

УДК 004.89

DOI 10.30837/bi.2021.2(97).07

С.О. Мар'їн¹, І.О. Побіженко², Т.Г. Білова³, В.М. Дьоміна⁴

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії ХНУРЕ,
м. Харків, Україна, serhiy.maryin@nure.ua, ORCID iD: 0000-0002-2012-7477

²кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій ХДАК,
м. Харків, Україна, irina_pob@ukr.net, ORCID iD: 0000-0002-0723-1878

³кандидат технічних наук, доцент, доцент, доцент кафедри системотехніки ХНУРЕ,
м. Харків, Україна, tetiana_bielova@nure.ua, ORCID iD: 0000-0002-1085-7361

⁴кандидат технічних наук, доцент, доцент,
доцент кафедри кібернетики та інформаційних технологій, ДБТУ,
м. Харків, Україна, vvdemina17@gmail.com, ORCID iD: 0000-0001-6467-5021

ДИНАМІЧНА ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ: МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПОБУДОВА МЕТАПРОДУКЦІЙНИХ ВИВОДІВ

У статті проведено стислий аналіз наявних стандартних моделей представлення знань, а саме: логічних, продукційних, мережевих та фреймових. З цього переліку моделей представлення знань здійснено вибір деяких, які можна використовувати до формування єдиної, більш гнучкої та просунутої моделі. Розглянуто особливості функціонування цієї моделі за умов динамічної природи предметної області. Відзначено, що протиріччя баз знань – це особлива характеристика знань. Запропоновано загальний вигляд метапродукційних правил та умови їх застосування до вирішення завдань у динамічній предметній галузі. Запропоновано формат подання багаторівневої метапродукційної системи представлення знань. Запропоновано формат продукцій-моніторів, призначених до здійснення керування процесом виведення у багаторівневій метапродукційній системі представлення знань. Проведено попередній аналіз ситуацій, при яких необхідно використання метапродукційного підходу. Здійснено опис алгоритму виведення у багаторівневій метапродукційній системі представлення знань.

ПРОДУКЦІЯ, МЕТАПРОДУКЦІЯ, МЕТАПРОДУКЦІЙНІ ПРАВИЛА, СЕМАНТИЧНА ПРОДУКЦІЯ, ПОБУДОВА ВИВЕДЕНЬ, УЗАГАЛЬНЕНА СЕМАНТИЧНА ПРОДУКЦІЯ, МЕХАНІЗМ ВИВЕДЕННЯ

Мар'їн С. А., Побіженко І. О., Білова Т. Г., Дьоміна В. М. Динамическая предметная область: моделирование и построение метапродукционных выводов. В статье проведен краткий анализ существующих, стандартных моделей представления знаний: логических, продукционных, сетевых, фреймовых. Из этого перечня осуществлен выбор некоторых из существующих моделей представлений знаний для формирования из них единой более гибкой и продвинутой модели представления знаний. Рассмотрены особенности функционирования этой модели в условиях динамической предметной области. Предложен общий вид метапродукционных правил и условия их применения к решению задач в динамической предметной области. Предложен формат представления многоуровневой метапродукционной системы представления знаний. Предложено формат продукций-мониторов, предназначенных для осуществления управления процессом вывода в многоуровневой метапродукционной системе представления знаний. Проведен предварительный анализ ситуаций, в которых необходимо использование метапродукционного подхода. Осуществлено описание алгоритма вывода в многоуровневой метапродукционной системе представления знаний.

ПРОДУКЦІЯ, МЕТАПРОДУКЦІЯ, МЕТАПРОДУКЦІЙНІ ПРАВИЛА, СЕМАНТИЧЕСЬКА ПРОДУКЦІЯ, ПОСТРОЕННЯ ВИВОДІВ, ОБОБЩЕННЯ СЕМАНТИЧЕСЬКА ПРОДУКЦІЯ, МЕХАНІЗМ ВИВОДА

Marin S., Pobizhenko I., Bilova T., Dyomina V. Dynamic subject area: modeling and construction of metaproductive conclusions. The article is devoted to brief analysis of existing and standard models of knowledge representation: logical, production, semantic network, frame. Some of the knowledge representation models are selected to form a more flexible and more advanced a knowledge representation. The article reviews the features of the functioning of a multilevel metaproduction system. This model of knowledge representation is functioned in a dynamic subject area. Metaproduction rules are proposed to solving problems in a dynamic area. Presentation format for a multi-level metaproduction is proposed. It is proposed to use production-monitors to control output process in a knowledge representation of multilevel metaproduction. It is proposed presentation format for special monitor-products. Analysis of situations in which it is necessary to use the metaproduction approach is carried out. In this article were considered feature of constructing inference in a multilevel metaproduction model based on the use monitor-production. Definition of the inference algorithm in a multilevel metaproduction knowledge representation is created.

