

Карти понять та методи їх застосування в онтологічно-орієнтованих інформаційно-навчальних системах

Титенко С. В.

Титенко С. В. Карти понять та методи їх застосування в онтологічно-орієнтованих інформаційно-навчальних системах / С. В. Титенко // Сталий розвиток — XXI століття. Дискусії 2020: колективна монографія / Національний університет "Києво-Могилянська академія" / за ред. проф. Хлобистова Є.В. — Київ, 2020. — С. 411-423 с. — Електронне видання. ISBN: 978-617-7668-22-9.

Актуальність. Інформаційно-навчальні системи продовжують відігравати значну роль в навчальних процесах різних форм. Такі системи затребувані в шкільній освіті, університетських програмах, корпоративному навчанні та в сфері професійного саморозвитку[1]. Гіпермедіа-середовище, що отримало потужну технічну інфраструктуру завдяки World Wide Web, зумовило дослідження та появу нових форм та засобів презентації інформаційно-навчального контенту. Різноманітні методи та засоби візуалізації навчальної інформації підвищують наочність та полегшують процес сприйняття нових знань. Серед таких засобів — широка палітра концептуальних карт, що набули значного поширення в багатьох галузях, суміжних з інформаційними технологіями та освітою [2]. Концептуальна карта, або карта поняття має вигляд графа, вузлами якого є поняття предметної області, а ребра відповідають відношенням між цими поняттями. Такі карти перш за все подаються графічно на паперових чи цифрових носіях, а також представляються за допомогою того чи іншого формально-математичного апарату.

Новизна. Робота присвячена огляду карт понять, дослідженню передумов до їх створення, аналізу їх типів та цілей застосування в навчальному процесі та інформаційно-навчальних системах. Ставиться завдання проаналізувати вимоги до інтерактивних карт понять в онтологічно-орієнтованих системах для підтримки безперервного навчання.

Графові та мережеві подання та передумови появи карт понять. Фоном для появи карт понять різних типів в 1960-70-х рр. були галузі, дотичні до психології навчання, подання знань, когнітивної психології, лінгвістики, формальної логіки, машинної обробки природної мови тощо.

Ранні роботи з семантичних мереж спираються на напрацювання Хомського [3] в галузі лінгвістичних структур та роботи багатьох інших дослідників психологічної та когнітивної лінгвістики. Так, Куїлліан [4], засновуючись на дослідженнях моделювання людської пам'яті, запропонував модель семантичної мережі. Логічна структура на базі речень природної мови та міркування такої системи візуалізувалися у вигляді графа (рис.1) на базі зв'язків асоціативності між поняттями. Робота дала поштовх до подальшої специфікації відношень та розвитку формального апарату семантичних мереж.

FOOD: 1. That which living being has to take in to keep it living and for growth.
Things forming meals, especially other than drink

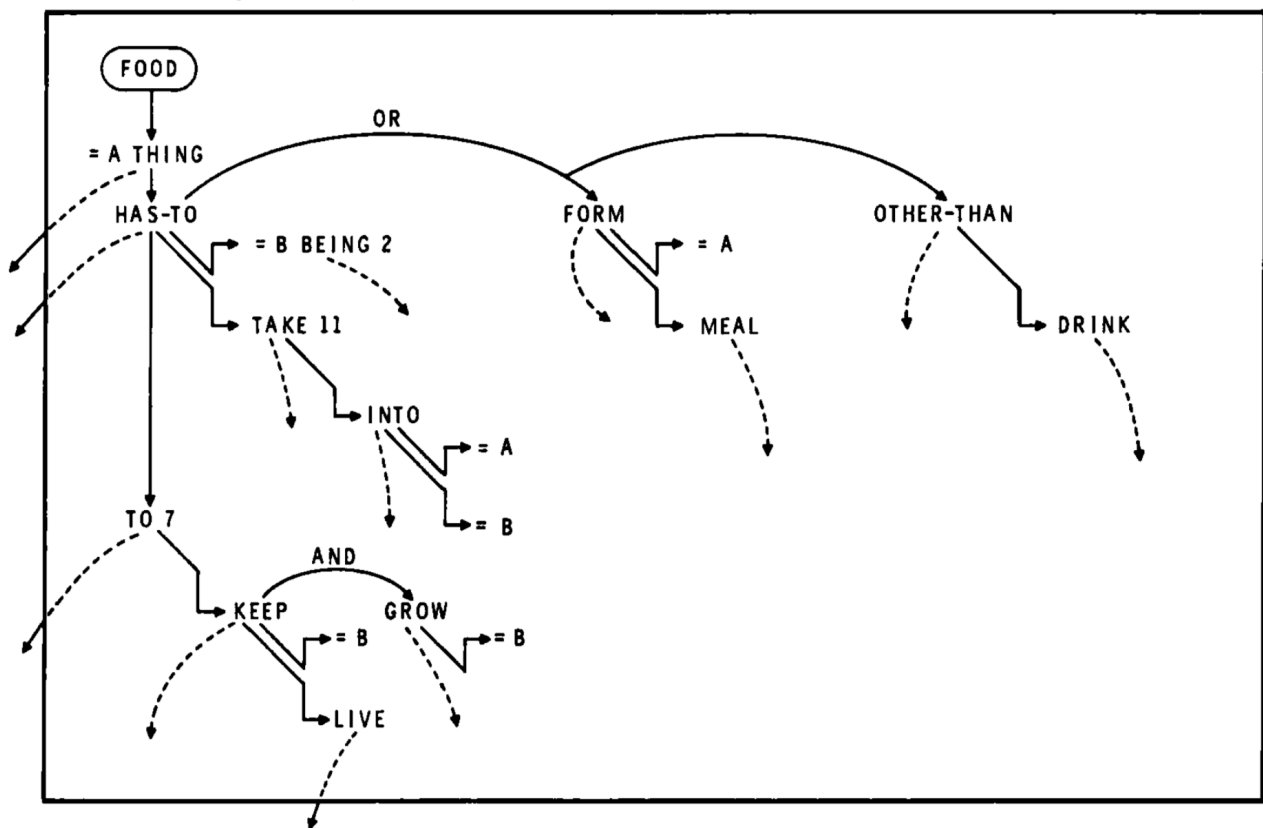


Рисунок 1. Подання поняття «Їжа» в моделі семантичної мережі Куїлліана [4]

