

Формальная модель семантики естественно-языковых высказываний

Нагоев З.В.

Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН,
Нальчик, zalnagoev@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – разработка теоретических основ создания систем понимания речи на основе мультиагентных рекурсивных когнитивных архитектур. Разработаны принципы понимания естественно-языковых высказываний на основе самоорганизующихся мультиагентных когнитивных архитектур. Предложено формальное описание семантики естественно-языковых высказываний и процесса понимания этих высказываний на основе самоорганизующихся мультиагентных когнитивных архитектур.

1. Введение

Моделирование семантики естественно-языковых высказываний принадлежит к числу наиболее дискуссионных проблем искусственного интеллекта и, несмотря на свою значимость для теории и приложений в области систем понимания речи (СПР) и диалоговых систем, до настоящего времени не нашла своего разрешения.

Основные трудности здесь, по нашему мнению, связаны с необходимостью формализации семантических оснований мышления как такового. В свою очередь проблема формализации мышления сталкивается с необходимостью моделирования системных оснований интеллекта, агентности, жизни.

Среди многочисленных подходов к моделированию семантики естественного языка – графовых, логических, структурных, фреймовых и др. – наибольший интерес с этой точки зрения представляют методы, совместимые с метафорой проектирования интеллектуального программного агента и мультиагентных систем [10]. Основу моделирования мыслительных процессов агенты могут составить только в составе так называемых когнитивных архитектур. Подход на основе мультиагентных рекурсивных когнитивных архитектур (МуРКА), предлагаемый в данной работе, в общих чертах сформулирован в [8]. Он отличается тем, что с помощью самоорганизации агентов в составе мультиагентной когнитивной архитектуры могут быть построены взаимосвязанные функциональные узлы, реализующие различные когнитивные компоненты мышления и коммуникации. Однако архитектурное сходство с нейроморфологическими ансамблями головного мозга человека само по себе не решает проблему построения системы моделирования когнитивных процессов и рассуждений, способной интерпретировать контексты и смыслы.

Данная работа посвящена поиску основных принципов моделирования семантики мышления в объеме, необходимом для эффективной интерпретации высказываний на естественном языке системами понимания речи, интегрированными в современные системы искусственного интеллекта и робототехнические комплексы.

Предпринимается попытка сформулировать основные системные и архитектурные принципы создания МуРКА, способной к пониманию высказываний пользователя на естественном языке. Строятся формальные модели семантики высказываний на естественном языке и мультиагентные модели понимания.

2. Формальные модели семантики естественно-языковых высказываний и мультиагентные системы

Научная область формализации семантики естественного языка долгое время характеризовалась консерватизмом и низкой динамикой. Наиболее успешные попытки построения формальных моделей высказываний, начиная с хрестоматийной работы Винограда [18,19], сводились к созданию систем понимания речи в ограниченных предметных областях. Ограничения эти, впрочем, касались не только вокабуляра, но и в большей степени – типов семантических отношений, необходимых для описания систем моделирования рассуждений, применимых в этих предметных областях. Феноменологическое разнообразие мышления создавало непреодолимые препятствия для обобщения удачных частных методов. Формализация мышления составляет основной предмет искусственного интеллекта. Методы и подходы здесь характеризуются таким же разнообразием, как и сам этот предмет. В качестве одной из ключевых проблем, однако, мы можем указать так называемую *проблему обоснования символов (symbol grounding problem)*, сущность которой сводится к принципиальной невозможности построить в рамках символической компьютерной системы интерпретацию высказываний на некотором входном языке в несимвольных терминах. То есть, какие бы операции над входными символами мы ни совершали, какие бы атрибутивные грамматики мы при этом ни применяли, на выходе у нас всегда получаются пусть другие, но тоже символы. Проблема эта начала получать свое актуальное разрешение только с переходом к метафоре проектирования на основе рациональных агентов [12].

Агенты, наделенные целевыми функциями, интегрированные в среды, состояние которых отображается на системы их внутренних состояний, размеченных значениями целевых критериев, взаимодействующие друг с другом на основе коммуникативного механизма на базе общего языка, помимо всего прочего предоставляют широкую палитру возможностей для интеграции ранее созданных «классических» формальных моделей семантики естественно-языковых высказываний. Например, идеи структурализма [13] могут быть реализованы на базе парсеров, встроенных в коммуникативные подсистемы агентов. Фрейм-овые модели [6] строятся на основе размещения программных агентов в узлах графа и построения системы отношений между этими узлами на основе протоколов мультиагентных взаимодействий. Теория концептуальных зависимостей [17] могла бы найти приложение на основе создания иерархии концептов, выраженных агентами. Базы знаний, встроенные в агентов, основанные на продукционных правилах, позволяют реализовать самые разнообразные варианты логического анализа и вывода, в том числе на базе комбинации различных видов логик [5]. Модели типа «Смысл-Текст» [3] могут быть реализованы на основе создания деревьев поверхностного синтаксического разбора и глубинной струк-

Формальная модель семантики естественно-языковых высказываний

туры, в узлах которых находятся рациональные агенты. Возможность создания динамической корреляции древовидных поверхностных и глубинных мультиагентных структур создает великолепные предпосылки для реализации теории глубинных падежей Филмора [14]. Мультиагентные модели также прекрасно подходят для создания семиотических комплексов [11], так как каждый агент, представляя собой абстрактный детерминированный автомат, может реализовывать неограниченное количество входных и выходных языков.

