

УДК 021.8 + 025.1
ББК 78.34

АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ МНОГОАГЕНТНЫХ СЕТЕЙ

Юдицкий С. А.¹

(Учреждение Российской академии наук
Институт проблем управления РАН, Москва)

Предлагается алгебраический аппарат описания ориентированных графов в виде строки символов, дополненной нумерованными вертикальными стрелками (язык слогов), предназначенный для отображения статической составляющей модели многоагентных сетей. Динамическая составляющая модели описывается алгебраическими индикаторными выражениями на основе рекуррентных уравнений (продукционных правил и правил алгебры логики). Введены операции над слогами. Рассматривается индивидуальная и коллективная деятельность агентов в многоагентной сети, в том числе взаимодействия между агентами.

Ключевые слова: многоагентная сеть, индивидуальная и коллективная деятельность агентов, триадная модель агента, слог, операции над слогами, индикаторное выражение, индикаторная логическая формула.

1. Введение

Статья является развитием работ [9, 10] и посвящена применению языка слогов (Статических Линейных Описаний Графов) и индикаторных выражений при моделировании деятельности многоагентных сетей (в дальнейшем именуемых просто сетями), представляющих собой множество взаимосвязанных агентов [2] (субъектов или объектов), в котором:

¹ Семен Абрамович Юдицкий, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИПУ РАН, yuseab@yandex.ru.

- каждый агент сохраняет свою индивидуальность, а именно имеет собственные (индивидуальные) цели, выполняет направленные на достижение этих целей индивидуальные действия, характеризуется индивидуальными показателями;
- связанность агентов заключается в том, что их деятельность может координироваться во времени, и в определенные моменты они могут передавать друг другу ресурсы;
- результатом индивидуальной деятельности агентов является достижение определенных коллективных целей и определенная динамика коллективных показателей.

Задача синтеза сети в общем виде формулируется следующим образом. Известен набор агентов, представленных, например, «модернизированными» триадными структурами [10], отображающими взаимовлияние подструктур индивидуальных целей, действий, показателей (термин «триадный» определяет единство и взаимозависимость трех базовых концептов сети – целей, действий, показателей), и заданы коллективные цели и показатели. Требуется определить, можно ли путем организации связей между агентами создать сеть, в которой наряду с индивидуальными целями достигались бы и желаемые коллективные цели при допустимых значениях индивидуальных и коллективных показателей. Если желаемых целей достичь нельзя, то какие коллективные цели реально достижимы? Аналитическое решение задачи синтеза сети с получением соответствующих необходимых и достаточных условий представляется чрезвычайно трудным и может стать предметом специальной работы. В данной статье автор ограничивается построением модели, позволяющей подбирать параметры сети и проверять эффективность такого подбора с помощью имитационного моделирования.

Триадная модель агента строится в два этапа. Вначале создается статическая составляющая модели в виде двудольных ориентированных графов с вершинами-позициями, соответствующими параметрам агента, и вершинами-переходами, выражающими отношения на множестве параметров (в двудольном

графе дуги могут проводиться только от позиций к переходам и обратно).

Затем формируется динамическая составляющая модели путем «нагружения» переходов графа рекуррентными уравнениями вида $S(\tau + 1) = F(S(\tau), V(\tau))$, где $\tau = 0, 1, \dots, N$ – дискретное время, $S(\tau)$, $V(\tau)$ – состояние агента и внешнее воздействие на него в момент τ соответственно, F – функциональное преобразование (отображение). Символы S , V представляются индикаторными выражениями [10] на основе правил алгебры логики [1, 6], преобразование F отображается формулой ЕСЛИ – ТО (продукцией [4]).

Таким образом, статическая составляющая представляется в графовой форме, а динамическая – в алгебраической, что делает модель агента и сети неоднородной. Кроме того, сложность (а тем самым и наглядность) графового описания экспоненциально возрастает при увеличении его размерности. Следовательно, для моделирования статической составляющей имеет смысл применить алгебраическое описание, линейно зависящее от размерности агентов и сети. В работе для этого введен формальный язык слогов, отображающих ориентированный граф в виде строки, составленной из символов вершин (применительно к двудольному графу – из чередующихся символов позиций и переходов) и нумерованных вертикальных стрелок. Описание структуры показателей базируется на арифметических и алгебраических нотациях (сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень, логарифмирование и т.д.).

