

ЗНАК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ МЕХАНИЗМ ЛОКАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ РОБОТАМИ*

// Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. научных трудов VIII-й Международной научно-технической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. Т.2. – М.:Физматлит, 2015. – 388 с. – с. 504-514.

Карпов В.Э., доц., к.т.н.

Московский институт электроники и математики

НИУ ВШЭ

e-mail: karпов_ve@mail.ru

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследования в области языкового взаимодействия в робототехнике можно условно разделить на две основных области. Первая – исторически сложившаяся раньше – это создание языков и средств общения между человеком (оператором) и роботом. Речь здесь идет прежде всего о создании различного рода управляющих, командных интерфейсах. Вторая область – это создание средств общения роботов между собой. Это направление становится все более актуальным по мере роста интереса к системам групповой робототехники. В таких системах успех решения ряда задач требует наличия коммуникационных связей между членами группы роботов.

Подавляющее большинство работ в области межмашинного взаимодействия посвящено организации каналов связи между роботами. Значительно реже рассматриваются сугубо языковые аспекты общения роботов между собой. Например, в [1] представлен язык SWARMORPH-script, который позволяет описывать правила, управляющие процессом создания распределенной формы морфологии (формы) группы роботов. При этом на базе локальной коммуникации между роботами происходит обмен фразами, содержащими идентификаторы требуемых правил движения. Иной подход предложен в [2], где рассматривается задача коммуникации роботов на основе языка мультисигнальных акустических сигналов. В этой работе

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №15-01-07900

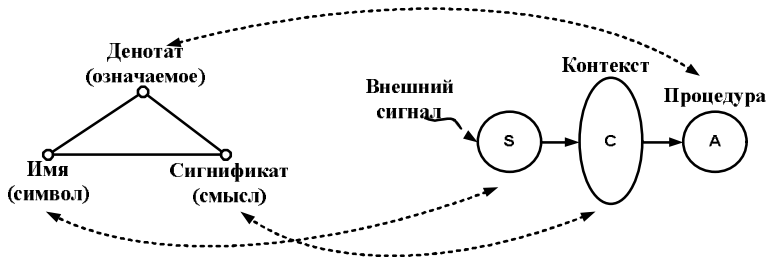
языковые аспекты сводятся к построению формальной модели, в которой каждому символу языка соответствует последовательность акустических мультисигналов.

Иными словами, в основном речь идет о создании командного интерфейса, только отправителем команды является не оператор, а робот. При этом рассматриваются, вообще говоря, задачи создания форматов сообщений и организации коммуникационных каналов. В настоящей работе предлагается иной взгляд на проблему организации языкового общения между роботами. А именно, с точки зрения представления системы управления (СУ) робота, как знаковой системы.

2. ЗНАК И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Будем полагать, что система управления роботом (агентом), построена на основе семантической сети. При этом на базовом, функциональном уровне, семантическая сеть представлена в виде абстрактной нейроподобной системы. Наше основное предположение заключается в том, что такая организация СУ может интерпретироваться как знаковая система и, следовательно, реализовывать процедуры языкового общения.

Интерпретация знака. Рассматривая знак как классическую триаду “имя (символ) – денотат (означаемое) – сигнификат (смысл)” (см., например, [3], [4]), и соотнося его с нейроподобной структурой системы управления, естественным образом формируется механизм языкового восприятия. Имя знака интерпретируется как элемент фразы входного языка, денотатом знака является непосредственно возбуждаемая вершина или множество вершин, а сигнификат может рассматриваться как комплекс вторичных возбуждений, приводящий систему в новое состояние, которое может быть связано, в том числе, с реализацией эффекторных или поведенческих функций. На Рис. 1 представлено схематическое изображение знака (треугольник Фреге) и соответствующего фрагмента сети системы управления.