PRODUCTION, METAPRODUCTION, METAPRODUCTION RULES, SEMANTIC PRODUCTIONS, CONSTRUCTION CONCLUSION, GENERALIZED SEMANTIC PRODUCTS, MECHANISM OF CONCLUSION

Вступ

Інтелектуальні системи використовуються в різноманітних галузях сучасного суспільства, з метою вирішення різної складності та роду завдань. При

їх реалізації застосовують методи створення більш складних і гнучких моделей, на базі простих, стандартних моделей представлення знань. Зробимо перелік груп подібних стандартних моделей.

Перша група — це продукційні моделі. Найпростіші, до того ж вони найчастіше використовувались при створенні експертних, а потім інтелектуальних систем. Друга група — логічні моделі. Їх базова особливість в безпосередньому використанні формул деякої логіки. Третя група — мережеві моделі. Однозначного визначення семантичної мережі донині не існує. Науковці в галузі штучного інтелекту під нею розуміють граф, що відображає сенс цілісного образу. Четверта — фреймові моделі. Фрейм — це мінімально можливий опис сутності будь-якої події, ситуації, процесу чи об'єкта. Поняття «мінімально можливе» означає, що при подальшому спрощенні опису втрачається його повнота, і воно перестає визначати ту одиницю знань, на яку було призначено. Уявлення знань на основі фреймів сприймається як один зі способів уявлення знань у ситуаціях.

В нашому випадку, для створення більш гнучкої моделі представлення знань було зроблено вибір із існуючих трьох моделей: логічної, мережевої та продукційної.

Апарат логіки було взято для використання у базовому описі стану семантичної мережі. Наприклад, опис мережі виглядає наступним чином:

$$S(t_0) = P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge \overline{P_n}, \quad (1)$$

де S — позначення стану семантичної мережі, t_0 — час у семантичній мережі, P_i — скорочена форма предикату, який описує наявність типу відносин між двома деякими об'єктами мережі. Предикат з запереченням описує відсутність певного типу відносин між двома деякими об'єктами мережі. Його повний вигляд наведено нижче:

$$P_i = P(A_i, L_k, A_j), \quad (2)$$

де A_i, A_j — деякі об'єкти предметної галузі, а L_k — тип відносин між об'єктами предметної галузі.

Цей апарат також було використано для опису стану активного набору семантичних продукцій, та метапродукцій різних рівнів. Опис стану семантичних продукцій виглядає наступним чином:

$$S' = R_1 \wedge R_2 \wedge \dots \wedge R_n; \quad (3)$$

Опис стану першого рівня метапродукційної моделі має вигляд аналогічний опису стану семантичної мережі:

$$S'' = R'_1 \wedge R'_2 \wedge \dots \wedge R'_n; \quad (4)$$

Опис стану n -ого рівня метапродукційної моделі має наступний вигляд:

$$S^{n+1} = R^n_1 \wedge R^n_2 \wedge \dots \wedge R^n_n; \quad (5)$$

Друга модель — семантичні мережі. Їх використання дає більше переваг перед іншими моделями представлення знань у моделюванні статичних галузей у виді повного переліку об'єктів, та відносин між ними. У ролі об'єктів можуть виступати реальні об'єкти предметної галузі, події, властивості,

процеси. Відносини семантичної мережі мають або лінгвістичну, або логічну, або теоретико-множинну, або квантифіковану природу. Опис стану семантичної мережі — це перелік усіх її об'єктів та наявних відносин між ними. Цей стан легко описати використовуючи апарат логіки, кон'юнкцією предикатів, якими вказується або наявність, або відсутність відносин між об'єктами семантичної мережі.

Третя модель — продукційні системи. Треба відмітити, що вони достатньо прості як у створенні, так і у використанні в комп'ютерних системах. Їх переваги існують за рахунок наступного переліку особливостей. Перша — модульна організація знань. Друга — незалежність правил, які виражають цілком самостійні частини знань про предметну область. Третя — відокремлення предметних знань від керуючих, що дозволяє застосовувати різні стратегії управління та створювати загальні керуючі механізми для різних додатків. Останнє, однак головне, це простота внесення змін та модифікації предметної області.

