

# § 2 БАЗЫ ЗНАНИЙ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ, СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Нагоев З.В., Денисенко В.А. ————— ■

## СИНТЕЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТА НА ОСНОВЕ РЕКУРСИВНОЙ КОГНИТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

***Аннотация:** Принципы когнитивной организации интеллектуальных систем тесно связаны с мультиагентным разделением функций в многоклеточном организме. Когнитивные центры, как в мозге человека, так и в искусственной интеллектуальной системе, на наш взгляд, должны представлять собой активные системы, взаимодействующие друг с другом на основе принципов коллективной оптимизации параметров, критичных, в первую очередь, для сохранения целостности всей системы, ее выживаемости. Рассматриваемая в статье концепция и определения также связаны с возможностями перцепции наблюдателя и его порогами чувствительности. Для реализации предложенной формализации была разработана библиотека классов на языке программирования C++, описывающая предложенные в работе конструкции. В работе описана лишь часть разрабатываемой мультиагентной, рекурсивной, когнитивной архитектуры, однако предложенная реализация уже позволяет исследовать простейшие элементы взаимодействия агентов. Разработки направлены на создание самоорганизующихся мультиагентных эмерджентных систем, способных к эмуляции функций психики, целеполаганию и адаптивному целенаправленному поведению на основе семантизации действительности и построения социальных связей.*

***Ключевые слова:** интеллектуальные системы, когнитивная организация, рекурсивная когнитивная архитектура, библиотека классов, семантизация действительности, агент, разумное мышление, семантика, формализация, рекурсивный агент*

### Введение

В работах<sup>1</sup> предложен подход к решению фундаментальной проблемы искусственного

---

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 12-01-00367-а, 13-01-00929-а, 12-07-00744-а*

<sup>1</sup> Нагоев, З.В. Инвариант интеллектуальной фрактальной мультиагентной когнитивной архитектуры / З.В.Нагоев, О.В.Нагоева.// Материалы II Международной конференции «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды», Т. II., 2011 -С. 195-199; Нагоев, З.В. Метод дискретно-динамических частиц в задачах механики деформируемого твердого тела / З.В.Нагоев, М.М.Ошхунов// Известия РАН. Механика твердого тела, №4, М.: Наука, 2011 -С. 155-169

интеллекта (ИИ) - формализации семантики разумного мышления, -с использованием когнитивного моделирования на основе концепции рекурсивной (фрактальной) когнитивной архитектуры и гипотезы об инварианте организационно-функциональной структуры процесса интеллектуального принятия решения на основе когнитивных функций. Эти разработки, как и предложенный в работе<sup>2</sup> метод обучения мультиагентных нейроподобных систем на основе онтонейроморфогенеза, направлены на создание самоорганизующихся мультиагентных эмерджентных систем, способных к эмуляции функций психики, целеполаганию и адаптивному целенаправленному поведению на основе семантизации действительности и построения социальных связей.

Принципы когнитивной организации интеллектуальных систем тесно связаны с мультиагентным разделением функций в многоклеточном организме. Когнитивные центры, как в мозге человека, так и в искусственной интеллектуальной системе, на наш взгляд, должны представлять собой активные системы, взаимодействующие друг с другом на основе принципов коллективной оптимизации параметров, критичных, в первую очередь, для сохранения целостности всей системы, ее выживаемости.

Формальное описание агента должно учитывать, что поведение агента состоит из его действий, которые осуществляются в среде обитания агента и требуют затрат энергии. При этом необходимо помнить, что обмен энергией информацией происходит не только между агентом и внешней средой, но и между внутренними агентами (органами, нейронами) агента верхнего уровня рекурсивной когнитивной архитектуры.

### **Формальное описание структуры рекурсивного агента**

В работе<sup>3</sup> дано рекурсивное определение искусственного интеллекта (ИИ), использующее концепцию интеллектуального наблюдателя, способного к перцепции и синтезу понятий. Рассматриваемые ниже концепция и определения также связаны с возможностями перцепции наблюдателя и его порогами чувствительности. С учетом того, что предложенное нами определение интеллектуальной системы рекурсивно и использует идею наблюдателя как интеллектуальной системы, принимающей решение об интеллектуальности других систем, определим формально те части наблюдателя, которые функционально взаимодействуют с системами, претендующими на интеллектуальность. Это позволит нам понять и формализовать именно те (наряду с другими) свойства таких систем, которые критичны для наблюдателя для классификации данной системы как

---

2 Там же.