Таким образом, к настоящему моменту возникают новые возможности для создания теоретических основ формализации семантики естественно-языковых высказываний на основе интеграции «классических» методов моделирования семантики в рамках парадигмы мультиагентного моделирования. В данной работе предлагается формальную модель семантики строить на основе МуРКА, что, по нашему мнению, позволяет обобщить практически все вышеупомянутые подходы на основе их конструктивного синтеза в единой модели понимания речи.

Актуальность работы определяется необходимостью создания диалоговых систем для решения задач постановки миссий, автономной интерпретации и синтеза высказываний в системах искусственного интеллекта.

3. Проблема понимания

В самом общем смысле феноменологию понимания в психологии принято связывать с процессами интериоризации [7], когда внутренние рефлексивные структуры каким-то образом реализуют отражение действительности, и человек обретает способность выделять взаимосвязанные объекты и явления, формировать из них события и сложные ситуации, устанавливать и анализировать причинно-следственные связи между событиями и ситуациями, представлять, каким образом эти ситуации могут развиваться в будущем, изыскивать способы влияния на эти ситуации. Иными словами, поняв ситуацию, человек получает возможность размышлять над ней. Объектом понимания может быть как вся ситуация в целом, так и любое составляющее эту ситуацию событие, отношение субъекта восприятия к этому событию, возможные последствия этих ситуаций, возможные собственные реакции и т.д. Процессы понимания характеризуются множественностью и разнообразием объектов и форм проявления. В то же время функционал этих процессов характеризуется единством цели – он связан с необходимостью установления взаимосвязей между различными интериоризируемыми феноменами.

Сущность понимания как психологического феномена невозможно определить без учета структуры психики, ее сложносоставного характера. Опираясь на подход к моделированию психики, основанный на мультиагентных когнитивных архитектурах [8], можно выделить следующие принципиально значимые компоненты – когнитивные узлы (рис. 1): *афферентный тракт*, в котором на основе обработки входных потоков неструктурированных данных формируются входные сигнатуры для системы распознавания образов; область *концептуальных агентов* (либо нейронов головного мозга, либо программных рациональных агентов), задачей которых является распознавание входных сигнатур и форми-

рование описания внешней реальности на основе идентификации событий и ситуаций; область так называемых *ментальных агентов*, которые хранят опыт прошлого в форме причинно-следственных отношений между событиями и ситуациями; область *модальных агентов*, ответственных за формирование субъективного восприятия внутренних процессов, происходящих в самой мультиагентной когнитивной архитектуре; область *воображения*, агенты которой отвечают за представление событий и ситуаций в будущем, которое еще не наступило, но которое представляет существенный интерес для целей всей когнитивной архитектуры, так как интеллектуальное принятие решений, по определению, должно быть проактивным, т.е. базироваться на прогнозе [1]; *эфферентный тракт*, обеспечивающий реализацию принятых решений с помощью управления системой эффекторов.

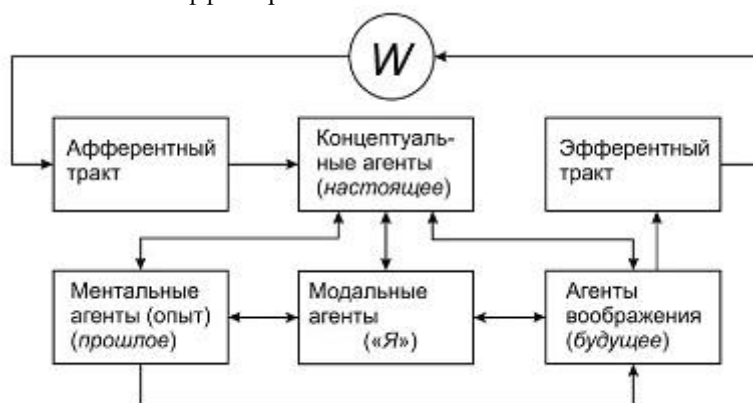


Рис. 1. Минимальный набор функциональных областей когнитивной архитектуры, необходимый для мультиагентного моделирования понимания.

Эти когнитивные узлы взаимодействуют друг с другом при обработке событий и ситуаций во внешней и внутренней средах, реализуя процессы понимания на основе мультиагентного взаимодействия между программными агентами, специфичными для каждой области. Принципиальное значение имеет отсутствие возможности локализации процессов понимания в каком-либо отдельном участке когнитивной архитектуры.

