

УДК 004.7

С.А. Марьин, Д.Э. Ситников

Харьковская государственная академия культуры, Харьков

## МЕТАПРОДУКЦИОННЫЕ ПРАВИЛА В ПОСТРОЕНИИ СЛОЖНЫХ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается ряд вопросов связанных с построением интеллектуальных систем в условиях окружающей их динамики. Моделирование динамической, постоянно изменяющейся среды осуществляется с помощью клеточных автоматов Конуэя. Исследуется формирование простейших стратегий и описание их средствами семантических продукций. Построение более сложной стратегии на базе нескольких простейших, приводится описание сложной стратегии на основе "безконфликтного" набора метапродукционных правил.

**Ключевые слова:** активный агент, управление стратегиями, эволюция системы, активный набор продукций, метапродукции, база знаний.

### Введение

В реально существующем мире практически невозможно встретить неизменяющиеся, полностью стабильные предметные области. Поэтому большинство подходов или конкретных инструментов предназначенных для моделирования процессов в этих предметных областях также имеют динамическую составляющую или ярко выраженную собственную, динамическую природу. Если динамическая составляющая отсутствует, тогда осуществляются попытки преобразования давно и достаточно успешно применяющихся стабильных моделей представления знаний в динамические. В частности, это затрагивает и хорошо известные классические модели: семантические сети, продукционные модели, алгебры логики и т.д.

Следует отметить, что количество существующих подходов к построению интеллектуальных систем и их функционированию в условиях динамических предметных областей достаточно велико [1, 2, 5, 7, 8]. В данной статье была выбрана метасемантическая модель построения знаний в динамических предметных областях. Ее преимущества описаны в следующих источниках [3, 4].

**Целью данной статьи** является задача адаптировать систему обычных семантических продукций к функционированию в динамической предметной области с помощью использования надстройки в виде многоуровневой метапродукционной модели. Подробно рассмотрены ситуации, в которых необходимо формирование, а затем и использование первого уровня метапродукций.

### Основной материал

В качестве объекта динамической области предложено использовать клеточные автоматы, функционирование которых описано в терминах семантических сетей и семантических продукций [4, 6]. Особенности функционирования клеточных ав-

томатов следующие: параллельность, локальность, однородность. Параллельность – обновления всех клеток происходят независимо друг от друга. Локальность – новое состояние клетки зависит только от старого состояния клетки и её окрестности. Однородность – все клетки обновляются по одним и тем же правилам [6].

Динамика развития системы из шести объектов под воздействием только лишь законов мира представлена на рис. 1. Без вмешательства активного агента система не развивается и быстро погибает.

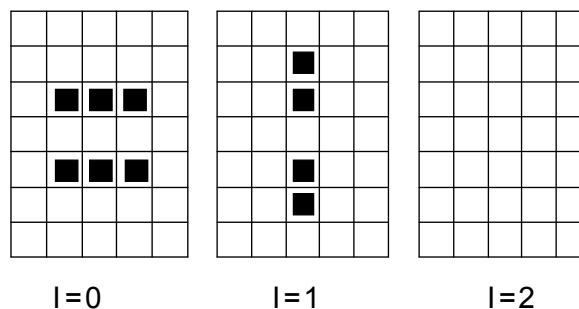


Рис. 1. Эволюция системы под воздействием только законов среды

Включим в модель принятия решения активного агента, оказывающего воздействие на систему, и имеющего цель – достижение ее определенных характеристик. В этом случае, процесс принятия решения будет протекать по схеме, представленной на рис. 2.

Ограничим возможности активного агента по влиянию на систему операциями “скрытия одного живого соседа” и “подстановкой вторичного соседа, т.е. соседа непосредственного соседа”. На семантической сети это будет выглядеть как виртуальное появление и исчезновение отношений соседства между объектами – своеобразное искривление клеточного пространства. На рис. 3 приведен пример действий активного агента по сохранению свойства объекта  $A_5$  “быть живым”.

