

Розглянуто методи опрацювання невизначеностей у системах із ситуаційною обізнаністю. Описано основні типи та причини невизначеностей. Розглянуто три типи моделей ситуаційної обізнаності. Також проаналізовано невизначеності для різних етапів моделі ситуаційної обізнаності. Наведено методи та засоби щодо зменшення впливу невизначеностей на цих етапах

Ключові слова: ситуаційна обізнаність, невизначеність, модель, інтерпретована система, прийняття рішення, релевантність, онтологія, нечіткість

Rассмотрены методы обработки неопределенностей в системах с ситуационной осведомленностью. Описаны основные типы и причины неопределенности. Рассмотрены три типа моделей ситуационной осведомленности. Также проанализированы неопределенности для различных этапов модели ситуационной осведомленности. Приведены методы и средства по уменьшению влияния неопределенностей на этих этапах

Ключевые слова: ситуационная осведомленность, неопределенность, модель, интерпретированная система, принятие решений, релевантность, онтология, нечеткость

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ У СИСТЕМАХ ІЗ СИТУАЦІЙНОЮ ОБІЗНАНІСТЮ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЇХ ОПРАЦЮВАННЯ

Х. І. Микіч

Аспірант*

E-mail: christi1711@rambler.ru

Є. В. Буров

Доктор технічних наук, доцент*

E-mail: yevhen.v.burov@lpnu.ua

*К федр інформ ційних систем т мереж
Н ціон льний університет «Львівськ політехнік»
вул. С. Б ндери, 12, м. Львів, Укр їн , 79013

1. Вступ

Невизначеність є невід'ємною властивістю систем з ситуційною обізнаністю (СО). Джерел невизначеності існують на всіх етапах процесу досягнення СО. Тож, на етапі *Спостереження* (у термінології процесу OODA) [1] існують джерела невизначеності: неточності та похибки вимірювань. На етапі *Орієнтації* існують похибки класифікації та помилки інтерпретації та розуміння результатів спостереження. Саме на етапі *Планування* з'являються спостереження, як передбачення вибору параметрів середовища, знання яких вимірюють, передбачення тогочасності та можливість помилок у визначенні процедури спостереження. Таким чином, у системах з СО опрацьовують комбінації різних типів невизначеностей, які виникають як на рівні даних (похибки вимірювань, неповнота даних) та на рівні інформції (неправдивість, нечіткість або відсутність фактів, їх тогочасність) та на рівні знання (помилковий інтерпретаційний боруфктів, упередженість).

Незважаючи на популярність наукового напрямку ситуційної обізнаності та наявність великої кількості робіт, дослідження СО зливаються з іншими. Це пояснюється наявними тенденціями у системах підтримки прийняття рішень, розвитком автономних інтелектуальних систем прийняття рішень, розширенням потреб у ситуційній обізнаності для тих галузей як бізнес-аналітика та ін.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На сьогодні розроблено багато методів опрацювання невизначеностей. Ці методи відрізняються для різних типів невизначеностей. Крім того, методи моделювання опрацювання невизначеностей для різних наукових галузей та кож відрізняються одні від одних. У літературі [2] ця проблема вирішується шляхом побудови фреймворків для різних предметних галузей та створення з'єднань між ними, бо використанню єдиного фреймворку. Недоліком першого підходу є відсутність повторного використання знання та надлишковість, у другому підході складно відобразити специфіку конкретної предметної області. Опрацювання невизначеностей у системах з ситуційною обізнаністю є принципово іншою задачею, де тут розглядається результат комбінації різних типів невизначеностей в одній системі.

У роботі розгляд невизначеностей буде відбуватися в контексті задачі, що вирішуються для систем з СО на різних етапах визначення у моделях СО. Головна увага буде приділена невизначеностям, що виникають у технічних системах. Таким чином, ми вилучимо з розгляду невизначеності, джерелом яких є мовлення (наприклад, неоднозначність термінів) та невизначеності нехарактерні для задачі СО.

Для дослідження СО користуються моделями, в яких детально лізуються складові частини СО та їх взаємозалежності. Вибір конкретного типу моделі залежить

від пост новки з д ч і дослідження, особливостей предметної обл сті, вимог до системи з СО.

У літер турі [3] з пропонуов но три типи моделей СО – процесні моделі, функціон льні т форм льні моделі. Кожен з цих типів м є свої перев ги т недоліки і сферу з стосув ння.

Процесні моделі под ють СО як процес з декількох ет пів. Н кожному ет пі вирішується специфічн з д ч . Результ ти її вирішення є вхідними д ними для вирішення н ступної з д ч і. Т к, н прикл д пет ля OODA (Observe, Orient, Decide, Act) скл д ється з з д ч *Спостереження, Орієнтув ння, Прийняття рішення т Дії*. Кібернетичн модель Лоусон [3] н логічно, передб ч є викон ння опер цій *Спостережен ня, Опр цюв ння, Порівняння, Прийняття рішення т Дії (Sense, Process, Compare, Decide, Act)*. Модель SHOR (Stimulus-Hypothesis-Option-Response) [3] розроблен психолог ми для под ння процесу прийняття рішення людиною. В жливою особливістю процесних моделей є н явність зворотних зв'язків, які д ють змогу уточ нити об'єкти спостереження, процедури орієнтув ння т прийняття рішень (рис. 1).

Моделі СО у вигляді процесів д ють змогу поб чити процес отрим ння СО у цілому, з лежності між окремими ст діями процесу, відобр зити т зрозуміти петлі зворотного зв'язку. Вони кр ще підходять для вирішення пр ктичних з д ч т зрозуміліші для викон вців.

Недолі ки процесних моделей є їх ре ктивність – вони спрямов ні н ре гув ння н ст н середовищ , не н про ктивні дії у цьому середовищі. Критики т кож підкреслюють з г льний х р ктер формулюв ння змісту окремих ет пів, що не сприяє з стосув нню моделі для вирішення пр ктичних з д ч. З іншого боку, б г то процесних моделей створюв лося для з стосув ння у визн чених сфер х діяльності (військов спр в , психологія) т не прид тні для використ ння в інших.

