



УДК 004.896

### МОДЕЛЬ КООПЕРАЦИИ АГЕНТОВ В СЕМИОТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Кулинич А.А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им.  
В.А. Трапезникова Российской академии наук,  
г. Москва, Россия*

**kulinich@ipu.ru**

В работе рассмотрена модель кооперации агентов, представленных в знаковой среде их функционирования. Предложена модель формального агента с BDI архитектурой, описанная в терминах знаковой среды. Сформулированы условия кооперации агентов в условиях неполноты их знаний о среде функционирования.

**Ключевые слова:** Многоагентная система; знаковая среда функционирования; BDI архитектура; концептуальный каркас; кооперация агентов.

#### Введение

Теоретические основы кооперативного взаимодействия агентов были заложены в 60-е годы прошлого столетия в работе [Цетлин, 1969; Стефанюк и др., 1967; Варшавский и др., 1984]. В основе этих исследований лежит изучение коллективного поведения конечных автоматов, моделирующие агентов с простой реактивной архитектурой, реагирующих на изменение среды, в которой они находятся. С помощью простых реактивных агентов реализуется, как правило, несложное командное поведение агентов – это образование стаи или роя агентов [Карпов, 2014]. Исследуются разнообразные алгоритмы обхода стаей (роем) агентов препятствий, уклонение от столкновения [Павловский, 2002] и т.д. Однако, агенты с реактивной архитектурой могут решать и более сложные задачи, если определены правила их поведения в среде и модели среды их функционирования. Так, например, в работе [Кулинич, 2014] представлена математическая модель командной работы агентов на основе модели поведения людей в малых социальных группах. В рамках этой модели, на основе критериев полезности агентов и взаимного диссонанса, разработаны правила поведения агентов в среде, отражающие закономерности игры в виртуальный футбол, позволяющие моделировать и исследовать командное и эгоистичное поведение агентов.

Для моделирования более сложного и интеллектуального поведения агентов в рамках теории многоагентных систем был предложен ряд теоретических концепций, определяемых как

теории командной работы агентов. Это теория общих намерений [Cohen, 1991] и теория общих планов [Grosz, 1996], ориентированные на BDI (*Belief-Desire-Intention*) архитектуру агентов [Rao, 1995]. В рамках BDI архитектуры описываются «ментальные» состояния агентов в терминах их убеждений (*Belief*), желаний (целей) (*Desire*) и намерений (*Intention*). Задача теорий командной работы заключается в том, чтобы построить методы согласования убеждений, желаний множества агентов, а также их намерений для реализации совместной работы. Такое согласование требует многочисленных коммуникаций между агентами.

Важность коммуникации между агентами при их коллективном решении сложных задач, привело к появлению множества подходов (языков и протоколов коммуникации), основанных на различных принципах. В этих подходах важным элементом, для обеспечения взаимопонимания между агентами являются модели их знаний о предметной области - онтологии. Одинаковые онтологии предметной области у разных агентов позволяет им общаться с помощью знаков, которые, по сути, являются именами понятий их понятийных систем. Знак в онтологии представлен тройкой: имя, смысл, представление (значение) знака. Если у агентов одинаковые онтологии, то при коммуникации достаточно передать агенту только имя знака, которое однозначно определит его смысл, представление и возможную реакцию - действия.

В этой статье исследуются вопросы коммуникации агентов (роботов), которые работают в условиях неопределенности среды их функционирования.

# 1. Знаковая среда функционирования агентов

Обычно, предполагается, что агенты, выполняя некоторую совместную работу, могут общаться не только между собой (искусственными агентами), и с людьми. В этом случае, онтологии искусственных агентов и людей должны совпадать. Однако, в случаях, когда агенты решают задачу автономно, без общения с людьми, язык их коммуникации может быть значительно упрощен, оставаясь при этом достаточно выразительным для решения агентами поставленной задачи. Упростить коммуникации между агентами можно, если сделать допущения о среде функционирования агентов.

