованих інформаційних систем, заснованих на управлінні знаннями. Аналізується перевага застосування для автоматизації підприємства онтологічного підходу організації та управління корпоративними знаннями. Онтологічний інжиніринг, як процес проектування та розробки онтологій, базується перш за все на структурному аналізі предметної області. Опис будь-якого бізнес-процесу фактично представляє собою структурування даних та знань в цій галузі.

Підкреслюється, що основною перевагою онтологічного інжиніринг є цілісний підхід до задачі автоматизації підприємства. При цьому досягається системність, оскільки онтологія надає можливість представити модель предметної галузі в визначеному цілісному вигляді.

Крім того, єдина чітка структура полегшує візуалізацію та виявляється потужним когнітивним інструментом, який дозволяє робити більш прозорими і зрозумілими корпоративні знання, та спрощує їх використання.

Онтології для розробки додатків віртуальної реальності. Одним з напрямків розвитку сучасних інформаційних ресурсів є розробка додатків віртуальної реальності, що має важливе значення, наприклад, в системах навчання, різних симуляторах тощо.

В роботі [16] розглядається необхідність розробки інструментів для моделювання, додатків віртуальної реальності (VR), що залишається важливою та складною задачею. Пропонується підхід на основі аналізу (експертизи) домену. Цей підхід використовує онтології як спосіб сприйняття знань про домен для полегшення побудови моделі віртуального світу і здійснення інтелектуальних міркувань. Крім того, онтології також використовуються як інструмент концептуального моделювання, який дозволяє індивідуально не спеціалізованій людині, що вміє працювати над VR, моделювати його VR-заявку, використовуючи концепції "Віртуальна реальність" більш інтуїтивно та більш орієнтованою на експертизу своєї галузі.

Запропонований підхід поділяє процес відтворення VR на три етапи, а саме етап специфікації, етап відображення та генерації.

Метою етапу специфікації є надання кінцевому користувачеві можливості визначити його VR-додаток на концептуальному рівні (без будь-якої реалізації або бібліотеки програмного забезпечення VR), використовуючи термінологію домену.

Для того, щоб мати змогу виконувати етап відображення, необхідна онтологія для VRML. Онтологія VRML містить інформацію, таку як типи

примітивних об'єктів, які можуть відображатися за допомогою специфікації VRML разом з необхідними параметрами для створення екземплярів цих типів об'єктів.

Після того, як виконали відображення, можна створити код робочого віртуального світу.

Такий підхід дає переваги, оскільки розроблена VR-програма краще задовольнить вимоги кінцевого користувача або клієнта; процес розвитку може бути скорочений; можливо швидко отримати прототип; зв'язок між VR-спеціалістом, експертом домену та кінцевим користувачем може бути вдосконалено; і важливе - може бути використане існуюче знання домену.

Застосуванню онтологій в семантичному моделюванні віртуальних світів присвячена також робота [17].

Онтології як основа для розробки СППР Загально прийнятим є використання онтологічних моделей, схем їх операційного та процедурного наповнення, а також їх інтеграції з іншими інформаційними технологіями при створенні інтелектуальних СППР [18-20].

Використання онтологічних моделей аналізу діяльності системи дозволяє розв'язати низку завдань.

- Виявити можливі нові взаємозалежності та зв'язки між параметрами (показниками) діяльності системи, які на момент її створення могли не існувати.
- Адекватно ідентифікувати реальними умовами функціонування СППР можливі зміни та доповнення онтологічної моделі об'єкта. Сформувані нові, релевантні по відношенню до розглянутих результатів, процедури підготовки, прийняття та аналізу виконання рішень.
- Реорганізувати апріорну онтологічну модель СППР для наступних етапів діяльності.
- Порівнювати на базі модифікованої апріорної моделі отримувані результати-наслідки виконання прийнятих рішень та формувати нову апостеріорну модель.

При розробці інтелектуальних систем СППР проблемним є розв'язання задачі операційного наповнення фонових процесів вилучення, формування, структурування, змістовної консолідації, часового узгодження та представлення фактичних результатів діяльності системи. Автори вважають найбільш перспективним напрямком пошуку відповідних механізмів та інструментів використання платформи «Тезаурус&Онтологія&Сховище

Даних» на базі онтологічних схем формалізації, використання та поповнення знань. Така платформа повинна бути операційно повною базою опису знань та процедур змістовних розкопок «нових знань» про діяльність системи.