В галузі педагогічної психології Ausubel [5, 6] пропонує концепцію осмисленого навчання, що ґрунтується на гіпотезі про те, що когнітивні структури організовані ієрархічно, де високоінклюзивні поняття містять менш інклюзивні підлеглі поняття та дані. Це означає, що для успішного засвоєння нового навчального матеріалу він повинен бути інкорпорованим в наявні когнітивні структури учня таким чином, щоб підпорядкуватися та бути співвіднесеним з відповідними вже існуючими в структурі поняттями [6]. Таким чином, Ausubel наголошує на важливості структурування та зв'язування нової інформації із наявною в процесі навчання [7]. Реалізацію цих вимог пропонується здійснювати за допомогою розвинених органайзерів, які є будь-якою формою візуального, вербального чи текстового матеріалу, що подає структуру навчального контенту. Головною задачею таких органайзерів є наголошення на ключових поняттях та їх взаємних зв'язках та співвідношеннях з відомими поняттями [8].

Ці педагогічно-психологічні основи стали підвалиною для розробки карт понять Джезефом Новаком в Корнелльському університеті в 1972 р. [2] Карти понять за Новаком – графічні інструменти для організації та подання відношень між поняттями, що представляється лінією, яка з'єднує два поняття. Слова на лінії є фразами зв'язку, що визначають відношення між поняттями. Поняття та судження зазвичай організовуються ієрархічно від найбільш загальних та найбільш інклюзивних до найдрібніших [2], рис. 2. Такі карти виникли як засіб реалізувати ідеї Ausubel для презентації учням нових знань. Ключовим застосуванням карт

понять у Новака є діяльність учнів по створенню карт понять як вид навчальної діяльності. Такі карти допомагають учням структурувати власні судження та зв'язувати нову інформацію з вже відомою, забезпечуючи асиміляцію нових знань в персональну когнітивну структуру. Карти понять та діяльність з їх конструювання реалізують тут смислове навчання за Ausubel на противагу заучуванню. Слід підкреслити, що ефективні та зрозумілі карти понять за Новаком будуються з урахуванням правильного фокусування на питанні, що розглядається [2]. Це означає, що кожна окрема карта не ставить за мету подати усі можливі зв'язки та залежні поняття, натомість відбувається презентація найбільш суттєвих суджень в даному навчальному контексті.

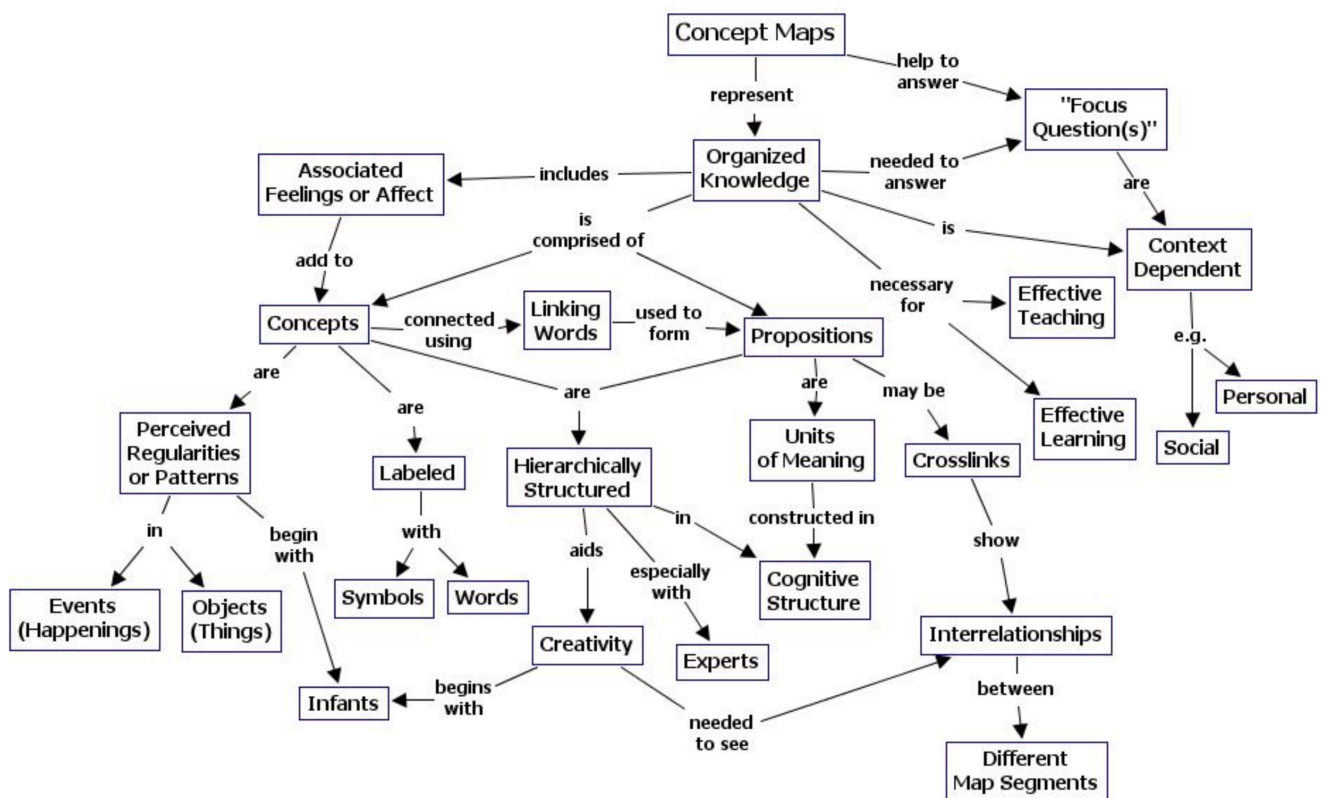


Рисунок 2. Карта понять за Новаком, що розкриває основні особливості концептуальних карт [2]