Под средой функционирования агентов будем понимать «среду обитания» агентов, которая включает множество агентов и объектов, обладающие определенными свойствами (параметры агентов и объектов), автономностью, реактивностью (способностью реагировать на изменение состояния среды), проактивностью (способностью действовать самостоятельно для достижения своей цели), коммуникабельностью (способностью к общению и совместным действиям для достижения цели).

Дадим формальное определение среды функционирования агентов. Считаем, что среда функционирования включает множество объектов  $B = \{b_j\}$  и агентов  $A = \{a_i\}$  и пусть известны множества свойств  $F = \{f_i\}$  каждого из объектов этой среды. Пусть для каждого свойства каждого объекта или агента известны множество их возможных значений,  $Z = \{Z_i\}$ . Считаем, что множество значений свойства – это упорядоченное множество, т.е.  $Z_i = \{z_{i1}, \dots, z_{iq}\}$ ,  $z_{iq+1} \succ z_{iq}$ ,  $q = 0 \dots n-1$ . Тогда, среду функционирования определим как гиперкуб, полученный прямым произведением множеств значений всех свойств объектов и агентов,  $SF = \times_i Z_i$ .

При таком определении среды функционирования агентов, каждый ее объект и агенты могут быть представлены в виде точек с координатами – значениями их свойств в пространстве  $SF$ , т.е.  $A, B = (z_{1e}, \dots, z_{nq})$ , где  $(z_{1e}, \dots, z_{nq}) \in SF$ .

Состоянием среды функционирования будем называть вектор значений всех свойств объектов среды в некоторый момент времени  $t$ :

$$Z(t) = (z_{1e}, \dots, z_{1q}, \dots, z_{ne}, \dots, z_{nq}). \quad (1)$$

Считаем, что агенты могут изменять значения своих свойств и значения свойств объектов и других агентов, что является проявлением их реактивных и проактивных способностей.

Среду функционирования агентов будем интерпретировать как семантическое пространство, которое считается признаковой моделью знаний. В работе [Кулинич, 2014] было показано, что в семантическом пространстве можно выделить множество подпространств  $\{SS(d^H)\}$ ,  $SS(d^H) \subset SF$ ,

удовлетворяющее свойствам рефлексивности, антисимметричности и транзитивности. Они образуют решетку  $KK = (\{SS(d^H)\}, \cap, \cup)$ , структурирующую это семантическое пространство. Такая структуризация семантического пространства называется качественным концептуальным каркасом онтологии и отражает идеализированную структуру знаний об этой среде [Кулинич, 2014]. Все подпространства  $SS(d^H)$  в данном случае интерпретируются как классы состояний среды функционирования и характеризуются тройкой:  $d^H$  – имя класса;  $SS(d^H)$  – содержание класса и  $V(d^H)$  – объем класса – это множество объектов среды, значения свойств которых попадает в подпространство  $SS(d^H)$ . Мощность множества подпространств, включенных в концептуальный каркас, определится как  $3^N$ , где  $N$  – общее количество всех свойств агентов и объектов среды функционирования.

Известные закономерности среды функционирования могут быть заданы в виде множества правил, связывающих значения свойств разных объектов этой предметной области и могут быть представлены в виде отображения:

$$W: \times_i Z_i \rightarrow \times_i Z_i. \quad (2)$$

Среду функционирования определим кортежем:

$$\langle A \cup B, Z(t), KK \rangle, \quad (3)$$

где  $B$  – множество имен объектов и  $A$  – агентов,  $Z(t)$  – вектор состояний среды функционирования момент времени  $t$ ,  $KK$  – концептуальный каркас среды функционирования.

В работе [Кулинич, 2014] было определено соответствие  $\varphi$  вектора значений  $Z(t)$  и класса состояний среды функционирования, заданных в концептуальном каркасе:

$$\varphi: Z(t) \rightarrow SS(d^H) \subseteq KK, \quad (4)$$

Соответствие (4) позволяет интерпретировать множество векторов  $\{Z(t)\}$ ,  $t \in \{1, \dots, n\}$ , значения которых попадают в подпространство  $SS(d^H)$  как знаковое (понятийное) состояние среды функционирования.