Подол ння цих недоліків здійснюється шляхом п р метриз ції моделей, н прикл д у моделі дин мічного прийняття рішень [1] досліджуються з тримки між окремими опер ціями моделі. Інший шлях розвитку – це дет ліз ція скл дових з д ч моделі, визн чення функцій для цих з д ч т перехід до процесно-функціон льних моделей. Т к, у роботі [1] з пропонуо н процесно-функціон льн модель DOODA процесу прийняття рішень у військовій г лузі.

Для пр ктичного з стосув ння процесних моде лей в жливо розробити форм льні методи под ння т опр цюв ння зн нь у системі. Н прикл д, у роботі [4] з пропонуо н підхід до використ ння онтологій у моделі OODA для систем підтримки прийняття рішень.

У функціон льних моделях ет пи процесної моделі дет лізуються, для кожного з них визн ч ють н бір типових функцій. Н йбільш відомими функціон льними моделями є модель [5] т JDL модель [6, 7].

Автор [5] першою з пропонуо л з г льну модель ситу ційної обізн ності в пл ні обробки інформ ції (рис. 2) людиною-опер тором. Вон припустил , що ситу ційну обізн ність можн поділити н три рівні бо ет пи мент льної репрезент ції.

Рівень 1 – сприйняття

Сприйняття сигн лів є фунд мент льним. Без б зового сприйняття в жливої інформ ції, ш нси н формув ння непр вильної к ртини ситу ції різко зрост ють. Було виявлено (1996 р.), що 76 % помилок ситу ційної обізн ності пілотів зводяться до проблем сприйняття необхідної інформ ції (у зв'язку як з порушенням роботи системи чи з її недолік ми, т к і з проблеми когнітивних процесів).

Обізн ність ситу ції н цьому рівні виступ є сприйняттям людини, що прийм є рішення про ст тус, трибути т дин міку відповідних елементів в н вко лишньому середовищі (ситу ція прийняття рішення). Отже, цей рівень є н йнижчим і б зовим рівнем ситу ційної обізн ності. Досягнення рівня включ є в себе основні процеси виявлення інформ ції.

Рівень 2 – розуміння

Обізн ність ситу ції як концепція виходить з р мки простого сприйняття. Вон т кож охоплює те, як люди поєднують, інтерпретують т зберіг ють інформ цію. Т ким чином, вон включ є в себе більше, ніж сприйняття чи звернення ув ги н інформ цію, ле т кож інтегр цію декількох ч стин інформ ції т визн чення їх відношення щодо цілей людини. Це н логічно високому рівню розуміння прочит ного в порівнянні із простим чит нням слів.

Т ким чином, ситу ційн обізн ність – це є розуміння людини, що прийм є рішення з використ нням інформ ції, як бул сприйнят , тобто першого рівня. Рівень 2 досяг ється через розпізн в ння, інтерпрет цію т оцінку. Рівень 2 породжує повну к ртину н вко лишнього середовищ .

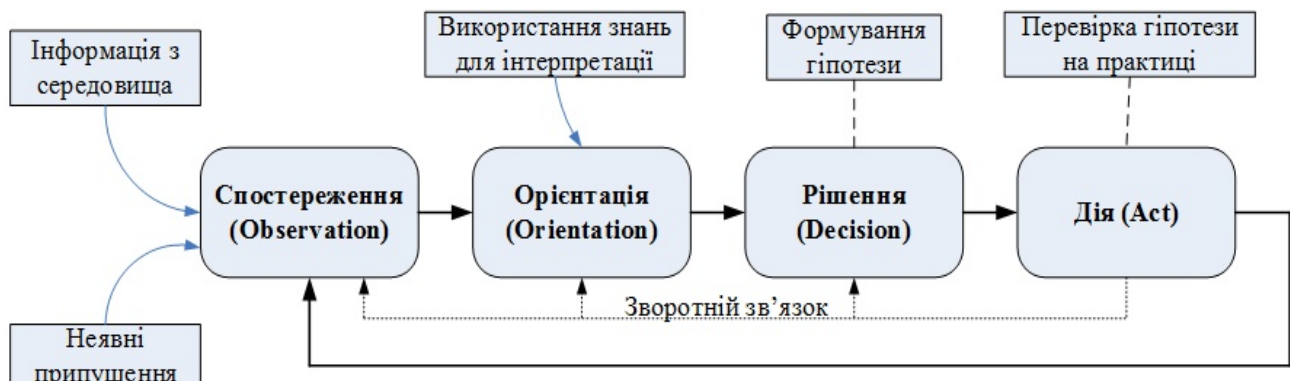


Рис. 1. Петля OODA

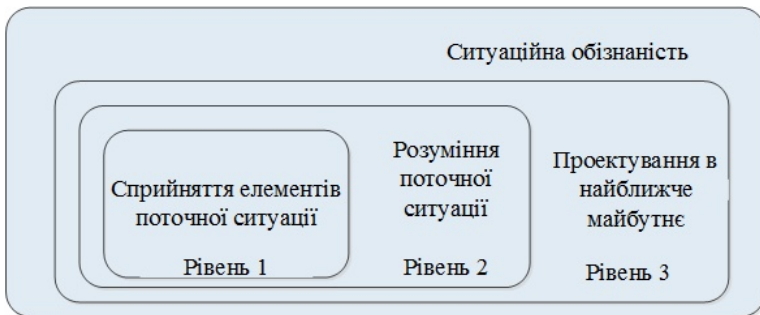


Рис. 2. Модель ситу ційної обізн ності Ендслі

Рівень 3 – проектув ння

Н н йвищомурівні, опер торим ють високий рівень розуміння ситу ції і м ють зд тність прогнозув ти м йбутні події ситу ції т дин міки системи. Ця зд тність проектув ти з поточних подій і дин міки, щоб передб ч ти м йбутні події т їх н слідки і створює можливості для своєч сного прийняття рішень. У м йже всіх обл с-тях (пілотув ння літ ків, упр вління повітряним рухом, експлу т ції електрост нцій, медицини) було виявлено, що досвідчені опер тори в більшості покл д ються н м йбутні прогнози. Це озн к кв ліфіков ного ф хівця.