У 1976 р. Сова (Sowa) представив формалізм концептуальних, який згодом детально описав у своїй книзі [2], яка стала значущим внеском в галузь подання знань. Концептуальні граfi є формальною нотацією, що служить посередником між людиною та комп'ютером. Граfi описують смисл даних відповідно до користувацької точки зору, але також вони асоціюються з процедурами, що мають доступ до даних відповідно до машинної формалізації [10]. Приклад концептуального графу [10] подано на рис. 3. Формально концептуальний граф є кінцевим, зв'язним, двочастковим графом. Вузли графа представляють поняття або концептуальні відношення. Поняття позначаються прямокутниками, а відношення – еліпсами. Мітки дуг тут не використовуються [11].

Як зазначається, застосування графічного представлення знань, в тому числі на базі теорії концептуальних графів допомагає формалізувати міркування про стани, поведінку та відношення об'єктів. Таким чином, можна створювати та опрацьовувати декілька альтернативних гіпотез про складні об'єкти та неоднозначні ситуації, наприклад в галузі космонавтики [10]. Дослідники інформаційних систем для NASA [10] підкреслюють, що подібна графічна репрезентація знань допомагає користувачеві в розумінні предметної області, спрощує маніпуляцію, редагування та ревізію знань та переведення їх в різні рівні складності для різних аудиторій слухачів.

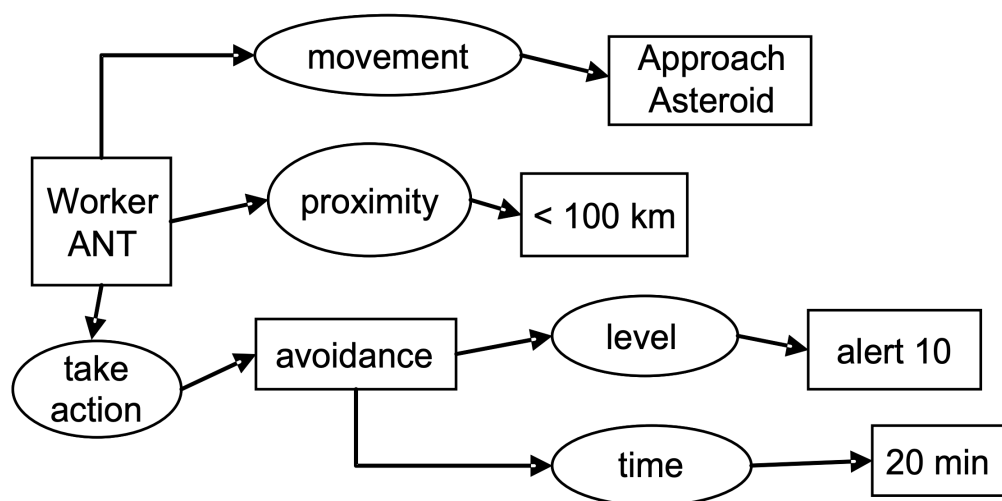


Рисунок 3. Приклад концептуального графу в дослідженнях NASA [10]

У 1972 р. F. Dansereau з колегами запропонував стратегію карт типу «вузол-зв'язок» (node-link) як продовження підходу до використання графічних діаграм для комунікації та використання мережевих моделей концептуалізації людської пам'яті [12]. Такі карти автори також називають карти знань або Texas Christian University Node-Link Mapping (TCU-NLM). Пропонується використання трьох типів карт: інформаційні карти, карти-керівництва та карти вільного стилю. Інформаційні карти (рис. 4) створюються експертом з метою презентації деякої теми учням або кінцевим користувачам. Карти-керівництва є частковими картами, що передбачають заповнення прогалін в процесі вирішення задачі або в процесі навчання. Карти вільного стилю конструюються учнем чи користувачем під час опрацювання вербального матеріалу для вираження отриманих знань [12]. Вузли служать для вираження понять та характеристик, зв'язки (ребра) мають напрямок та позначаються символами, яким відповідають типи відношень відповідно до легенди.