3 Там же.

интеллектуальной. В свою очередь, такая формализация этой системы, позволяющая понять ее сущность, даст нам возможность определить «вторую» (оставшуюся) часть наблюдателя – ведь он сам является интеллектуальной системой. Таким образом, мы должны выйти на полностью формальную систему, описывающую и наблюдателя, и интеллектуальную систему. Начнем с формального описания *феноменологии перцепции наблюдателя*  $I_i$ , погруженного в среду  $W$ , так как, на наш взгляд, это – именно та часть наблюдателя, которая непосредственно взаимодействует с внешними по отношению к нему системами, в том числе и с интеллектуальными.

Пусть  $Z^i = \{z_0 = 0, z_1 = 1, \dots, z_k = z_{\max}^i | z_{j+1} = z_j + 1, z_j \in \mathbb{Z}\}, i = 1, \dots, 4$  – множества, элементы которых являются неотрицательными значениями отрезков целочисленных числовых прямых. Определим дискретное *пространство-время наблюдателя* как множество  $\mathbb{Z}^4 = \{Z^1 \times Z^2 \times Z^3 \times Z^4\}$ . Обозначим через  $z_i (z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4})$   $i$ -й элемент множества  $\mathbb{Z}^4$ . Будем называть его также *-точкой в пространстве-времени наблюдателя*, а значения  $z_{ij}$  – *координатами* этой точки.

Назовем *материей*  $O = \{o_1^j, \dots, o_m^j\}$  – множество объектов (*объекты материи, объекты среды*)  $o_i^j (q_{i1}^j, \dots, q_{in}^j) \in Q^n$ , *фиксированных* наблюдателем (*перцептивно значимых* для наблюдателя). Здесь  $q_{ik}^j \in \mathbb{Z}, q_{ik}^j \geq 0$  – *целочисленные неотрицательные свойства* -го объекта  $o_i^j$ , находящегося в  $j$ -м состоянии, которые могут быть зафиксированы наблюдателем, а  $Q^n$  – *пространство свойств объектов*.

Сопоставим каждому значению свойства объекта целочисленное значение *энергии*  $e(q_{ik}^j) = q_{ik}^j \geq 0$ , которая понимается как субъективная (с точки зрения наблюдателя) мера способности объектов и явлений, внешних по отношению к данному объекту  $o_i^j$ , изменять конкретные свойства  $q_{ik}^j$  этого объекта. Мы будем называть эти характеристики также *энергией свойств*. Условно можно считать, что *полная энергия объекта* (или просто *энергия объекта*), рассматриваемого в нашей системе, в отличие от объекта реального мира, связана с работой, которую необходимо совершить для того, чтобы придать объекту те свойства, которыми он обладает. Отсюда, мы имеем возможность связать значения энергии с конкретными свойствами и считать, что *полная энергия объекта*  $o_i^j$  состоит из суммы значений энергии всех его свойств:

$$E(o_i^j) = \sum_{k=1}^n e(q_{ik}^j)$$

*Среда*  $W = \{\mathbb{Z}^4 \times O\}$  (*мир*) воспринимается агентом как множество точек дискретного пространства-времени  $\mathbb{Z}^4$  и множество объектов материи  $O$ , которые могут располагаться

в любой из этих точек. Таким образом, эта среда, представляющая собой множество всевозможных состояний содержащихся в ней объектов, с точки зрения наблюдателя дискретна (а, может быть, как раз с этой точки зрения она континуальна).

Состояние  $j$  объекта  $\sigma_i^j$  в точке (на шаге) дискретного времени  $t$  опишем как:

$$o_{it}^j(z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, t, q_{i1}^j, \dots, q_{im}^j) = o_{it}^j(z_i, \sigma_i^j), \sigma_i^j \in O, z_i \in \mathbb{Z}^4, o_{it}^j \in W$$

Будем считать, что:

$$\forall \sigma_i^j \in O, \exists z_i \in \mathbb{Z}^4, \exists o_{it}^j(z_i, \sigma_i^j) \in W, \exists o_k^h \in O, k \neq i \wedge h \neq j, \exists o_{kt}^h(z_i, \sigma_k^h) \in W$$

Таким образом, каждому состоянию объекта материи всегда соответствует единственная точка в пространстве-времени и она не может соответствовать какому-либо другому объекту. Поэтому будем также называть среду  $W$  множеством *пространства-времени-материи (ПВМ)*, или *пространством состояний объектов*. Использование *дискретной модели ПВМ* в данном случае оправдано тем, что наша задача состоит в описании субъективного восприятия (перцепции) наблюдателя, которое дискретно в силу наличия *порогов чувствительности сенсоров и анализаторов* наблюдателя, с помощью которых он получает данные для восстановления перцептивной картины (модели) внешней среды.