Раздел 2 статьи посвящен моделированию статистики много-агентных сетей. Дается пояснение к технике слогов, показано как переходить от слогов к графам и обратно. Введены операции над слогами, позволяющие выполнять их преобразования. В разделе 3 рассматривается моделирование динамики индивидуальной и коллективной деятельности агентов сети на основе индикаторных выражений [10], в том числе путем установления межагентных временных и ресурсных связей.

2. Статическое моделирование сетей на языке слогов

Алгебраическое описание проиллюстрируем на примере сети, состоящей из двух агентов (табл. 1). В строках 1, ..., 4 даны соответственно двудольные слоги для коллективной цели сети, индивидуальных целей агентов, индивидуальных действий агентов и взаимовлияния индивидуальных показателей. В строках 5, 6 приведены арифметические формулы для интегральных показателей агентов и сети в целом.

Таблица 1. Табличная форма статической модели многоагентной сети.

1. Слог для интегральной цели сети	$\downarrow^1 x_1 \downarrow^2 e_1 \uparrow^1 \uparrow^3 x! \downarrow^3 x_2 \uparrow^2$	
2. Слоги для целей агентов	$\downarrow^1 c_1 q_1 \uparrow^1 \downarrow^2 \downarrow^6 c_4 \downarrow^4 q_3 \uparrow^2 \uparrow^5$ $x_1! \downarrow^3 c_2 q_2 \uparrow^3 \uparrow^6! \downarrow^5 c_3 \uparrow^4$	$\downarrow^1 c_5 q_4 \uparrow^1 \downarrow^2 x_2! \downarrow^3 c_6 q_5 \uparrow^2 \uparrow^3$
3. Слоги для действий агентов	$\downarrow^1 d_0 t_1 \uparrow^2 d_1 t_2 d_3 \downarrow^3 \uparrow^4 t_4 \uparrow^1 \downarrow^2$ $d_2 t_3 d_4 \uparrow^3 \downarrow^4 t_5 d_5!$	$\downarrow^1 d_6 t_6 d_7 \uparrow^2 t_7 d_8 t_9 \uparrow^1 \downarrow^2 t_8 d_9!$
4. Слоги взаимовлияния показателей агентов	$\downarrow^1 \downarrow^2 p_1 r_1 p_2 r_2 \downarrow^3 p_3 r_3 \downarrow^4 p_4 r_4 \uparrow$ $\uparrow^1 \uparrow^3 p_5 r_5 \uparrow^2 \uparrow^4$	$\downarrow^1 p_6 r_6 p_7 r_7 \uparrow^1$
5. Структура показателей агентов	$V_1 = p_1 + p_2 + p_3 -$ $- \alpha(p_4 + p_5)$	$V_2 = p_6^2 + p_7^2$
6. Интегральный показатель сети	$V = v_1 + v_2$	

Слог взаимно однозначно отображает ориентированный граф – вершины, дуги, функцию инциденций. Примем, что вершины обозначаются символами из алфавита $A = \{a_i, i = 1, \dots, n\}$. Если из вершины a_i исходят дуги, ведущие в вершины

$a_{j_1}, a_{j_2}, \dots, a_{j_k}$, то первая дуга отображается последовательностью $a_i a_{j_1}$ символов в строке слога, остальные – упорядоченными парами пронумерованных вертикальных стрелок. Стрелки подразделяются на выходные, направленные вверх, и на входные, направленные вниз. Выходная стрелка проставляется справа от символа a_i , входные стрелки – слева от символов a_{j_2}, \dots, a_{j_k} . Пара стрелок, соответствующая одной дуге, нумеруется одинаковыми верхними индексами. Применительно к дуге $a_i a_{j_1}$ стрелки, находящиеся между a_i и a_{j_1} , во внимание не принимаются. Если таких стрелок несколько, то вначале проставляются подряд все выходные стрелки, а затем подряд все входные стрелки. Справа от терминальной вершины, из которой не исходит ни одной дуги, ставится знак «!». Если в слоге расположенные последовательно символы a_i, a_j не должны образовывать дугу на графе, то между ними также ставится знак «!».