Под знаком в этом случае понимается тройка:  $(d^H, SS(d^H), V(d^H))$ , где  $d^H$  – имя класса состояний;  $SS(d^H)$  – содержание класса (определяет подпространство среды функционирования  $SS(d^H) \subseteq \{SS(d^H)\}$ ) и  $V(d^H) = \{a_i, b_j\}$ ,  $a_i \in A$ ,  $b_j \in B$ , – объем класса – это множество объектов и агентов значения признаков, которых принадлежат подпространству  $SS(d^H)$ .

Состоянием среды функционирования агентов в терминах знаков концептуального каркаса среды функционирования будем называть вектор имен классов состояний концептуального каркаса, к

которым принадлежат значения свойств объектов и агентов ( $A \cup B$ ):

$$SF(t)=(d_1^H; d_2^H; \dots; d_n^H), H=1, \dots, 3^N. \quad (5)$$

Например, имя класса  $d_1^l$  в позиции первого агента однозначно определяет, содержание класса - подпространство  $SS(d^l)$ , и объем  $V(d^l)=a_l$ ,  $a_l \in A$ , агента значения признаков которого принадлежат подпространству  $(z_{1j}, \dots, z_{1q}) \in SS(d^l)$ .

## 2. Знаковая BDI архитектура агентов

В терминах предложенной модели среды функционирования представим элементы *BDI* (*Belief-Desire-Intention*) архитектуры агентов, т.е. их убеждения (знания о среде функционирования), желания (цели) и намерения (действия).

**Убеждения агентов** (*Belief*) – это его знания о среде функционирования, включающие две составляющие. Первая – это знания агента о среде функционирования в виде частично упорядоченного множества классов состояний среды функционирования, которые доступны для этого агента, которые формально представляются в виде:

$$BEL_i = \{SS_i(d^H), \leq\} \subseteq KK^W.$$

Вторая составляющая убеждений – это знания о закономерностях среды функционирования, которые ранее определялись как отображение  $W(2)$ , записанное для векторов значений признаков  $\times Z_i$ .

Это отображение можно переписать в терминах классов состояний среды функционирования с учетом ранее определенного соответствия (4) в следующем виде:

$$W_j^{BEL}: \varphi(\times Z_{ji}) \rightarrow \varphi(\times Z_{ji}), \quad (6)$$

где  $\varphi(\times Z_{ji}) = SS_{ji}(d^H) \in BEL_j$

Отображение (6) может быть представлено множеством правил продукций, отражающих закономерности среды функционирования.

**Цели агентов** (*Desire*) выражаются целевым состоянием среды функционирования в виде вектора  $G_i=(g_{i1}, \dots, g_{in})$ ,  $g_{in} \in Z_i$ . По сути, цель каждого агента – это точка в пространстве *FS* и она может быть охарактеризована классом состояний среды функционирования, к которому эта цель принадлежит. В этом случае цель определяется как знак, т.е. тройкой:  $d^{Gi}$  – имя класса состояний цели;  $SS(d^{Gi})$  – его содержание и  $V(d^{Gi})$  – объем класса цели. Цель каждого агента в этом случае может быть представлена в виде вектора знаков, характеризующих классы состояний среды функционирования, в которых должны находиться агенты или объекты.

$$DES_i=(d_1^{GJ}; d_2^{GJ}; \dots; d_n^{GJ})$$

Например, вектор цели  $DES_j=(d_1^l; d_n^{l0})$  для первого агента означает, что его цель изменить состояние среды так, чтобы сам он находился в классе состояний  $d_1^l$ , со значением свойств в области  $SS(d^l)$ , а агент с номером  $n$  находился бы в классе состояний  $d_n^{l0}$ , со значением свойств в области  $SS(d^{l0})$ . Положения остальных агентов для первого агента не важны.