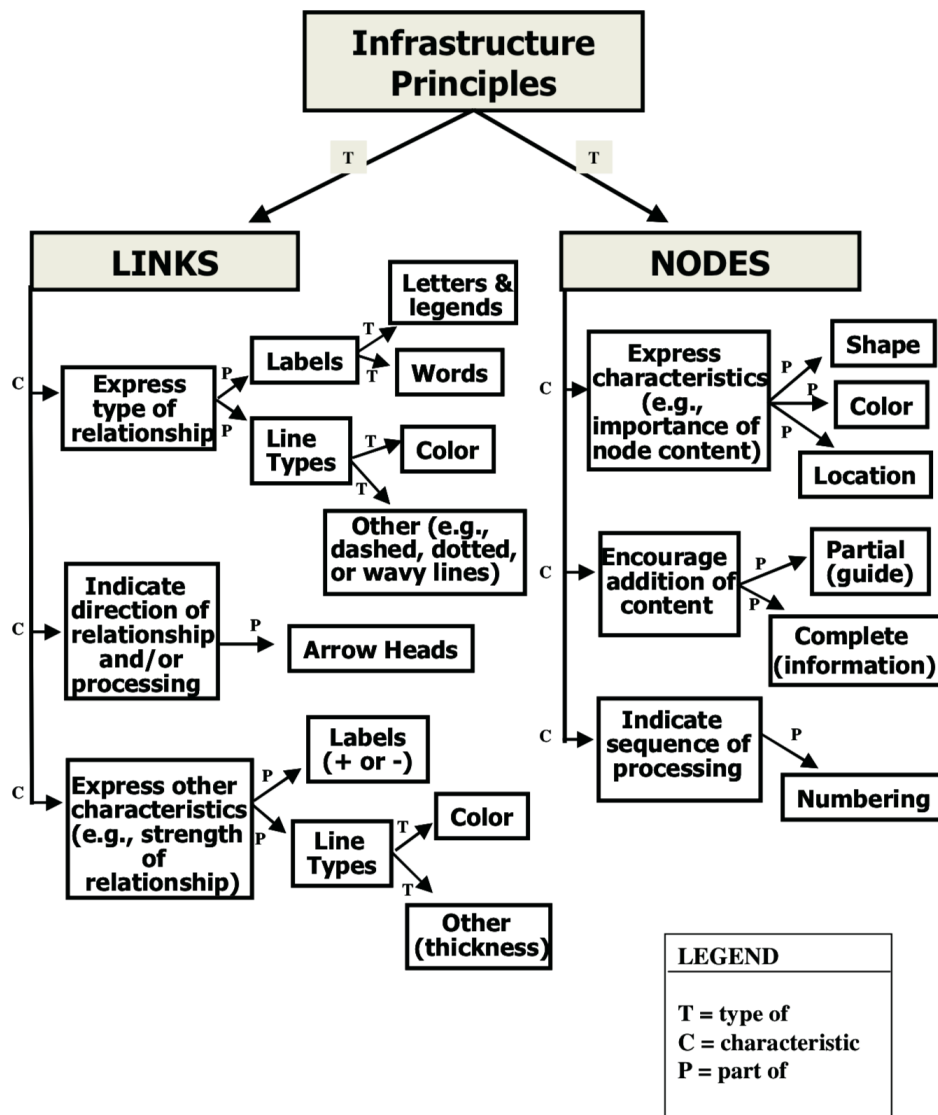


Рисунок 4. Приклад node-link-карти, що подає формальні принципи створення таких карт [12]

Карти TCU-NLM показали ефективність в підтримці навчального процесу, професійному консультуванні та бізнес-діяльності, зокрема в проведенні дискусійних нарад [12].

У 1974 р. Бузан у своїй книзі описав методику інтелект-карт [13]. Він вказує, що природа інтелект-карт пов'язана з особливостями роботи розуму, і вони можуть використовуватись практично в будь-якій діяльності, де задіюється мислення, пам'ять, планування та креативність. Бузан запропонував застосовувати інтелект-карти для підготовки промов, написання текстів, аналізу задач, для зустрічей та комунікації, а також для нотування [13].

Інтелект-карта є діаграмою, у центрі якої деяке поняття (рис. 5). За формою інтелект-карта є радіальним деревом, хоча окрім ієрархічних зв'язків тут також можуть застосовуватись додаткові ребра асоціацій між різними елементами структури. Завдяки радіальній формі інтелект-карти виявилися досить зручними

для подання інформаційних структур та набули значного поширення як засіб візуалізації ідей [14].

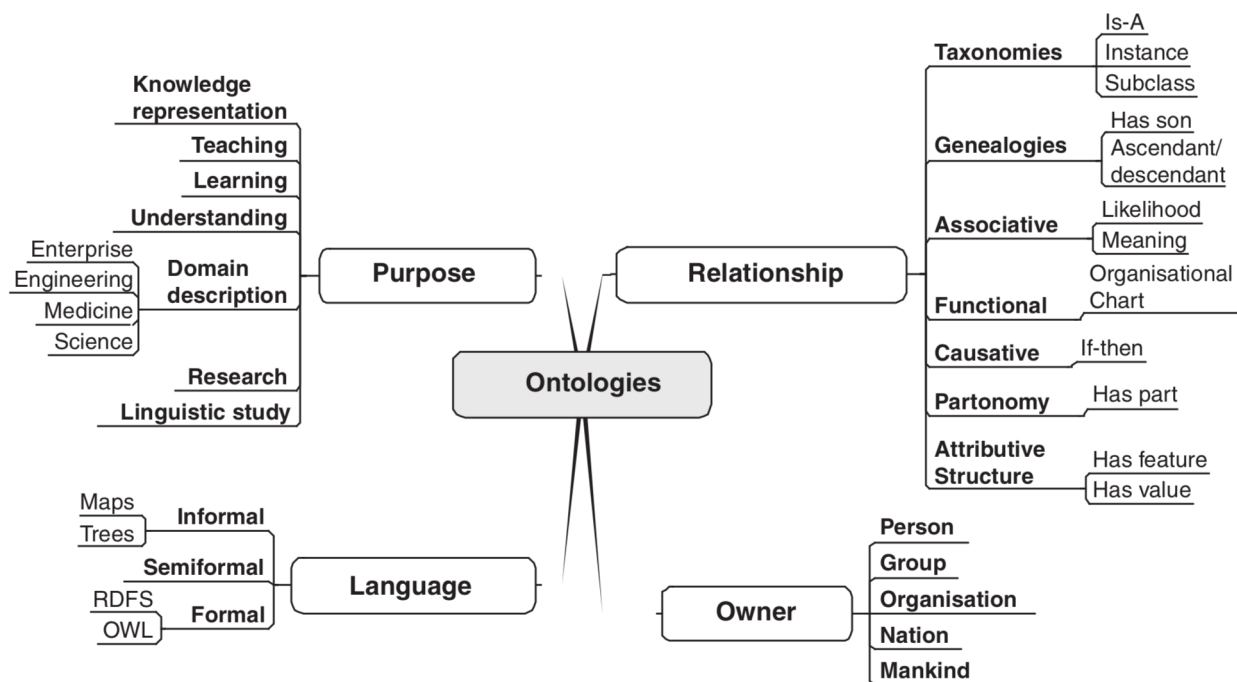


Рисунок 5. Приклад інтелект-карти [15]

Бурхливий розвиток мережевих представлень та графових концептуальних візуалізацій зумовили великий дослідницький та практичний інтерес до застосування карт понять в навчально-довідкових цілях у відповідних інформаційних системах.