Онтології в розробці обчислювальних засобів. Значна складність проектування та розробки програмного забезпечення полягає в тому, що розробник повинен уявляти (знати) множину всіх можливих етапів та варіантів процесів при розв'язанні задачі (екстенціонал задачі), з урахуванням різних допустимих вхідних даних. Ці знання повинні бути втілені у вигляді програмного продукту.

Також значні складності виникають при модифікації програми: необхідно точно уявляти, які зміни в процесі розв'язування задачі призведуть до очікуваних змін результатів, бути певним в їхній коректності та знати, якими саме змінами в програмі цього можна досягти. Велика вірогідність помилки робить це завдання надзвичайно непростим і вимагає участі у проекті експертів високого класу, що робить виконання таких робіт коштовними.

В розробці інтелектуальних систем беруть участь спеціалісти різних спеціальностей: системні аналітики, інженери знань, програмісти, експерти предметної галузі тощо. У кожній з цих груп існує своя професійна лексика. Для «порозуміння» між цими групами можуть бути використані онтології як засіб загального опису задачі [21, 22].

Попередня формальна специфікація дозволяє значно зменшити тривалість та коштовність робіт, оскільки практична користь полягає в полегшенні розуміння вимог, а відповідно, зменшення помилок при реалізації.

Онтології в лінгвістичних задачах. Переважна більшість робіт в галузі конструювання систем, заснованих на знаннях, присвячується розробці конкретних предметних онтологій. Можна виділити декілька галузей. Перш за все, це лінгвістика [23]. Застосування онтологій у лінгвістичних задачах розробки перекладачів було одним з перших напрямків.

Одна з головних задач систем з рисами штучного інтелекту - аналіз та розуміння природномовних текстів. Розробці абстрактної моделі мовно-онтологічної картини світу, яка базується на лексикографічній базі даних природної мови та семантико-синтаксичних відношеннях між мовними одиницями присвячено дослідження [24]. В роботі описано варіант онтології категорій концептуального рівня. Представлено абстрактну модель мовно-онтологічної картини світу, яка складає основу в розробці систем аналізу та розуміння природномовних текстів.

Активно розвивається напрямок використання онтологій в електронному навчанні (Electronic Learning) [25, 26].

Стандартизація знань в галузі медицини та біології. Типовим є використання онтологій для розробки експертних систем в медицині [27], автоматизованих систем в виробничих процесах [28], СППР в різних галузях економіки [29], дистанційному навчанні тощо.

Зусиллями наукової спільноти було втілено в життя ініціатива з опрацювання єдиного понятійного апарата та узгодження принципів розробки онтологій в різних галузях біології та медицини. Результатом стала бібліотека Відкритих Біомедицинських Онтологій ОВО (Open Biomedical Ontologies) [30].

Інформаційна безпека. Не можливо уявити сучасний світ без використання електронних засобів в усіх галузях людського життя. Цифрові технології в економіці, державних установах, науці, медицині, навчанні, користування соціальними мережами зробили надзвичайно важливими задачі забезпечення інформаційної безпеки. Методам застосування онтологічного підходу до розв'язання цих задач присвячено роботи [31 - 34].

Онтології, логічний висновок та машинне навчання – основна тема Онтологічного Саміту 2017. Визначення взаємозв'язків між такими напрямками досліджень в галузі штучного інтелекту як онтології, логічний висновок та машинне навчання (рис.2) було обрано головною темою обговорення на онтологічному Саміті 2017 року (Ontology Summit 2017) [35].

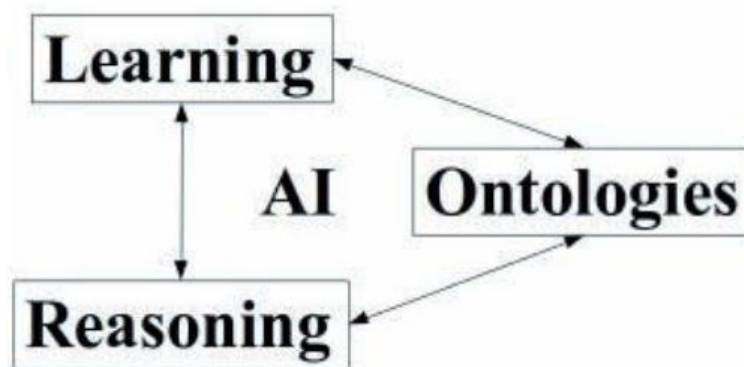


Рис. 2. Логотип Онтологічного саміту 2017

Було зроблено спробу дослідити використання методів ШІ в галузі машинного навчання (МН), міркувань та онтології для їхнього взаємного покращення. Навчання необхідне для здобуття знань, але логічний висновок надає шляхи кращого зберігання та доступу до знань за допомогою онтологій. Таким чином, ці галузі взаємно доповнюють один одне. Тобто їх треба досліджувати разом.