Структуру слогов проиллюстрируем на примере формулы целей для агента 1, помещенной в строке 2 в среднем столбце табл. 1. Позиции (цели) c_i чередуются с переходами q_j . Через x_1 обозначена интегральная цель агента 1, являющаяся терминальной позицией слога. Следование символа q_1 непосредственно за c_1 отображает дугу $c_1 q_1$, пара стрелок с номером 1 – дугу $q_1 c_1$. В позицию c_4 ведут входные стрелки 2 и 6, стрелки с аналогичным номером выходят соответственно из переходов q_3, q_2 . Следовательно, слог отображает дуги $q_3 c_4, q_2 c_4$. В слоге вслед за переходом q_1 следует позиция c_4 (с точностью до разделяющих их стрелок), это говорит о наличии дуги $q_1 c_4$ и т.д. Знак «!» в интервале между q_2 и c_3 запрещает дугу $q_2 c_3$. Условием корректности слога является то, что номер каждой пары «выходная – входная стрелка» должен отличаться от номеров других пар стрелок.

Ввод слога в компьютер удобно выполнять на основе «технологии», позволяющей сократить число перенастроек режима клавиатуры. На первом шаге формируется строка символов (для двудольного слога – позиций и переходов) в виде букв с нижними индексами. На втором шаге расставляются стрелки, на третьем вводятся номера стрелок.