Об'єднання цих трьох моделей дає низку очевидних переваг при моделюванні в умовах динамічних предметних областей. Воно дозволить усунути деякі явні недоліки кожної окремої моделі. Наприклад, статичність опису стану семантичної мережі — це явний недолік динамічної предметної області. Однак, застосування семантичних продукцій надасть змогу змінювати стан семантичної мережі достатньо легко. Наступний недолік продукційних правил — це присутність у поточному наборі конфлікуючих продукцій. Було запропоновано використання метапродукційних правил, яке дозволяє створювати безконфліктний набір продукційних правил.

Таким чином, у даній статті досліджуються особливості побудови виведення знань на базі використання продукційної системи з багаторівневими метапродукціями, які виконують функцію управління та безпосередньо впливають на перетворення структури відносин семантичної мережі. Після стислого дослідження предметної області було зроблено висновок про доцільність використання окремого типу продукцій, так званих продукцій-моніторів до управління процесом побудови виведення. Також досить стисло проведено аналіз ситуацій, які потребують метапродукційного застосування.

1. Постановка задачі

Загальною метою статті є дослідження проблеми побудови несуперечливого виведення в сучасних інтелектуальних системах на базі використання багаторівневої метапродукційної системи. Для рішення означеного завдання необхідно вирішення наступного переліку завдань:

— провести аналіз існуючих моделей представлення знань;

- створити відбір декількох моделей для формування з них більш гнучкої та потужної моделі представлення знань;
- переглянути особливості функціонування в умовах динамічної предметної області;
- переглянути загальний вигляд метапродукційних правил, умови та правила їх застосування до вирішення завдань у динамічному середовищі;
- запропонувати формат представлення багаторівневої метапродукційної системи;
- представити виведення на багаторівневій метапродукційній системі представлення знань, використання особливого виду продукцій-моніторів для управління виведенням;
- розглянути особливості застосування продукцій-моніторів до виведення в багаторівневій метапродукційній системі;
- описати алгоритм виведення в багаторівневій метапродукційній системі представлення знань.

2. Основний матеріал дослідження

Завдання метапродукційного управління полягає в підходах до моделювання динаміки змін знань про деяку предметну область. У нашому випадку такі зміни виявляються у зникненні з поточного набору одних правил та/або появи інших. Така поведінка набору правил вдало описується продукціями аналогічними семантичним продукціям, які «породжують» чи «вбивають». При цьому, якщо семантичні продукції задавали умови «народження» або «смерті» деяких відносин у мережі, то метапродукції повинні задавати умови «народження» або «смерті» самих семантичних продукцій.

Задамо загальний вигляд метапродукцій за аналогією з семантичними продукціями:

$$R'_i: IF(S'_i(t-\tau')) THEN R_k(t) \quad (6)$$

$$R'_j: IF(S'_j(t-\tau')) THEN \bar{R}_k(t) \quad (7)$$

Підкреслимо, що τ' – тактовий час спрацювання метапродукцій має бути більшим за час, протягом якого можуть відбутися зміни в динамічному стані самої семантичної мережі. Проте зазначимо, що фіксоване τ' під час вирішення завдань реальної складності вибрати неможливо. Це пов'язано з неперіодичністю або, у кращому випадку, з нестрогою періодичністю виникнення проблем виведення на продукціях нижнього рівня. Отже, запровадження жорсткого τ' , що не змінюється, різко скоротить область застосування даної моделі. Крім того, збереження часу виведення на продукціях при використанні кількох або навіть одного рівня метапродукції є досить проблематичним, тому, надалі будемо розглядати τ' як деякий системний час, який дорівнює часу виконання одного циклу інтерпретатора. Відповідно $\tau' = n\tau$, де n – позитивне натуральне число. Роль тимчасового такту, що ініціалізує виведення,

виконуватимуть продукції особливого типу, що модифікують сигнальну ділянку робочої пам'яті інтерпретатора. Докладніше цей механізм буде розглянуто нижче.