С точки зрения структурно-функциональной организации такой системы интересна не только реализация формирования мультиагентных связей, представляющих собой единичные минимальные объекты понимания, но и интроспективная констатация наличия или отсутствия самого процесса формирования таких связей. Именно для того, чтобы иметь возможности для имитационного моделирования процессов такой констатации, когда мыслящая система «отдает себе отчет» в том, что она понимает или не понимает что-то, мы и предлагаем ввести в структуру системы понимания речи компонент «Я», обозначенный на рис. 1.

Оппозиция «понял»/«не понял» позволяет установить обратную связь интеллектуального робота с постановщиком миссии и имеет принципиальное значение при планировании совместных действий. В данном случае интериоризации подлежит не просто какая-то ситуация, а именно та ситуация, которая уже

Формальная модель семантики естественно-языковых высказываний

интериоризирована в когнитивной архитектуре собеседника. Для того чтобы действовать совместно, собеседники должны некоторым единым образом воспринимать цели, задачи, ограничения и прочие существенные обстоятельства ситуации. Только при выполнении этого условия возможно разделение обязанностей и ответственности – каждый из агентов (люди в коллективах, интеллектуальные агенты или роботы в человеко-машинных командах) может выполнять свою часть общего плана, работая на общий результат [2,4].

Следовательно, принципиальное значение имеет возможность формализации семантики понимания, так как описание таких ситуаций, детерминированное целями постановщика миссий, состоит из взаимосвязанных абстракций, представляющих собой основные семантические конструкторы, применяемые мышлением человека для формирования мыслей. Мультиагентная когнитивная архитектура как раз и представляет собой метафору проектирования, потенциально пригодную для имитационного моделирования такой системы взаимосвязанных абстракций [15,16].

Объектом исследования данной работы является процесс понимания естественноязыковых высказываний. *Предметом исследования* является возможность создания формальных моделей семантики понимания естественноязыковых высказываний с помощью мультиагентных рекурсивных когнитивных архитектур. *Цель исследования* — разработка теоретических основ создания систем понимания речи на основе мультиагентных рекурсивных когнитивных архитектур. *Задача работы* – разработка моделей формального представления семантики естественно-языковых высказываний на основе МуРКА.

4. Мультиагентная рекурсивная когнитивная архитектура

МуРКА как универсальный формализм для описания интеллектуальных систем введена в [8]. В этой работе также описаны основы анализа и мультиагентного моделирования процессов понимания на базе концепции МуРКА. В частности, интеллектуальная система управления автора сообщения (*интеллектон*) $\mathfrak{N}_i^{\triangleright+1}$ упрощенно представлена мультиагентной рекурсивной когнитивной архитектурой, состоящей из т.н. *когнитонов*: распознавания $\mathfrak{N}_{IR}^{\triangleright}$, эмоциональной оценки $\mathfrak{N}_{IE}^{\triangleright}$, потенциалса $\mathfrak{N}_{IP}^{\triangleright}$, целеполагания $\mathfrak{N}_{IG}^{\triangleright}$, синтеза действия $\mathfrak{N}_{IA}^{\triangleright}$ и управления $\mathfrak{N}_{IM}^{\triangleright}$, каждый из которых реализует функционал отдельного узла в когнитивной архитектуре агента $\mathfrak{N}_i^{\triangleright+1} = \{\mathfrak{N}_{IR}^{\triangleright}, \mathfrak{N}_{IE}^{\triangleright}, \mathfrak{N}_{IP}^{\triangleright}, \mathfrak{N}_{IG}^{\triangleright}, \mathfrak{N}_{IA}^{\triangleright}, \mathfrak{N}_{IM}^{\triangleright}\}$. *Когнитон*, как таковой, определяется в [8] как рациональный агент, в составе которого агенты нижних рангов взаимодействуют друг с другом, обменивая энергию на знания. Сущность такого обмена состоит в том, что для реализации своих системных целей агент $\mathfrak{N}_i^{\triangleright-1}$ не всегда имеет в своей базе знаний $KB(\mathfrak{N}_i^{\triangleright-1})$ все необходимые знания для того, чтобы максимизировать свою целевую функцию энергии $Z(\mathfrak{N}_i^{\triangleright-1})$ и приобретает недостающие знания у других агентов в обмен на имеющуюся у него энергию. Энергия в данном случае рассматривается как мера активности агента и представляет собой описательную характеристику,

интерпретируемую в качестве целевой функции агента. Интеллектуальный агент строит свое поведение (последовательность действий) $\alpha_{it_e}^{jkt_e}$ таким образом, чтобы его целевая функция энергии стремилась к максимуму:

$$Z^* \left(\mathfrak{N}_i^{\lceil \cdot \rceil - 1} \right) \xrightarrow{\alpha_{it_e}^{jkt_e}} \max.$$

База знаний агента состоит из *продукций* вида

$$\mathfrak{r}_i^{jk} = \left\langle s_{it_a}^{jt_e} \wedge s_{it_d}^{kt_e}; \alpha_{it_b}^{jkt_e} \right\rangle, \quad t_a \leq t_b \leq t_c \leq t_d \leq t_e \leq t_h,$$

где $s_{it_a}^{jt_e}$ – начальная ситуация, $s_{it_d}^{kt_e}$ – конечная (желательная) ситуации, $\alpha_{it_b}^{jkt_e}$ – действие, которое переводит агента из начальной ситуации в конечную.