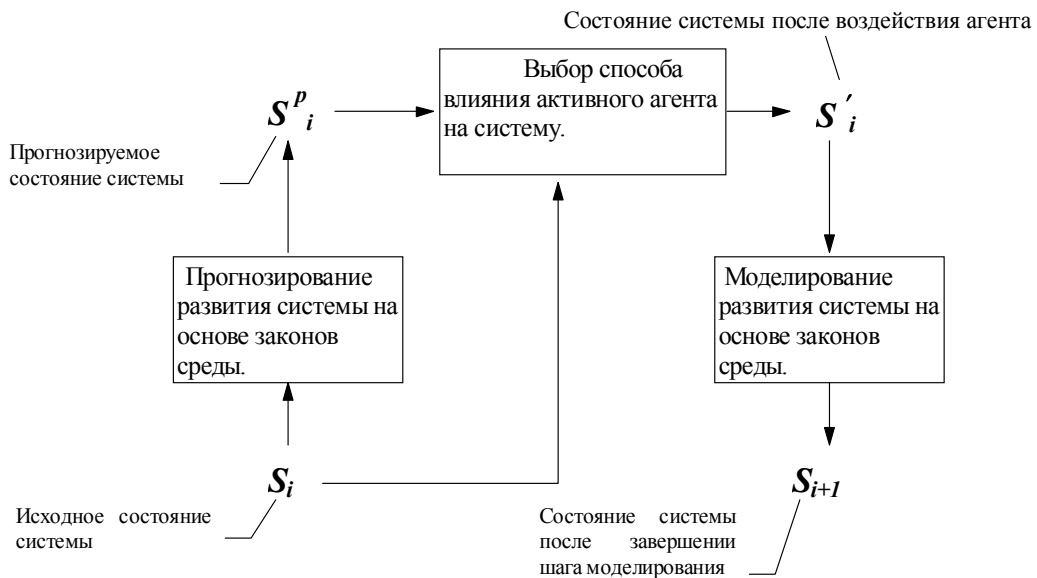


Рис. 2. Схема цикл принятия решения в условиях динамичной внешней среды

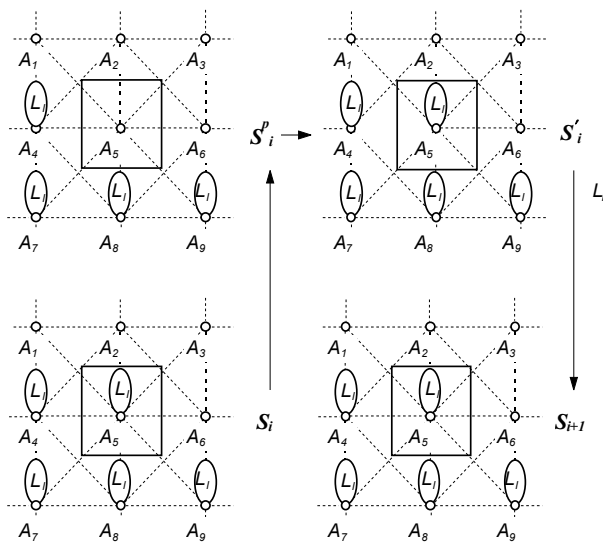


Рис. 3. Пример влияния активного агента на развитие системы

Влияние активного агента на систему, в конечном варианте, можно представить в форме модифицированных с учетом цели агента совокупности законов внешнего мира. Таким образом, информация о динамике среды будет инкапсулирована непосредственно в стратегию действий агента. Очевидно, что при этом несколько утрачивается гибкость модели, поскольку изменение законов существования среды даже при соответствии текущей стратегии поставленной цели приведет к потере валидности выбранной стратегии. Этот недостаток компенсируется многоуровневой архитектурой модели.

Требования к непротиворечивости набора продукций приводит модели классических продукций к необходимости либо ограничиться одним типом стратегии, либо включать в условную часть каждой продукции описание достаточно большого фрагмента клеточного пространства.

Рассмотрим динамику системы при наличии единственной стратегии – стратегии “максимального роста”. Ее содержательное и формальное описание имеет следующий вид:

$$R_1: \text{IF } \left( \bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge P_{18} \wedge \bar{P}_9 \wedge \bigwedge_{i=10}^{11} P_i \wedge \bigwedge_{i=12}^{15} \bar{P}_i \wedge \bigwedge_{i=16}^{17} \bar{P}_i \wedge P_{19} \vee P_{16} \right) \text{ THEN } P_9.$$

“Если есть возможность породить объект, подставив вторичного соседа, тогда установить это дополнительное отношение соседства” и  
 “если есть возможность породить объект, скрыв реального соседа, тогда убрать из сети лишнее отношение соседства”

$$R_2: \text{IF } \left( \bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge P_{18} \wedge P_9 \wedge \bigwedge_{i=11}^{17} \bar{P}_i \wedge \left( (\bar{P}_{10} \vee P_{10} \wedge \bar{P}_{19}) \vee \bigwedge_{i=10}^{14} P_i \right) \text{ THEN } \bar{P}_9.$$