а)

б)

Рис. 1. а) знак; б) фрагмент сети

Фрагмент сети на Рис. 1, б) имеет следующую интерпретацию. Некий внешний сигнал S , вообще говоря, вызывает реакцию системы – выполнение процедуры A . При этом если между S и A имеется прямая связь, то мы получаем примитивную стимул-реактивную систему, в которой все рассуждения о семантике теряют смысл. Это означает, что между S и A должен существовать некий посредник, который может определять зависимости между стимулами и реакциями системы. Этот посредник и называется контекстом C .

Такая интерпретация описывает устройство низшей семиотической системы. В этой знаковой системе отсутствует образование абстракций и вторичных связей, как у развитых систем. Этого, тем не менее, достаточно для описания простых систем как биологического характера, так и роботов (агентов) с ограниченными когнитивными возможностями. Подобного рода рассуждения носят весьма абстрактный характер, поэтому прежде, чем обратиться к рассмотрению языковых аспектов знак-интерпретируемой системы управления, рассмотрим некоторую более конкретную иллюстративную задачу.

3. МОДЕЛЬНАЯ ЗАДАЧА

Пусть имеется множество агентов или роботов, живущих в некоторой модельной среде и подчиняющихся ряду правил поведения. Среда – это поверхность, на которой располагаются некоторые препятствия для роботов. Кроме препятствий среда содержит “кормовые участки” – области с пищей. При этом важно, что пища произрастает в непосредственной близости от препятствий.

Правила поведения роботов определяются их потребностями и состоянием сенсоров. Роботы стараются держаться подальше от препятствий (потребности в самосохранении и комфорте). Когда робот начинает ощущать чувство голода, он отправляется на поиск пищи к препятствиям, несмотря на то, что робот “не любит” препятствия (сильна потребность в пище). Кроме того, роботы стараются держаться поближе к своим сородичам, а также убегают от населяющих среду “хищников”. Схематически структура системы управления такого робота представлена на **Рис. 2**.

Вершины блока “Потребности” определяют уровень значимости внешних сигналов и влияют на выбор того или иного действия. Вершины блока “Сенсоры” определяют рецепторику робота.

“Вентили” — это слой некоторых промежуточных вершин, определяющих, вообще говоря, механизм реализации эмоциональной составляющей поведения робота. Блок “Действия” — это множество поведенческих процедур робота.