Пусть агент $\mathfrak{N}_i^{\lceil \cdot \rceil}$ обладает знанием о своем состоянии $s_{it_e}^{jt_e}$ и отправляет множеству агентов $\{\mathfrak{N}_k^{\lceil \cdot \rceil + 1}\}$ запрос о совместной обработке этого состояния в обмен на энергию $e_k^{j(\lceil \cdot \rceil + 1)}$, которую кто-то из агентов уровня $\lceil \cdot \rceil + 1$ должен предоставить в качестве вознаграждения за возможность обработки ситуации $s_{it_e}^{jt_e} = s_{it_c}^{jt_e} \wedge s_{it_{c+1}}^{jt_{c+1}}$ и возможность приобретения дополнительной энергии из среды. В [9] через

$$\mathfrak{N}_i^{\lceil \cdot \rceil} \rightarrow s_{it_e}^{jt_e} \mid e_k^{j(\lceil \cdot \rceil + 1)*} \leftarrow \left\{ \mathfrak{N}_k^{\lceil \cdot \rceil + 1} \right\} = s_{it_{c+1}}^{j(\lceil \cdot \rceil + 1)t_{c+1}}, \quad e_k^{j(\lceil \cdot \rceil + 1)*} = \max e_k^{j(\lceil \cdot \rceil + 1)} \quad \forall \mathfrak{r}_{kj}^j \quad \forall k$$

обозначается отображение из множества состояний $X = \{s_{it_e}^{jt_e}\}$ агента $\mathfrak{N}_i^{\lceil \cdot \rceil}$ в множество состояний $Y = \bigcup_{k=1}^{n(\lceil \cdot \rceil + 1)} \{s_{it_{c+1}}^{j(\lceil \cdot \rceil + 1)t_{c+1}}\}$, $\forall j, n(\lceil \cdot \rceil + 1) = |\{\mathfrak{N}_k^{\lceil \cdot \rceil + 1}\}|$. Там же вводится буквенное обозначение для такого отображения: $\mathfrak{V}: X \rightarrow Y$; $y = \mathfrak{V}(x)$.

Это отображение в [8] получило название *мультиагентное экзистенциальное отображение* (МАЭО), или *мультиагентная экзистенциальная функция* (МАЭФ), или \mathfrak{V} -*отображение* (\mathfrak{V} -*функция*).

Запись $\{\mathfrak{N}_i^{\lceil \cdot \rceil}\} = \mathfrak{V}(\{\mathfrak{N}_k^{\lceil \cdot \rceil + 1}\})$ означает, что \mathfrak{V} -функция действует между двумя когнитонами агентов. В [8] определение интеллектона в явном виде содержит указание на то, что когнитоны в его составе связаны между собой посредством \mathfrak{V} -функции. С учетом вышеизложенного мы также можем переопределить интеллектон:

$$\mathfrak{N}_i^{\lceil \cdot \rceil + 1} = \left\{ \mathfrak{N}_{iR}^{\lceil \cdot \rceil}, \mathfrak{N}_{iE}^{\lceil \cdot \rceil}, \mathfrak{N}_{iP}^{\lceil \cdot \rceil}, \mathfrak{N}_{iG}^{\lceil \cdot \rceil}, \mathfrak{N}_{iA}^{\lceil \cdot \rceil}, \mathfrak{N}_{iM}^{\lceil \cdot \rceil} \mid \mathfrak{N}_{iR}^{\lceil \cdot \rceil} = \mathfrak{V}_{RE} \left(\mathfrak{N}_{iE}^{\lceil \cdot \rceil} \right), \mathfrak{N}_{iE}^{\lceil \cdot \rceil} = \mathfrak{V}_{EP} \left(\mathfrak{N}_{iP}^{\lceil \cdot \rceil} \right), \right. \\ \left. \mathfrak{N}_{iP}^{\lceil \cdot \rceil} = \mathfrak{V}_{PG} \left(\mathfrak{N}_{iG}^{\lceil \cdot \rceil} \right), \mathfrak{N}_{iG}^{\lceil \cdot \rceil} = \mathfrak{V}_{GA} \left(\mathfrak{N}_{iA}^{\lceil \cdot \rceil} \right), \mathfrak{N}_{iA}^{\lceil \cdot \rceil} = \mathfrak{V}_{AM} \left(\mathfrak{N}_{iM}^{\lceil \cdot \rceil} \right) \right\}$$

С учетом рекурсивности МурКА, можно постановщика задач для систем понимания речи автономным роботам (агентам) считать интеллектоном $\mathfrak{N}_i^{\lceil \cdot \rceil + 1}$, который использует агента $\mathfrak{N}_i^{\lceil \cdot \rceil}$ в качестве подчиненного функционального элемента, которым он может располагать в составе доступных ему узлов общей МурКА. В этом случае мы имеем возможность в явном виде формально описать процессы понимания, являющиеся объектами данного исследования.

