

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ: МОДЕЛИРОВАНИЕ, МЕТАПРОДУКЦИОННЫЙ ВЫВОД

Марьин С.А.

Харьковская государственная академия культуры

В статье рассматриваются особенности построения вывода с помощью множества многоуровневых метапродукционных правил. Отмечается, что противоречия в базе знаний – это неустранимое качество знаний. В статье приводится возможность частично избавиться от подобной проблемы на основе использования многоуровневых метапродукций. Кратко, исследован процесс применения метапродукций, введено новое понятие продукций-мониторов, проведен анализ ситуаций, в которых необходимо использование метапродукций.

**Ключевые слова:** продукция, метапродукция, продукция-монитор, вывод, тактовая частота метапродукций, интерпретатор, механизм вывода.

**Постановка проблемы.** В настоящее время использование интеллектуальных систем становится все более актуальным. Для их реализации часто используют не обычные стандартные модели представления знаний, а более развитые и сложные. В статье исследуются особенности построения выводов на основе использования продукционной системы с многоуровневыми метапродукциями. Введено понятие продукций-мониторов. Кратко проведен анализ ситуаций требующих метапродукционного вмешательства.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Решение задачи метапродукционного вывода в области искусственного интеллекта достаточно интересно и важно. Попытки решения подобных задач достаточно часто встречаются в научной литературе. Можно перечислить следующие источники [1; 4; 7].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Исследование особенностей построения вывода с применением метапродукций, а также построение вывода на многоуровневой метапродукционной модели находится на начальном этапе.

**Формулирование целей статьи.** Целью данной статьи является исследование проблемы построения непротиворечивых выводов в современных интеллектуальных системах на основе использования многоуровневой метапродукционной системы.

**Изложение основного материала исследования.** Задача метапродукционного управления заключается в моделировании динамики изменений знаний о некоторой предметной области. В нашем случае, такие изменения проявляются в исчезновении из текущего набора одних правил и/или появлении других. Такого рода поведение набора правил удобно описывается "порождающими" и "убивающими" продуктами, аналогичными семантическим продукциям. При этом, если семантические продукции задавали условия "рождения" и "смерти" некоторых отношений в сети, то метапродукции должны задавать условия "рождения" и "смерти" самих продукций.

Зададим общий вид метапродукции, по аналогии с семантическими продукциями:

$$R_i^{\circ} : IF (S_i^{\circ}(t - \tau^{\circ})) THEN R_k(t)$$

$$R_j^{\circ} : IF (S_j^{\circ}(t - \tau^{\circ})) THEN \bar{R}_k(t).$$

Очевидно, что  $\tau'$  – тактовое время срабатывания метапродукций должно быть больше времени, в течение которого могут произойти изменения в самой сети. Однако отметим, что фиксированное  $\tau'$  при решении задач реальной сложности выбрать невозможно. Это связано с неперIODичностью или, в лучшем случае, с нестрогой периодичностью возникновения проблем вывода на продукциях нижнего уровня и, следовательно, введение жесткого, не изменяющегося  $\tau'$  резко сократит область применения данной модели. Кроме того, сохранение времени вывода на продукциях в рамках  $\tau'$  при использовании нескольких или даже одного уровня метапродукций представляется весьма проблематичным. Поэтому, в дальнейшем будем рассматривать  $\tau'$  как некоторое системное время, которое равняется времени исполнения одного цикла интерпретатора. Соответственно,  $\tau' = n\tau$ , где  $n$  – положительное натуральное число. Роль временного такта, инициализирующего вывод, будут выполнять продукции особого типа, модифицирующие сигнальный участок рабочей памяти интерпретатора. Подробнее этот механизм будет рассмотрен ниже.

Поскольку,  $\tau'$  для всех метапродукций одинаково, тогда запишем их в более простой форме:

$$(R'_i, F'_i) : IF(S'_i) THEN R_k;$$

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

где до двоеточия в круглых скобках находится предусловие метапродукции, содержащее логическую переменную  $R$ , указывающую активность метапродукции и логическое выражение  $F'$ , описывающее класс причины инициализации метапродукционного уровня;  $S'$  – условие применения ядра метапродукции, или дизъюнкция состояний набора продукций, определяющих "рождение" ("смерть") на следующем такте продукции  $R_k$ . Первая метапродукция представляет собой условие "рождения" (появления, активизации) в наборе продукций продукции  $R_k$ . Вторая метапродукция – условие "смерти" (исчезновения) в наборе продукций продукции  $R_k$ .