Модель синтезу даних (Data Fusion) бул розробле-н Об'єдн нням директорів л бор торій д них Fusion Group, урядовою комісією Міністерств оборони США, що здійснює н гляд військової техніки США (the Joint Directors of Laboratories Data Fusion Group).

Метою д ної моделі було:

- групув ти різні типи процесів синтезу;
- з безпечити з г льні принципи побудови системи кл сифік ції для обговорення синтезу;
- полегшити розуміння тих типів з вд нь, для яких з стосовується синтез д них;
- систем тизув ти збіги серед проблем;
- допомогти в розширенні попередніх рішень;
- з безпечити основу для інвестицій в втом тиз цю.

Слід підкреслити, що модель бул з дум н як функціон льн модель, не як модель процесу чи в якості рхітектурної п р дигми. Х р ктерною особливістю моделі синтезу д них є бстр гув ння від викон ння опер цій збир ння д них, оцінки ситу ції т прийняття рішення тільки гентом-людиною, що уможлиблює розгляд СО для систем людино-м шинних, т чисто комп'ютерних гентів.

У 1988 році втор [6] опублікув в ст ттю, в якій бул з пропозов н модель синтезу д -них. Проте у 1998 році втори [7] розробили розширення для цієї моделі. Вони перегля-нули основні визн чення моделі синтезу як концепту льно, т к і з точки зору «рівнів», які ох р ктеризов но у первинній моделі.

Розширен модель синтезу д них м е т кі рівні:

- Рівень 0: Сигн л/Функція оцінки – оцінк т прогнозув ння сигн лу бо функції ст ну.

- Рівень 1: Оцінк сутності – оцінк т прогнозув ння п р метричної сутності т трибутивного ст ну (тобто сутностей, що розгляд ються як індивіди).

- Рівень 2: Оцінк ситу ції – оцінк т прогнозу-в ння структури ч стин ре льності (тобто відношення між сутностями т їх зн чення для ст нів пов'яз них сутностей).

- Рівень 3: Оцінк впливу – оцінк т прогнозу-в ння корисності/цінності сигн лу, сутності бо ст ну ситу ції, у тому числі прогнозів них впливів з д них системою льтерн тивних в рі нтів.

- Рівень 4: Оцінк роботи – оцінк т прогнозув ння продуктивності системи в порівнянні із з д ним б ж ним ст ном і пок зником ефективності.

Функціон льні т процесні моделі СО є концепту льними моделями. Н відміну від них, форм льні моделі д ють змогу специфікув ти предметну обл сть т процес отрим ння СО, з діяти м тем тичні методи для под ння т повторного використ ння зн нь, ре лізув ти мех нізми логічного виведення, провести в лід цю моделей. Шля-хом н лізу м тем тичних моделей зн нь т д них про предметну обл сть дослідники отримують нові зн ння про предметну обл сть т про процес досягнення СО. Побудо-в форм льної моделі є необхідною умовою для кр щого розуміння вимог до системи з СО т є основою для под льшої розробки фреймворків т рхітектур систем з СО.

З пропозов н т к кл сифік ція форм льних мо-делей СО [3] (рис. 3).

Н йбільш розвинутою форм льною моделлю для опр цюв ння невизн ченості у систем х із ситу ційною обізн ністю є фреймворк інтерпретов них систем. Вчені у [8, 9] ввели поняття інтерпретов ної системи як форм льного сем нтичного фреймворку для міркув ння про зн ння і невизн ченості в мульти гентних систем х.

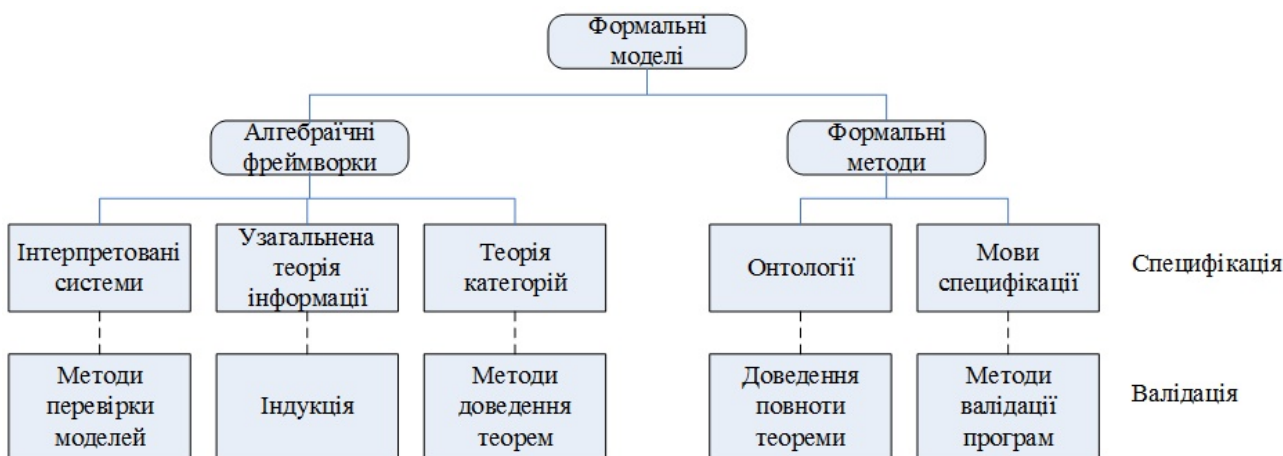


Рис. 3. Кл сифік ція форм льних моделей СО

Нехай Φ є множиною основних тверджень π , ζ , що описує основні факти про систему. Інтерпретованою системою $I \in \text{Pr}(\mathbf{R}, \pi)$, де \mathbf{R} – є системою множини ζ глобальних стівнів π – інтерпрет цієї системи Φ π ζ . Отже, для кожного $p \in \Phi$ та $s \in \zeta$ ми маємо $\pi(s)(p) \in \{\text{true}, \text{false}\}$.

Існують різні типи інтерпретованих систем, що становлять основу щодо проблеми моделювання ситуаційного аналізу [10].