“Если есть возможность сохранить объект, подставив вторичного соседа, тогда установить это дополнительное отношение соседства” и  
 “если есть возможность сохранить объект, скрыв реального соседа, тогда убрать из сети лишнее отношение соседства”.

$$R_3: \text{IF } \left( \bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge \bar{P}_9 \wedge \left( \bigwedge_{i=10}^{14} P_i \vee \bigwedge_{i=12}^{17} \bar{P}_i \wedge (\bar{P}_{10} \vee P_{10} \wedge P_{11} \wedge \bar{P}_{19}) \right) \right) \text{ THEN } \bar{P}_9;$$

$$R_4: \text{IF } \left( \bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge P_9 \wedge P_{18} \wedge P_{10} \wedge \bigwedge_{i=11}^{14} \bar{P}_i \wedge \bigwedge_{i=15}^{17} \bar{P}_i \wedge P_{19} \vee P_{15} \right) \text{ THEN } P_9.$$

Последние два правила описывают ситуации, когда объект не меняет свойства. Результат следования этой стратегии показан на рис. 4.

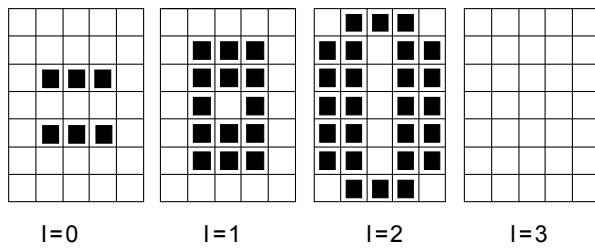


Рис. 4. Эволюция системы при наличии одного типа стратегии

Отсутствие гибкого управления стратегиями приводит к интенсивному, но кратковременному развитию системы, за которым следует крах.

Дополним стратегический арсенал активного агента стратегией “равновесия”. Ее содержательное и формальное описание имеет следующий вид:

$$R_1: IF (\bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge P_{18} \wedge \bar{P}_9 \wedge \bigwedge_{i=10}^{11} P_i \wedge \bigwedge_{i=12}^{17} \bar{P}_i \wedge P_{19}) THEN P_9.$$

“Порождать клетку только если имеется два соседа (занимать мало занятые области пространства)”;

$$R_2: IF (\bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge P_{18} \wedge P_9 \wedge \bigwedge_{i=11}^{17} \bar{P}_i \wedge \bigwedge_{i=10}^{14} (\bar{P}_{10} \vee P_{10} \wedge \bar{P}_{19}) \vee \bigwedge_{i=10}^{14} P_i) THEN \bar{P}_9.$$

“Если есть возможность сохранить объект, подставив вторичного соседа, тогда установить это дополнительное отношение соседства” и “если есть возможность сохранить объект, скрыв реального соседа, тогда убрать из сети лишнее отношение соседства”;

$$R_3: IF (\bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge P_{18} \wedge \bar{P}_9 \wedge (\bigwedge_{i=12}^{17} \bar{P}_i \wedge \bigwedge_{i=10}^{12} (\bar{P}_{10} \vee P_{10} \wedge P_{11} \wedge \bar{P}_{19}) \vee \bigwedge_{i=10}^{12} P_i)) THEN \bar{P}_9.$$

$$R_4: IF (\bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge P_{18} \wedge P_9 \wedge P_{10} \wedge \bigwedge_{i=11}^{14} \bar{P}_i \wedge (\bigwedge_{i=15}^{17} \bar{P}_i \wedge P_{19} \vee P_{15})) THEN P_9.$$

Если сменить стратегию “максимального роста” на стратегию “равновесия”, тогда развитие системы несколько замедлится, однако, будет предотвращена “гибель” от избытка объектов, имеющих свойство “быть живым”. Дальнейшее развитие системы, начиная с I=1 шага, представлено на рис. 5.