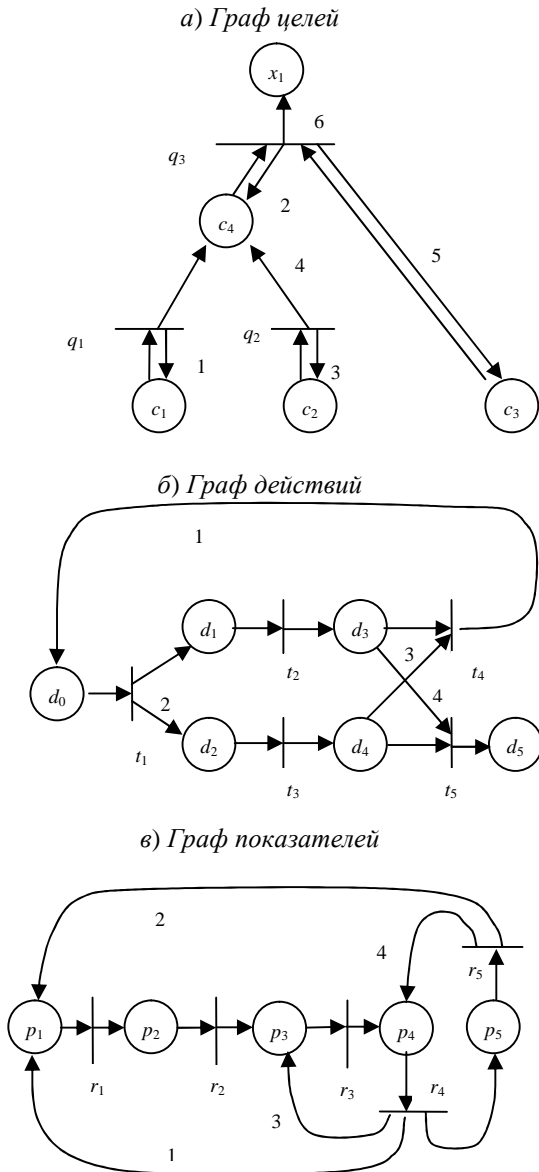


Рис. 1. Статическая составляющая триадной модели агента 1 в форме графов

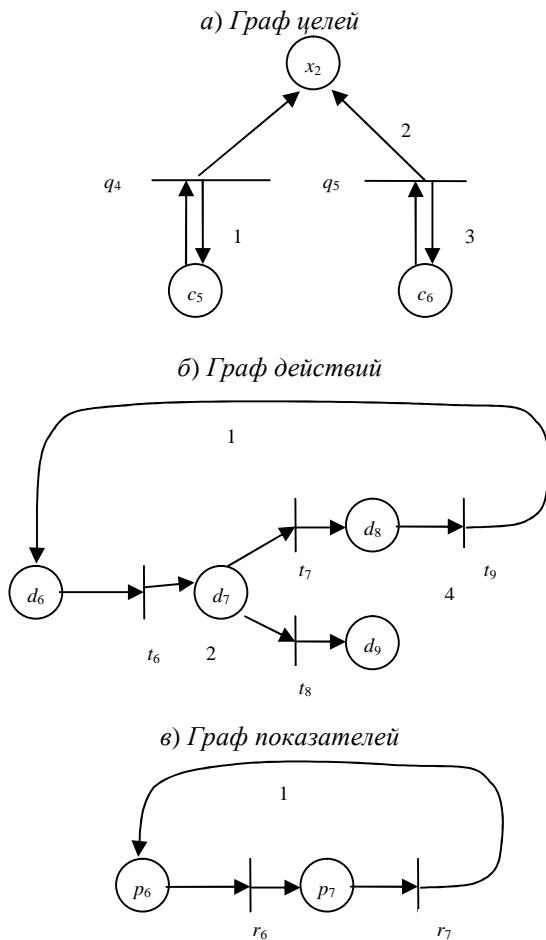


Рис. 2. Статическая составляющая триадной модели агента 2 в форме графов

Рассмотрим представление слогов, приведенных в табл. 1, в форме ориентированных графов. На рис. 1 и рис. 2 даны компоненты триадной модели – графы целей, действий, показателей соответственно для агентов 1 и 2, на рис. 3 показан граф для интегральной цели сети. Дуги этих графов, которые сопоставлены парам стрелок в слого, помечены номерами стрелок. Осталь-

ные дуги (отображают последовательности «позиция – переход» и «переход – позиция» в слоге) в графе не помечаются.

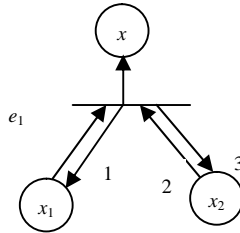


Рис. 3. Граф для интегральной цели многоагентной сети

Над слогами могут выполняться *алгебраические операции*, подобные описанным в [9]. Введем и проиллюстрируем на примерах набор таких операций.

1. *Конкатенация слогов* $S_1 S_2$, где для первого слога задан конечный символ (выделен буквой k в верхнем индексе), а для второго – начальный символ (выделен буквой n). Слоги не содержат совпадающих символов. Операция заключается в приписывании справа к первому слогу второго слога, и введении пары нумерованных стрелок, направленных от конечного символа слога S_1 к начальному символу слога S_2 . Слоги-операнды заключаются в круглые скобки. Пример выполнения конкатенации проиллюстрирован алгебраическим выражением (1), графовая интерпретация результата операции дана на рис 4а. Дуги графа, помеченные цифрами, соответствуют парам стрелок в слоге, непомеченные дуги – последовательному расположению символов. В правую часть соотношения (1) введена дополнительная пара стрелок с номером 5.

$$(1) (\downarrow^2 a_1 \uparrow^1 a_2^k \downarrow^1 a_3 \uparrow^2) (\downarrow^4 a_4^n \uparrow^3 a_5 \downarrow^3 a_6 \uparrow^4) \rightarrow \\ \rightarrow \downarrow^2 a_1 \uparrow^1 a_2 \uparrow^5 \downarrow^1 a_3 \uparrow^2 \downarrow^4 \downarrow^5 a_4 \uparrow^3 a_5 \downarrow^3 a_6 \uparrow^4$$

2. *Выделение подслога с заданным начальным и конечным символом*, в частном случае цикла длины $n > 1$. Слог в правой части (1) с началом и концом, соответственно a_1 и a_4 , содержит, например, подслоги $\{a_1 a_2 a_3 a_4\}$, $\{a_1 a_3 a_4\}$, $\{a_1 a_4\}$.

