

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

*Кафедра інформаційних систем та мереж
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

Невизначеність є невід'ємною властивістю систем з ситуаційною обізнаністю (СО). Джерела невизначеності існують на всіх стадіях процесу досягнення СО. Так, на стадії *Спостереження* (у термінології процесу OODA) [1] такими джерелами виступають неточності та похибки вимірювань. На стадії *Орієнтації* на ці похибки накладаються помилки інтерпретації та розуміння результатів спостереження. Сама постановка задачі спостереження, яка передбачає вибір параметрів середовища, значення яких вимірюють, передбачає багатозначність та можливість помилок у визначенні процедури спостереження. Таким чином, у системах з СО опрацьовують комбінацію різних типів невизначеностей, які виникають як на рівні даних (похибки вимірювань, неповнота даних) так і на рівні інформації (неправдиві, нечіткі або відсутні факти, їх багатозначність) так і на рівні знань (помилкова інтерпретація набору фактів, упрежденість).

Незважаючи на популярність наукового напрямку ситуаційної обізнаності та наявність великої кількості робіт, дослідження СО залишаються актуальними. Це пояснюється наявними тенденціями у системах підтримки прийняття рішень, розвитком автономних інтелектуальних систем прийняття рішень, розширенням потреби в ситуаційній обізнаності для таких 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 та опрацювання невизначеностей для різних наукових галузей також відрізняються одні від одних. У літературі [2] ця проблема вирішується шляхом побудови фреймворків для різних предметних галузей та створення засобів взаємодії між ними, або використання єдиного фреймворку. Недоліком першого підходу є відсутність повторного використання знань та надлишковість, а у другому підході складно відобразити специфіку конкретної предметної області. Опрацювання невизначеностей у системах з ситуаційною обізнаністю є принципово іншою задачею, адже тут розглядається результат комбінації різних типів невизначеностей в одній системі.

У роботі розгляд невизначеностей буде відбуватися в контексті задач, що вирішуються для систем з СО на різних стадіях визначених у моделях СО. Головна увага буде приділена невизначеностям, що виникають у технічних системах. Таким чином, ми вилучаємо з розгляду невизначеності, джерелом яких є мова (наприклад, неоднозначне трактування термінів) та невизначеності не характерні для задач СО.

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

від постановки задачі дослідження, особливостей предметної області, вимог до системи з СО.

У літературі [3] запропоновано три типи моделей СО – процесні моделі, функціональні та формальні моделі. Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки і сферу застосування.

Процесні моделі подають СО як процес з декількох етапів. На кожному етапі вирішується специфічна задача. Результати її вирішення є вхідними даними для вирішення наступної задачі. Так, наприклад петля OODA (Observe, Orient, Decide, Act) складається з задач *Спостереження, Орієнтування, Прийняття рішення та Дії*. Кібернетична модель Лоусона [3] аналогічно, передбачає виконання операцій *Спостереження, Опрацювання, Порівняння, Прийняття рішення та Дії (Sense, Process, Compare, Decide, Act)*. Модель SHOR (Stimulus-Hypothesis-Option-Response) [3] розроблена психологами для подання процесу прийняття рішення людиною. Важливою особливістю процесних моделей є наявність зворотних зв'язків, які дають змогу уточнити об'єкти спостереження, процедури орієнтування та прийняття рішень (рис. 1).

Моделі СО у вигляді процесів дають змогу побачити процес отримання СО у цілому, залежності між окремими стадіями процесу, відобразити та зрозуміти петлі зворотного зв'язку. Вони краще підходять для вирішення практичних задач та зрозуміліші для виконавців.

Недоліками процесних моделей є їх реактивність – вони спрямовані на реагування на стан середовища, а не на проактивні дії у цьому середовищі. Критики також підкреслюють загальний характер формулювання змісту окремих етапів, що не сприяє застосуванню моделі для вирішення практичних задач. З іншого боку, багато процесних моделей створювалося для застосування у визначених сферах діяльності (військова справа, психологія) та не придатні для використання в інших.

Подолання цих недоліків здійснюється шляхом параметризації моделей, наприклад у моделі динамічного прийняття рішень [1] досліджуються затримки між окремими операціями моделі. Інший шлях розвитку – це деталізація складових задач моделі, визначення функцій для цих задач та перехід до процесно-функціональних моделей. Так, у роботі [1] запропонована процесно-функціональна модель DOODA процесу прийняття рішень у військовій галузі.