1) Інтерпретовані алгоритмічні системи (An interpreted Algorithmic Systems) – це інтерпретована система I у якій локальний стівнів для кожного гента i в точці $(r, m) \in \text{Pr}(\langle A_i, I_i \rangle)$, де A_i – i -й локальний алгоритм та I_i – i -ті локальні дані. Алгоритмічні знання позначаються через модальний оператор X_i , який потім визначається як:

$$(I, r, m) \models X_i \phi \text{ iff } A_i(\emptyset, I_i) = \text{'Yes'}$$

$$\text{for } A_i = \text{alg}_i(r, m) \text{ and } I_i = \text{data}_i(r, m). \quad (1)$$

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

3) Інтерпретовані системи зміни довіри (Interpreted Belief Change Systems). Для того щоб змодельовати зміни довіри, інтерпретовані ймовірнісні системи були обмежені для того щоб з довірити деякі додаткові умови, що ведуть до інтерпретованих довірчих систем змін. Тобто інтерпретовані системи зміни довіри – це інтерпретовані ймовірнісні системи $(\mathbf{R}, \pi, P_1, \dots, P_n)$, що з довольняє деяким додатковим умовам [10].

Розроблені моделі ситуаційної обізнаності визначають структуру процесу досягнення СО. Недоліком найбільш розвинених функціональних моделей СО є недов'язаність до взаємозв'язку окремих з даних, відсутності дослідження механізмів зворотнього зв'язку [11] і тим чином цілісного розгляду системи з СО. У роботах [11, 12] визначено необхідність втручання в системі з СО когнітивної участі людини-експерта навіть у чисто автономних технічних системах. Зокрема, у роботі [13] стверджується з відношення побудови уніфікованої моделі системи з СО, як включення як технологічні, так і людські когнітивні складові, які доповнюють одну одну у вирішенні з даних СО.

Невизначеність у різних її формах та проявах є невід'ємною властивістю систем з СО та предметом критичних досліджень. Наразі головним у галузі приділяється детальному дослідженню та моделюванню окремих видів невизначеностей [14, 15]. Актуальним є розробка систем керування невизначеностями (uncertainty management) з втручанням усіх з даних процесу досягнення СО. У роботі [16] розглянуто ймовірнісні методи опрацювання нечіткостей у системі з СО на основі JDL моделі на основі м'рківських логічних мереж. Водночас, у цій роботі розглянуто тільки окремі типи нечіткостей. Методологічною основою для побудови систем керування невизначеностями

доцільно обрати підхід інженерії знань. Зокрема, у роботі [17] з метою специфікації цих головних понять та відношень системи керування невизначеностями розроблено онтологію URREF. При цьому ключовим та не вирішеним залишається з даних розробки з галузьного методологічного фреймворку на основі онтологічного підходу, який охоплює різні типи невизначеностей, що виникають у системах з ситуаційною обізнаністю, де зможу отримати з галузьну картину невизначеностей на всіх стадіях процесу її досягнення, дослідити впливи різних типів невизначеностей на прийняття рішення, та кож інтегрувати результати отримані з використання різних методів.

3. Мета та задачі дослідження

Метою цієї роботи є аналіз факторів та причин невизначеності та визначення методів їх опрацювання у системах з ситуаційною обізнаністю на всіх стадіях процесу її досягнення відповідно до існуючих моделей СО.

У роботі розгляд невизначеностей буде відбуватися в контексті з даних що вирішуються для систем з СО. Головним у галузі буде приділено невизначеностям, що виникають у технічних системах.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- дослідження моделей формування ситуаційної обізнаності у контексті з даними опрацювання невизначеностей;
- аналіз типів невизначеностей, їх властивостей та проявів на різних етапах моделі СО;
- визначення типів та причин виникнення невизначеностей на різних етапах досягнення СО (відповідно до моделі JDL), та кож подання методів їх опрацювання.

4. Матеріали та методи досліджень різних типів невизначеностей у системах із ситуаційною обізнаністю

Невизначеність є широко поширеним терміном у галузі штучного інтелекту, інженерії та підтримки прийняття рішень. Невизначеність має різні джерела та форми та тематичної форм ліз цієї. Не дивно, що в галузі цій галузі дослідження не завжди в змозі досягнути єдиного розуміння щодо значення цього терміну та побудувати єдину класифікацію невизначеностей. Тим, більшість [2] погоджується, що всі типи невизначеностей можна поділити на дві групи:

- невизначеність як фізична властивість інформації;
- невизначеність як властивість та результат процесу інтерпретації інформації гентом.

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

У роботі [2] з пропозов но кл сифік цію (1989 р.), де коренем дерев є незн ння, тобто невизн ченість пост є як вид незн ння, більше того «як один із прийнятних його видів». Автор [2] поділяє незн ння н дві к тегорії:

- ст н незн ння (помилк , еггог) – ст н, що слідує з різном нітних причин (н прикл д, перекручені чи неповні зн ння);

- дія незн ння (невідповідність, irrelevance) – відповід є цілеспрямов ному нехтув нню чогось неж живого по відношенню до вирішення проблемної ситу ції.

Автор [2] вв ж є, що невизн ченість є неповнотою і поділяє її н три види: ймовірнісн (probability), розмит (vagueness) т б г тозн чн (ambiguity).

Принцип кл сифік ції втор [2] є в жливим для побудови систем з СО. Адже зн ння необхідні для коректної оцінки ситу ції ф ктів є ключовим ф ктором успішної роботи т кої системи. Ще однією перева гою цієї кл сифік ції порівняно з іншими в контексті використ ння у систем х з СО є використ ння нерелевантності як виду невизн ченості. До систем з СО нерідко ст влять вимогу швидко ре гув ти н зміни у середовищі. Для з безпечення допустимих п р метрів швидкодії необхідно визн чити мінім льний н бір п р метрів спостереження т процедур їх опр цюв ння, які дост тні для прийняття коректних рішень. Це передб ч є визн чення т використ ння тільки релевантних д них, інформ ції т зн нь.