**Действия агентов** (*Intention*). В приведенном выше определении среды функционирования считается, что агенты способны изменить ее состояние. Напомним, что изменение состояния среды выражается в изменении значений свойств объектов или собственных свойств агентов. Это является проявлением их реактивности и проактивности. Активность агентов возможна, благодаря наличию у них некоторого ресурса  $U_i^R=(u_{i1}^R, \dots, u_{in}^R)$ ,  $u_{in}^R \in Z_i$

В среде функционирования *FS* ресурсы агента, также могут быть представлены в виде множества имен классов состояний среды функционирования:

$$INT_i = \{d_i^{Uj}\},$$

где  $d_i^{Uj}$  – имя класса ресурсов, которое однозначно определяет его содержание  $SS(d_i^{Uj})$  и объем класса ресурсов -  $V(d_i^{Uj})$ .

Таким образом, все элементы *BDI* архитектуры агентов могут быть выражены в терминах среды функционирования, в виде знаков, определяющих классы возможных ее состояний, целей и действий.

## 3. Поведение агента в знаковой среде функционирования

Под поведением агента будем понимать его последовательные действия, направленные на достижение цели. Изменение состояния среды,  $i$ -м агентом осуществляется с учетом его знаний о среде  $W_i$  и может быть выражено системой конечно-разностных уравнений:

$$Z(t+1) = W_i^\circ(Z(t) \cup U_i(t)), \quad (7)$$

где  $\circ$  - правило вывода,  $Z(t+1)$ ,  $Z(t)=(z_1, \dots, z_q)$  – состояние ситуации – это векторы значений признаков в моменты времени  $t$ ,  $U_i(t) \in U_i^R$  – вектор управляющих воздействий в моменты времени  $t$ .

Отметим, что в уравнении (7) состояния ситуации в последовательные моменты времени  $Z(t+1)$ ,  $Z(t)$  записаны в терминах значений свойств агентов и объектов. В случаях если эти значения заданы в виде линейно упорядоченных множеств значений, значительно упрощается процедура вывода, позволяющее получить новое состояние  $Z(t+1)$ . Процедура вывода в этом случае основана на композиции *max-min* или *max-product*.

Для общего случая уравнение (7) может быть переписано в терминах классов состояний среды функционирования в виде отображения:

$$W_j^{BEL} : SF(t) \rightarrow SF(t+1).$$

Уравнение динамики в этом случае может быть задано множеством правил «Если, То».

Считаем, что действия агента, направленные на достижение цели, возможны в рамках его убеждений -  $BEL_i = \{SS_i(d^H), \leq\} \subseteq KK^W$ . Это означает, что множество возможных действий агента  $INT_i(t)$  должны принадлежать упорядоченному множеству его убеждений (знаний), т.е.  $INT_i \subseteq BEL_i$ .

Формально поиск действий для достижения заданного вектора цели  $DES_i$  можно свести к решению уравнения  $G_i = W_i \circ U_i$  относительно управляющих воздействий  $U_i$ , где  $G_i = (g_{i1}, \dots, g_{im})$ , т.е. к решению обратной задачи. Решение обратной задачи запишется в следующем виде:

$$U^* = G_i \circ W_i^{-1}, \quad (8)$$

где  $U^*$  - новые значения свойств среды, позволяющие достичь цели  $G_i$ ,  $\circ$  - процедура обратного вывода. Решение обратной задачи - это множество решений  $U^* = \{U_i\}$ , где  $U_i$  - векторы значений свойств, позволяющие достичь цели.

Для уравнения (8), записанного в терминах значений свойств агентов и объектов, процедуры обратного вывода могут быть основаны на композиции, например, *min-max* или *min-division*.

Учитывая соответствие (4) множество решений может быть представлено в терминах состояний среды функционирования,  $INT_i(t) = \{d_i^{Uj}\}$ , где  $d_i^{Uj} = \varphi(x_i(0) + U_j)$ . Тогда решение обратной задачи перепишем в виде:

$$INT_i^* = DES_i \circ W_j^{BEL}.$$

### 3.1. Возможность самостоятельного достижения цели агентом

Цель любого агента  $DES_i$  формулируется в виде вектора, характеризующего состояние среды функционирования агентов. Критерием возможности достижения агентом собственной цели является существование у агента ресурсов для ее достижения. Считается, что множество решений обратной задачи  $INT_i^*$ , полученные агентом для достижения цели  $DES_i$  и множество его возможных действий  $INT_i$  должно содержать общие элементы. Формально этот критерий можно записать так:  $INT_i^* \cap INT_i \neq \emptyset$ .