5. Формализация семантики высказываний с помощью МуРКА

Исходя из интерпретации понимания в качестве системного механизма структуризации действительности, считаем целесообразным воспроизвести в структуре когнитона распознавания $\mathfrak{N}_{iR}^{\zeta-1}$ категориальную схему частеречности естественного языка. Выделим в когнитоне распознавания $\mathfrak{N}_{iR}^{\zeta-1}$ подмножество агентов $\{\mathfrak{N}_{iRN}^{(\zeta-2)\top}\}$, интерпретируемых в качестве обработчиков (моделей) понятий, реализующих семантику объектности (агент-понятие-объект). Слово «реализует» в данном контексте предполагает: 1) обработку выходных сигналов, порождаемых одним или более сенсорным анализатором интеллектона \mathfrak{N}_i^{ζ} при экстероцепторном контакте с объектом O_x^W внешней среды W данным агентом-понятием-объектом в стиле \mathfrak{V} -отображения; 2) запоминание контекста взаимодействия при экстероцепторном контакте с объектом O_x^W на основе порождения в составе когнитона распознавания $\mathfrak{N}_{iR}^{\zeta-1}$ т.н. ментального агента-объекта $M_{iRN}^{(\zeta-2)\top}$, который будет записан в составе ситуации s_{iR}^{jR} , устанавливающей характер и правила взаимодействия данного ментального агента с ментальными агентами, представляющими другие семантические категории, с целью структуризации и категоризации входных потоков данных и формирования их семантической модели; 3) формирование контрактных связей (двунаправленных \mathfrak{V} -отображений) с этим ментальным агентом $M_{iRN}^{(\zeta-2)(\top+1)}$; 4) актуализацию ранее заключенных контрактных связей с другими ментальными агентами.

Как следует из вышесказанного, для описания внутренних формальных моделей семантики используются агенты двух типов – агенты-понятия и ментальные агенты. По нашей гипотезе, агенты-понятия представляют семантику обобщенной внутренней репрезентации объектов, явлений и признаков, тогда как ментальные агенты представляют собой элементы меморизации конкретных (частных) репрезентаций феноменов реального мира. Связи, которые устанавливаются между этими агентами, основаны на использовании \mathfrak{V} -отображений: $\{\mathfrak{N}_{iRN}^{(\zeta-2)\top}\} = \mathfrak{V}\{M_{iRN}^{(\zeta-2)(\top+1)}\}$. Введем аналогичные множества агенто-понятий-действий $\{\mathfrak{N}_{iRV}^{(\zeta-2)\top}\}$ и ментальных агентов-действий $\{M_{iRV}^{(\zeta-2)(\top+1)}\}$ для описания действий: $\{\mathfrak{N}_{iRV}^{(\zeta-2)\top}\} = \mathfrak{V}\{M_{iRV}^{(\zeta-2)(\top+1)}\}$. Аналогично введем формальное описание агенто-понятий-признаков для описания признаков объектов $\{\mathfrak{N}_{iRAj}^{(\zeta-2)\top}\}$ и ментальных агентов-признаков $\{M_{iRAj}^{(\zeta-2)(\top+1)}\}$ для описания признаков объектов: $\{\mathfrak{N}_{iRAj}^{(\zeta-2)\top}\} = \mathfrak{V}\{M_{iRAj}^{(\zeta-2)(\top+1)}\}$, а также формальное описание агенто-понятий-признаков действия для описания признаков действия $\{\mathfrak{N}_{iRAjv}^{(\zeta-2)\top}\}$ и

ментальных агентов-признаков действия $\{M_{iRA\dot{d}v}^{(\tau-2)(\tau+1)}\}$ для описания признаков действия: $\{\aleph_{iRA\dot{d}v}^{(\tau-2)\tau}\} = \mathfrak{V}\{M_{iRA\dot{d}v}^{(\tau-2)(\tau+1)}\}$. Аналогично могут быть введены агенты-понятия и ментальные агенты для остальных семантических типов, выраженных лингвистическими категориями частей речи.

Развивая аналогию, мы предполагаем, что дальнейшая структуризация выполняется на основе синтаксической парадигмы актуального членения предложения. В соответствии с этой парадигмой предложения естественного языка состоят из т.н. *темы* и *ремы*. По нашей гипотезе, в качестве темы выступают агенты-понятия-объекты и связанные с ними \mathfrak{V} -отображением ментальные агенты-понятия-объекты $M_{iRN}^{(\tau-2)\tau}, \aleph_{iRN}^{(\tau-2)\tau} = (M_{iRV}^{(\tau-2)(\tau+1)})$, которые идентифицируют себя на основе обработки афферентных потоков, а в качестве ремы – агенты-понятия-действия $\aleph_{iRV}^{(\tau-2)\tau}$ и связанные с ними \mathfrak{V} -отображением ментальные агенты-понятия-действия $M_{iRV}^{(\tau-2)(\tau+1)}, \aleph_{iRV}^{(\tau-2)\tau} = (M_{iRV}^{(\tau-2)(\tau+1)})$, которые также идентифицируют себя в афферентных потоках, используя независимые нейроморфологические структуры.