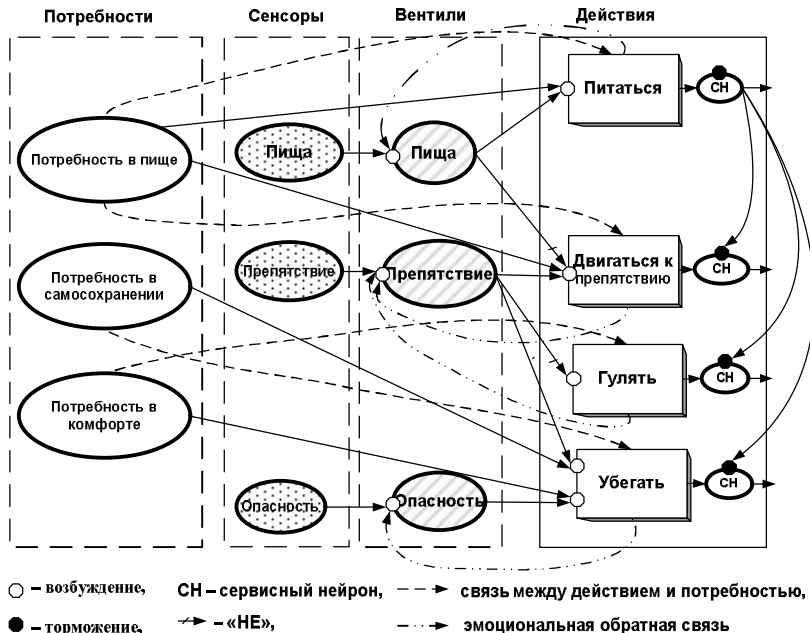


Рис. 2. Структура системы управления

В данной системе предполагается, что на этом уровне управления нас интересуют не элементарные действия, а поведение. Например, процедура “Гулять” подразумевает отработку случайного блуждания, обнаружение “сородича” и движение к нему (стремление держаться вместе). В каком-то смысле можно считать, что элементы блока “Действие” — суть командные нейроны. Считается, что в каждый момент времени робот обрабатывает только одну поведенческую программу. Именно поэтому в систему добавлено множество служебных нейронов СН, ответственных за реализацию процедуры “победитель забирает все”, т.е. оставляющих лишь один активный выход из множества. Внешне поведение робота описывается множеством правил типа $R_n: Cond_1 \wedge \dots \wedge Cond_i (a_n)$

Например, правило “принимать пищу” (питаться) может быть представлено как:

ЕСЛИ "Потребность в пище" (N_{food}) & "Вижу пищу" (S_{food})
ТО "Питаться" (a_{eat})

где N_{food} , S_{food} – коэффициенты уверенности, а a_{eat} — коэффициент заключения правила.

Подробно эта система описана в [5]. Остановимся лишь на “эмоциональной” составляющей, которая будет крайне важна в дальнейшем. В основе эмоциональной компоненты СУ лежит т.н. потребностно-информационная теория эмоций П.В. Симонова [6]. Предполагается, что эмоции являются оценкой текущей потребности (ее качества и ценности) и возможности ее удовлетворения. В общем, качественном виде соотношение этих факторов описывается формулой:

$$E = f(N, p(I_{need}, I_{has})) \quad (1)$$

где E – эмоция, ее величина, качество и знак; N – сила и качество текущей необходимости; $p(I_{need}, I_{has})$ – оценка возможности удовлетворить потребность на базе врожденного и полученного жизненного опыта; I_{need} – информация о способе, необходимом для удовлетворения потребности; I_{has} – информация об имеющихся у субъекта ресурсах.

Интерпретация оценочного выражения (1) может выглядеть так: индивидум оценивает свои текущие потребности I_{need} , или то, что он должен сделать в текущей ситуации (поесть, найти еду, уклониться от препятствия, убежать и т.д.). Затем он оценивает возможности удовлетворения этих потребностей I_{has} . Разность между I_{need} и I_{has} определяет эмоциональную оценку текущей ситуации. С технической стороны эмоции определяют положительную обратную связь в контуре управления. Представим выражение (1) в следующем виде:

$$E = N \times (I_{need} - I_{has}) \quad (2)$$

где E – эмоция, N – сила и качество (по Симонову) текущей необходимости.

Можно оценить все коэффициенты уверенности a_i для всех правил в текущий момент. При этом a_i может интерпретироваться как величина прогнозируемой необходимости действия I_{need}^i . Оценка имеющихся для достижения потребностей средств может быть представлена величиной a_i^{actual} – фактическим коэффициентом правила. Уже говорилось, что робот может производить только одно действие в каждый момент времени. Если робот осуществляет действие a_k (остальные действия подавлены), то

$$a_i^{actual} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = k \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

Таким образом определяются частные эмоциональные оценки для всех действий a_i :

$$E_i = N_i(a_i - a_i^{actual}) \quad (3)$$

Полной оценкой эмоционального состояния робота является сумма

$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$

Если вновь обратиться к **Рис. 2**, то мы увидим, что влияние эмоций на совершение действия реализуется как положительная обратная связь между выходным сигналом (текущее действие) и поведенческими правилами.

4. ЯЗЫК

Интерпретация знака в терминах рассмотренной СУ выглядит так: имя (символ) – регистрируемый внешний сигнал, денотат (означаемое) – запускаемая поведенческая процедура, сигнификат (смысл) – это то, что в структуре СУ представлено вентилем. Именно вентиль определяет то, что мы можем назвать контекстом. Вообще говоря, в нашей системе сигнификат — это комплекс возбуждений/торможений, приводящий систему из одного состояния в другое.