**Утверждение 1.** Если пересечение множеств решений обратной задачи и возможных действий агента не пустое множество,  $INT_i^* \cap INT_i \neq \emptyset$ , то цель достижима агентом самостоятельно.

**Следствие 1.** Если все элементы цели агента  $\forall d_i^H$  принадлежат упорядоченному множеству его убеждений  $BEL_i$ , то цель может быть достигнута агентом самостоятельно. Т.е.  $\forall d_i^H \in DES_i | d_i^H \in BEL_i$ .

Действительно, если у агента есть необходимые ресурсы и знания для достижения поставленной цели, то он может эту цель достигнуть.

### 3.2. Возможность достижения цели в кооперации с другими агентами

Интерес представляют случаи, когда в векторе цели  $i$ -о агента есть элементы, не принадлежащие его системе убеждений  $BEL_i$ . В этом случае, цель может быть достигнута при условии кооперации агента с другими агентами среды функционирования. Формально ситуация когда цель некоторого агента не может быть достигнута без кооперации с другими агентами записывается следующим образом:  $\forall d_i^H \in DES_i \& \exists d_i^H \notin BEL_i$ .

Обозначим элементы вектора цели агента  $\forall d_i^H \in DES_i$ , не принадлежащие его системе убеждений как множество  $CS_i = \{d_i^{Hc}\}$ , где  $\forall d_i^{Hc} \in DES_i \& \forall d_i^{Hc} \notin BEL_i$ . Далее в имена классов состояний, включенных в вектор цели агента, но не включенный в его систему убеждений будем добавлять верхний индекс «с». Т.е. если в вектор цели включено имя класса состояний  $d_i^H$ , то это означает, что  $d_i^H \in DES_i \& d_i^H \in BEL_i$ , если же  $d_i^H \in DES_i \& d_i^H \notin BEL_i$ , то в векторе цели оно будет обозначаться именем  $d_i^{Hc}$ .

Рассмотрим условия кооперации агентов:

**Условие 1.** Агент  $j$  считается привлекательным для агента  $i$  для кооперации, если элемент цели  $d_i^{Hc} \notin BEL_i$  этого агента существует в системе убеждений (знаний) агента  $j$ , т.е.  $d_i^{Hc} \in BEL_j$ .

Это условие говорит о том, что для кооперации нужно выбирать агента, который может достичь цели агента, нуждающегося в кооперации. При этом, агент  $j$  может отказаться от кооперации, если цель агента  $i$  ему не интересна.

**Условие 2.** Агент  $j$  считается привлекательным для кооперации для агента  $i$ , если элементы системы убеждений агента  $i$ ,  $d_i^H \in BEL_i$  является также элементами системы убеждений агента  $j$ , т.е.  $d_i^H \in BEL_j$ .

Формально это условие означает, что существует элемент  $d_i^H$ , содержащийся в пересечении систем убеждений этих агентов. Под пересечением здесь понимается поэлементное сравнение элементов систем убеждений агентов  $i$  и  $j$ . Результатом такого является вектор элементы, которого равны 0, если  $d_i^H \neq d_j^H$ , иначе они равны  $d_i^H$ , т.е.  $\exists d_i^H \in BEL_i \cap BEL_j$ .

**Условие 3.** Агент  $j$  и агент  $i$  считаются зависимыми по цели, если агент  $j$  является привлекательным для кооперации для агента  $i$  и агент  $j$  является привлекательным для агента  $i$ , т.е. если  $d_i^{Hc} \in DES_j \& d_j^{Hc} \in DES_i$

Если все три условия выполняются, кооперация агентов становится возможной. Кооперация агентов, рассматриваемая в этой статье,

заключается в изменении агентом  $j$  тех свойств агента  $i$ , которые он сам, в силу ограниченности его системы убеждений изменить не может.