У роботі [18] з пропозов но льтерн тиву кл сифік ції втор [2], де н відміну від незн ння, коренем дерев кл сифік ції є невизн ченість. Автори [18] розрізняють дв її спекти: простий (одн рний) – невизн ченість з стосовується до окремого об'єкту т теоретико-множинний – невизн ченість з стосовується до множини об'єктів. Обидв спекти зводяться бо до протиріччя зн нь бо до незн ння (нест чі зн нь). Д н кл сифік ція стосується першої групи невизн ченостей.

У літер турі [19] т кож з пропозов н модель невизн ченості. Ця модель пок зує відмінність між дво м основними зн ченнями невизн ченості. Якщо її чит ти спр в н ліво, то невизн ченість виступ є як ст н мислення, якщо злів н пр во – то як фізичн вл стивість інформ ції.

У пр ці [20] з пропозов но типологію, що б зується н відмінностях м тем тичного под ння т опр цюв ння невизн ченості і безпосередньо зв'яз н із похибкою обчислення (measure of uncertainty). Автор [20] ввів поняття інформ ції, що б зується н невизн ченості і розгляд в невизн ченість як нечіткість (fuzziness) бо б г тозн чність (ambiguity). По суті, д н кл сифік ція, є не що інше як інтегр ція певної ч стини понять втор [2], т кож множини теоретичних спектрів вторів [11].

У роботі [21] з пропозов но з мість кл сифік ції невизн ченості кл сифік цію недоскон лої інформ - ції (Imperfection of information). Модель втор [21] пропонує три к тегорії недоскон лої інформ ції:

- неточн (imprecision);
- нецілісн (inconsistency);
- невизн чен .

Автор [21] розгляд є невизн ченість як вид неточності (imprecision). Невизн ченість може бути як об'єктивною (вл стивість інформ ції, зн чення невизн ченості I) т к і суб'єктивною (вл стивість гент , зн чення невизн ченості II). Автор по суті б зується н протист вленні понять невизн ченість/неточність.

Невизн ченість можн розгляд ти і з точки зору епістемічної логіки. Під епістемічною інтерпрет цією ми м ємо н ув зі способ отрим ння оцінки невизн ченості (uncertainty evaluation). В т кій моделі в корені дерев зн ходиться поняття невизн ченості, яке поділяється н емпіричне т індуктивне.

Т ким чином, н явні кл сифік ції невизн ченостей відобр ж ють тільки ч стину усіх ф кторів т причин невизн ченостей, х р ктерних для систем з СО. Дослідження невизн ченостей у контексті з д ч СО т з використ нням моделей СО д є змогу глибше зрозуміти місце невизн ченостей у процесі здобуття СО т їх вз ємні з лежності, прослідкув ти вплив різних типів невизн ченостей н створення СО т н рішення, що приймаються н основі СО. У ст тті розгляд ються методи опр цюв ння невизн ченостей, які б зуються н зн ннях. При цьому будемо використовув ти поняття онтологічного моделюв ння предметної обл сті, под ні в [22].

5. Результати досліджень причин невизначеностей та методів їх опрацювання для різних типів невизначеностей у системах із ситуаційною обізнаністю

Н першому ет пі досягнення СО (нульовий рівень відповідно до моделі JDL) відбув ється отрим ння д них про середовище від н бору сенсорів. Систем з СО н цьому ет пі пр цює з д ними – н бор ми чисел, які генеруються сенсор ми т інтерпретуються як результ ти вимірюв ння того чи іншого п р метру. Причин ми невизн ченості н цьому ет пі є похибки вимірюв ння величин сенсор ми (неточність), помилки, які виник ють через неспр вність сенсору бо при перед в нні д них (недостовірність). Д ні від деяких сенсорів можуть бути відсутні вз г лі (NULL). Крім того, д ні, що генеруються сенсор ми можуть бути спотворені зловмисник ми н вмісно з метою введення системи в ом ну. Т кі дії призводять до порушення довіри до результ тів і можливих конфліктів при інтерпрет ції результ тів вимірюв нь н н ступних ет п х процесу досягнення СО (недовір , конфлікт). Н решті, д ні деяких сенсорів можуть бути н лишковими стосовно з вд нь системи (нерелевантність), бо, н вп ки, деяких сенсорів т д них від них може бр кув ти (незн ння) (т бл. 1).

Н н ступному, першому рівні моделі JDL д ні, отрим ні від сенсорів, ст вляться у відповідність трибут м певних об'єктів – ф ктів предметної обл сті. Типи об'єктів, т н бори їх трибутів визн чені онтологією предметної обл сті. Т ким чином, тут опр цювують сем нтично інтерпретов ні д ні – інформ цію. Невизн ченості цього рівня в зн чній мірі визн ч ються невизн ченістю д них отрим них від сенсорів, ле тут дод ються види невизн ченості специфічні для цього рівня.

Т блиця 1

Методи опр цюв ння невизн ченостей (нульовий рівень моделі JDL)

Причини невизн - ченості	Тип невизн ченості	Методи опр цюв ння
Похибк вимірюв ння	Неточність	Нечіткі т нерозрізненні множини (Fuzzy sets, rough sets)
Помилки вимірюв ння, перед в ння	Недостовірність	Довірч ймовірність. Теорія Б йес т Теорія свідчень (Bayes theory, Evidence theory)
Відсутні д ні від існуючих сенсорів	NULL	Зн чення з з мовчув нням
Спотворення результатів вимірюв ння введін н вмісно	Недовір , конфлікт	Довірч ймовірність, використ ння н длішкості сенсорів
Результ ти вимірюв ння є з йвими у контексті з д ч що вирішуються системою	Нерелев нтність	Визн чення релев нтності сенсорів по біжучій ситу ції т можливих змін х
Відсутність необхідних сенсорів бо д них	Незн ння	Ан ліз помилок прийняття рішень

Т к, зн чення трибуту ф кту може бути неточним, приблизним (нечіткість, нерозрізненість). Непр вдивість трибуту призводить до непр вдивості т недостовірності ф кту з г лом. Під ч с віднесення д них з сенсорів можливі помилки трибуції – коли зн чення присвоюється трибуту не того ф кту, якого воно стоується (недостовірність ф кту).