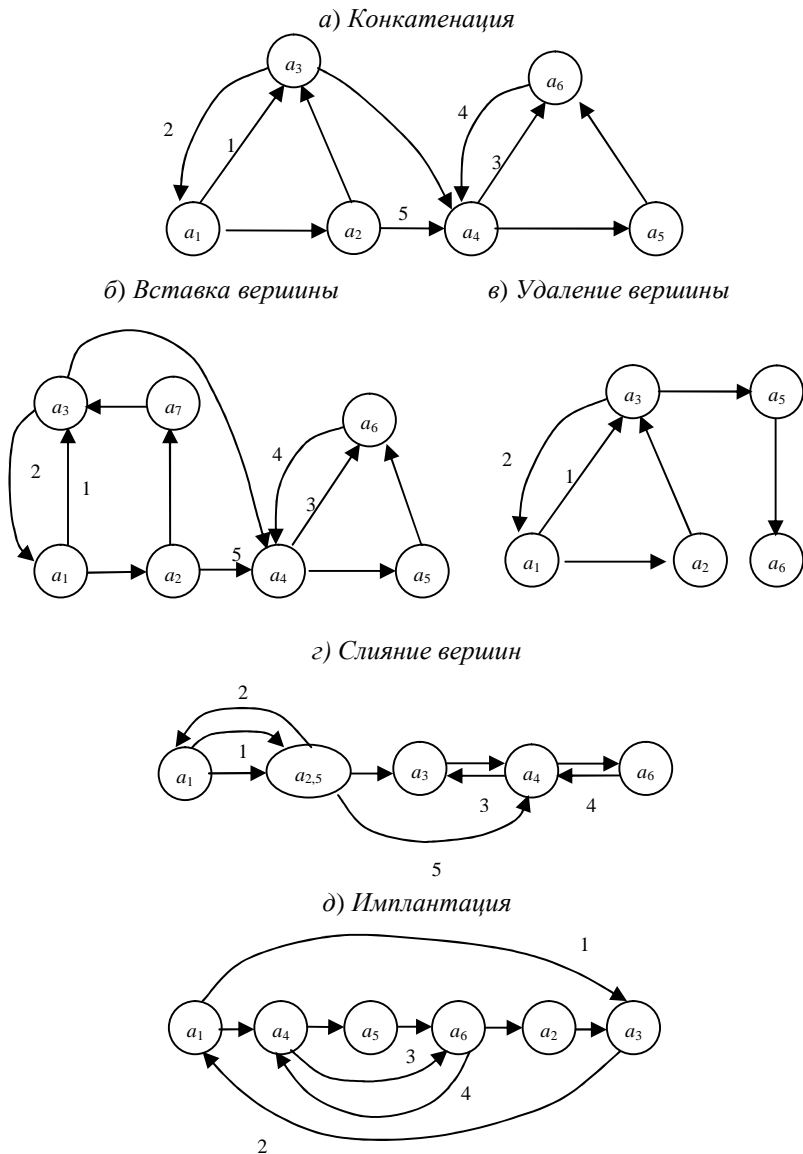


Рис. 4. Графовая интерпретация результатов операций над слогами

3. *Вставка вершины a_k в дугу $a_i a_j$* . Пример: в слове в правой части (1) выделяем подслог $a_2 a_3$, не содержащий знака «!», и в него между первым и вторым символами вставляем a_7 : $\downarrow^2 a_1 \uparrow^1 a_2 \uparrow^5 a_7 \downarrow^1 a_3 \uparrow^2 \downarrow^4 \downarrow^5 a_4 \uparrow^3 a_5 \downarrow^3 a_6 \uparrow^4$ (рис. 4б).

4. *Удаление вершины вместе с ведущими в нее и исходящими из нее парами стрелок*. Пример: в слове в правой части (1) удаляем символ a_4 и три пары стрелок с номерами 3, 4, 5, т.к. непосредственно слева от a_4 проставлены входные стрелки 4, 5, а справа – выходная стрелка 3: $\downarrow^2 a_1 \uparrow^1 a_2 \downarrow^1 a_3 \uparrow^2 a_5 a_6$ (рис. 4в).

5. *Слияние пары вершин $a_i, a_j \rightarrow a_{i,j}$* . Символ a_i заменяем символом $a_{i,j}$, а символ a_j удаляем. Непосредственно слева от $a_{i,j}$ дополнительно вставляем входные стрелки для a_j , а справа – выходные стрелки для a_j . В рассматриваемом примере слияние вершин a_2 и a_5 порождает слог: $\downarrow^2 a_1 \uparrow^1 a_{2,5} \downarrow^1 \downarrow^3 \uparrow^5 a_3 \uparrow^2 \downarrow^4 \downarrow^5 a_4 \uparrow^3 a_6 \uparrow^4$, которому соответствует граф на рис. 4г.