Мы предполагаем, что агент-понятие-объект «продает» агенту-понятию-действию информацию, которая идентифицирует его самого, отвечая на вопросы: «кто?», «что?». Агент-понятие-действие в свою очередь предоставляет информацию о себе в ответ на вопрос: «что делает?». Мы считаем, что вознаграждение (плата) за такую информацию предлагается теми агентами, которые задают такие вопросы. Задать вопрос фактически означает предложить вознаграждение за продажу необходимой информации. Принципиальное значение имеет то, что эти вопросы, являясь классическими токенами (знаками, символами) и фактически кодируя для \mathfrak{V} -отображений состояние агентов, их задающих, получают абстрактное значение универсального компонента семантической операции, т.к. в ответ на эти вопросы агенты-адресаты (контрагенты по \mathfrak{V} -отображению) должны предоставить лишь свои имена. Таким образом, именно здесь, в подобном \mathfrak{V} -отображении, формируются предпосылки *решения проблемы семантического обоснования символов*. Введем формальное описание подобного специфического \mathfrak{V} -отображения. Расширим \mathfrak{V} -отображение за счет введения в рассмотрение операции '! ' (читается "передает"). Эта операция возвращает сообщение, которое один агент посылает другому агенту при взаимодействии в составе \mathfrak{V} -отображения. Тогда запись

$$\aleph_{iRN}^{(\tau-2)\tau} : \text{имя} = \mathfrak{V}\left(\aleph_{iRV}^{(\tau-2)\tau} : \text{"кто?"}, e_k^j\right)$$

будет означать, что между агентом-понятием-объектом $\aleph_{iRN}^{(\tau-2)\tau}$, находящимся в состоянии s_i^j , и агентом-понятием-действием $\aleph_{iRV}^{(\tau-2)\tau}$ действует контракт, в соответствии с которым в ответ на запрос агента $\aleph_{iRV}^{(\tau-2)\tau}$ «кто?» агент $\aleph_{iRN}^{(\tau-2)\tau}$ передает свое имя, а агент $\aleph_{iRV}^{(\tau-2)\tau}$ в качестве вознаграждения за это передает агенту $\aleph_{iRN}^{(\tau-2)\tau}$ энергию e_k^j . Здесь следует обратить внимание, что операция '! ' может иметь несколько параметров и, в частности, может означать передачу

Формальная модель семантики естественно-языковых высказываний

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathfrak{N}_{iRN}^{(\lambda-2)\Upsilon} : \text{имя}, e_i^{j_1} = \mathfrak{V}(?) \\ \mathfrak{N}_{iRN}^{(\lambda-2)\Upsilon} : \text{"что делает?"}, e_i^{j_2} = \mathfrak{V}(?) \\ \mathfrak{N}_{iRN}^{(\lambda-2)\Upsilon} : \text{"какой?"}, e_i^{j_3} = \mathfrak{V}(?) \\ \mathfrak{N}_{iRN}^{(\lambda-2)\Upsilon} : \text{"где?"}, e_i^{j_4} = \mathfrak{V}(?) \end{array} \right.$$

Специфические запросы агента определенной семантической категории ориентированы на реализацию определенных типов семантических отношений с агентами других конкретных семантических категорий. Способность агента заключать контракт определенного вида с агентами определенных типов назовем *валентностью* агента. В вышеприведенном примере агент-понятие-объект $\mathfrak{N}_{iRN}^{(\lambda-2)d}$ может заключить четыре различных контракта, следовательно, у этого агента четыре валентности.

Теперь мы можем более детально рассмотреть алгоритмы работы функциональных областей когнитивной архитектуры, обеспечивающей феномен понимания, приведенный на рис. 1. На рис. 2 приведена схема строения МурКА, реализующей подобный функционал.