**Допущение 1.** Агент  $j$  может изменить свойства только тех агентов или объектов, которые включены в объем  $V(d_j^H)$  классов состояний его системы убеждений  $BEL_j$ . Т.е.  $\exists(a_i \in A \vee b_j \in B) \in V(d_j^H) | d_j^H \in BEL_j$ .

В связи с этим сформулируем еще одно условие для взаимодействия агентов.

**Условие 4.** Агент  $j$  может изменить свойства агента  $i$ , если агент  $i$  включен в объем одного из возможных классов состояний агента  $j$ , т.е.  $a_i \in V(d_j^H) | d_j^H \in BEL_j$ .

#### 4. Пример

Рассмотрим пример, поясняющий приведенные выше теоретические построения. Пусть есть два агента: *Агент 1* и *Агент 2*, имеющие по два свойства:  $\{X, Y\}$ . Для каждого свойства определено множество значений:  $X=\{x_i\}$ ,  $x_i \in [0,1]$ ;  $Y=\{y_j\}$ ,  $y_j \in [0,1]$ . Тогда каждый агент может быть определен на плоскости  $SF=[0,1] \times [0,1]$  точкой, векторами значений его свойств, т.е. «Агент 1» -  $(x_{1b}, y_{1j})$  и «Агент 2» -  $(x_{2b}, y_{2j})$ , где  $(x_{1b}, y_{1j}); (x_{2b}, y_{2j}) \in SF$ .

На рисунке 1 показана декомпозиция пространства  $SF$  на 9 подпространств, которые могут быть представлены как частично упорядоченное множество в виде концептуального каркаса (решетки)  $KK$ . Каждому подпространству  $SS(d^0), \dots, SS(d^8)$  присвоено имя -  $d^0, \dots, d^8$ , которое обозначает класс состояний среды функционирования. Например, подпространство с именем  $d^0$  определяется как подпространство:  $SS(d^0) = [0,33; 0,66] \times [0,33, 0,66]$ . Если агент 1 или 2 будут иметь значения свойств  $(x_{1b}, y_{1j}) \in SS(d^0)$ , то в этом случае будет определен объем -  $V(d^0) = \{\langle \text{Агент 1} \rangle\}$ . Таким образом в каждой точке среды функционирования определен знак в виде тройки:  $d^0, SS(d^0), V(d^0)$  - имя, содержание и объем.

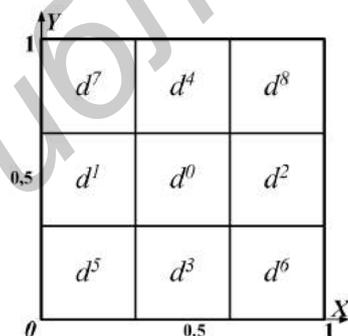


Рисунок 1 – Знаковая среда функционирования

Состояние среды функционирования задано вектором  $Z(t) = ((x_{1b}, y_{1j}); (x_{2b}, y_{2j}))$  или в терминах знаковой среды функционирования:  $SF(t) = (d_1^I, d_2^J)$ ,  $I, J = 1, \dots, 3^N$ ,  $N$ -число факторов.

Опишем теперь каждого агента в терминах его BDI архитектуры. Считаем, что каждый из агентов имеет неполные знания о среде функционирования. Пусть убеждения (знания) агента 1 -  $BEL_1 = \{d^0, d^1, d^2\}$ , а агента 2 -  $BEL_2 = \{d^1, d^5, d^7\}$ . Подпространства среды функционирования, включенные в систему убеждений агентов 1 и 2, показаны на рисунке 2 и затемнены.