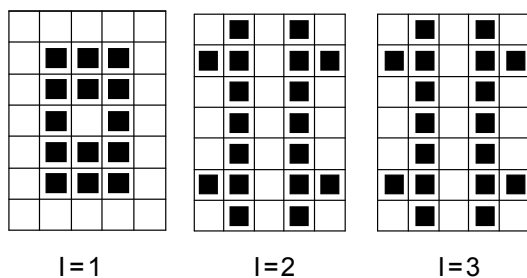


Рис. 5. Эволюция системы под управлением стратегии “равновесия”

Очевидны преимущества совместного использования первой и второй стратегий. Ориентация только на максимальный рост в некоторых случаях приводит к краху. В свою очередь, наличие только стратегии “равновесия” также недостаточно, поскольку существуют такие конфигурации “живых” объектов, развитие которых в соответствии со стратегией “равновесия” нецелесообразно (например, см. рис. 6).

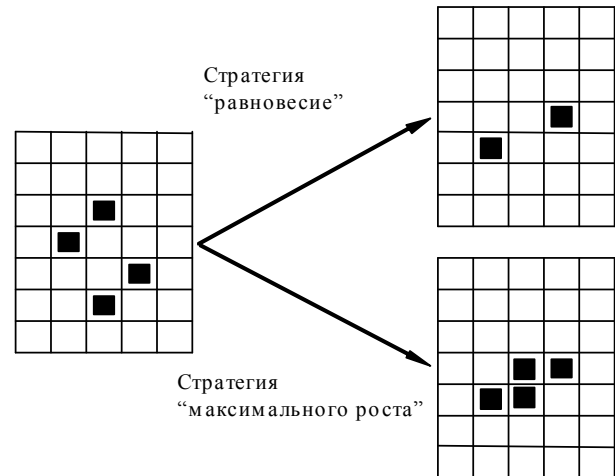


Рис. 6. Зависимость роста системы клеток от выбранной стратегии

Таким образом, наиболее логичным представляется слияние двух стратегий в составе единой продукционной системы. Основная проблема при этом – противоречия между продукционными правилами, описывающими различные стратегии. В нашем случае, в конфликт вступают правила: R<sub>1</sub> (стратегия “максимального роста”) и R<sub>3</sub> (стратегия “равновесия”). Условные части этих правил включают ситуацию:

$$\bigwedge_{i=1}^8 P_i \wedge P_{18} \wedge \bar{P}_9 \wedge \bigwedge_{i=10}^{11} P_i \wedge \bigwedge_{i=12}^{15} \bar{P}_i \wedge P_{16},$$

т.е. когда “мертвый” объект имеет двух или трех “живых” объектов-соседей, а заключительные части содержат противоречивые указания по преобразованию сети: P<sub>9</sub> и  $\bar{P}_9$ . Разрешим эту проблему введением метапродукций и сформируем фрагмент продукционной модели, интегрирующий две стратегии и осуществляющий переход от одной стратегии к другой.

В состав фрагмента входят семантические продукции, относящиеся к описанию стратегий. Поскольку продукции R<sub>1</sub> и R<sub>4</sub> одинаковы для обеих стратегий, включим их в модель один раз. Сквозная нумерация продукции закончится правилом R<sub>6</sub>.

Метапродукции описывают переход от стратегии “максимального роста” к стратегии “равновесия”, т.е.

$$R_1 \wedge R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge \bar{R}_5 \wedge \bar{R}_6 \rightarrow \\ \rightarrow \bar{R}_1 \wedge R_2 \wedge \bar{R}_3 \wedge R_4 \wedge R_5 \wedge R_6.$$

Дополнительная замена правила  $R_3$  на правило  $R_6$  объясняется их взаимным пересечением. В конечном итоге, модель содержит метапродукции:

$$(R'_1, C'_1): \text{IF } (R_1 \wedge R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge \bar{R}_5 \wedge \bar{R}_6) \text{ THEN } \bar{R}_1 ;$$

$$(R'_2, C'_1): \text{IF } (R_1 \wedge R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge \bar{R}_5 \wedge \bar{R}_6) \text{ THEN } \bar{R}_3 ;$$

$$(R'_3, C'_1): \text{IF } (R_1 \wedge R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge \bar{R}_5 \wedge \bar{R}_6) \text{ THEN } R_5 ;$$

$$(R'_4, C'_1): \text{IF } (R_1 \wedge R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge \bar{R}_5 \wedge \bar{R}_6) \text{ THEN } R_6$$

и продукцию-монитор:

$$MR_1: \text{IF } \left( \bigwedge_{i=1}^{14} P(A_{xi}, L_{life}, A_{xi}) \wedge \bar{C}'_1 \right) \text{ THEN } C'_1.$$

Модель начинает функционировать при следующих начальных условиях:

$$S'_0 = R_1 \wedge R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge \bar{R}_5 \wedge \bar{R}_6, F'_0 = \bar{C}'_1 \text{ и } S_0,$$

соответствующих рис 1. Достижение числа “живых” объектов равных 14-ти приводит к срабатыванию продукции-монитора, а затем и метапродукций, которые осуществляют смену стратегии и сформируют новый набор продукции.