Оскільки τ' для всіх метапродукцій однаково, це дає можливість записати її у простішій формі:

$$(R'_i, F'_i): IF(S'_i) THEN R_k \quad (8)$$

$$(R'_j, F'_j): IF(S'_j) THEN \bar{R}_k \quad (9)$$

де до двокрапки в круглих дужках знаходиться передумова метапродукції, що містить логічну змінну R' , котра вказує на активність метапродукції та логічне вираження F' , що описує клас причини ініціалізації метапродукційного рівня; S' – умова застосування ядра метапродукції, або диз'юнкція станів набору продукцій, що визначають «народження» («смерть») на наступному такті продукції R_k . Перша метапродукція є умовою «народження» (появи, активізації) у наборі продукцій продукції R_k . Друга метапродукція – умова «смерті» (зникнення) у наборі продукцій продукції R_k .

Наведені метаправила в простій формі задають причинно-наслідковий зв'язок між двома послідовними станами набору правил. Слід зазначити, що з першої метапродукції $S'_i = \bar{R}_k \wedge S'_i$. Це означає, що має сенс розглядати умову «народження» лише для відсутньої продукції. Аналогічно: $S'_j = R_k \wedge S'_j$. Останній запис означає, що умову «смерті» можна розглядати лише для «живої» продукції. Розглянемо наприклад метаправило:

$$(R'_1, F'_1): IF((R_2 \vee R_3 \wedge \bar{R}_4) \wedge R_1) THEN \bar{R}_1 \quad (10)$$

Ця метапродукція спрацює, якщо вона жива ($R'_1 = 1$) і призначена для вирішення проблем класу F'_1 . Її можна проінтерпретувати таким чином: правило F'_1 зникне з набору правил, якщо на попередньому такті в цьому наборі було правило R_2 або було правило R_3 та відсутнє правило R_4 .

При моделюванні більш складних об'єктів, може виникнути ситуація, коли множина метапродукцій буде зовеликою та буде потрібно шукати засоби управління метапродукціями. У цьому випадку, має сенс, запровадити поняття метапродукції другого порядку, яка буде здатна «породжувати» або «вбивати» метапродукцію першого порядку. Наприклад:

$$(R'_1, F'_1): IF(R'_1 \wedge R'_2) THEN \bar{R}'_1 \quad (11)$$

де в передумові: R'_1 – мітка метаправила другого рівня, а F'_1 – стан процесу виведення метаправил першого рівня.

Аналогічно можна розглядати метапродукції n -го рівня, як правила, що керують метапродукціями $n-1$ -го рівня:

$$(R'_i, F'_i): IF(S'_i) THEN R_k^{n-1} \quad (12)$$

$$(R'_j, F'_j): IF(S'_j) THEN \bar{R}_k^{n-1} \quad (13)$$

де n – порядок метапродукції. Рівні метапродукцій, подібно до рівнів деталізації, надають спосіб абстра-

гуювання складності законів динамічної предметної області. Отже, коли зростає складність поведінки модельованого мережею об'єкта, зростає кількість рівнів метаправил, які необхідні до його адекватного опису. Метапродукції найвищого рівня – статичні. Тобто набір активних продукцій цього рівня зовсім не змінюється у процесі виведення. Крім цього, багатошарова структура продукційної системи висуває додаткові вимоги до механізмів виведення.

Необхідний формальний засіб, який би дозволив регламентувати відносини між шарами моделі. Крім того, оскільки обсяг кожного продукційного рівня може досягати декількох сотень правил, у цьому випадку, необхідно використання гнучкого апарату управління, який легко модифікується та має можливість досить легко керувати процесом вибору рівня виведення. У цій статті запропоновано в якості подібного засобу використовувати продукції-монітори. Принцип визначення необхідності виведення на метапродукціях є досить простим. Якщо при інтерпретації набору продукцій певного рівня виникли проблеми, які не вирішуються в рамках цього рівня, тоді ініціювати роботу продукцій/метапродукцій рівнем вище. Оцінка проблеми формується з урахуванням двох аспектів: синтаксичного та семантичного. Інформація, що надходить від інтерпретатора, є джерелом для отримання висновку про синтаксичну складову проблеми.

Стисло проаналізуємо ситуації, які можна розцінювати як такі, що не відповідають нормальному функціонуванню продукційної системи:

- 1) у наборі активних продукцій/метапродукцій є конфліктуючі продукції/метапродукції;
- 2) зміни семантичної мережі мають циклічний характер;
- 3) вичерпано максимально допустиму глибину виведення;
- 4) у наборі активних продукцій/метапродукцій немає жодної застосованої до поточного стану бази фактів («глухий кут»).