Застосування карт понять в інформаційно-навчальних системах. *Конструювання карт понять користувачами.* Новак наголошує на ефективності конструювання карт понять учнями як способу здійснювати осмислене навчання [16]. Новак пропонує використовувати методи навчання, які б заохочували учнів самостійно конструювати карти понять на базі лекцій та інших навчальних матеріалів [17]. Подібна діяльність спонукає учнів до структурування власних знань та більш глибокого осмислення нового матеріалу у співвідношенні з відомими даними на противагу заучуванню. Інформаційні системи, що дозволяють використовувати комп'ютерні інтерфейси для створення цифрових карт понять, вбачаються важливим інструментом для подальшого впровадження таких карт в навчальних системах[2].

Оцінювання знань. Новак [2] та Кінчін [18] вказують на успішні приклади застосування техніки конструювання карт понять учнями з метою оцінювання знань. Конструювання карт, таким чином, ефективно для ідентифікації як коректних так і невірних ідей учнів. Карти понять можуть бути так само ефективними, як і контрольні співбесіди, що вимагають значних витрат часу для ідентифікації знань студента до та після навчального курсу [2]. За допомогою самооцінювання та конструкції карт понять студенти можуть ефективно визначати та усувати хибні уявлення.

Навігація в навчальному середовищі. Значна кількість досліджень направлена на застосування карт понять для покращення навігації в гіпермедіа-середовищі навчальних систем [2, 19, 20, 21]. Puntambekar приділяє значну увагу питанням нелінійної навігації в навчальних гіпермедіа-системах [19]. Перевагою гіпертекстових навчальних систем є можливість подачі контенту таким чином, щоб відобразити численні взаємозв'язки між поняттями [19]. Використання для цієї мети карт понять є зручним механізмом. Карти понять можуть бути ієрархічними, що унаочнює структуру навчальної області, та неієрархічними, що дозволяє передати більшу кількість зв'язків [19, 22]. Пропонується [20] застосовувати навігацію з використанням карт понять для самокерованого навчання та для навчання на базі спільнот. Тут застосовується стандарт тематичних карт ISO [23] для мультишарової моделі карт навчальних ресурсів [20]. Зазначається, що застосування візуалізацій на базі тематичних карт, допомагало учням знаходити необхідні навчальні ресурси швидше, допомагало організовувати навчальні ресурси більш осмислено, а також сприяло більш ефективному відбору ресурсів всередині навчальних спільнот [20]. Eldefrawi [21] з колегами пропонують використання карт понять для навігації по енциклопедичним даним Wikipedia. Наголошується на інформаційному перевантаженні при навігації ресурсами енциклопедії лише штатними методами системи на базі гіперпосилань в статтях та категоріях. Натомість карти понять, що презентують предметну область, здатні полегшити цей процес.

Презентація знань користувачам. Пропонується [2, 24] використання карт понять для презентації контенту. Такі карти понять допомагають користувачу швидше визначати релевантність документів власній інформаційній потребі. Карти понять для презентації вмісту документів допомагають користувачу швидше зрозуміти ключові поняття та смислову структуру документа та стають певним індексним показником, що допомагає в подальшому ознайомленні з документом [24]. Карта понять дозволяє подати інформацію в компактному та легкому для розуміння форматі, а також є ефективним засобом резюмування документів. Подібні карти-резюме документа в поєднанні із гіперпосиланнями можуть служити зручним інтерфейсом навігації до необхідних ділянок документа [24].

Дослідницький пошук. Техніка дослідницького пошуку в множині інформаційно-навчальних ресурсів передбачає таку комплексну інформаційно-пошукову діяльність, що включає аналіз багатьох джерел інформації та визначення релевантного напрямку подальшого дослідження. Подібна діяльність актуальна для безперервного навчання та саморозвитку експертів. Дослідницький пошук вимагає новітніх людино-машинних інтерфейсів для підвищення швидкості аналізу ресурсів користувачем та прийняття рішення про подальший рух інформаційними ресурсами. У роботах [25, 26] пропонується використання карт понять для дослідницького пошуку. Sarrafzadeh [26] використовує ієрархічні та неієрархічні графи понять для презентації результатів пошуку. Falke [25] пропонує автоматизоване анотування текстів у вигляді карт понять та їх використання в інтерфейсах системи дослідницького пошуку по колекції документів.

Інтерактивні карти понять. У попередніх роботах пропонується використання інтерактивних карт понять в навчальному середовищі [14, 27]. Тут

ми пропонуємо інтерфейс системи, що реалізує карту понять у вигляді інтерактивного графу з функціями зміни масштабу, пошуку понять на графі, навігації та опрацювання взаємодії користувача з візуалізованими об'єктами. Надається функція відображення сукупної текстово-медійної інформації про поняття-вершину в графі, що ґрунтується на відображенні відповідних тез понять (рис. 6). На порталі [27] застосовуються інтерактивні карти для презентації вмісту розділів та окремих статей у вигляді графів, що відображають структуру контенту та містять гіперпосилання на відповідні ділянки.