Смена активного набора продукции может произойти как при необходимости изменить текущую стратегию, так и под воздействием смены законов предметной области. Сложность динамики изменения тех и других можно редуцировать введением дополнительных метапродукционных уровней [3, 4].

## Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Описание нескольких простейших стратегий функционирования интеллектуальной системы в динамической предметной области, в терминах обычных семантических продукций затруднено из-за сложности описания нескольких, отличающихся друг от друга, переходов из одной и той же ситуации.

2. Использование метапродукционных правил позволяет существенно сократить описание ситуаций в условной части продукционных правил.

3. Многоуровневая структура метапродукций дает возможность описывать стратегии любого уровня сложности. Чем сложнее стратегия, тем большее количество уровней метапродукций должно присутствовать в ее описании.

## Список литературы

1. Гладун В. П. Эвристический поиск в сложных средах / В.П. Гладун. – К.: Наук. думка, 1977. – 166 с.
2. Краснопрошин В.В. Технология построения динамических предметных областей на основе графовых моделей / В.В. Краснопрошин, А.В. Карканица // Штучний інтелект. – 2011. – № 3. – С. 355-362.
3. Марьин С.А. Особенности использования метапродукционных моделей в задачах многоэкспертного вывода / С.А. Марьин, Д. Э. Ситников // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2014. – Вып. 2(118). – С. 99-106.
4. Марьин С.А. Особенности использования семантических продукций для принятия решений в динамических средах / С.А. Марьин, Д. Э. Ситников // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2015. – Вып. 5(130). – С. 145-147.
5. Смирнов А.В. Модели контекстно-управляемых систем поддержки принятия решений в динамических структурированных областях / А.В. Смирнов, Т.В. Левашова, М.П. Пашикин // Труды СПИИРАН. – 2009. – Вып. 9. – С. 116-147.
6. Тоффоли Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тоффоли, Н. Марголус. – М.: Мир, 1991. – 283 с.
7. Федорович О.Е. Агентная имитационная модель управления ресурсами в распределенных динамических средах / О.Е. Федорович, Е.М. Пахнина // Радиоэлектронные компьютерные системы. – 2014. – № 3 (67). – С. 137-144.
8. Taylor W.A. Knowledge Acquisition and Syntesis in a Multiple Source Multiple Domain Process Context / W.A. Taylor, D.H. Weinmann, P.J. Martin // Expert System With Application. – 1995. – Vol. 8, №2. – P. 295-302.

Поступила в редколлегию 18.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## МЕТАПРОДУКЦІЙНІ ПРАВИЛА У ПОБУДОВИ СКЛАДНИХ СТРАТЕГІЙ РОЗВИТКУ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

С.О. Мар'їн, Д.Е. Ситніков

У статті розглядається ряд питань пов'язаних з побудовою інтелектуальних систем в умовах навколишньої динаміки. Моделювання динамічної, постійно змінюється середовища здійснюється за допомогою клітинних автоматів Конуея. Досліджується формування найпростіших стратегій і опис їх засобами семантичних продукцій. Побудова складнішою стратегії на базі декількох простих. У статті приводиться опис складної стратегії на основі "безконфліктного" набору метапродукційних правил.

**Ключові слова:** активний агент, управління стратегіями, еволюція системи, активний набір продукцій, метапродукції, база знань.

## METARULES PRODUCTION IN THE CONSTRUCTION OF COMPLEX STRATEGIES OF DYNAMIC SYSTEMS

S.A. Maryin, D.E. Sitnikov

The article discusses a number of issues related to the construction of intelligent systems in the dynamics environment. Simulation of dynamic, ever-changing environment by using cellular automaton Conway. We study the formation of the simplest strategies and a description of their means semantic rules. Building a more complex strategy based on a few simple. The article describes a complex strategy based on "not contradictory" set of semantic metarules.

**Keywords:** active agent, management strategies, the evolution of the system, an active set of products, metaproducts, the knowledge base.