Перша із зазначених причин найбільш повно досліджена фахівцями з штучного інтелекту. А застосування метапродукційної стратегії для створення безконфліктного набору знань можна вважати традиційним. Семантичні метапродукції дозволяють уникати протиріч під час виведення шляхом відключення частини продукцій. За допомогою метапродукцій формується безконфліктний набір активних продукційних правил, тобто фактично вибирається одна продукція з кількох можливих.

Циклічна зміна елементів робочої пам'яті (у разі – це семантична мережа), під час вирішення певного класу завдань, (наприклад, завдань орієнтованих на пошук ланцюжка перетворень, яка веде до деякого цільового стану мережі) не допустима. Розпізнавання

таких проблем зазвичай покладається на інтерпретатор. Набір його функцій поповнюється для забезпечення засобів доступу до інформації про попередні кроки виведення (так звана «історія виведення»).

Наступна причина зупинки системи пов'язана з існуванням деякого кінцевого числа кроків виведення. Якщо минуло кілька тактів і досягнуто цільовий стан, то, у цьому разі, говорять про нездатність системи визначити рішення. Використання метапродукційних шарів, що змінюють поточний набір правил системи, дає можливість ще раз спробувати знайти рішення на основі нового модифікованого набору семантичних продукцій.

Остання синтаксично нерозв'язна проблема пов'язана з виникненням такого стану семантичної мережі, коли жодна активна продукція неспроможна спрацювати, тобто досягнуто один з термінальних станів. Якщо при цьому системою не знайдено рішення, таку ситуацію можна охарактеризувати як невдачу системи. У цьому, як і в попередньому випадку, перебудова поточного активного набору продукцій дає шанс продовжити пошук рішення.

Завдання правил-моніторів, при ідентифікації будь-якої із зазначених проблем інтерпретатором, полягає у формуванні сигнального елемента робочої пам'яті та, відповідно, ініціалізації процесу виведення на метапродукційному рівні. Більш того, у деяких випадках, продукції-монітори можуть розширювати можливості інтерпретатора щодо ідентифікації проблем. Наприклад, під час відстеження циклів, монітори дозволяють визначати циклічність виникнення як конкретного стану мережі, так і циклічність появи деякого класу станів.

Зазначені вище ситуації, що виникають у процесі виведення, можна розглядати з погляду траєкторії зміни станів семантичної мережі (тобто форми життєвого циклу об'єкта, що моделюється). Цикл і лінійна послідовність формалізують елементарні типи динамічної поведінки об'єктів, що моделюються. Конфлікти дозволяють комбінувати ці елементарні типи шляхом звернення до метапродукційних рівнів. Таким чином, метапродукції можна розглядати як засіб для моделювання динаміки продукцій даній предметній області. Більша кількість метапродукційних шарів дозволяє моделювати складніші форми траєкторії станів системи.

Наведений вище аналіз причин, що вимагають метапродукційного виведення, торкнувся лише їх синтаксичного аспекту. Тепер розглянемо ситуації, коли семантика предметної області потребує зміни поточного набору/метапродукцій. Слід зазначити, що виникнення таких ситуацій найхарактерніше для тих завдань, в яких продукції розглядаються як оператори, що змінюють стан предметної області. Причини виникнення подібних ситуацій криються

у складній природі причинних зв'язків та неможливості їхнього повного обліку на етапі формування стратегії досягнення мети.