6. *Имплантация слогов $S_1 \times S_2$* . В слове S_1 косой чертой выделяется «место разреза», в которое вставляется слог S_2 :

$$(2) (\downarrow^2 a_1 \uparrow^1 / a_2 \downarrow^1 a_3 \uparrow^2) \times (\downarrow^4 a_4 \uparrow^3 a_5 \downarrow^3 a_6 \uparrow^4) \rightarrow \\ \rightarrow \downarrow^2 a_1 \uparrow^1 \downarrow^4 a_4 \uparrow^3 a_5 \downarrow^3 a_6 \uparrow^4 a_2 \downarrow^1 a_3 \uparrow^2 \text{ (рис. 4д).}$$

Из описанных выше операций конкатенация и имплантация являются бинарными, остальные – унарными. Приведенные операции – это лишь примеры возможных преобразований над слогами, список которых может быть продолжен.

В заключение раздела 2 выскажем некоторые соображения по развитию языка слогов:

- в статье операции определены на слогах, соответствующих классическим ориентированным графам. Следует модифицировать операции применительно к двудольным слогам (двудольным графам), являющимся основой статической составляющей триадной модели сетевых структур [10];
- оправдано построение операторов, выражаемых суперпозицией операций над слогами, и проведение преобразований с целью упрощения структуры этих операторов.

Указанные вопросы в статье не рассматривались.

3. Динамическое моделирование сетей на языке индикаторных выражений

Динамика сетей определяется динамикой внутреннего поведения агентов и динамикой внешнего поведения - взаимодействий между агентами, а также агентами и внешней средой, на заданном интервале (горизонте) дискретной временной шкалы $\tau = 0, 1, \dots, N$. При этом изменение параметров системы (достижение целей, смена действий, изменение величины показателей) происходит в моменты срабатывания вершин-переходов двудольного графа (слога), а значения параметров в промежутке между срабатыванием переходов фиксируется в вершинах-позициях. Переходы помечаются продуктами – выражениями вида «ЕСЛИ (выполнение условия), ТО (реализация оператора)», где условие и оператор описываются индикаторными логическими формулами – ИЛФ [6, 7]. Индикатором назван двухместный предикат $(x\#y)$, где x, y – числовые переменные, одна из которых может быть константой, интерпретируемые как значение дискретного времени, факт достижения цели либо выполнения действия, балльное значение показателя [3] и т.д., $\#$ – знак сравнения, принадлежащий множеству $\{=, \neq, >, \geq, <, \leq\}$. Продукции такого типа, сопоставленные переходам двудольного графа, далее будем называть индикаторными выражениями и описывать формулами причинно-следственной связи ИЛФ1 \rightarrow ИЛФ2.

Индикатор равен 1, если соотношение $\#$ выполняется, и равен 0, если нет. ИЛФ формируется на базе индикаторов путем применения к ним логических операций конъюнкции, дизъюнкции, отрицания. Переход двудольного графа срабатывает в момент τ , если в соответствующем ему индикаторном выражении ИЛФ1 = 1. В результате в момент $\tau + 1$ будет выполняться соотношение ИЛФ2 = 1, инициирующее реализацию оператора перехода.

Дадим примеры индикаторных выражений для переходов двудольных графов, описывающих компоненты триадной структуры агентов (рис. 1 и рис. 2). Условие ИЛФ1 и оператор ИЛФ2 будем разделять горизонтальной стрелкой.

Выражение для перехода $t4$ графа действий и перехода $r5$ графа показателей агента 1 имеет вид:

$$(3) \quad F(t4): (d3 = 1) \& (d4 = 1) \& (v = 0) \rightarrow \\ \rightarrow (d3 = 0) \& (d4 = 0) \& (d0 = 1),$$

где v – булева переменная, соответствующая внешнему воздействию,

$$(4) \quad \Pi(r5): (p5(\tau) > 7) \rightarrow (p1(\tau + 1) = \\ = p1(\tau) - 1) \& (p4(\tau + 1) = p4(\tau) - 1),$$

где значение показателей представлено функцией дискретного времени τ . Оператор индикаторного выражения (4) при наступлении момента $\tau + 1$ уменьшает на единицу значение показателей $p1, p4$ в момент τ .