Пусть агент 1 находится в подпространстве с именем  $d^0$ ,  $(x_1(0)=0,5, y_1(0)=0,5)$ . Считается, что он может изменить значение только своего свойства  $X$ . В этом случае вектор управляющих воздействий равен:  $U_1^R = (u_{11}^R, u_{12}^R)$ , где  $u_{11}^R = -0,5, u_{12}^R = 0,5$ . Чтобы перейти агенту 1 в позицию  $d^1$  нужно применить действие  $u_{11}^R$ , т.е.  $x_1(t+1) = x_1(0) + u_{11}^R = 0$ , а в позицию  $d^2$  действие  $u_{12}^R$ , т.е.  $x_1(t+1) = x_1(0) + u_{12}^R = 1$ . Чтобы остаться агенту в позиции  $d^0$ , он не должен предпринимать никаких действий, т.е.  $u_{10}^R = 0$ . Множество возможных действий агента  $U_1(t) = \{-0,5; 0; 0,5\}$  представим в терминах знаков в виде:  $INT_1 = \{d^1, d^0, d^2\}$ . Уравнение динамики агента 1 запишем в виде:  $x_1(t+1) = x_1(0) + (u_{21} \vee u_{22} \vee u_{20})$ .

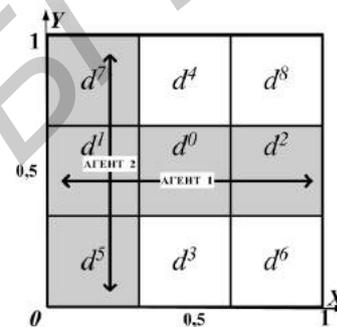


Рисунок 2 – Системы убеждений агентов 1 и 2

Аналогично, для агента 2, находящегося в подпространстве  $d^1$ ,  $(x_2(0)=0, y_2(0)=0,5)$  запишем множество возможных действий - это  $U_2(t) = \{-0,5; 0; 0,5\}$ , или в терминах знаков:  $INT_2 = \{d^1, d^5, d^7\}$ . Уравнение динамики агента 2 запишем в виде:  $y_2(t+1) = y_2(0) + (u_{21} \vee u_{22} \vee u_{20})$ .

Пусть у агента 1 есть цель  $G_1 = (x_1=1,0; y_1=0,5)$ . Эта цель в терминах знака будет выглядеть так:  $DES_1 = (d^2)$ . Поскольку в этом примере значения координаты  $y_1$  для цели и текущего состояния равны,  $y_1 = y_1(0) = 0,5$ , то наши дальнейшие рассуждения касаются только координаты  $x_1$ . Выбор действия агентом 1 для перехода в целевое состояние определяется решением обратной задачи. В этом случае решение уравнения  $u_1^* = G_1 - x_1(0) = 0,5$  дает единственное решение, которое означает, что агенту 1 нужно увеличить свою координату  $x_1$  на 0,5. В этом случае знаковое выражение для этого действия следующее  $INT_1^* = (d^2)$ .

Согласно утверждению и следствию 1 имеем, что  $INT_1^* \cap INT_1 \neq \emptyset = d^2$ , что означает, что агент может достичь этой цели самостоятельно. Аналогично можно описать самостоятельные действия агента 2, позволяющие ему перемещаться в рамках тех подпространств, которые включены в его систему убеждений  $BEL_2$ .

Рассмотрим теперь вопросы кооперации агентов, для достижения целей, не принадлежащих системам их убеждений. При рассмотрении вопросов кооперации агентов, будем считать, что одни агенты могут менять значения некоторых свойств других агентов, разумеется, с их согласия.

Пусть цель агента 1 -  $DES_1=(d_1^5)$ . Для этой цели выполняется условие  $d_1^5 \in DES_1$  &  $d_1^5 \notin BEL_1$ . Это означает, что достичь этой цели агент 1 самостоятельно не может, т.к. он не может самостоятельно изменить свое свойство  $Y$ . Далее мы будем опускать подробности коммуникации между агентами в процессах поиска партнера. Считаем, что у агента 1 есть информация об агенте 2 для того чтобы проверить условия возможной кооперации.