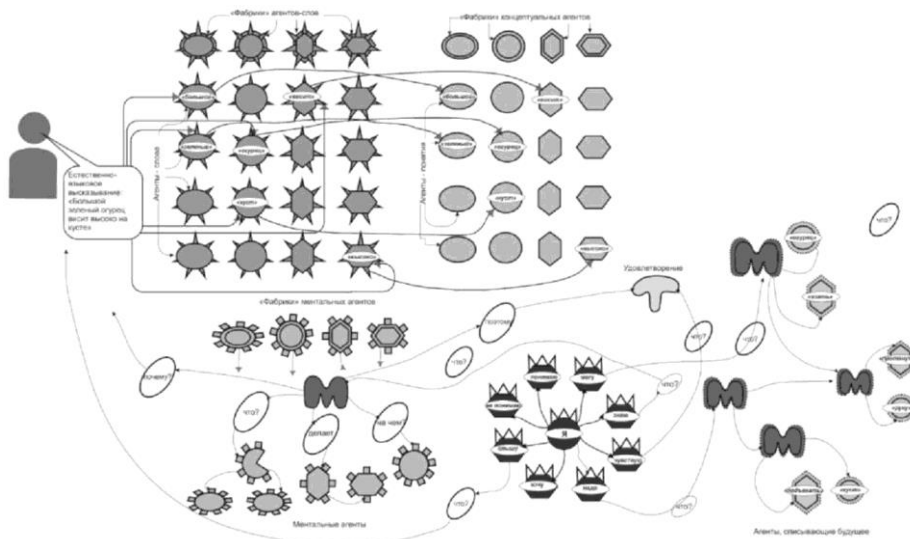


Рис. 2. МурКА для системы понимания высказываний.

Как видно из рисунка, основными функциональными элементами МурКА являются *концептуальные, ментальные, модальные агенты, агенты воображения и агенты-слова*, локализованные в соответствующих областях. Агенты соединены между собой стрелками, схематически обозначающими наличие контрактов между этими агентами. Различными геометрическими фигурами показаны категории объектов: агенты-понятия-объекты, агенты-понятия-действия, ментальные агенты-признаки и т.д.

На рис. 2 иллюстрируется обработка с помощью интеллекта простого распространенного предложения. При интерпретации такого предложения отдельные агенты-слова (агенты, обрабатывающие конкретные слова) различных частей речи реагируют на отдельные конкретные слова. Далее они используют свои контракты с конкретными концептуальными агентами, «продавая» им информацию о том, что в интерпретируемом предложении содержится информация об объектах, действиях и т.д., концептуальными моделями которых эти агенты и являются.

Концептуальные агенты, используя структурную редукцию, объединяются в составе мультиагентного ансамбля – события. Это событие оформляется так называемым «*моделирующим*» агентом (изображен на рис. 2 пиктограммой, похожей на букву «М»), основная задача которого определить причины и следствия наступления этого события на основе взаимодействия с опытом, т.е. с *ментальными агентами*. Эти агенты, используя контракты на основе айн-отображения, по распознанной теме и реме восстанавливают прецеденты аналогичных событий в прошлом, их причины и следствия.

Восстановленные таким образом события-следствия, также состоящие из темы и ремы, активизируют агентов воображения, которые фактически моделируют еще не наступившие события будущего.

Во всех перечисленных областях МуРКА моделирующие агенты связываются контрактами с так называемыми эмоциональными агентами, изображенными на рис. 2 в виде фигуры, похожей на гриб. *Эмоциональные агенты*, по нашему мнению, должны реализовывать алгоритмами вычисления значений целевой функции интеллекта при условии активизации данной его части – области соответствующих моделирующих и эмоциональных агентов.

Эмоциональные агенты локализованы по периферии трех рассмотренных функциональных областей на границе области ментальных агентов. Как следует из рис. 2, здесь локализуются агенты, реализующие функционал так называемого «*собственного Я*» — интегративного мультиагентного механизма, обеспечивающего координацию распределенных процессов, происходящих в МуРКА. Так как вся система характеризуется децентрализованностью, массовым параллелизмом, «мягкостью» связей, координация, выполняемая мультиагентной группой, интегрированной в рамках понятия «Я», осуществляется специфическим образом – посредством использования модальных отношений, или, как нам кажется, в настоящем контексте более уместным – модальных действий.

Эти действия характеризуют отношение агентов группы «Я» к событиям, происходящим в других частях когнитивной архитектуры. Этот сложный гипотетический механизм, конечно, далек от своего полного формального описания. Для нас в рамках данной работы принципиальное значение имеют возможности по интерпретации феномена понимания, которые открывает подобное строение мультиагентной когнитивной архитектуры.

Как мы уже говорили, интроспективно феноменология понимания рефлексруется как субъективно осознаваемая, т.е. без введенной нами модели «Я» формализовать понимание не представляется возможным.

По нашему мнению, мультиагентная группа «Я» ведет наблюдение за процессами, протекающими в МуРКА, и обладает способностью констатации текущих взаимоотношений конкретных агентов между собой. По нашей гипотезе,

Формальная модель семантики естественно-языковых высказываний

единицей объекта наблюдения понимания является *процесс заключения контрактной связи между агентами*. То есть, «понять» что-либо относительно некоторого объекта или понятия означает констатировать (регистрировать инteroцепторами, анализировать с помощью специализированных модальных агентов-действий) мультиагентной группой собственного «Я» процесс построения соответствующей связи, заключаемой концептуальным или ментальным агентом, представляющим это понятие в МуРКА. Для этого используются модальные агенты, реализующие модальные действия.