Моделирование динамики внутреннего поведения агента на заданном временном горизонте производится на основе индикаторных выражений, отображающих триадную структуру агента, следующим образом:

- последовательно проверяем выполнение условий ИЛФ1 для индикаторных выражений всех переходов графов целей, действий и показателей агента;
- для тех выражений, условия которых выполнены, вычисляем оператор ИЛФ2 и находим значение выходных переменных.

Таким образом, применяется метод имитационного моделирования. Возможны два исхода имитационного эксперимента: либо доходим до конечного момента горизонта моделирования, не встречая нарушений в поведении агента, либо фиксируем нарушения, например:

- «зависание» агента, если выявлен момент, в который не выполняется условие ни для одного перехода;
- противоречивость, если некоторой переменной в один и тот же момент присваиваются разные значения;
- выход переменной за границы допустимого для нее интервала значений.

При обнаружении вышеуказанных, а возможно и иных нарушений в деятельности агентов и сети, производится корректировка триадной модели проекта (управление моделью) на

уровне слогов, графов, индикаторных выражений. Далее цикл «имитационное моделирование – управление» повторяется и т.д.

Перейдем к моделированию динамики внешнего поведения сети, определяемой взаимодействиями между агентами. Как уже говорилось во введении, два агента считаются связанными, если их индивидуальная деятельность координируется во времени и в определенные моменты они могут передавать друг другу ресурсы. Взаимодействие агентов в составе сети будем интерпретировать как проявление их связанности. Два перехода, относящиеся к разным агентам, назовем синхронизированными, если они срабатывают одновременно, и только одновременно (по терминологии [5] находятся в связке). Синхронизированными могут быть переходы графов действий и графов показателей агентов. Для синхронизации переходов соответственно с условиями ИЛФ_{*i*}, ИЛФ_{*j*} надо эти условия в индикаторных выражениях заменить конъюнкцией ИЛФ_{*i*} & ИЛФ_{*j*}. Если в момент срабатывания синхронизированных переходов, принадлежащих разным агентам, от одного из них надо передать другому ресурс *R*, то оператор передающего агента в этот момент вычитает из соответствующей переменной величину *R*, а оператор принимающего агента прибавляет *R*.

Проиллюстрируем взаимодействие агентов на примере. Пусть ресурс $R = 2$ передается от агента 1 при срабатывании перехода 5 (рис. 1), описываемого индикаторным выражением (4), а принимается агентом 2 при срабатывании синхронизированного с *r*5 перехода *r*6 (рис. 2), описываемого выражением:

$$(5) \quad П(r6): (p6(\tau) < 3) \rightarrow (p7(\tau + 1) = p7(\tau) + 1).$$

Выражения (4) и (5) заменяем соответственно на (4*), (5*):

$$(4^*) \quad П(r5): (p5(\tau) > 7) \& (p6(\tau) < 3) \rightarrow$$

$$\rightarrow (p1(\tau + 1) = p1(\tau) - 2) \& (p4(\tau + 1) = p4(\tau) - 2),$$

$$(5^*) \quad П(r6): (p5(\tau) > 7) \& (p6(\tau) < 3) \rightarrow (p7(\tau + 1) = p7(\tau) + 3).$$

Из выражений (4*) и (5*) следует, что при взаимодействии агентов в момент $\tau + 1$ из позиций *p*1 и *p*4 агента 1 изымается по одной единице ресурса, а их сумма (две единицы) вносится в позицию *p*7 агента 2.

4. Заключение

В статье изложен один из возможных подходов к построению «прозрачной» (наглядной) модели многоагентных сетей, предваряющей организацию управления такими системами. Основные идеи подхода в тезисной форме выражаются следующим образом.

1. Разделены статическая и динамическая составляющие модели, представленные обе алгебраическими конструкциями – слогами и индикаторными выражениями. Статическая составляющая является основой динамической составляющей: для каждого перехода задает его входные и выходные позиции.