Для практичного застосування процесних моделей важливо розробити формальні методи подання та опрацювання знань у системі. Наприклад, у роботі [4] запропоновано підхід до використання онтологій у моделі OODA для систем підтримки прийняття рішень.

У функціональних моделях етапи процесної моделі деталізуються, для кожного з них визначають набір типових функцій. Найбільш відомими функціональними моделями є модель [5] та JDL модель [6, 7].

Автор [5] першою запропонувала загальну модель ситуаційної обізнаності в плані обробки інформації (рис. 2) людиною-оператором. Вона припустила, що ситуаційну обізнаність можна поділити на три рівні або етапи ментальної репрезентації.

Рівень 1 – сприйняття

Сприйняття сигналів є фундаментальним. Без базового сприйняття важливої інформації, шанси на формування неправильної картини ситуації різко зростають. Було виявлено (1996 р.), що 76 % помилок ситуаційної обізнаності пілотів зводяться до проблем сприйняття необхідної інформації (у зв'язку як з порушенням роботи системи чи з її недоліками, так і з проблеми когнітивних процесів).

Обізнаність ситуації на цьому рівні виступає сприйняттям людини, що приймає рішення про статус, атрибути та динаміку відповідних елементів в навколишньому середовищі (ситуація прийняття рішення). Отже, цей рівень є найнижчим і базовим рівнем ситуаційної обізнаності. Досягнення рівня включає в себе основні процеси виявлення інформації.

Рівень 2 – розуміння

Обізнаність ситуації як концепція виходить за рамки простого сприйняття. Вона також охоплює те, як люди поєднують, інтерпретують та зберігають інформацію. Таким чином, вона включає в себе більше, ніж сприйняття чи звернення уваги на інформацію, але також інтеграцію декількох частин інформації та визначення їх відношення щодо цілей людини. Це аналогічно високому рівню розуміння прочитаного в порівнянні із простим читанням слів.

Таким чином, ситуаційна обізнаність – це є розуміння людини, що приймає рішення з використанням інформації, яка була сприйнята, тобто першого рівня. Рівень 2 досягається через розпізнавання, інтерпретацію та оцінку. Рівень 2 породжує повну картину навколишнього середовища.