Одним з напрямків, яким приділялась увага, було використання автоматизації та різних підходів МН для видобування знань та покращення

онтологій шляхом їх модифікацій та доповнення. Розробляються та можуть бути використані різні підходи та інструменти МН, в тому числі, статистичні, лінгвістичні, біоподібні, які можуть бути використані для того, щоби:

- здобувати інформацію та знання з різних джерел для розробки та підтримки онтологій;
- фільтрувати «зашумлені» дані для подальшого покращення якості онтологій;
- стандартизувати онтології для незалежності від особливостей наборів даних; [36]
- здійснювати переклад лінгвістичних реалізацій об'єктів різними мовами.

Онтології як основа для логічних висновків та міркувань. Велика увага приділяється методам, які направлені на використання онтологічних підходів для розробки логічних висновків та міркувань. Онтології складають ядро для формального представлення знань, які використовуються відповідною стратегією виведення. Можуть бути корисними для отримання нових знань і допомогти автоматизувати процес досліджень. Аналіз робочого процесу може допомогти зрозуміти результати процесу наукових відкриттів [37, 38]. Онтології можуть бути використані для знаходження аналогій в біологічних галузях для розв'язання проблем в інженерних задачах [39].

Наведеними прикладами застосування онтологій не обмежується.

Висновки

В роботі розглянуто місце онтологій в розвитку сучасних інформаційних технологій, для розробки комп'ютерних систем, заснованих на знаннях. Наведено визначення поняття онтології, деякі характеристики, роль та основні аспекти розробки та застосування онтологій. Розглянуто приклади розробки систем з застосуванням онтологій в різних предметних галузях: медицині, бізнесі, фінансовій сфері, навчанні, розробці програмного забезпечення та сфері наукових досліджень.

Література

1. Gruber T.R. A translation approach to portable ontologies // Knowledge Acquisition. – 1993. - 5(2). – P.199-220.
2. Кривий С.Л. Формализованные онтологические модели в научных исследованиях // Управляющие системы и машины, №3. - 2016. - С. 4-15.
3. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний в интеллектуальных системах // СПб. Издательство «Питер» - 2000. – 384с.

4. Chandrasekaran B., Josephson John R., Benjamins V. Richard. Ontologies. What are ontologies, and why do we need them? // 1094-7167/1999 IEEE INTELLIGENT SYSTEMS
5. Tanriverdi, V. and Jacob, R.J.K.:VRID: A Design Model and Methodology for Developing Virtual Reality Interfaces // Proc. ACM VRST 2001 Symposium on Virtual Reality Software and Technology. ACM Press.
6. Грибова В.В, Клещев А.С. Онтологическая парадигма программирования // Конференція OSTIS-2012 (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems), 2012. – С. 213-220. (<http://conf.ostis.net>)
7. <http://www.adampease.org/OP/>
8. OSTIS-2016 (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems), 2017 // <http://conf.ostis.net/index.php?title=OSTIS-2017>.
9. Боргест Н.М., Шустова Д.В. Разработка семантических основ информационных систем при проектировании и производстве машиностроительных изделий // OSTIS-2017.№ 42)
10. Berners-Lee Tim. Semantic Web Road map. // September 1998. (<https://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>).
11. <https://uk.wikipedia.org/wiki/W3C>
12. Уткин Алексей. Управление данными в контексте финансовой индустрии . // 16 декабря 2013 (<https://dataart.ua/news/tehnologii-semantic-web-na-perednem-krae-upravleniya-danny-mi-v-finansovy-h-kompaniyah/>)
13. <http://www.cyc.com/opencyc/>
14. <http://www.omg.org/hot-topics/finance.htm>
15. Гаврилова Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных систем автоматизации. // http://bigc.ru/publications/bigspb/km/ontol_podhod_to_uz.php
16. Billeuy Wesley, Pellens Bram, Kleinermann Frederic, and De Troyer Olga. Intelligent Modelling of Virtual Worlds Using Domain Ontologies // Proceedings of the Workshop of Intelligent Computing (WIC). , Eds. L. Sheremetov, M. Alvarado, Mexico City, Mexico, 2004. pp. 272 - 279 (http://ceur-ws.org/Vol-97/IVEVAFinal_S1_01.pdf)
17. Messaoud Mezati, Cherif Foudil, Sanza Cédric, Gaildrat Véronique. An Ontology for Semantic Modelling of Virtual World. // International Journal of Aetificial Intelligence (IJAI), Vol. 6, No. 1, January 2015. – P. 65-74.
18. В'юн В.І., Кузьменко Г.Є.. Онтологічні схеми інтелектуалізації систем підтримки прийняття рішень // Мат. машини і системи. №3. – 2008. – С. 115-120.