Роль продукцій-моніторів у процесі прийняття рішення полягає у визначенні ситуацій предметної області, у разі виникнення яких необхідно змінити поточний тип поведінки чи стратегію. Продемонструємо її на прикладі ухвалення рішення спортсменом-марафонцем. Отже, маємо інтелектуальну систему, перед якою стоїть завдання якнайшвидше досягти фінішної межі. Процес вибору стратегії поведінки, у цьому випадку, гранично простий: бігти найкоротшим шляхом у напрямку мети (тобто активізувати ті продукційні правила, які формалізують переміщення об'єкта до наміченої межі). Однак, слідування обраній лінії поведінки може виявитися неможливим через поступове проявлення тих причинно-наслідкових зв'язків, які не були враховані при початковому виборі способу досягнення мети, але які можуть перешкоджати її досягненню. Прикладами подібних зв'язків можуть бути: «біг – швидка витрата енергії – голод – неможливість продовжувати марафон», «біг – посилене потовиділення – зневоднення – неможливість продовжувати марафон», «біг – посилена робота м'язів – підвищення температури тіла – неможливість продовжувати марафон» тощо. Як діє у цьому випадку спортсмен-марафонець? Він коригує свою поведінку в процесі вирішення основного завдання. Якщо раніше марафонець суворо слідував стратегії «бігти найкоротшим шляхом» і байдуже пробігав повз столиків з соками і продуктами, розставленими по ходу траси, то тепер він пригальмовує біля найближчого столика, щоб попити або поїсти (тобто продукційна модель, що описує його поведінку, повинна поповнитися правилами, які стосуються процесів прийняття їжі). Після того, як все, що заважає швидкому досягненню мети подолано, марафонець повертається до попередньої моделі поведінки.

Таким чином, продукції-монітори реалізують постійний контроль над процесом вирішення завдань, відстежуючи ситуації, які перешкоджають досягненню мети, ініціалізуючи виведення на метапродукціях з метою усунення цих перешкод.

Розглянемо формальне представлення продукцій-моніторів. Їхня умовна частина повинна включати:

1) опис множини станів семантичної мережі, які вимагають зміни поточного набору продукцій;

2) поточну оцінку процесу виведення. Заключна частина продукції призначена для модифікації поточної оцінки процесу виведення.

Загальний вид продукцій-моніторів:

$$IF (S_i \wedge F_i') THEN C_k' \quad (14)$$

$$IF (S_j \wedge F_j') THEN \bar{C}_m' \quad (15)$$

де умова застосування продукції представлена кон'юнкцією деякого стану семантичної мережі (S_i, S_j)

та поточного стану процесу виведення (F_i, F_j) . Перша продукція розпізнає ситуації, за яких проблема C_k' виникає, а друга описує закон усунення проблеми \bar{C}_m' .

Зазначимо, відсутність логічної змінної, яка вказує на активність правила. Це пов'язано з принциповою неможливістю виникнення конфліктних ситуацій між продукціями-моніторами (йдеться тільки про синтаксичні конфлікти, семантичні цілком можливо матимуть місце). З усієї сукупності продукцій-моніторів взаємозалежні виведення мають пари продукцій, що включають установку або зняття маркера, який ідентифікує певний клас проблем. Проте, умовні частини таких продукцій не можуть перетинатися, оскільки встановлення маркера передбачає його відсутність на попередньому кроці виведення, а відключення, відповідно, його наявність у попередній оцінці. Отже, можливість появи конфліктів між продукціями-моніторами повністю виключається.

Необхідність у вирішенні конфліктів різного роду на етапі виведення притаманна всім рівням метапродукційної моделі. Отже, множина продукцій-моніторів, як і семантичні метапродукції, має багаторівневу структуру. Проте розбиття її на рівні відрізняється від метапродукційного. Як зазначалося вище, ознакою, за якою визначається рівень метапродукції, є природа об'єктів в умовній і заключній частинах. Якщо орієнтуватися на такі засади розподілу, то виявиться, що продукції-монітори належать відразу двом рівням (або можна говорити, що вони розташовані між двома рівнями).

Продукції-монітори, що ініціалізують висновок на метапродукції n -ного шару, можна представити наступним чином:

$$IF (S_i^{(n-1)} \wedge F_i^{(n)}) THEN C_k^{(n)} \quad (16)$$

$$IF (S_j^{(n-1)} \wedge F_j^{(n)}) THEN \bar{C}_k^{(n)} \quad (17)$$

Багато продукцій-моніторів певного рівня будемо позначати MR^l , де l – номер рівня продукцій-моніторів.

Завдання керування виведенням у багаторівневих моделях представлення знань складається з рішення двох завдань. Перше з яких пов'язано з проблемами "внутрішньорівневого" виведення, а друге охоплює питання перемикання між рівнями продукцій/метапродукцій.

Залучення вищих шарів метаправил у процес виведення ґрунтується на виникненні синтаксичних та семантичних конфліктів на попередніх рівнях. Синтаксичні конфлікти визначаються інтерпретатором та означають важливу неможливість продовження процесу виведення при поточному наборі продукцій. Семантичні конфлікти визначаються набором продукцій-моніторів і вказують, що зміни, що відбулися з предметною областю, вимагають модифікації активного набору продукцій. Формально при

семантичному конфлікті жодних перешкод для продовження процесу виведення немає. Відсутність конфліктів дозволяє вести виведення без змін поточного набору продукцій.