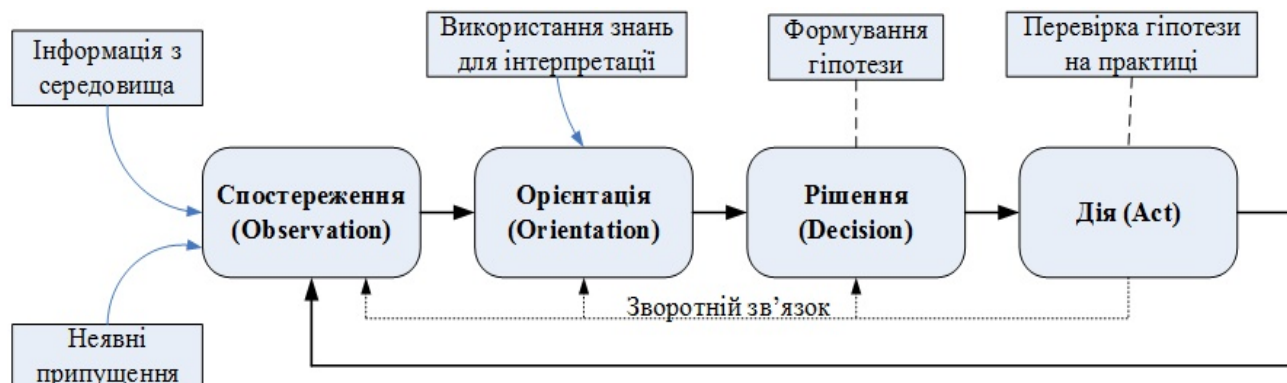


Рис. 1. Петля OODA

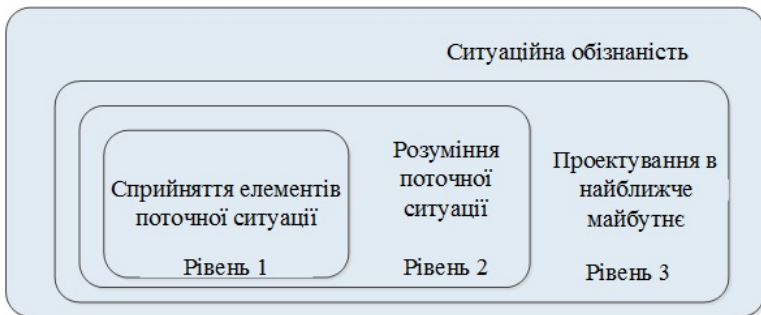


Рис. 2. Модель ситуаційної обізнаності Ендслі

Рівень 3 – проектування

На найвищому рівні, оператори мають високий рівень розуміння ситуації і мають здатність прогнозувати майбутні події ситуації та динаміки системи. Ця здатність проектувати з поточних подій і динаміки, щоб передбачити майбутні події та їх наслідки і створює можливості для своєчасного прийняття рішень. У майже всіх областях (пілотування літаків, управління повітряним рухом, експлуатації електростанцій, медицини) було виявлено, що досвідчені оператори в більшості покладаються на майбутні прогнози. Це ознака кваліфікованого фахівця.

Модель синтезу даних (Data Fusion) була розроблена Об'єднанням директорів лабораторій даних Fusion Group, урядовою комісією Міністерства оборони США, що здійснює нагляд військової техніки США (the Joint Directors of Laboratories Data Fusion Group).

Метою даної моделі було:

- групувати різні типи процесів синтезу;
- забезпечити загальні принципи побудови системи класифікації для обговорення синтезу;
- полегшити розуміння тих типів завдань, для яких застосовується синтез даних;
- систематизувати збіги серед проблем;
- допомогти в розширенні попередніх рішень;
- забезпечити основу для інвестицій в автоматизацію.

Слід підкреслити, що модель була задумана як функціональна модель, а не як модель процедури чи в якості архітектурної парадигми. Характерною особливістю моделі синтезу даних є абстрагування від виконання операцій збирання даних, оцінки ситуації та прийняття рішення тільки агентом-людиною, що уможливорює розгляд СО для систем людино-машинних, та чисто комп'ютерних агентів.

У 1988 році автор [6] опублікував статтю, в якій була запропонована модель синтезу даних. Проте у 1998 році автори [7] розробили розширення для цієї моделі. Вони переглянули основні визначення моделі синтезу як концептуально, так і з точки зору «рівнів», які охарактеризовано у первинній моделі.

Розширена модель синтезу даних має такі рівні:

- Рівень 0: Сигнал/Функція оцінки – оцінка та прогнозування сигналу або функції стану.
- Рівень 1: Оцінка сутності – оцінка та прогнозування параметричної сутності та атрибутивного стану (тобто сутностей, що розглядаються як індивіди).
- Рівень 2: Оцінка ситуації – оцінка та прогнозування структури частин реальності (тобто відношення між сутностями та їх значення для станів пов'язаних сутностей).
- Рівень 3: Оцінка впливу – оцінка та прогнозування корисності/цінності сигналу, сутності або стану ситуації, у тому числі прогнозованих впливів заданих системою альтернативних варіантів.
- Рівень 4: Оцінка роботи – оцінка та прогнозування продуктивності системи в порівнянні із заданим бажаним станом і показником ефективності.

Функціональні та процесні моделі СО є концептуальними моделями. На відміну від них, формальні моделі дають змогу специфікувати предметну область та процес отримання СО, задіяти математичні методи для подання та повторного використання знань, реалізувати механізми логічного виведення, провести валідацію моделей. Шляхом аналізу математичних моделей знань та даних про предметну область дослідники отримують нові знання про предметну область та про процес досягнення СО. Побудова формальної моделі є необхідною умовою для кращого розуміння вимог до системи з СО та є основою для подальшої розробки фреймворків та архітектур систем з СО.

Запропонована така класифікація формальних моделей СО [3] (рис. 3).

Найбільш розвинутою формальною моделлю для опрацювання невизначеності у системах із ситуаційною обізнаністю є фреймворк інтерпретованих систем. Вчені у [8, 9] ввели поняття інтерпретованої системи як формального семантичного фреймворку для міркування про знання і невизначеності в мультиагентних системах.