Приведенные метаправила в самой простой форме задают причинно-следственную связь между двумя последовательными состояниями набора правил. Следует отметить, что для первой метапродукции  $S'_i = \bar{R}_k \wedge S'_i$ . Это означает, что имеет смысл рассматривать условие "рождения" только для отсутствующей продукции. Анало-

гично:  $S_j = R_k \wedge S_j$ . Последняя запись означает, что условие "смерти" можно рассматривать только для "живой" продукции. Рассмотрим пример метаправила:

$$(R_1', F_1') : \text{IF } ((R_2 \vee R_3 \wedge \bar{R}_4) \wedge R_1) \text{ THEN } \bar{R}_1.$$

Эта метапродукция сработает, если она жива ( $R_1' = 1$ ) и предназначена для решения проблем класса  $F_1'$ . Ее можно проинтерпретировать следующим образом: правило  $R_1$  исчезнет из набора правил, если на предыдущем такте в этом наборе присутствовало правило  $R_2$ , или присутствовало правило  $R_3$  и отсутствовало правило  $R_4$ .

При моделировании более сложных объектов, может возникнуть ситуация, когда само множество метапродукций будет достаточно громоздким и потребуются искать способы управления метапродукциями. В этом случае имеет смысл, сохраняя единообразие подхода, ввести понятие метапродукции второго порядка, способной "порождать" ("убивать") метапродукцию (первого порядка). Например:

$$(R_1'', F_1'') : \text{IF } (R_1^{\circ} \wedge R_2^{\circ}) \text{ THEN } \bar{R}_1^{\circ}$$

где в предусловии:  $R_1''$  – метка метаправила второго уровня, а  $F_1''$  – состояние процесса вывода метаправил первого уровня.

Аналогично можно рассматривать метапродукции  $n$ -го уровня, как правила, управляющие метапродукциями  $n-1$ -го уровня:

$$(R_1^n, F_1^n) : \text{IF } (S_1^n) \text{ THEN } R_{k-1}^{n-1},$$

$$(R_2^n, F_2^n) : \text{IF } (S_2^n) \text{ THEN } \bar{R}_{k-1}^{n-1},$$

где  $n$  – порядок метапродукции.

Фактически, уровни метапродукций, подобно уровням детализации, предоставляют средство абстрагирования сложности законов динамической предметной области. Следовательно, чем сложнее поведение моделируемого сетью объекта, тем больше уровней метаправил необходимо для его адекватного описания. Метапродукции самого верхнего уровня – статичны, т.е. набор активных продукций этого уровня не изменяется в процессе вывода.

Многослойная структура продукционной системы предъявляет дополнительные требования к механизмам вывода. Необходимо формальное средство, которое бы позволило регламентировать отношения между слоями модели. Кроме того, поскольку объем каждого продукционного уровня может достигать нескольких сотен правил, то очевидна необходимость использования гибкого, легко модифицируемого аппарата управления процессом выбора уровня вывода. В данной статье предлагается, в качестве такого средства использовать продукции-мониторы.

Принцип определения необходимости вывода на метапродукциях довольно прост. Если при интерпретации набора продукций некоторого уровня возникли проблемы, не разрешаемые в рамках этого уровня, тогда инициировать работу продукций/метапродукций уровнем выше. Оценка проблемы формируется с учетом двух аспектов: синтаксического и семантического. Информация, поступающая от интерпретатора, является источником для получения заключения о синтаксической составляющей проблемы. Кратко проанализируем ситуации, которые можно рас-

ценивать как несоответствующие нормальному функционированию продукционной системы:

- 1) в наборе активных продукций/метапродукций есть конфликтующие продукции/метапродукции;
- 2) изменения семантической сети носят циклический характер;
- 3) исчерпана максимально допустимая глубина вывода;
- 4) в наборе активных продукций/метапродукций нет ни одной применимой к текущему состоянию базы фактов (тупик).

Первая из указанных причин наиболее полно исследована специалистами по ИИ. Применение метапродукционной стратегии для ее разрешения можно считать традиционным. Семантические метапродукции позволяют избежать противоречий при выводе путем отключения части продукций. В результате действий совокупности метапродукций формируется бесконфликтный набор активных продукционных правил, т.е. фактически выбирается одна продукция из нескольких возможных.

Циклическое изменение элементов рабочей памяти (в нашем случае – это семантическая сеть), при решении определенного класса задач, (например, задач ориентированных на поиск цепочки преобразований, ведущей к некоторому целевому состоянию сети) не допустимо. Распознавание подобных проблем обычно возлагается на интерпретатор. Набор его функций пополняется с целью обеспечения средств доступа к информации о предыдущих шагах вывода (так называемая история вывода).