19. Скобелев П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени. // Ж-л «Онтология проектирования». Самара : Новая техника. - 2012. - №1. - с. 6 – 39.
20. Загорулько Г.Б., Загорулько Ю.А.. Проект открытого расширяемого инструментария для построения интеллектуальных СППР. // OSTIS-2011.
21. Грибова В.В, Клещев А.С. Онтологическая парадигма программирования // Конференція OSTIS-2012 (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems), 2012. – с. 213-220. (<http://conf.ostis.net>)
22. Pidnebesna H. On Constructing Ontology of the GMDH-based Inductive Modeling Domain, Proc. of 8th International Workshop on Inductive Modeling IWIM 2017, Lviv, Ukraine, 2017, pp. 511-513.
23. Найденова К.А., Невзорова О.А. Машинное обучение в задачах обработки естественного языка: обзор современного состояния исследований. // <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obuchenie-v-zadachah-obrabotki-estestvennogo-yazyka-obzor-sovremennogo-sostoyaniya-issledovaniy>.
24. Палагін О.В., Пертренко М.Г.. Модель категоріального рівня мовно-онтологічної картини світу // Математичні машини і системи. – 2006, № 3. – С. 91-104.
25. Gladun A.Y., Abdel-Badeeh M.S., Khala K.A. Applying of Ontological Technology of Semantic Search in E-learning. // OSTIS-2017.. – #30.
26. Балашева И.Ю. Построение и исследование предметной онтологии электронного обучения // Программные продукты и системы. № 3(17), 2014. – с.26
27. Yu M. Inferring the hierarchical structure and function of a cell from millions of biological measurements // In Ontology Summit 2017: AI, Learning, Reasoning, and Ontologies, 5 April 2017
28. Кудрявцев Д.И., Гаврилова Т.А. Синтез сервисного и архитектурного подходов к проектированию систем управления знаниями // конференція OSTIS-2016 (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems), 2016. http://conf.ostis.net/index.php?title=%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4_01_OSTIS-2016
29. Рогущина Ю.В., Гладун А.Я. Организационные онтологии и управления знаниями в системах поддержки принятия решений как средство поиска экспертов // IWIM-2005. Киев. - 2005
30. Електронний ресурс <http://obofoundry.org/>
31. Aktayeva A., Galieva N., Naraliev N., Baiman G., Makulbek N., Shatenova G. Cognitive Ontology of Information Security Priorities in Social Networks // OSTIS-2017. – №58.
32. Andriichuk O.V., Kachanov P.T. Usage of Expert Decision-Making Support Systems in Information Operations Detection // OSTIS-2017. – #56.

33. Kadenko S.V. Usage of Decision Support Technologies in Information Security Domain: Opportunities and Prospects // OSTIS-2017. – #57.
34. Grabusts P., Uzhga-Rebrov O. Ontology-Based Risk Analysis System Concept. // OSTIS-2017, #54
35. Ontology Summit 2017 // <http://ontologforum.org/index.php/OntologySummit2017>
36. Тузікова А.В. Алгоритм выделения первичной семантической структуры в коллекции определений // OSTIS-2017, #72
37. Y. Gil. Reasoning about scientific knowledge with workflow constraints // Ontology Summit 2017: AI, Learning, Reasoning, and Ontologies, 5 April 2017
38. Клещев А.С., Шалфеева. Е.А. Концептуальное проектирование управляемой системы поддержки интеллектуальной деятельности // Конференція OSTIS-2016 (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems), 2016
39. Rugaber S. Applications of ontologies to biologically inspired design // Ontology Summit 2017: AI, Learning, Reasoning, and Ontologies, 5 April 2017.