Зн чення з сенсор може порушув ти обмеження цілісності, визн чені в онтології (нецілісність). Ф кт може не м ти зн чень для трибутів, н віть коли т кі зн чення, відповідно до вимог онтології є обов'язковими (NULL, нецілісність). Сенсори можуть н д в ти для одного трибут декільк коректних, ле різних зн чень (б г тозн чність). Можлив т кож ситу ція, коли сенсори н д ють для зн чення трибуту протирічіві зн чення (конфлікт, протиріччя). Протиріччя можуть бути вирішені метод ми д птивних онтологій [23]. Н решті, трибути ф ктів можуть бути нерелев нтними в контексті комплексу з д ч, які вирішує систем (т бл. 2).

Н другому рівні моделі JDL відбув еться оцінк ситу ції. При цьому відбув еться інтерпрет ція ф ктів з використ нням н явних зн нь про предметну обл сть (у формі онтології, првил, онтологічних моделей). Основні джерел невизн ченостей тут леж ть бо у недоскон лостях ф ктів, бо відобр ж ють недоліки н явних зн нь.

Т к, н явність недостовірних ф ктів призводить н цьому ет пі до непр вильних висновків т рішень. Тому в жливо своєч сно виявити т кі ф кти. Н явні ф кти можуть протирічити один одному бо протирічити н явним зн нням про предметну обл сть (конфліктн інформ ція, нецілісність н рівні зн нь). Рішення не прийм еться, якщо відповідн модель рішення не м є усіх необхідних ф ктів (NULL невизн ченість). Ан логічно до рівня ф ктів, н рівні зн нь можливі помилки трибуції – коли в релев нтній моделі використовують нерелев нтні ф кти, бо коли використовують нерелев нтну для біжучої ситу ції модель (нерелев нтність). З поняттям релев нтності пов'яз не н цьому рівні ігнорув ння ф ктів, які треб вр ховув ти, бо використ ння ф ктів, які треб ігнорув ти. Деякі моделі для прийняття рішень с мі можуть бути помилковими, н прикл д, робити невірні припущення бо висновки (недоскон лість). Крім того, для певних ре льних ситу цій прийняття рішення відповідні моделі можуть бути відсутні (незн ння) (т бл. 3).

Т блиця 2

Методи опр цюв ння невизн ченостей (перший рівень моделі JDL)

Причини невизн ченості	Тип невизн ченості	Методи опр цюв ння
Приблизне зн чення трибутів ф кту	Нечіткість	Нечіткі онтології (Fuzzy ontology)
Непр вдивість ф кту бо зн чення його трибуту	Недостовірність	Ймовірнісні моделі – пр вподобність. Використ ння теорії свідчень. Використ ння методів технічної ді гностики
Помилки віднесення (трибуції)	Недостовірність	Формув ння т тестув ння гіпотез
Відсутність зн чень трибуту ф кту	NULL	Логік з з мовчув нням (Default logic)
Протиріччя у зн ченні трибутів ф кту. Недотрим ння обмежень	Нецілісність	Ан ліз ф ктів т трибутів у конфлікті. Визн чення причин конфлікту. Ад птивні онтології
Конфлікт зн чень трибут – сенсори д ють протирічіві д ні для одного трибуту	Конфлікт	
Присвоєння трибуту різних зн чень (коректне)	Б г тозн чність	Оновлення онтології
Атрибути ф ктів є з йвими т не використовуються в процесі прийняття рішень	Нерелев нтність трибутів	Визн чення н длішкості в онтології т її усунення

Методи опр цюв ння невизн ченостей (другий рівень моделі JDL)

Причини невизн ченості	Тип невизн ченості	Методи опр цюв ння
Недостовірні ф кти (помилки, брехня)	Недостовірність	Теорія свідчень, теорія Б йес
Ф кти протиріч ть один одному	Конфлікт	Ан ліз конфлікту експертом
Ф кти протиріч ть н явним зн нням	Конфлікт, нецілісність, дисон нс	Ан ліз причин нецілісності т визн чення ф ктів, що її поводують
Відсутність ф ктів	NULL	Логік з з мовчув нням, бдуктивн логік
Помилки інтерпрет - ції ф ктів – використ ння в невідповідних моделях	Некоректні зн ння	Формув ння т тестув ння гіпотез, що пояснюють помилки
Помилкове ігнорув ння ф ктів	Релев нтність	Ан ліз результатів прийняття рішень т помилкових рішень. Оновлення зн нь
Використ ння ф ктів, які треб ігнорув ти		
Схеми зн нь є помилковими	Недоскон лість	
Відсутні моделі (схеми) зн нь для інтерпрет ції н явних ф ктів	Незн ння	

Т ким чином, опр цюв ння невизн ченостей н трьох рівнях моделі JDL б зується н використ нні зн нь про предметну обл сть, под них онтологіями т моделями ситу ції. При цьому виконується сумісне використ ння різних м тем тичних методів для зменшення впливу невизн ченостей т інтерпрет ція їх результатів з використ нням б зи зн нь. Результати опр цюв ння невизн ченостей т кож зберіг ють у б зі зн нь для повторного використ ння. При цьому зн ння отрим ні в результаті опр цюв ння невизн ченості н певному рівні можуть бути використ ні для зменшення впливу невизн ченостей н інших рівнях.

6. Обговорення результатів дослідження впливу невизначеностей на систему та методів щодо їх зменшення

В живим ет пом з г льного процесу досягнення СО є оновлення зн нь про предметну обл сть т систему підтримки прийняття рішень н основі н лізу результатів з стосув ння прийнятих рішень чи тестув ння сформульов них н попередньому кроці гіпотез. Ост точним критерієм ефективності т коректності роботи системи з СО є пр ктик – н ліз успішності викон ння прийнятих рішень т досяг-

нення передб чених т з пл нов них змін у предметній обл сті. Вл снен основі н лізу результатів з стосув ння прийнятих рішень випр вляють т кі недоліки системи, як відсутність бо помилковість моделей прийняття рішень, нерелев нтність ф ктів т помилки їх інтерпрет ції.