Следующая причина останова системы связана с существованием некоторого конечного числа шагов вывода. Если прошло определенное число тактов и не достигнуто целевое состояние, то, в таком случае, говорят о неспособности системы найти решение. Использование метапродукционных слоев, изменяющих текущий набор правил системы, дает возможность еще раз попытаться отыскать решение на основе нового, модифицированного набора семантических продукций.

Последняя синтаксически неразрешимая проблема связана с возникновением такого состояния семантической сети, когда ни одна активная продукция не может сработать, т.е. достигнуто одно из терминальных состояний. Если при этом системой не найдено решение, тогда такую ситуацию можно охарактеризовать как неудачу системы. В этом, как и в предыдущем случае, перестройка текущего активного набора продукций дает шанс продолжить поиск решения.

Задача правил-мониторов, при идентификации любой из указанных проблем интерпретатором, заключается в формировании сигнального элемента рабочей памяти и, соответственно, инициализации процесса вывода на метапродукционном уровне. Более того, в некоторых случаях, продукции-мониторы могут расширять возможности интерпретатора по идентификации проблем. Например, при отслеживании циклов, мониторы позволяют определять цикличность возникновения не только конкретного состояния сети, но и цикличность появления некоторого класса состояний.

Указанные выше ситуации, возникающие в процессе вывода, можно рассматривать с точ-

ки зрения траектории изменения состояний семантической сети (т.е. формы жизненного цикла моделируемого объекта). Цикл и линейная последовательность формализуют элементарные типы динамического поведения моделируемых объектов. Конфликты позволяют комбинировать эти элементарные типы путем обращения к метапродукционным уровням. Таким образом, метапродукции можно рассматривать как средство для моделирования динамики продукций присущей данной предметной области. Большое количество метапродукционных слоев позволяет моделировать более сложные формы траектории состояний системы.

Приведенный выше анализ причин, требующих метапродукционного вывода, коснулся только лишь их синтаксического аспекта. Теперь рассмотрим ситуации, когда семантика предметной области требует смены текущего набора продукций/метапродукций. Нужно отметить, что появление таких ситуаций наиболее характерно для тех задач, в которых продукции рассматриваются как операторы, изменяющие состояние предметной области. Причины возникновения подобных ситуаций кроются в сложной природе причинных связей и невозможности их полного учета на этапе формирования стратегии достижения цели.

Роль продукций-мониторов в процессе принятия решения заключается в определении ситуаций предметной области, при возникновении которых необходимо изменить текущий тип поведения или стратегию. Продемонстрируем ее на примере принятия решения спортсменом-марафонцем. Итак, пусть имеем интеллектуальную систему, перед которой стоит задача как можно быстрее достичь финишной черты. Процесс выбора стратегии поведения, для этого случая, предельно прост: бежать кратчайшим путем по направлению к цели (т.е. активизировать те продукционные правила, которые формализуют перемещение объекта к намеченной черте). Однако, следование выбранной линии поведения может оказаться невозможным из-за постепенного проявления тех причинно-следственных связей, которые не были учтены при первоначальном выборе способа достижения цели, но которые могут препятствовать ее достижению. Примерами подобных связей могут служить: “бег – быстрая трата энергии – голод – невозможность продолжать марафон”, “бег – усиленное потоотделение – обезвоживание – невозможность продолжать марафон”, “бег – усиленная работа мышц – повышение температуры тела – невозможность продолжать марафон” и т.д. Как действует в этом случае спортсмен-марафонец? Он корректирует свое поведение по ходу решения основной задачи. Если раньше марафонец строго следовал стратегии “бежать кратчайшим путем” и равнодушно пробегал мимо столиков с соками и продуктами расставленными по ходу трассы, то теперь он притормаживает у ближайшего столика, чтобы попить или поесть (т.е. продукционная модель описывающая его поведение должна пополниться правилами касающимися процессов принятия пищи). После того, как все мешающее быстрому достижению цели преодолено, марафонец возвращается к предыдущей модели поведения.

Таким образом, продукции-мониторы реализуют постоянный контроль над процессом решения задачи, отслеживая ситуации, которые препятствуют достижению цели, инициализируя вывод на метапродукциях с целью устранения этих препятствий.

Рассмотрим формальное представление продукций-мониторов. Их условная часть должна включать: 1) описание множества состояний семантической сети, требующих смены текущего набора продукций; 2) текущая оценка процесса вывода. Заключительная часть продукции предназначена для модификации текущей оценки процесса вывода.