Пусть  $c(o_{it}^j)$  – количество ненулевых значений свойств  $q_{ix}^j > 0$  объекта  $\sigma_i^j$  в точке времени  $t$ . Назовем *элементарным явлением* изменение состояния объекта с течением дискретного времени, шаг которого равен порогу чувствительности наблюдателя по времени:

$$p_1(\sigma_{is}^j) = p_1 \sigma_{is}^j = p_1 = \begin{cases} o_{if}^y, c(o_{it}^j) = c(o_{if}^y) \\ o_{kf}^h, c(o_{it}^j) \neq c(o_{kf}^h) \end{cases}$$

где  $p_1: W \rightarrow W$  – *оператор явления* (или просто *явление*), который начинает действовать в момент времени  $t = s$  изменяет некоторые координаты  $z_{ij}$  объекта  $\sigma_i^j$  и некоторые его свойства  $q_{ix}^j$ , соответственно, меняя значения энергии  $e(q_{ix}^j)$  этих свойств и значение полной энергии объекта  $E(\sigma_i^j)$ . Таким образом, в результате применения явления к объекту, он может увеличить, или уменьшить свою полную энергию за счет соответствующей модификации энергии свойств. В том случае, если полная энергия объекта увеличивается, или уменьшается, будем говорить, что объект, соответственно, *приобретает*, или *теряет энергию*.

Назовем *энергией явления* (или *энергией оператора явления*) (1) величину:

$$\Delta E(p_1) = E(\sigma_i^y) - E(\sigma_i^j)$$

Будем считать, что операторы  $t_s(p_1) = s$  и  $t_f(p_1) = f$  возвращают, соответственно, время начала и время окончания действия оператора.

### Библиотека классов для реализации модели рекурсивного агента

Для реализации предложенной формализации была разработана библиотека классов на языке программирования C++, описывающая предложенные в работе конструкции. Состав библиотеки представлен на рисунке 1.

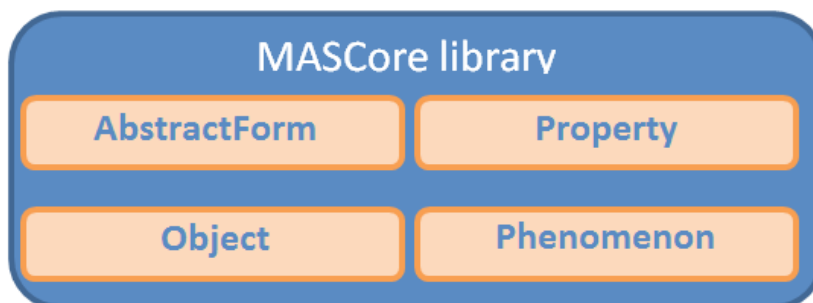


Рис.1 структура библиотеке MASCore

Иерархия классов в библиотеке представлена на рисунке 2.