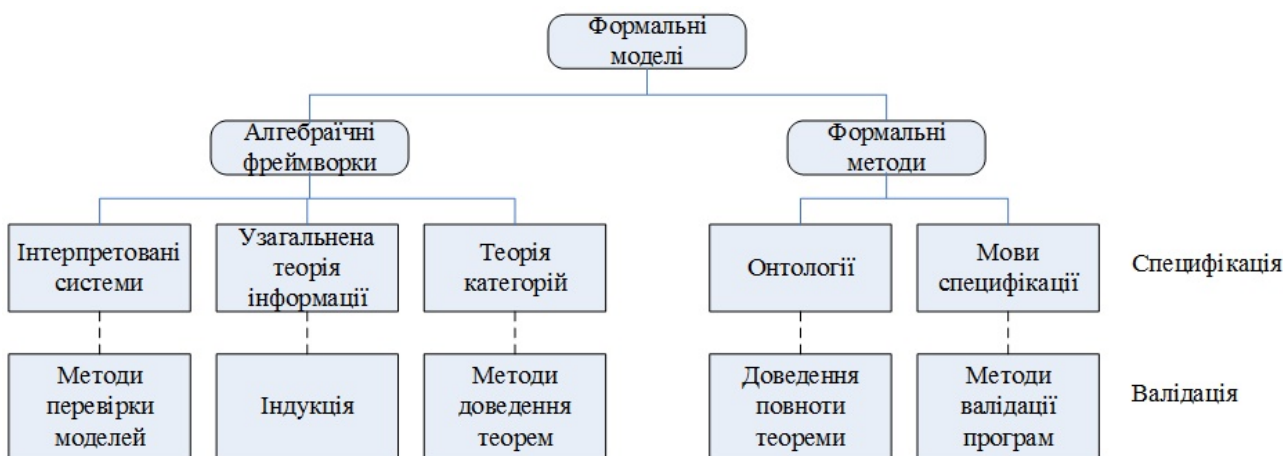


Рис. 3. Класифікація формальних моделей СО

Нехай Φ є множиною основних тверджень на ζ , що описує основні факти про систему. Інтерпретованою системою I є пара (R, π) , де R – є системою на множині ζ глобальних станів та π – інтерпретацією Φ на 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 стан для кожного агента i в точці (r, m) є пара $\langle A_i, l_i \rangle$, де A_i – i -й локальний алгоритм та l_i – i -ті локальні дані. Алгоритмічні знання позначаються через модальний оператор X_i , який потім визначається як:

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

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

2) Інтерпретовані ймовірнісні системи (Interpreted Plausibility Systems) – це кортеж $((R, \pi, P_1, \dots, P_n))$, де (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 агента i в (r, m) .

3) Інтерпретовані системи зміни довіри (Interpreted Belief Change Systems). Для того щоб моделювати зміни довіри, інтерпретована ймовірнісна система була обмежена для того щоб задовільнити деякі додаткові умови, що ведуть до інтерпретованих довірчих систем змін. Тобто інтерпретована система зміни довіри – це інтерпретована ймовірнісна система $(R, \pi, P_1, \dots, P_n)$, що задовольняє деяким додатковим умовам [10].

Розроблені моделі ситуаційної обізнаності визначають структуру процесу досягнення СО. Недоліком найбільш розвинених функціональних моделей СО є недостатня увага до взаємозв'язку окремих задач, відсутності дослідження механізмів зворотнього зв'язку [11] і таким чином цілісного розгляду системи з СО. У роботах [11, 12] визначено необхідність врахування в системі з СО когнітивної участі людини-експерта навіть у чисто автономних технічних системах. Зокрема, у роботі [13] ставиться завдання побудови уніфікованої моделі системи з СО, яка включає як технологічні, так і людські когнітивні складові, які доповнюють одна одну у вирішенні задачі СО.

Невизначеність у різних її формах та проявах є невід'ємною частиною систем з СО та предметом активних досліджень. На сьогодні головна увага приділяється детальному дослідженню та моделюванню окремих видів невизначеностей [14, 15]. Актуальним є розробка систем керування невизначеностями (uncertainty management) з врахуванням усіх задач процесу досягнення СО. У роботі [16] розглянуто ймовірнісні методи опрацювання нечіткостей у системі з СО на основі JDL моделі на основі марківських логічних мереж. Водночас, у цій роботі розглянуто тільки окремі типи нечіткостей. Методологічною основою для побудови систем керування невизна-

ченостями доцільно обрати підхід інженерії знань. Зокрема, у роботі [17] з метою специфікації головних понять та відношень системи керування невизначеностями розроблено онтологію URREF. При цьому актуальним та не вирішеним залишається задача розробки загального методологічного фреймворку на основі онтологічного підходу, який охоплює різні типи невизначеностей, що виникають у системах з ситуаційною обізнаністю, дає змогу отримати загальну картину невизначеностей на всіх стадіях процесу її досягнення, дослідити впливи різних типів невизначеностей на прийняття рішення, а також інтегрувати результати отримані з використанням різних методів.