Структура языка. Исследования в области коммуникаций роботов иногда приводят к созданию весьма специфических языков, таких, например, как “звездно-свободный” язык в работе [7] или специальные языковые средства, позволяющие агентам, построенным на базе конечных автоматов, функционировать в сложных средах [8]. Но, повторим, все это относится к описанию формата передаваемых сообщений. Для нашей задачи мы будем использовать предельно простой язык, в котором знаки-слова имеют только одно главное, непосредственное значение. Более того, фразы языка представлены множествами слов-символов, не образующих грамматических структур.

Восприятие языка. В предлагаемой модели вопросы предварительной обработки и анализа фраз не рассматриваются. Предполагается, что множество входных символов непосредственно возбуждает именуемые ими вершины семантической сети (в силу того, что денотат входного символа определяет вершину или множество вершин сети). На Рис. 3 приведен фрагмент СУ.

Пусть внешняя фраза представляет собой множество из одного элемента (символа) “Опасность”. Этот символ воспринимается единственным элементом сети – соответствующей вершиной-вентилем

“Опасность”. Возбуждение вентиля вкуче с наличием соответствующих потребностей приводит к активизации действия “Убегать”. Здесь важно, что восприятие элементов множества символов входной фразы приводит к появлению вторичных, внешних возбуждений. Иными словами, для системы, вообще говоря, важно лишь появление возбужденной вершины, а что привело ее в возбуждение – сенсорный сигнал или фраза – несущественно. На самом деле, обычно в робототехнических системах внешние фразы, как языковые конструкции, представляют собой некую эмуляцию сенсорики робота.

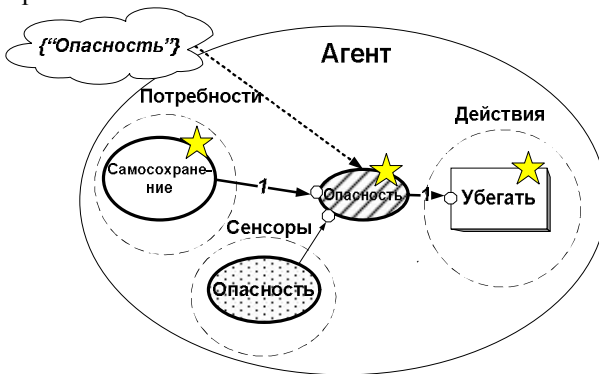


Рис. 3. Восприятие символа агентом

Порождение фраз. В основе механизма порождения фраз агентом лежит предположение, что инициатором генерируемого языкового сообщения является комплекс неудовлетворенных потребностей системы. Иными словами, на базовом уровне система сообщает об имеющихся потребностях, генерируя фразы в виде множества символов, как имен соответствующих вершин-денотатов. В зависимости от сложности семантической сети и уровня абстракции, генерируемые фразы могут отражать различные уровни потребностей и оценки возможностей их удовлетворения. При этом важно, что языковая инициация, определяемая актуальными потребностями агента (робота), непосредственно связана с реализацией эмоциональной компоненты системы управления. На Рис. 4. приведен тот же фрагмент СУ. В силу имеющихся потребностей и сигнала от сенсора, вентиль “Опасность” находится в возбужденном состоянии и является генератором символа “Опасность”.

Здесь существенно, что инициатором является именно вентиль как контекст действия, а не само действие, как могло бы показаться.

Эмоции и речь. Система управления содержит множество вентилей. Будем считать, что выходной символ порождается вентилем, у которого значение частной эмоции (3) минимально (самая большая отрицательная эмоция). Иными словами, система начинает генерировать фразы, связанные с неудовлетворенными потребностями. Это, по крайней мере, не противоречит как интуитивным представлениям, так и наблюдениям этологического характера. Например, в классической этологии рассматриваются “фиксированные моторные координации” (fixed action patterns), которые в сфере коммуникации играют роль ключевых “знаковых стимулов” (sign stimuli). Эти предъявляемые субъектом знаковые стимулы активируют врожденную программу реагирования другой особи-коммуниканта, вызывая у нее соответствующий ситуации и полученному сигналу “фиксированный комплекс действий” [9].