Для зменшення впливу невизн ченостей було зроблено б г то методів т з собів, серед яких технічні, м тем тичні, т методи інженерії зн нь. Як пр вило, кожен з цих методів спрямов ний н вирішення певної з д чі т подол ння впливу конкретного типу невизн ченості.

Для под ння т опр цюв ння *похибок вимірюв нь* доцільно використ ти п р т нечітких (fuzzy set) бо нерозрізненних (rough set) множин.

Для боротьби зі *помилк ми вимірюв ння т спотвореннями перед в нь* використовують з в достійкі коди т контрольні суми. *Недостовірність* пок зів можн опис ти довірчими ймовірностями д них кожного сенсору. Для визн чення кількісних оцінок недостовірності доцільно визн чити довірчі ймовірності експертним шляхом, бо н основі н лізу ст тистики попередніх вимірюв нь. Довірчі ймовірності пок зів сенсорів доцільно уточнюв ти з результатів ми н лізу прийнятих рішень. При цьому використовують методи теорії свідчень (evidence theory) бо методи теорії Б йес . Ці ж методи з стосовують для моделюв ння недостовірності ф ктів.

Гіпотез про те, що *результ ти вимірюв ння було спотворено н вмисно*, будеться в процесі інтерпрет - ції з г льного н бору результатів т н основі н явних зн нь про предметну обл сть, дин міку зміни її ст ну. Ця гіпотез дод тково тестується з використ нням н длишковості пок зів інших сенсорів (н прикл д, коли поля зору декількох к мер спостереження ч стково перекрив ються), бо методів технічної ді гностики, коли сенсори перевіряють пр цезд тність один одного.

Якщо *д ні від сенсору відсутні*, то в живо розрізняти ситу ції, коли сенсор не пр цює т нульові зн чення д них. Для опр цюв ння відсутніх зн чень доцільно використ ти д ні з з мовчув нням, для розумув ння з т кими д ними – п р т логіки з з мовчув нням (default logic) т теорії можливостей (possibility theory).

У вип дку *б г този чності, бо конфлікту зн чень* трибутів т ф ктів, доцільно дод тково оцінити ступінь довіри до ф ктів, які конфліктують. При цьому можн використ ти довірчі ймовірності, експертні оцінки, бо сформулюв ти дод тково гіпотези т провести їх тестув ння. В результаті т тестув ння для вирішення конфлікту можн відкинути ф кти з низьким ступенем довіри.

При *відсутності, бо неповноті інформ ції* для прийняття рішення в процесі розумув ння з стосовують п р т теорії можливостей т бдуктивну логіку, як д езмогутрим ти н йбільш пр вдоподібні висновки н основі відомих ф ктів.

Помилки трибуції, з своїми прояв ми подібні до недостовірності при роботі з д ними бо ф кт ми. Але вони відрізняються від помилкової, бо спотвореної інформ ції тим, що ф кти, які леж ть в їх основі – коректні. Тому з мість відкид ння цих ф ктів

доцільно випрвити помилку трибуції. Для цього формулюють гіпотезу, що наявні помилки трибуції тестують її.

Проблему *нерелевантності даних та інформації* доцільно розглядати на рівні знань. Наявні в онтології та онтологічних моделях ситуацій та операцій прийняття рішення параметри визначають наявність релевантних даних та фактів. З іншого боку, онтологія та моделі визначають максимально можливий набір типів параметрів для всіх передбачуваних ситуацій у предметній області. При цьому не враховується ефективність та доцільність використання знань параметрів у біжучій ситуації. Враховуючи обмеженість ресурсів у кожній конкретній ситуації доцільно використовувати тільки підмножину параметрів онтології, які необхідні для СО у біжучій ситуації. Ця підмножина визначається на бором можливих переходів (змін) у біжучій ситуації, який визначається на рівні знань. Інтелектуальні системи з СО повинні постійно дотримуватися наявності параметрів до біжучої ситуації.

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

7. Висновки

1. Досліджено моделі досягнення СО, в яких детерміновано складові частини СО та їх взаємозалежності. Розглянуто три основних типи моделей СО – процесні, функціональні та формальні. Визначено, що в основу дослідження буде покладено модель JDL, доповнену зворотними зв'язками моделі OODA.

2. Розглянуто класифікації типів невизначеностей в контексті з'ясування, що вирішуються для систем з СО. Визначено особливості прояву та взаємозалежності невизначеностей на різних стадіях, визначених у моделях СО.

3. Досліджено головні типи невизначеностей для основних етапів моделі JDL, тобто проаналізовано три рівні цієї моделі і визначено, що на нульовому рівні досягнення СО відбувається отримання даних про середовище від борю сенсорів, на першому рівні даних, отриманих від сенсорів, ставляться відповідність трибуції певних об'єктів та на другому рівні відбувається оцінка ситуації. На всіх цих рівнях проаналізовано типи невизначеностей, що виникають, та кожну причину їх виникнення. Також у статті досліджено методи їх опрацювання у системі, що використовує методи онтологічного моделювання та має змогу інтегрувати та повторно використовувати знання з метою зменшення впливу невизначеностей.