Общий вид продукций-мониторов:

$$\text{IF } (S_i \wedge F_i) \text{ THEN } C'_k;$$

$$\text{IF } (S_j \wedge F_j) \text{ THEN } \bar{C}'_m.$$

где условие применимости продукции представлено конъюнкцией некоторого состояния семантической сети ( $S_i, S_j$ ) и текущего состояния процесса вывода ( $F_i, F_j$ ). Первая продукция распознает ситуации, при которых проблема  $C'_k$  возникает, а вторая описывает закон устранения проблемы  $\bar{C}'_m$ .

Отметим отсутствие логической переменной указывающей активность правила. Это связано с принципиальной невозможностью возникновения конфликтных ситуаций между продукциями-мониторами (естественно, речь идет только о синтаксических конфликтах, семантические вполне возможно будут иметь место). Из всей совокупности продукций-мониторов взаимозависимыми заключениями обладают пары продукций, включающие установку или снятие флага идентифицирующего определенный класс проблемы. Однако, условные части таких продукций не могут пересекаться, поскольку, установление флага предполагает его отсутствие на предыдущем шаге вывода, а отключение, соответственно его наличие в предыдущей оценке. Таким образом, возможность появления конфликтов между продукциями-мониторами полностью исключается.

Необходимость в разрешении конфликтов разного рода на этапе вывода присуща всем слоям метапродукционной модели. Следовательно, множество продукций-мониторов также как и семантические метапродукции имеет многоуровневую структуру. Однако разбиение их на слои отличается от метапродукционного. Как уже отмечалось выше, признаками, по которым определится уровень метапродукции, являются природа объектов, стоящих в условной и заключительной частях, принцип применения продукции. Если ориентироваться на такое основание деления, то окажется, что продукции-мониторы принадлежат сразу двум уровням (или можно говорить, что они располагаются “между” двумя уровнями).

**Выводы.** Таким образом, в статье были рассмотрены вопросы, связанные с построением вывода на основе многоуровневых метапродукций. Сделан анализ ситуаций, в которых необходимо метапродукционное вмешательство в процесс вывода. Кратко указаны отличия между синтаксическими и семантическими аспектами противоречий. Дана оценка интервала времени, через который необходимо запускать метапродукционные правила. Предложено использовать особый вид продукционных правил – правила-мониторы.

**Список литературы:**

1. Люгер Дж. Искусственный интеллект: стратеги и методы решения сложных проблем – М.: Изд дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
2. Кихо Д. Создание искусственного интеллекта для игр. – М. Изд. дом «Вильямс», 2015. – 215 с.
3. Попов Э.В. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 2003. – 455 с.
4. Саак А.Э. Информационные технологии управления // А.Э Саак, Е.В. Пахомов, В.Н. Тюшняков. – СПб.: Питер, 2013. – 320 с.
5. Варламов О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство // О. Варламов. – М.: Радио и связь, 2002. – 288 с.
6. Джарратано Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование // Дж. Джарратано, Г. Райли. – М.: ООО Изд. дом «Вильямс», 2007. – 1152 с.
7. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. – М.: Физматлит, 2011. – 296 с.

**Мар'їн С.О.**

Харківська державна академія культури

**ДИНАМІЧНА ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ:  
МОДЕЛЮВАННЯ, МЕТАПРОДУКЦІОННИЙ ВИСНОВОК****Анотація**

У статті розглядаються особливості побудови виведення за допомогою багаторівневих метапродукційних правил. Відзначається, що протиріччя в базі знань – це непереборне якість знань. У статті наводиться можливість частково позбутися від подібної проблеми на базі використання багаторівневих метапродукцій. Стисло досліджено процес застосування метапродукцій, введено нове поняття продукцій-моніторів, проведено аналіз ситуацій, в яких необхідно використання метапродукцій.

**Ключові слова:** продукція, метапродукція, семантична продукція, висновок, узагальнена семантична продукція, підстановлювальний узагальнення, ставлення узагальнення.

**Marin S.A.**

Kharkiv State Academy of Culture

**DYNAMIC SUBJECT AREA: MODELING, METAPRODUCTION CONCLUSION****Summary**

The article deals with the features of constructing output using multi-level meta-production rules. It is noted that the contradictions in the knowledge base are a quality of knowledge. The article gives an opportunity to partially get rid of this problem on the basis of using multilevel meta-products. Briefly, the process of using meta-products was explored, a new concept of monitor products was introduced, an analysis was made of situations in which the use of metaproducts.

**Keywords:** rule, metarule, monitor products, inference, clock frequency of metarule, interpreter, inference mechanism.