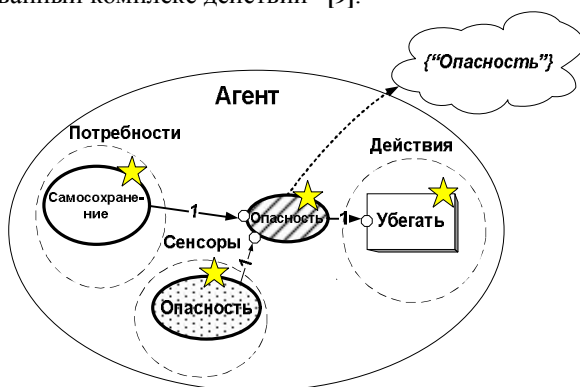


Рис. 4. Генерация символа

5. КОНТАГИОЗНОЕ ПОВЕДЕНИЕ

Определенный таким образом механизм порождения и восприятия фраз позволяет если не объяснить, то, по крайней мере, взглянуть по-новому как на некоторые известные механизмы поведения и коммуникаций в животном мире, так и на некоторые аспекты сугубо технического плана. В качестве примера рассмотрим т.н. *контагиозное поведение*, суть которого заключается в том, что некоторое действие члена группы повторяется другими членами группы, благодаря чему возникает некоторое общее согласованное действие всей группы. Таково действие, например, сигнала тревоги, заставляющего всю группу обратиться в бегство. Иными словами,

контагиозное поведение может рассматриваться как пример более общего феномена подражательного поведения.

Пусть имеется вершина “опасность”, возбуждаемая неким комплексом иных, в т.ч. сенсорных, вершин. Агент-инициатор, получив сигнал опасности, в течение некоторого промежутка времени будет испытывать отрицательные эмоции (в силу цепочки “получен сигнал – надо убежать – опасность еще близка”). Это приведет к тому, что будет сгенерирована (выдана вовне) фраза, содержащая символ “Опасность”. Происходит внешняя инициация вершины “опасность” соответствующих сетей (хотя соответствующие входные сенсорные вершины не возбуждены). Далее возбуждение передается на связанные с вершиной “опасность” элементы, что в конечном итоге приведет к выполнению тех или иных двигательных функций. Эти ситуации приведена на Рис. 5.

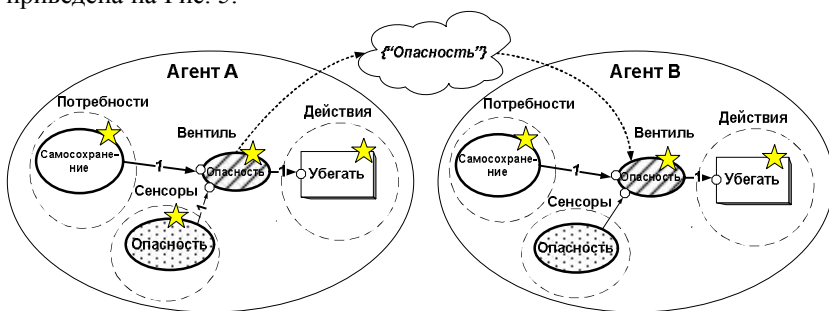


Рис. 5. Генерация и восприятие фразы

Здесь агент-инициатор *A* формирует фразу {“Опасность”}. Фраза воспринимается агентом-реципиентом *B*, при этом у реципиента *B* вентиль “Опасность” возбуждается при отсутствии подтверждающего сигнала от соответствующего сенсора. Далее реципиент *B* выполняет действие “Убегать”. Как видно, при такой языковой организации подражательное поведение формируется самым естественным образом.