Література

1. The Dynamic OODA Loop: Amalgamating Boyd's OODA Loop and the Cybernetic Approach to Command and Control: Proceedings of the 10th international command and control research technology symposium [Text]. – Swedish National Defence College, 2005. – P. 1–15.
2. Uncertainty in a Situation Analysis Perspective: 6th Annual Conference on Information Fusion [Text]. – IEEE, 2003. – P. 1207–1214.
3. Interpreted Systems for Situation Analysis: 10th International Conference on Information Fusion [Text]. – IEEE, 2007. – P. 1–11.
4. Литвин, В. Метод використання онтологій у петлі OODA [Текст] / В. В. Литвин // Вісник Національного університету «Львівський політехнік». – 2014. – № 783. – С. 137–144.
5. Endsley, M. Theoretical underpinnings of situation awareness: a critical review Process More Data≠More Information [Text] / M. Endsley, R. Mica // Situation Awareness Analysis and Measurement. – 2000. – Vol. 301. – P. 3–32.
6. A Model for Data Fusion: Proc. 1st National Symposium on Sensor Fusion [Text]. – Chicago, 1988. – P. 143–158
7. Revisions to the JDL Model: Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications, Proceedings of the SPIE [Text]. – Orlando, FL, 1999. – P. 430–441.
8. Fagin, R. Reasoning about knowledge and probability [Text] / R. Fagin, J. Halpern // Journal of the ACM. – 1994. – Vol. 41, Issue 2. – P. 340–367. doi: 10.1145/174652.174658
9. Fagin, R. Belief, awareness, and limited reasoning [Text] / R. Fagin, J. Halpern // Artificial Intelligence. – 1987. – Vol. 34, Issue 1. – P. 39–76. doi: 10.1016/0004-3702(87)90003-8
10. Integrating Abstract State Machines and Interpreted Systems for Situation Analysis Decision Support Design: The 11th International Conference on Information Fusion [Text]. – IEEE, 2008. – P. 1566–1573.
11. Endsley, M. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures [Text] / M. Endsley // Journal of Cognitive Engineering and Decision Making. – 2015. – Vol. 9, Issue 1. – P. 101–111. doi: 10.1177/1555343415573911
12. Nilsson, M. Information fusion in practice: A distributed cognition perspective on the active role of users [Text] / M. Nilsson, J. van Laere, T. Susi, T. Ziemke // Information Fusion. – 2012. – Vol. 13, Issue 1. – P. 60–87. doi: 10.1016/j.inffus.2011.01.005
13. Extending the scope of Situation Analysis: Information Fusion, 11th International Conference [Text]. – IEEE, 2008. – P. 1–8.
14. Joussemme, A. Measuring ambiguity in the evidence theory [Text] / A. Joussemme, L. Chunsheng, G. Dominic, É. Bossé // Systems, Man and Cybernetics. Part A: Systems and Humans. – 2006. – Vol. 36, Issue 5. – P. 890–903. doi: 10.1109/tsmca.2005.853483
15. Comparison of uncertainty representations for missing data in information retrieval: Information Fusion 16th International Conference [Text]. – IEEE, 2013. – P. 1902–1909.
16. Snidaro, L. Fusing uncertain knowledge and evidence for maritime situational awareness via Markov Logic Networks [Text] / L. Snidaro, I. Visentini, K. Bryan // Information Fusion. – 2015. – Vol. 21. – P. 159–172. doi: 10.1016/j.inffus.2013.03.004

17. Towards Unbiased Evaluation of Uncertainty Reasoning: The URREF Ontology: Information Fusion (FUSION), 2012 15th International Conference [Text]. – IEEE, 2012. – P. 2301–2308.
18. Krause, P. Representing Uncertain Knowledge: An Artificial Intelligence Approach [Text] / P. Krause, D. Clark. – Kluwer Academic Publishers, 1993. doi: 10.1007/978-94-011-2084-5
19. Bouchon-Meunier, B. Les incertitudes dans les systemes intelligents [Text] / B. Bouchon-Meunier, H. T. Nguyen. – Press Universitaires de France, Paris, 1996.
20. Klir, G. Uncertainty-Based Information: elements of generalized information theory. Vol. 15 [Text] / G. J. Klir, M. J. Wierman; 2nd edition. – Verlag Berlin Heidelberg, 1999. – 178 p.
21. Smets, P. Imperfect information: Imprecision and uncertainty [Text] / P. Smets. – Uncertainty Management in Information Systems, 1997. – P. 225–254. doi: 10.1007/978-1-4615-6245-0_8
22. Olive, A. Conceptual Modeling of Information Systems [Text] / A. Olive. – Springer Berlin Heidelberg, 2007. – P. 471. doi: 10.1007/978-3-540-39390-0
23. Литвин, В. В. Використання дитивних онтологій в інтелектуальних системах прийняття рішень [Текст] / В. В. Литвин, В. Я. Кривошівський, Н. Б. Шоховський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – Т. 4, № 3 (40). – С. 1–12. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/20838/18477>

Вводиться поняття функціонального представлення множини, описуються підходи до побудови таких представлень на прикладі загальної множини перестановок. Запропоновано класифікацію функціональних представлень і побудовано строгі представлення загальної перестановочної множини на базі спеціальних властивостей симетричних функцій. Наведено візуалізацію та аналіз строгих представлень перестановок малої вимірності

Ключові слова: функціональне представлення множини, загальна множина перестановок, перестановочний многогранник, комбінаторна оптимізація

Вводится понятие функционального представления множества, описываются подходы к построению таких представлений на примере общего множества перестановок. Предложена классификация функциональных представлений и построены строгие представления общего перестановочного множества на основе специальных свойств симметричных функций. Приведена визуализация и анализ строгих представлений для перестановок малой размерности

Ключевые слова: функциональное представление множества, общее множество перестановок, перестановочный многогранник, комбинаторная оптимизация

УДК 519.85
DOI: 10.15587/1729-4061.2016.58550

ФУНКЦИОНАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЩЕГО ПЕРЕСТАНОВОЧНОГО МНОЖЕСТВА

О. С. Пичугина

Кандидат физико-математических наук
Кандидат прикладной математики
Харьковский национальный университет радиотехники
пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: pichugina_os@mail.ru

С. В. Яковлев

Доктор физико-математических наук, профессор
Кандидат информационных технологий и защиты информации
Харьковский национальный университет внутренних дел
пр. 50-летия СССР, 27, г. Харьков, Украина, 61080
E-mail: svsyak@mail.ru

1. Введение

Одним из основных направлений исследований в области полиэдральной комбинаторики является построение выпуклых оболочек комбинаторных множеств и аналитическое описание соответствующих комбинаторных многогранников. При этом комбинаторные множества рассматриваются как свои образы при соответствующих отображениях (погружениях) в

рифметическое евклидово пространство. Точкой классификации множеств в литературе часто называются евклидовы комбинаторными множествами [1, 2].

В настоящее время получены аналитические описания точечных комбинаторных многогранников как многогранника перестановок и четных перестановок [3], общий перестановочный многогранник [1, 2], общий многогранник размещений [2], модульный многогранник [4], многогранник булевого множества [5],