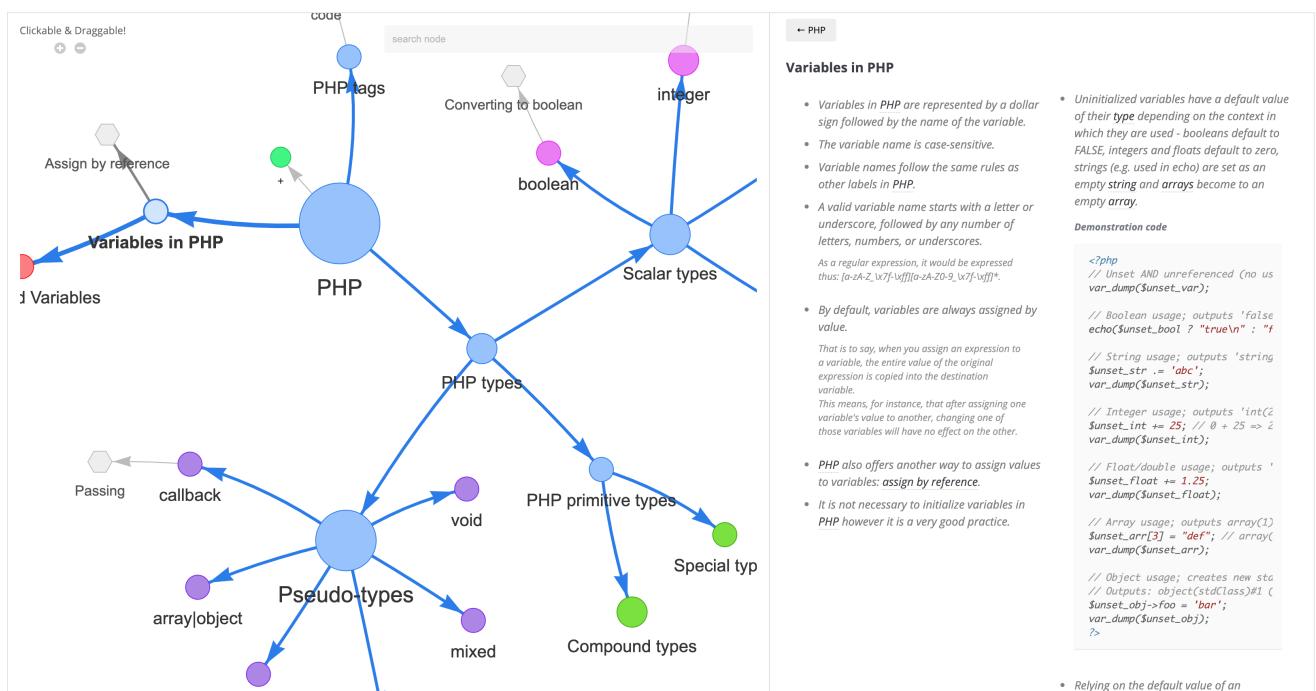


Рисунок 6. Інтерактивна карта понять [14, 27]

Хендлер [28] та колеги пропонують застосовувати інтерактивність до карт понять в цифровому навчальному середовищі. Зокрема тут пропонується надавати природомовні пояснення для ребер-відношень між поняттями у відповідь на відповідні маніпуляції користувачів з картою понять. У роботі [29] розглядається підхід до використання в навчальному процесі інтерактивних карт понять, які конструюють учні за допомогою мобільних пристроїв. Інтерфейс системи передбачає можливість зворотного зв'язку, коментування карт, додаткову інформацію до карт, що вказує на відповідні навчальні матеріали. Робота з картами на мобільних пристроях повинна передбачати відповідні інтерфейси користувача, що забезпечать зручне виконання інтерактивних функцій та перегляду карт з урахуванням особливостей та обмежень гаджетів. У роботі [30] пропонується застосування інтерактивних карт понять для доступу до колекцій інформаційних ресурсів в цифрових бібліотеках з навчальною метою. Такі інтерфейси допомагають користувачам залишатись сфокусованими на науковому контенті, що відповідає їх інформаційно-пошуковій дослідницькій меті та менше відволікатись на технічні аспекти пошуку.

Комплексні рішення. Новак [2] висловлює ідею навчального середовища з комплексним застосуванням карт понять. Великий науково-практичний інтерес

зумовлює актуальність побудови навчальних систем з широким застосуванням графових інтерфейсів та карт понять для презентації навчальної інформації, навігації в навчальному середовищі, пошуку інформації в картах понять та зв'язаних ресурсах, дослідницького огляду предметної області, міждисциплінарної інтеграції, конспектування, колективної взаємодії та представлення власних досліджень предметної області навчання. У роботах [14, 27] ми представляємо спробу розробки комплексного підходу до використання карт понять в онтологічно-орієнтованому інформаційно-навчальному порталі. Автоматизована побудова карт понять інтегрується з методами семантичної формалізації контенту, карти понять здійснюють підтримку навігації навчальними ресурсами та застосовують текстово-медійне анотування вершин на базі інтерактивного інтерфейсу. Задача автоматизації побудови карт понять для інтегрованих багатоаспектних рішень в навчальних системах залишається актуальною задачею.

Вимоги до сучасних інтерактивних карт понять в інформаційно-навчальних системах. Ґрунтуючись на попередніх дослідженнях [1] та зважаючи на ефективність карт понять для вирішення різних освітніх задач, пропонується розвивати використання карт понять в онтологічно-орієнтованих інформаційно-навчальних системах, зосереджуючись на пошуку комплексних рішень, що дозволять оптимізувати трудові та обчислювальні витрати. На основі здійсненого огляду, формулюються наступні вимоги до інтерактивних карт понять в інформаційно-навчальних системах.

Автоматизація побудови інтерактивних карт понять. Приділяється багато уваги автоматизації побудови карт понять [25, 28]. Натомість спроби автоматичної побудови карт-резюме на основі тексту мають свої обмеження та потребують додаткового пошуку балансу автоматичної обробки та редагування експертом з метою досягнення найбільшої дидактичної адекватності. У попередній роботі [14] пропонується комплексне рішення з формалізації контенту, яке має багатофункціональне застосування для навчальної системи, у тому числі для автоматизованої побудови інтерактивних карт понять. Такий підхід вважається перспективним з точки зору балансу трудових витрат та дидактичної релевантності.