За рамками данной работы остались такие важные, аспекты, как **характеристики информационного канала**, среди которых выделяются его *направленность* (локальный характер связи) и *пропускная способность*. Подавляющее большинство моделей групповой робототехники подразумевает именно локальный характер взаимодействия, см., например [10]. В рассмотренной схеме знакорientированной СУ локальность и направленность канала

определяются лишь способами его физической реализации. *Пропускная способность канала* – это более интересный аспект. Рассмотренный принцип организации знак-ориентированной системы позволяет объяснить малую скорость обмена сообщениями (знаками), наблюдаемую в живой природе. Если знак воздействует на вершину-денотат, как некий возбуждающий сигнал, то скорость или частота этого воздействия должна быть соизмерима с медленными процессами распространения возбуждений в семантической (у агентов) или нейронной (у биологических объектов) сети.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был предложен взгляд на систему управления именно как на знаковую систему. Это позволило подойти к проблеме языкового общения между роботами, используя аналогии с общением в животном мире. Однако даже в этологии языковые модели носят весьма ограниченный и противоречивый характер. Та же этология не дает исчерпывающих ответов на вопросы понимания того, что такое коммуникации и даже сигналы. Например, коммуникации у животных – это, согласно [9], длительный процесс континуальной настройки каждого из коммуникантов на поведение партнера. С понятием “сигнал” дело обстоит не лучше. У этологов существует большое разнообразие определений этого термина, [11]. Здесь же под сигналом понимается лишь некое воздействие, осуществляемое на определенные узлы сети вне зависимости от природы этого воздействия, среды, средств коммуникации и проч.

Среди наиболее явных перспектив развития знак-ориентированного подхода к архитектуре СУ следует отметить прежде всего реализацию различного рода моделей социального поведения роботов, основанных на языковом взаимодействии. При этом речь идет о коммуникациях в самом широком смысле, когда передаваемый и воспринимаемый символ представлен сигналом самой различной природы – от акустического воздействия до сигнала-демонстрации.

Литература

1. Christensen, A., Rehan O’Grady, R. & Dorigo M. SWARMORPH-script: a language for arbitrary morphology generation in self-assembling robots. // *Swarm Intell.*, 2008, No 2: pp.143–165.
2. Павловский В.Е., Кирков А.Ю. Тональная мультичастотная акустическая коммуникация роботов // *Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша*. 2013. № 102. 32 с.
3. Степанов Ю. С. Семиотика. -М., НАУКА, 1971. -168с.

4. Поспелов Д.А., Осипов Г.С. Прикладная семиотика //Новости искусственного интеллекта №1, 1999
5. Карпов В. Э. Эмоции и темперамент роботов. Поведенческие аспекты // Известия РАН. Теория и системы управления, 2014, № 5. – с. 126–145.
6. Симонов П.В. Потребностно-информационная теория эмоций // Вопросы психологии. 1982, N 6, с. 44-56.
7. Heinz, J., Rawal, G., & Tanner, H. Tier-based Strictly Local Constraints for Phonology. Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics:shortpapers, pages 58–64, Portland, Oregon, June 19-24, 2011.
8. Fu, J., Tanner H. G., and Heinz J. Adaptive planning in unknown environments using grammatical inference, // IEEE 52nd Annual Conference on Decision and Control, Florence, Italy, Dec. 10-13, 2013
9. Панов Е.Н. Методологические проблемы в изучении коммуникации и социального поведения животных // Проблемы этологии наземных позвоночных. М., ВИНТИ, 1983. С. 5–70.
10. Pugh, J., Skyler Goodell, S. & Stanley, K. Directional Communication in Evolved Multiagent Teams. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2014). New York, NY: ACM
11. Панов Е.Н. Понятие “сигнал” в аспекте коммуникации животных. О чем речь? // Этология и зоопсихология, №2(6), 2012.