

Разработка и использование модели когнитивной системы для решения задач целенаправленного поведения*

Целью исследования является формулировка формального определения когнитивной системы на основе упрощенного представления о познавательной деятельности человека и разработка на этой основе методики инженерного проектирования модели когнитивной системы. Процесс познания моделируется как взаимодействие нескольких структур человеческой личности. Основными структурами, непосредственно реализующими процесс познания, является подсознание и взаимодействующее с ним сознание. С использованием методики инженерного проектирования когнитивной модели разработана архитектура интеллектуальной системы, использующая когнитивный механизм планирования управляющих воздействий. Для реализации когнитивного механизма формирования управляющих воздействий выбран агентно-ориентированный подход. Исследуется алгоритм формирования планов адаптации целенаправленного поведения интеллектуальной системы. Выполняется построение базы знаний интеллектуальной системы с адаптацией целенаправленного поведения.

Методом исследования является применение принципов теории динамических систем автоматического управления к упрощенным процессам познания и синтез на этой основе алгоритмов и технических устройств. Разработка интеллектуальной системы целенаправленного поведения велась на основе агентно-ориентированного подхода. Для описания механизма целенаправленного поведения использован интегрированный подход к представлению знаний, сочетающий в себе преимущества логических и сетевых методов.

Основными **результатами** работы являются разработка формального определения когнитивной системы в виде системы автоматического управления в пространстве состояний. Подсознание моделируется пространством состояний когни-

тивной системы, формируемым в результате взаимодействия с внешним миром. Процесс познания представляется в виде оценки сознанием элементов пространства состояний, которое названо пространством оценок. Взаимодействие с внешним миром моделируется как в виде управления внешним миром, так и в виде его информирования. На основе этих представлений разработана структура интеллектуальной системы, реализующая когнитивный механизм планирования управляющих воздействий. Представлена архитектура многоагентной системы формирования управляющих воздействий для целенаправленного поведения. Разработана база знаний для формирования планов адаптации целенаправленного поведения интеллектуальной системы.

Для ключевых процедур функционирования когнитивной системы введены понятия оптимальных оценок векторов состояния и оптимального процесса управления, позволяющие синтезировать наилучшие в определенном смысле алгоритмы и технические устройства. Использование методики позволило разработать: структуру интеллектуальной системы, реализующую когнитивный механизм планирования управляющих воздействий; архитектуру многоагентной системы формирования управляющих воздействий для целенаправленного поведения; базу знаний интеллектуальной системы для планирования управляющих воздействий. Разработка интеллектуальной системы велась с использованием многоагентной технологии. Подсистемы формировались в виде отдельных функциональных образований — многоагентных систем.

Ключевые слова: когнитивная система, модель, планирование, адаптация, интеллектуальная система, целенаправленное поведение

Aleksander A. Solodov¹, Vasiliy M. Trembach²

¹ Kosygin Russian State University, Moscow, Russia

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Development and use of a cognitive system model for solving problems of purposeful behavior

The aim of the study is to formulate a formal definition of the cognitive system on the basis of a simplified representation of human cognitive activity and on this basis to develop methods for engineering design of the cognitive system model. The process of cognition is modeled as the interaction of several structures of the human personality. The main structures that directly implement the process of cognition are the subconscious mind and the consciousness interacting with it. Using the technique of engineering design of the cognitive model, the architecture of the intellectual system using the cognitive planning mechanism of control actions

is developed. An agent-oriented approach was chosen to implement the cognitive mechanism of control actions formation. The algorithm of formation of purposeful behavior adaptation plans of intellectual system is investigated. The knowledge base of the intelligent system is built with the adaptation of purposeful behavior.

The method of research is the application of the principles of the theory of dynamic automatic control systems to the simplified processes of cognition and the synthesis of algorithms and technical devices on this basis. The development of an intelligent system of purposeful behavior was conducted on the basis of an agent-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-07-00918.

oriented approach. To describe the mechanism of purposeful behavior, an integrated approach to knowledge representation is used, combining the advantages of logical and network methods. The main results of the work are the development of a formal definition of a cognitive system in the form of an automatic control system in the state space. The subconscious is modeled by the space of states of the cognitive system, formed as a result of interaction with the outside world. The process of cognition is presented in the form of evaluation by consciousness of the elements of the space of states, which is called the space of evaluations. Interaction with the outside world is modeled both in the form of management of the outside world, and in the form of its informing. On the basis of these representations the structure of the intellectual system realizing the cognitive mechanism of planning of control actions is developed. The architecture of multi-agent system of control actions formation for purposeful behavior is presented. The knowledge

base for the formation of adaptation plans of purposeful behavior of the intellectual system is developed.