Наявність широких навігаційних можливостей та зменшення когнітивного навантаження. Аналіз, поданий вище, свідчить про великі можливості карт понять для реалізації концептуально-орієнтованої навігації освітніми ресурсами. Разом з тим концептуалізація великих об'ємів інформаційно-навчального контенту передбачає значні когнітивні навантаження при використанні відповідних графових візуалізацій. Актуальним тут є пошук ефективних механізмів контекстуалізованого відображення фрагментів концептуальних графів, що дозволить зменшити смислове перевантаження карт та за допомогою інтерактивних інтерфейсних засобів надасть можливості подальшої деталізації та заглиблення в предметну область шляхом відображення відповідних підграфів та гілок.

Реалізація міжпредметних зв'язків. У роботі [1] ми зазначали важливість опрацювання та використання міжпредметних зв'язків в інформаційно-навчальних системах, що ставлять за мету підтримку безперервного навчання. Карти понять є

наочним методом візуалізації зв'язків, у тому числі міждисциплінарних. Натомість викликом тут є відмінність термінологічних контекстів в навчальних ресурсах з різних предметних галузей та багатозначність термінів при їх міждисциплінарному застосуванні. Цю проблему відповідним чином мають адресувати карти понять, що застосовуються до багатопредметних інформаційно-навчальних сховищ.

Природомовне та медійне анутовання елементів карти, що включає опис вершин та ребер. У роботах [2, 20] та інших роботах пропонується та описується функція інтерактивності карт, що передбачає навігаційний зв'язок між ділянкою графового відображення та медійно-текстовим контентом, що пояснює відповідне поняття чи структуру. Подібна функціональність значним чином розширює можливості презентації інформаційно-навчального контенту з використанням карт понять. Анований опис ребер [28] є дидактично значущим прийомом, що допоможе користувачам аналізувати поняття у співвідношенні одне з одним. Широке застосування інтерактивного контентного супроводження графової структури в нашій роботі [14, 27] продемонструвало свою практичну корисність та підтверджує актуальність розвитку таких функціональних можливостей в інтерактивних картах понять.

Комплексне застосування графових інтерфейсів та карт понять в інтерактивних навчальних середовищах. Ефективність відображення складних концептуальних структур та суджень у вигляді графових візуалізацій зумовило популярність та багатогранність застосування карт понять в освітній галузі та інформаційних системах. З іншого боку особливості та усталені форми гіпермедіа-контенту, а також професійна галузь, що досліджує зручність користувацького досвіду (UI/UX), разом формують виклик до пошуку ефективних форматів для широкого застосування інтерактивних карт понять в інформаційно-навчальних системах. Ведеться мова не лише про концептуальну презентацію ділянок контенту, а й більш широке застосування карт понять як інтерфейсних рішень для навігації інформаційно-навчальними ресурсами. Так, на Semantic Portal [27] ми робимо спроби подавати альтернативні стандартному гіпертексту способи огляду структури навчального курсу та окремих сторінок у вигляді графів, вузли яких представляють розділи та частини контенту та є дієвими гіперпосиланнями на ці ділянки.

Адаптація інтерфейсів до мобільних пристроїв. Впевнена тенденція до переважного використання мобільних пристроїв порівняно з настільними комп'ютерами [31] зумовлює актуальність адаптації інтерфейсів інформаційно-навчальних систем до програмно-апаратних можливостей смартфонів. У роботі [29] звертається увага на особливості організації інтерфейсу при конструюванні карти поняття з використанням мобільного пристрою. Застосування інтерактивних карт понять в межах мобільних систем є значним викликом з точки зору UI/UX і зумовлює пошук оптимальних рішень для забезпечення зручної людино-машинної взаємодії.

Висновки. Карти понять спираються на значущі підвалини когнітивної і педагогічної психології, комп'ютерної лінгвістики та інженерії знань. Ефективність опису міркувань та концептуальних відношень у контексті їх сприйняття людиною зумовила широке застосування карт понять у навчанні: від

конструювання карт учнями до презентації початкової інформації слухачам. Цифрові формати, технології гіпермедіа та значні можливості людино-машинної взаємодії в інформаційних системах стали ефективним підґрунтям для розробки і дослідження інтерактивних карт понять для їх широкого застосування в інформаційно-навчальних системах.

Кarti понять використовуються тут як засіб осмисленого навчання при їх конструюванні учнями, застосовуються для оцінювання знань, а також як засоби навігації інформаційними ресурсами. Крім цього, карти понять в навчальних системах використовуються для презентації знань користувачам, служать як інтерфейси в процесі дослідницького пошуку та огляду предметних областей навчання. Інформаційні системи забезпечують збагачення карт понять засобами інтерактивності, що дозволяє диверсифікувати та розширити їх використання. Викликом тут є пошук комплексних рішень, що дозволять зменшити обчислювальні та трудові витрати на багатofункціональне застосування карт понять в інформаційно-навчальних системах.

На базі аналізу сформовано ключові вимоги до інтерактивних карт понять в сучасних онтологічно-орієнтованих інформаційно-навчальних системах, що включають автоматизацію побудови інтерактивних карт понять, наявність широких навігаційних можливостей разом із контролем когнітивного навантаження, реалізацію міжпредметних зв'язків, медійне анотування елементів карти, комплексне застосування графових інтерфейсів для різних частин системи та адаптацію до мобільних пристроїв. Поточна реалізація інтерактивних карт, що слідує окресленим вимогам представлена на ресурсі [27] та описано в роботі [14].