3. Мета та задачі дослідження

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

У роботі розгляд невизначеностей буде відбуватися в контексті задач що вирішуються для систем з СО. Головна увага буде приділена невизначеностям, що виникають у технічних системах.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- дослідження моделей формування ситуаційної обізнаності у контексті задачі 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), а також 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 математичної формалізації. Не дивно, що автори у цій галузі дослідження не завжди в змозі досягнути єдиного розуміння щодо значення цього терміну та побудувати єдину класифікацію невизначеностей. Так, 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 агентом.

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

У роботі [2] запропоновано класифікацію (1989 р.), де коренем дерева є незнання, тобто невизначеність постає як вид незнання, більше того «як один із прийнятних його видів». Автор [2] поділяє незнання на дві категорії:

– стан незнання (помилка, error) – стан, що слідує з різноманітних причин (наприклад, перекручені чи неповні знання);

– дія незнання (невідповідність, irrelevance) – відповідає цілеспрямованому нехтуванню чогось неважливого по відношенню до вирішення проблемної ситуації.

Автор [2] вважає, що невизначеність є неповнотою і поділяє її на три види: ймовірнісна (probability), розмиття (vagueness) та багатозначна (ambiguity).

Принцип класифікації автора [2] є важливим для побудови систем з СО. Адже знання необхідні для коректної оцінки ситуації фактів є ключовим фактором успішної роботи такої системи. Ще однією перевагою цієї класифікації порівняно з іншими в контексті використання у системах з СО є використання нерелевантності як виду невизначеності. До систем з СО нерідко ставлять вимогу швидко реагувати на зміни у середовищі. Для забезпечення допустимих параметрів швидкодії необхідно визначити мінімальний набір параметрів спостереження та процедур їх опрацювання, які достатні для прийняття коректних рішень. Це передбачає визначення та використання тільки релевантних даних, інформації та знань.

У роботі [18] запропоновано альтернативу класифікації автора [2], де на відміну від незнання, коренем дерева класифікації є невизначеність. Автори [18] розрізняють два її аспекти: простий (одинарний) – невизначеність застосовується до окремого об'єкту та теоретико-множинний – невизначеність застосовується до множини об'єктів. Обидва аспекти зводяться або до протиріччя знань або до незнання (нестачі знань). Дана класифікація стосується першої групи невизначеностей.

У літературі [19] також запропонована модель невизначеності. Ця модель показує відмінність між двома основними значеннями невизначеності. Якщо її читати справа на ліво, то невизначеність виступає як стан мислення, а якщо зліва на право – то як фізична властивість інформації.

У праці [20] запропоновано типологію, що базується на відмінностях математичного подання та опрацювання невизначеності і безпосередньо зв'язана із похибкою обчислення (measure of uncertainty). Автор [20] ввів поняття інформації, що базується на невизначеності і розглядав невизначеність як нечіткість (fuzziness) або багатозначність (ambiguity). По суті, дана класифікація, є не що інше як інтеграція певної частини понять автора [2], а також множини теоретичних аспектів авторів [11].

У роботі [21] запропоновано замість класифікації невизначеності класифікацію недосконалої інформації (Imperfection of information). Модель автора [21] пропонує три категорії недосконалої інформації:

- неточна (imprecision);
- нецілісна (inconsistency);
- невизначена.

Автор [21] розглядає невизначеність як вид неточності (imprecision). Невизначеність може бути як об'єктивною (властивість інформації, значення невизначеності I) так і суб'єктивною (властивість агента, значення невизначеності II). Автор по суті базується на протиставленні понять невизначеність/неточність.

Невизначеність можна розглядати і з точки зору епістемічної логіки. Під епістемічною інтерпретацією ми маємо на увазі спосіб отримання оцінки невизначеності (uncertainty evaluation). В такій моделі в корені дерева знаходиться поняття невизначеності, яке поділяється на емпіричне та індуктивне.