Таким чином, проблема визначення рівня виведення вирішується шляхом оцінки процесу виведення та його результатів на кожному продукційному рівні, на кожному кроці виведення. Перший метапродукційний рівень, виведення на якому відбулося без конфліктів називатимемо рівнем виведення. Представимо описану процедуру виведення у більш строгій алгоритмічній формі:

```
{виведення починається з базового рівня прав-
вил }
level:=1;
While (спрацювавших правил останова нема) do
  begin
    зіставити умовні частини активних правил
       $S_i^{(level)}$  з фактами  $S_j^{(level-1)}$ ;
    if (виявлено синтаксичний конфлікт) then
      модифікувати  $F_i^{(level)}$ ;
    Виведення на безлічі  $MR^{Level}$  продукцій-мони-
    торов;
    if (виявлено семантичний конфлікт) then
      модифікувати  $F_i^{(level)}$ ;
    if ( $F_i^{(level)} \neq F_{i-1}^{(level)}$ ) then
      level:=level+1;
    else
      if (Level≠1) then
        level:=level-1;
      end;
```

Зупинення процесу виведення відбувається або після досягнення цільового стану основи фактів (стану семантичної мережі), або після перевищення числа кроків виведення.

Висновки

Таким чином, у статті було розглянуто наступне коло питань:

1. Стисло проведено огляд наявних стандартних моделей представлення знань.
2. Створено відбір декількох моделей для формування з них більш гнучкої, потужної та складної моделі представлення знань.
3. Розглянуто особливості функціонування цієї моделі в умовах динамічної предметної області.
4. Розглянуто загальний вигляд метапродукційних правил, умови та правила їх застосування до вирішення завдань у динамічному середовищі.

5. Стисло переглянуто особливості функціонування багаторівневої метапродукційної системи, запропоновано її формат представлення.

6. Запропоновано використання особливого виду продукцій-моніторів для управління виведенням на багаторівневій метапродукційній системі представлення знань.

7. Запропоновано особливий формат продукцій-моніторів.

8. Стисло розглянуто особливості застосування моніторів до виведення в багаторівневій метапродукційній системі знань.

9. Побудовано та створено формальний опис алгоритму виведення в багаторівневій метапродукційній системі представлення знань.

Список літератури:

- [1] Дударь З. В., Калиниченко О. В., Шабанов-Кушнарченко С. Ю. О методе и задачах теории интеллекта. I. // Радиоэлектроника и информатика. 2000. № 2. С. 112 – 122.
- [2] Котов И. А., Суворов А. И., Сердюк А. Ю. Разработка методов унификации структурно-логической модели метазнаний для управления эволюцией онтологий интеллектуальных систем URL: <https://core.ac.uk/display/288839718.pdf>
- [3] Шабанов-Кушнарченко С. Ю., Кудхаир Абед Тамер, Лещинская И. А. Предикатный подход к формализации неявных знаний // Системы обработки информации Н. 2013. Вып. 9. С. 113–116.
- [4] Ligeza A. Knowledge Representation and Inference for Analysis and Design of Database and Tabular Rule-Based Systems // Computer Science. 2001. Vol. 3, Issue 1. P. 13–60.
- [5] Morkun V., Tcvirkun S. Investigation of methods of fuzzy clustering for determining ore types // Metallurgical and Mining Industry. 2014. Issue 5. P. 12–15. URL: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/3-MorkunTs.pdf>
- [6] Nasrollahi S. N., Mokhtari H., Seyedein M. Meta-analysis: An Approach to Synthesizing and Evaluating Research on Knowledge and Information Science // Iranian Journal of Information Processing & Management. 2011. Vol. 29, Issue 2. P. 293 – 316.
- [7] Open Data as a key factor for developing expert systems: a perspective from Spain / Rodriguez-Rojas L. A., Cueva-Lovellev J. M., Tarazona-Bermudez G. M., Montenegro-Marin C. E. // International Journal of Interactive Multimedia and To Artificial Intelligence. 2013. Vol. 2, Issue 2. P. 51. doi: <https://doi.org/10.9781/ijimai.2013.226>

Надійшла до редколегії 09.11.2021