Условие 1 для цели агента 1 и системы убеждений агента 2 выполняется, т.е.  $d_1^{5c} \in BEL_2$ , условие 2 для системы убеждений агента 1 и агента 2 также выполняется, т.е.  $d_1^1 \in BEL_1 \cap BEL_2 \neq \emptyset$ . Это значит, агент 2 привлекателен для кооперации. Условие 3 – условие взаимной полезности будет выполнено, только в случае если цели у агента 2 равна -  $DES_2=(d_2^5)$ . И, наконец, кооперация агентов будет возможна, и агент 2 сможет изменить свойство  $Y$  агента 1, если выполнится условие 4. Для этого необходимо, чтобы агент 1 переместился в позицию  $d_1^1$ , которая была определена при проверке условия 2. Таким образом, если агент 1 переместится в класс состояний  $d_1^1$  и обратится к агенту 2 с просьбой изменить его свойство  $Y$ , то цель агента 1 -  $DES_1=(d_1^5)$  будет достигнута совместными усилиями двух агентов.

## Заключение

В статье рассмотрена формальная модель агентов BDI архитектурой в терминах знаковой модели среды их функционирования. Сформулированы формальные условия для кооперации агентов.

## Библиографический список

- [Цетлин, 1969] Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. – М.: Наука, 1969. – 316 с.
- [Стефанюк, 1967] Стефанюк В.Л., Цетлин М.Л. О регулировке мощности в коллективе радиостанций // Проблемы передачи информации. – 1967. – Т. 3, №4. – С. 59–67.
- [Варшавский, 1984] Варшавский В.И., Поспелов Д.А. Оркестр играет без дирижера. – М.: Наука 1984. – 208 с.
- [Карпов, 2014] Карпов В.Э. Процедура голосования в однородных коллективах роботов // XIV национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 октября 2014 г., Казань, Россия): Труды конференции. Т.2. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014, – 341 с. 159-167.
- [Павловский, 2002] Павловский В.Е., Кирикова Е.П. Моделирование управляемого адаптивного поведения гомогенной группы роботов // Искусственный интеллект. – 2002. – №4. – С. 596–605.
- [Кулинич, 2014] Кулинич А. А. Модель командного поведения агентов (роботов): когнитивный подход / Управление большими системами. Выпуск 51. М.: ИПУ РАН, 2014. С.174-196.

[Cohen, 1991] Cohen P., Levesque H.J. Teamwork. Nous, 25(4), (1991) Special Issue on Cognitive Science and Artificial Intelligence, P. 487-512.

[Grosz, 1996] Grosz B., Kraus S. Collaborative Plans for Complex Group Actions // Artificial Intelligence. – 1996. – №86. – P. 269–358.

[Rao, 1995] Rao A.S., Georgeff M.P. BDI Agents: From Theory to Practice // Proc. First International Conference on Multi-Agent Systems (ed. V.Lesser). – AAAI Press/The MIT Press, 1995. – P. 312–319.

[Городецкий, 2011] Городецкий В.И. Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов. Обзор (Часть 1, Часть 2) // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – №2, №3 – С. 19–30, С. 34–47.

[Кулинич, 2014] Кулинич А.А. Концептуальные каркасы онтологий слабо структурированных предметных областей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. - № 4. - С. 31-41.

## MODEL OF AGENTS COOPERATION IN THE SEMIOTIC ENVIRONMENT

Kulinich A. A.

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences,  
Russian Academy of Sciences. Russia, Moscow.*

**kulinich@ipu.ru**

The model of the agents' cooperation presented in the sign environment is considered. The model of the formal agent with BDI the architecture, described in terms of the sign environment is offered. Conditions of the agents' cooperation, in the conditions of incompleteness of their knowledge about the sign environment are formulated.

## Introduction

Theories of command work of agents with BDI architecture are considered. It is the theory of the general intentions and the theory of collaborative plans. To simply the agents communications processes it is offered to investigate the agents command work in the sign environment.

## Main Part

The model of the sign environment of agents is offered. In terms of the sign environment the BDI architecture of agents is formulated.

Conditions of independent achievement by agents of the purpose and a condition of achievement of the purpose at cooperation with other agents are considered.

The example of the description of the BDI agents' architecture and an example of teamwork for purpose achievement is resulted.

## Conclusion

In article the formal model of agents with BDI architecture in terms of the sign environment model is considered. Formal conditions for cooperation of agents are formulated.