Таким чином, наявні класифікації невизначеностей відображають тільки частину усіх факторів та причин невизначеностей, характерних для систем з СО. Дослідження невизначеностей у контексті задач СО та з використанням моделей СО дає змогу глибше зрозуміти місце невизначеностей у процесі здобуття СО та їх взаємні залежності, прослідкувати вплив різних типів невизначеностей на створення СО та на рішення, що приймаються на основі СО. У статті розглядаються методи опрацювання невизначеностей, які базуються на знаннях. При цьому будемо використовувати поняття онтологічного моделювання предметної області, подані в [22].

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

На першому етапі досягнення СО (нульовий рівень відповідно до моделі JDL) відбувається отримання даних про середовище від набору сенсорів. Система з СО на цьому етапі працює з даними – наборами чисел, які генеруються сенсорами та інтерпретуються як результати вимірювання того чи іншого параметру. Причинами невизначеності на цьому етапі є похибки вимірювання величин сенсорами (неточність), помилки, які виникають через несправність сенсору або при передаванні даних (недостовірність). Дані від деяких сенсорів можуть бути відсутні взагалі (NULL). Крім того, дані, що генеруються сенсорами можуть бути спотворені зловмисниками навмисно з метою введення системи в оману. Такі дії призводять до порушення довіри до результатів і можливих конфліктів при інтерпретації результатів вимірювань на наступних етапах процесу досягнення СО (недовіра, конфлікт). Нарешті, дані деяких сенсорів можуть бути надлишковими стосовно завдань системи (нерелевантність), або, навпаки, деяких сенсорів та даних від них може бракувати (незнання) (табл. 1).

На наступному, першому рівні моделі JDL дані, отримані від сенсорів, ставляться у відповідність атрибутам певних об'єктів – фактів предметної області. Типи об'єктів, та набори їх атрибутів визначені онтологією предметної області. Таким чином, тут опрацюють семантично інтерпретовані дані – інформацію. Невизначеності цього рівня в значній мірі визначаються невизначеністю даних отриманих від сенсорів, але тут додаються види невизначеності специфічні для цього рівня.

Таблиця 1

Методи опрацювання невизначеностей (нульовий рівень моделі JDL)

Причини невизначеності	Тип невизначеності	Методи опрацювання
Похибка вимірювання	Неточність	Нечіткі та нерозрізненні множини (Fuzzy sets, rough sets)
Помилки вимірювання, передавання	Недостовірність	Довірча ймовірність. Теорія Байєса та Теорія свідчень (Bayes theory, Evidence theory)
Відсутні дані від існуючих сенсорів	NULL	Значення за замовчуванням
Спотворення результатів вимірювань введені навмисно	Недовіра, конфлікт	Довірча ймовірність, використання надлишковості сенсорів
Результати вимірювання є зайвими у контексті задач що вирішуються системою	Нерелевантність	Визначення релевантності сенсорів по біжучій ситуації та можливих змінах
Відсутність необхідних сенсорів або даних	Незнання	Аналіз помилок прийняття рішень

Так, значення атрибуту факту може бути неточним, приблизним (нечіткість, нерозрізненість). Неправдивість атрибуту призводить до неправдивості та недостовірності факту загалом. Під час віднесення даних з сенсорів можливі помилки атрибуції – коли значення присвоюється атрибуту не того факту, якого воно стоєється (недостовірність факту).

Значення з сенсора може порушувати обмеження цілісності, визначені в онтології (нецілісність). Факт може не мати значень для атрибутів, навіть коли такі значення, відповідно до вимог онтології є обов'язковими (NULL, нецілісність). Сенсори можуть надавати для одного атрибута декілька коректних, але різних значень (багатозначність). Можлива також ситуація, коли сенсори надають для значення атрибуту протирічливі значення (конфлікт, протиріччя). Протиріччя можуть бути вирішені методами адаптивних онтологій [23]. Нарешті, атрибути фактів можуть бути нерелевантними в контексті комплексу задач, які вирішує система (табл. 2).

На другому рівні моделі JDL відбувається оцінка ситуації. При цьому відбувається інтерпретація фактів з використанням наявних знань про предметну область (у формі онтології, правил, онтологічних моделей). Основні джерела невизначеностей тут лежать або у недосконалоостях фактів, або відображають недоліки наявних знань.