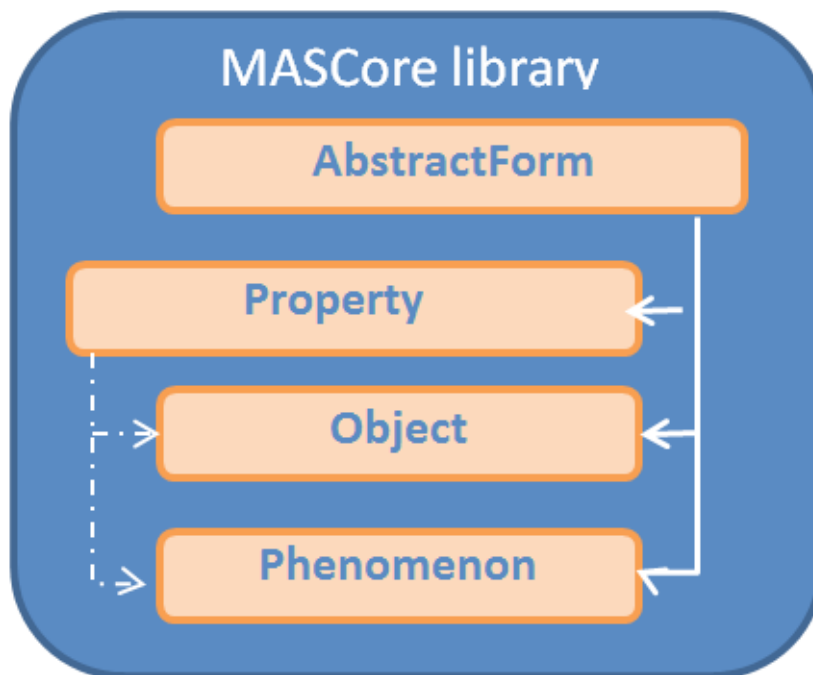


Рис. 2. Иерархия классов в библиотеке MASCore. Сплошная линия – наследование класса, пунктирная линия – использование класса

Разработанная система классов служит основой реализации моделей и методов рекурсивной мультиагентной интеллектуальной обработки информации.

### **Заключение**

В работе описана лишь часть разрабатываемой мультиагентной, рекурсивной, когнитивной архитектуры, однако предложенная реализация уже позволяет исследовать простейшие элементы взаимодействия агентов. В дальнейшем, усилия коллектива разработчиков будут направлены на доработку формального описания системы и ее компьютерной реализации.

### **Библиография:**

1. Нагоев, З. В. Формализация агента для задачи синтеза интеллектуального поведения на основе рекурсивной когнитивной архитектуры. / З. В.Нагоев // – Материалы международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS&IT12, 2-9 сентября, Дивноморское, 2012.
2. Nagoev, Z. V. Multiagent recursive cognitive architecture. / Z. V. Nagoev//– Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012, Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series, Springer, 2012-pp. 247-248.
3. Нагоев, З.В. Инвариант интеллектуальной фрактальной мультиагентной когнитивной архитектуры / З.В.Нагоев, О.В.Нагоева.// Материалы II Международной конференции «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды», Т. II., 2011-С. 195-199.
4. Нагоев, З.В. Метод дискретно-динамических частиц в задачах механики деформируемого твердого тела / З.В.Нагоев, М.М.Ошхунов// Известия РАН. Механика твердого тела, №4, М.: Наука, 2011-С. 155-169
5. Иванов, П.М. Самоорганизующаяся система принятия решений на основе автоматного представления рекурсивной мультиагентной когнитивной архитектуры для систем обволакивающего интеллекта. / П.М.Иванов,З.В.Нагоев// Известия КБНЦ РАН, Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2012, № 5 (49)-С. 30-37.

### **References:**

1. Nagoev, Z. V. Formalizatsiya agenta dlya zadachi sinteza intellektual'nogo povedeniya na osnove rekursivnoi kognitivnoi arkhitektury. / Z. V.Nagoev // – Materialy mezhdunarodnogo kongressa po intellektual'nym sistemam i informatsionnym tekhnologiyam IS&IT12, 2-9 sentyabrya, Divnomorskoe, 2012.

2. Nagoev, Z. V. Multiagent recursive cognitive architecture. / Z. V. Nagoev//– Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012, Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series, Springer, 2012-pp. 247-248.
3. Nagoev, Z.V. Invariant intellektual'noi fraktal'noi mul'tiagentnoi kognitivnoi arkhitektury / Z.V.Nagoev, O.V.Nagoeva.// Materialy II Mezhdunarodnoi konferentsii «Avtomatizatsiya upravleniya i intellektual'nye sistemy i sredy», T. II., 2011-S. 195-199.
4. Nagoev, Z.V. Metod diskretno-dinamicheskikh chastits v zadachakh mekhaniki deformiruемого tverdogo tela / Z.V.Nagoev, M.M.Oshkhunov// Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela, №4, M.: Nauka, 2011-S. 155-169
5. Ivanov, P.M. Samoorganizuyushchayasya sistema prinyatiya reshenii na osnove avtomatnogo predstavleniya rekursivnoi mul'tiagentnoi kognitivnoi arkhitektury dlya sistem obvolakivayushchego intellekta. / P.M.Ivanov,Z.V.Nagoev// Izvestiya KBNTs RAN, Nal'chik: Izdatel'stvo KBNTs RAN, 2012, № 5 (49)-S. 30-37.