В [8] введено понятие «мультиагентное знание» – т.е. знание, представляющее собой продукционное правило, логическое условие которого реализуется базой знаний одного агента, а ядро продукции – базой знаний другого агента. Такое знание как раз и возникает при заключении контрактов на основе айн-отображения. В этом смысле можно говорить о том, что когда мультиагентная группа «Я» констатирует отсутствие контрактной связи между теми или иными агентами МуРКА, это можно расценивать как констатацию отсутствия соответствующего мультиагентного знания, т.е. «Я» не знает ответов, которые задают агенты по своим незаполненным валентностям, а следовательно, и не понимает этого. Так как мы сначала понимаем что-то, а потом начинаем это знать, рискуем утверждать, что и в случае мультиагентной группы «Я» «знаю» относится к факту наличия знания, а «понимаю» – к процессу построения (анализу построения или наличия) этого знания. Когда агенты «Я» констатируют наличие знания, они классифицируют эту ситуацию как «понял», когда такого знания нет, то констатируется ситуация «не понимаю».

Следовательно, понимание ситуации интеллектоном – это констатация модальной областью интеллектона процессов формирования мультиагентных знаний на основе контрактов между агентами в составе функциональных областей этого интеллектона.

6. Заключение

Разработаны основные принципы понимания естественно-языковых высказываний с помощью самоорганизующихся мультиагентных когнитивных архитектур. Исследована возможность создания формальных моделей семантики понимания с помощью мультиагентных рекурсивных когнитивных архитектур.

Предложен формализм для описания семантики естественно-языковых высказываний и процесса понимания этих высказываний на основе самоорганизующихся мультиагентных когнитивных архитектур.

Построена минимальная МуРКА для системы понимания речи.

Полученные результаты могут быть применены для создания систем понимания речи, диалоговых систем и переводчиков.

Нагоев З.В.

Литература

1. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. М.: Наука. 1973.
2. Анчев М.И., Нагоева О.В., Макаревич О.Б., Токмакова Д.Г., Хамуков Ю.Х. Интерактивное многомодальное обучение когнитивных самоорганизующихся систем естественного языкового управления миссиями мультиагентных роботов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 1(63). С. 9-15.
3. Гладкий А.В., Мельчук И.А. Элементы математической лингвистики. М.: Наука. 1969. 100 с.
4. Иванов П.М., Нагоев З.В. Самоорганизующаяся система принятия решений на основе автоматного представления рекурсивной мультиагентной когнитивной архитектуры для систем обволакивающего интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2012. № 5(49). С. 30-37.
5. Лютикова Л.А., Ксалов А.М., Макоева Д.Г., Гуртуева И.А. Построение системы знаний на основе мультиагентных контрактов // Естественные и технические науки. 2016.
6. Мински М. Фреймы для представления знаний. М.: Энергия. 1979.
7. Мэй Р. Открытие Бытия. М.: Институт общегуманитарных исследований. 2004. С. 91.
8. Нагоев З.В. Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 2013. 211 с.
9. Нагоев З.В. Мультиагентные экзистенциальные отображения и функции // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 63-71.
10. Нагоева О.В. и др. Системы понимания речи и модели представления семантики // Известия КБНЦ РАН. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 2014. № 5(61). С. 64-71.
11. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М.: Радио и связь. 1989. 184 с.
12. Стюарт Рассел, Питер Норвиг. Искусственный интеллект: современный подход (АИМА) = Artificial Intelligence: A Modern Approach (АГМА). 2-е изд. М.: Вильямс. 2007. 1424 с.
13. Хомский Н. Язык и мышление. М.: Издательство Московского университета. 1972. 125 с.
14. Fillmore Ch. The Case for Case. In Bach and Harms (Ed.): *Universale in Linguistic Theory*. New York: Holt, Rinehart, and Winston. 1968. 1-88 p.
15. Ivanov P., Nagoev Z., Pshenokova I., Tokmakova D. Forming the multi-modal situation context in ambient intelligence systems on the basis of self-organizing cognitive architectures // В сборнике: *Proceedings of the 2015 5th World Congress on Information and Communication Technologies, WICT 2015 5, Innovating ICT for Social Revolutions*. 2015. С. 7-12.
16. Nagoeva O., Nagoev Z., Tokmakova D. System essence of intelligence and multi-agent existential mappings // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2016. Т. 420. С. 67-76.

Формальная модель семантики естественно-языковых
высказываний

17. Schank R., Birnbaum L., Mey J. Integrating semantics and pragmatics // Quaderni di Semantical Vol. VI. No. 2. 1985.
18. Winograd T. Language as a Cognitive Process: Volume I: Syntax (650 pp.) Reading MA: Addison-Wesley. 1983.
19. Winograd T. Understanding Natural Language (191 pp.) New York: Academic Press, 1972. Also published in Cognitive Psychology, 3:1 (1972), pp. 1-191.

Статья поступила 23 августа 2018 г.
После доработки 03 сентября 2018 г.