Так, наявність недостовірних фактів призводить на цьому етапі до неправильних висновків та рішень. Тому важливо своєчасно виявити такі факти. Наявні факти можуть протирічити один одному або протирічити наявним знанням про предметну область (конфліктна інформація, нецілісність на рівні знань). Рішення не приймається, якщо відповідна модель рішення не має усіх необхідних фактів (NULL невизначеність). Аналогічно до рівня фактів, на рівні знань можливі помилки атрибуції – коли в релевантній моделі використовують нерелевантні факти, або коли використовують нерелевантну для біжучої ситуації модель (нерелевантність). З поняттям релевантності пов'язане на цьому рівні ігнорування фактів, які треба враховувати, або використання фактів, які треба ігнорувати. Деякі моделі для прийняття рішень самі можуть бути помилковими, наприклад, робити невірні припущення або висновки (недосконалість). Крім того, для певних реальних ситуацій прийняття рішення відповідні моделі можуть бути відсутні (незнання) (табл. 3).

Таблиця 2

Методи опрацювання невизначеностей (перший рівень моделі JDL)

Причини невизначеності	Тип невизначеності	Методи опрацювання
Приблизне значення атрибутів факту	Нечіткість	Нечіткі онтології (Fuzzy ontology)
Неправдивість факту або значення його атрибуту	Недостовірність	Ймовірнісні моделі – правдоподібність. Використання теорії свідчень. Використання методів технічної діагностики
Помилки віднесення (атрибуції)	Недостовірність	Формування та тестування гіпотез
Відсутність значень атрибуту факту	NULL	Логіка за замовчуванням (Default logic)
Протиріччя у значенні атрибутів факту. Недотримання обмежень	Нецілісність	Аналіз фактів та атрибутів у конфлікті. Визначення причин конфлікту. Адаптивні онтології
Конфлікт значень атрибута – сенсори дають протирічливі дані для одного атрибуту	Конфлікт	
Присвоєння атрибуту різних значень (коректне)	Багатозначність	Оновлення онтології
Атрибути фактів є зайвими та не використовуються в процесі прийняття рішень	Нерелевантність атрибутів	Визначення надлишковості в онтології та її усунення

Таблиця 3

Методи опрацювання невизначеностей
(другий рівень моделі JDL)

Причини невизначеності	Тип невизначеності	Методи опрацювання
Недостовірні факти (помилки, брехня)	Недостовірність	Теорія свідчень, теорія Байєса
Факти протирічають один одному	Конфлікт	Аналіз конфлікту експертом
Факти протирічають наявним знанням	Конфлікт, нецілісність, дисонанс	Аналіз причин нецілісності та визначення фактів, що її поводують
Відсутність фактів	NULL	Логіка за замовчуванням, абдуктивна логіка
Помилки інтерпретації фактів – використання в невідповідних моделях	Некоректні знання	Формування та тестування гіпотез, що пояснюють помилки
Помилкове ігнорування фактів	Релевантність	Аналіз результатів прийняття рішень та помилкових рішень. Оновлення знань
Використання фактів, які треба ігнорувати		
Схеми знань є помилковими	Недосконалість	
Відсутні моделі (схеми) знань для інтерпретації наявних фактів	Незнання	

Таким чином, опрацювання невизначеностей на трьох рівнях моделі JDL базується на використанні знань про предметну область, поданих онтологіями та моделями ситуацій. При цьому виконується сумісне використання різних математичних методів для зменшення впливу невизначеностей та інтерпретація їх результатів з використанням бази знань. Результати опрацювання невизначеностей також зберігають у базі знань для повторного використання. При цьому знання отримані в результаті опрацювання невизначеності на певному рівні можуть бути використані для зменшення впливу невизначеностей на інших рівнях.

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

Важливим етапом загального процесу досягнення СО є оновлення знань про предметну область та систему підтримки прийняття рішень на основі аналізу результатів застосування прийнятих рішень чи тестування сформульованих на попередньому кроці гіпотез. Остаточним критерієм ефективності та коректності роботи системи з СО є практика – аналіз успішності виконання прийнятих рішень та досяг-

нення передбачених та запланованих змін у предметній області. Власне на основі аналізу результатів застосування прийнятих рішень виправляють такі недоліки системи, як відсутність або помилковість моделей прийняття рішень, нерелевантність фактів та помилки їх інтерпретації.

Для зменшення впливу невизначеностей було розроблено багато методів та засобів, серед яких технічні, математичні, та методи інженерії знань. Як правило, кожен з цих методів спрямований на вирішення певної задачі та подолання впливу конкретного типу невизначеності.