2. Для описания статической составляющей введен язык слогов (Статических Линейных Описаний Графов), который характеризуется линейной зависимостью численной (балльной) оценки «прозрачности» сети от ее размерности (при графовом представлении такая зависимость экспоненциальна). Следует добавить, что традиционно «барьер сложности» преодолевается путем иерархического описания с ограничением на размерность каждого уровня [10]. Но для реальных сложных сетей и число уровней растет экспоненциально, так что применение языка слогов представляется прагматичным. Кроме того, использование формализма слогов упрощает общение человека с компьютером, в частности ручной ввод информации.

3. Для описания динамической составляющей модели применен язык индикаторных выражений, представляющий собой интеграцию продукционных формализмов [4] и формализмов алгебры логики [1]. Язык обеспечивает:

- применение единого алгебраического способа описания как для статической, так и для динамической составляющей модели (принцип однородности [10]);
- описание продукций в терминах переменных, соответствующих целям, действиям и показателям системы (принцип триадности [8]);
- формирование условия и оператора продукций на базе индикаторных логических формул – ИЛФ;

- описание механизма взаимодействия агентов в многоагентной системе на основе синхронизации переходов в графах и передачи ресурсов от агента к агенту.

4. Перспективы развития сформулированного в работе сло-го-индикаторного подхода связаны, в частности, с разработкой:

- алгебры слогов;
- алгебры индикаторных выражений, включая подалгебру индикаторных логических формул;
- классификатора многоагентных сетей с адаптацией подхода для различных классов таких сетей.

Литература

1. ГИЛЬБЕРТ Д., АККЕРМАН В. *Основы теоретической логики*. М.: URSS, 2010.
2. ГОРОДЕЦКИЙ В.И., ГРУШИНСКИЙ М.С., ХАБАЛОВ А.В. *Многоагентные системы (обзор)* // *Новости искусственного интеллекта*. 1998, №2, С. 64 – 116.
3. КУЗНЕЦОВ О.П., КУЛИНИЧ А.А., МАРКОВСКИЙ А.В. *Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт*. М.: КомКнига, 2006, С. 313 – 344.
4. ПОСПЕЛОВ Д.А. *Ситуационное управление: Теория и практика*. М.: Наука, 1986.
5. ТАЛЬ А.А., ЮДИЦКИЙ С.А. *Иерархия и параллелизм в сетях Петри I,II* // *Автоматика и телемеханика*. 1982, №7, С. 113 – 122, №9, С. 83– 88.
6. ЮДИЦКИЙ С.А., РАДЧЕНКО Е.Г. *Алгебра потокособытий и сети Петри – язык потокового моделирования многоагентных иерархических систем*. // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2004, №9, С. 61 – 66.
7. ЮДИЦКИЙ С.А., ВЛАДИСЛАВЛЕВ П.Н. *Основы предпроектного анализа организационных систем*. М.: Финансы и статистика, 2005.
8. ЮДИЦКИЙ С.А., ВЛАДИСЛАВЛЕВ П.Н., ТОЧ Д.С. *Триадный подход к моделированию систем сетевидного типа*

управления // Управление большими системами, Выпуск 28, 2010, С. 24 – 39.

9. ЮДИЦКИЙ С.А. *Графодинамическое имитационное моделирование развития сетевых структур / Управление большими системами*. Выпуск 33. М.: ИПУ РАН, 2011. С.21 – 34.
10. ЮДИЦКИЙ С.А., ГОРЮНОВА В.В. *Однородная многоуровневая триадная модель развития больших систем на индикаторных сетях*. // подано в журнал «Управление большими системами», 2011.

ALGEBRAIC REPRESENTATION OF MULTIAGENT NETWORK MODEL

Semen Yuditskiy, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (Moscow, Profsoyuznaya st., 65, tel. (495) 339-59-10, yuseab@yandex.ru).

Abstract: An algebraic appliance is suggested which describe oriented graphs as a string of symbols appended with numbered vertical arrows (syllable language). This appliance is intended to represent a static component of a model of multiagent networks. A dynamic component of the model is described with algebraic indicator expressions based on recurrent equations (producing rules and Boolean algebra rules). Syllable operations are introduced. Considered individual and collective functioning of agents in multiagent networks, as well as interaction between agents.

Keywords: multi-agent net, individual and collective functioning of agents, triad model of agent, syllable, syllable operations, indicator expression, indicator logical formula.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Н.Н. Бахтадзе*