Література

1. Гагарін О. О., Титенко С. В. Дослідження і аналіз методів та моделей інтелектуальних систем безперервного навчання // *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*. – 2007. – №6(56). – С. 37-48.
2. J. D. Novak, A. J. Cañas. Theoretical Origins of Concept Maps, How to Construct Them, and Uses in Education. *Reflecting education*, 3, 29-42, 2007.
3. N. Chomsky. Aspects of the theory of syntax. *Cambridge: M.I.T. Press*, 1965.
4. M. R. Quillian. Word concepts: A theory and simulation of some basic semantic capabilities. *Behavioral science*, 12(5), 410-430, 1967.
5. D. Ausubel, The Psychology of Meaningful Verbal Learning. *New York: Grune & Stratton*, 1963
6. D. P. Ausubel. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, 51(5), 267–272, 1960. doi:10.1037/h0046669
7. P. Johnson. Essential Learning Theories: Applications to Authentic Teaching Situations. *Rowman & Littlefield Publishers*, 2019.
8. J. F. Sowa. Conceptual Graphs for a Data Base Interface. *IBM Journal of Research and Development*. 20 (4): 336–357, 1976. doi:10.1147/rd.204.0336
9. J. F. Sowa. Conceptual structures: Information processing in mind and machine. *Reading, MA: Addison-Wesley*, 1984.
10. D. Corbett, C. Rouff. Self Optimization using Conceptual Graphs for NASA Autonomous Systems. In *Third IEEE International Workshop on Engineering of Autonomic & Autonomous Systems (EASE'06)*, pp. 149-157, 2006. doi:10.1109/EASE.2006.11

11. G. F. Luger. Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving. *Pearson education*, 2005.
12. D. F. Dansereau. Node-link mapping principles for visualizing knowledge and information. In *Knowledge and information visualization*, pp. 61-81. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. doi:10.1007/11510154_4
13. T. Buzan. Using both sides of the brain. *Dutton*: New York, 1974.
14. S. V. Tytenko. INTERACTIVE CONCEPT MAPS IN ONTOLOGY-ORIENTED INFORMATION AND LEARNING WEB-SYSTEMS. *KPI Science News*, no. 2, pp. 24–36, 2019. doi:10.20535/kpi-sn.2019.2.167515
15. T. Gavrilova, I. Leshcheva, E. Strakhovich. Gestalt principles of creating learning business ontologies for knowledge codification. *Knowledge Management Research & Practice*. 13(4), pp. 418-28, 2015. doi:10.1057/kmrp.2013.60
16. J. D. Novak. Concept maps and vee diagrams: Two metacognitive tools for science and mathematics education. In *Instructional Science*, 19, pp. 29-52, 1990
17. J. C. Nesbit and O. O. Adesope. Learning With Concept and Knowledge Maps: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 2006, Vol. 76, No. 3, P. 413-448. doi: 10.3102/00346543076003413
18. M. Kinchin, A. Möllits, P. Reiska. Uncovering Types of Knowledge in Concept Maps. *Education Sciences*. 2019, 9 (2), 131. doi:10.3390/educsci9020131
19. S. Puntambekar, A. Stylianou, R. Hübscher. Improving Navigation and Learning in Hypertext Environments With Navigable Concept Maps. *Human-Computer Interaction*, 18(4), 395–428, 2003 doi:10.1207/s15327051hci1804_3
20. H. Li, S. Hasegawa, A. Kashiwara. A multi-layer map-oriented resource organization system for web-based self-directed learning combined with community-based learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 10, 14, 2015. doi:10.101186/s41039-015-0012-2.
21. M. Eldefrawi, A. Sharaf, A. Elsayed. Bootstrapping Domain Knowledge Exploration using Conceptual Mapping of Wikipedia. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 4 (8), 2013. doi:10.14569/IJACSA.2013.040813.
22. R. Shavelson, H. Lang, B. Lewin. On concept maps as potential “authentic” assessments in Science. *CSE Technical Report 388*. Los Angeles, CA: National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST), UCLA. 1994
23. ISO/IEC 13250. Topic Maps. Second Edition. 2002
24. A. Valerio, D. B. Leake, A. J. Cañas. Using Automatically Generated Concept Maps for Document Understanding: A Human Subjects Experiment. In *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the 5th International Conference on Concept Mapping*, pp. 438–445, Valetta, Malta. 20, 23, 54, 173. 2012
25. T. Falke. Automatic Structured Text Summarization with Concept Maps. *PhD Thesis*. Technische Universität. 2019
26. B. Sarrafzadeh, E. Lank. Improving exploratory search experience through hierarchical knowledge graphs. In *Proceedings of the 40th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, pp. 145-154. 2017. doi: 10.1145/3077136.3080829
27. Semantic Portal, *Semantic-portal.net*, 2019 [Online]. Available: <http://semantic-portal.net/>
28. A. Handler, P. Ganeshkumar, B. O'Connor, M. AlTantawy. Summarizing Relationships for Interactive Concept Map Browsers. In *Proceedings of the 2nd Workshop on New Frontiers in Summarization*. pp. 111-115. 2019. doi: 10.18653/v1/D19-5414
29. G. Hwang, P. Wu, H. Ke. An interactive concept map approach to supporting mobile learning activities for natural science courses. *Comput. Educ.* 57: 2272-2280. 2011. doi: 10.1016/j.compedu.2011.06.011
30. T. Sumner, F. Ahmad, S. Bhushan, G. Gu, F.J. Molina, S. Willard, M. J. Wright, L. Davis, L., G. Janée. Linking learning goals and educational resources through interactive concept

- map visualizations. *International Journal on Digital Libraries* 5: 18-24. 2004. doi: 10.1007/s00799-004-0112-x
31. M. Roser, H. Ritchie, E. Ortiz-Ospina. Internet, 2015. *Published online at OurWorldInData.org* [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/internet>