Для подання та опрацювання *похибок вимірювань* доцільно використати апарат нечітких (fuzzy set) або нерозрізненних (rough set) множин.

Для боротьби зі *помилками вимірювання та спотвореннями передавань* використовують завадостійкі коди та контрольні суми. *Недостовірність* показів можна описати довірчими ймовірностями даних кожного сенсору. Для визначення кількісних оцінок недостовірності доцільно визначити довірчі ймовірності експертним шляхом, або на основі аналізу статистики попередніх вимірювань. Довірчі ймовірності показів сенсорів доцільно уточнювати за результатами аналізу прийнятих рішень. При цьому використовують методи теорії свідчень (evidence theory) або методи теорії Байєса. Ці ж методи застосовують для моделювання недостовірності фактів.

Гіпотеза про те, що *результати вимірювання було спотворено навмисно*, будеться в процесі інтерпретації загального набору результатів та на основі наявних знань про предметну область, динаміку зміни її стану. Ця гіпотеза додатково тестується з використанням надлишковості показів інших сенсорів (наприклад, коли поля зору декількох камер спостереження частково перекриваються), або методів технічної діагностики, коли сенсори перевіряють працездатність один одного.

Якщо *дані від сенсору відсутні*, то важливо розрізнити ситуації, коли сенсор не працює та нульові значення даних. Для опрацювання відсутніх значень доцільно використати дані за замовчуванням, а для розуміння з такими даними – апарат логіки за замовчуванням (default logic) та теорії можливостей (possibility theory).

У випадку *багатозначності, або конфлікту значень* атрибутів та фактів, доцільно додатково оцінити ступінь довіри до фактів, які конфліктують. При цьому можна використати довірчі ймовірності, експертні оцінки, або сформулювати додаткові гіпотези та провести їх тестування. В результаті тестування для вирішення конфлікту можна відкинути факти з низьким ступенем довіри.

При *відсутності, або неповноті інформації* для прийняття рішення в процесі розуміння застосовують апарат теорії можливостей та абдуктивну логіку, яка дає змогу отримати найбільш правдоподібні висновки на основі відомих фактів.

Помилки атрибуції, за своїми проявами подібні до недостовірності при роботі з даними або фактами. Але вони відрізняються від помилкової, або спотвореної інформації тим, що факти, які лежать в їх основі – коректні. Тому замість відкидання цих фактів

доцільно виправити помилку атрибуції. Для цього формулюють гіпотезу, що наявна помилка атрибуції та 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 набір 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 значень параметрів у біжучій ситуації. Враховуючи обмеженість ресурсів у кожній конкретній час доцільно використовувати тільки підмножину параметрів онтології, які необхідні для СО у біжучій ситуації. Ця підмножина визначається набором можливих переходів (змін) у біжучій ситуації, який визначається на рівні знань. Інтелектуальна система з СО повинна постійно адаптувати набір релевантних параметрів до біжучої ситуації.

Помилки, причиною яких є відсутність знань, чи недосконалі знання, знаходять у результаті аналізу результатів 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 деталізовано складові частини СО та їх взаємозалежності. Розглянуто три основних типи моделей СО – процесні, функціональні та формальні. Визначено, що в основу дослідження буде покладена модель JDL, доповнена зворотними зв'язками моделі OODA.

2. Розглянуто класифікації типів невизначеностей в контексті задач 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 набору сенсорів, на першому рівні дані, отримані від сенсорів, ставляться у відповідність атрибутам певних об'єктів та на другому рівні відбувається оцінка ситуації. На всіх цих рівнях проаналізовано типи невизначеностей, що виникають, а також причину їх виникнення. Також у статті досліджено методи їх опрацювання у системі, що використовує методи онтологічного моделювання та дає 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 «Львівська політехніка». – 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 адаптивних онтологій в інтелектуальних системах прийняття рішень [Текст] / В. В. Литвин, В. Я. Крайовський, Н. Б. Шаховська // 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
Кафедра прикладной математики
Харьковский национальный университет радиозлектроники
пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: pichugina_os@mail.ru

С. В. Яковлев

Доктор физико-математических наук, профессор
Кафедра 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

арифметическое евклидово пространство. Такой класс множеств в литературе часто называется евклидовыми комбинаторными множествами [1, 2].

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