For the key procedures of the cognitive system functioning, the concepts of optimal estimates of state vectors and optimal control process are introduced, which allow to synthesize the best in a certain sense algorithms and technical devices. The use of this technique allowed developing a structure of an intelligent system that implements cognitive mechanism for the planning of control actions; the multi-agent system architecture of formation control actions for goal-directed behavior; knowledge base of intellectual system for planning control actions. The intelligent system was developed using multi-agent technology. Subsystems were formed in the form of separate functional formations-multi-agent systems.

Keywords: cognitive system, model, planning, adaptation, intellectual system, purposeful behavior

Введение

Разработка эффективных искусственных систем (технических устройств) целенаправленного поведения должна, по-видимому, учитывать такие особенности познавательной деятельности человека, которые и делают ее оптимальной. Изучению процесса познавательной деятельности посвящена обширная литература в различных областях знаний, как философских и психологических, так и многочисленных ответвлений. Особенностью изучения познания является то обстоятельство, объясняющееся, конечно, сложностью предмета исследования, что получено очень мало результатов, непосредственно применимых для разработки соответствующих технических средств. В связи с этим в настоящей работе предпринято рассмотрение процесса познания в простейшей форме, позволившее сформулировать формальную модель познавательной деятельности, пригодную для применения в инженерной практике.

Считают, что познавательная деятельность состоит в восприятии реальности некоторой познавательной структурой, которая для простоты называется подсознанием и перемещения воспринятых образов в другую структуру, называемую сознанием.

В связи с этим сделаем следующие замечания. Получен-

ные к настоящему времени результаты в области философии и психологии познания не приводят к указанной модели познания. Тем не менее, применение столь упрощенной модели познания позволяет, как уже указывалось, получить реальные результаты. Кроме того, если ограничиться наиболее общими понятиями сознания и подсознания, то предложенная модель в целом соответствует современным представлениям. Так, в [1] подсознание определяется как устаревший термин, применявшийся для обозначения психических процессов, протекающих без прямого отображения их в сознании и помимо прямого сознательного управления. Аналогичное определение дается и в [2]: подсознание (подсознательное) – собирательное понятие, которым обозначают различные неосознаваемые системы психики (например, предсознательное и бессознательное) или их совокупность. Таким образом, не вдаваясь в терминологические нюансы, для целей настоящей работы будем полагать, что подсознание является структурой познавательной деятельности, не управляемой сознанием.

Сознание представляет собой внутренний мир чувств, мыслей, идей и других духовных феноменов, которые непосредственно не воспринимаются органами чувств и принципиально не могут стать

объектами предметно-практической деятельности ни самого сознающего субъекта, ни других людей [2]. Таким образом, будем полагать, что сознание является той структурой познавательной деятельности, которая является носителем знаний в доступной для дальнейшего использования (для данного индивида) виде.

Моделирование процесса познания как перенесения информации из подсознания в сознание по-видимому может считаться оправданным, поскольку, как указано в [3] «...практически все знания в неявном виде включают в себя элемент бессознательного, хотя бы в виде инсайтов (озарений) их создателей. Таким образом, свобода воли познания, являющегося надстройкой, жестко ограничивается фундаментом – бессознательным, порождающим “протознания”, которые и определяют, в основном, генерацию своеобразия явных сознательных знаний».

Упомянутые упрощения позволили сформулировать формальное определение когнитивной системы в духе классического определения [4] динамической системы автоматического управления. Это открывает возможность применение как обширных методов теории автоматического управления, так и новых подходов в рамках направления развития автоматизации и обмена данными – Industry 4.0 [5, 6, 7].

Одним из главных направлений Industry 4.0 является Интернет вещей (Internet of Things, IoT) [7], представляющий собой новый виток совершенствования интернета. Предполагается широкое использование «Киберфизических систем» (CyberPhysical Systems), представляющих комплексные системы из вычислительных и физических элементов.

Концепция туманных вычислений ориентирована на расширение облачных функций хранения, обработки и сетевого взаимодействия. Она включает обработку и сбор данных, расположенных на конечных устройствах сети, а не в облаке, решая таким образом основные проблемы, возникающие при организации интернета вещей [8].

Важным направлением Industry 4.0 является машинное обучение (machine learning, ML) [9], которое представляет область знаний, включающую основные технологии и методы, используемые в областях больших данных и Интернета вещей.

В области автоматического управления методами искусственного интеллекта широко исследуются механизмы, используемые человеком для решения трудных задач, их использование для развития когнитивного подхода в этих областях.

Когнитивные вычисления (cognitive computing) представляют современные технологии, которые с уже развиваются быстрыми темпами и помогают человеку обрабатывать на основе контекстнозависимых связей огромные потоки информации, генерируемым человечеством.

Перечисленные направления требуют рассмотрения в статье таких вопросов как:

- познавательная деятельность человека;
- построение простой модели познания человеком окружающего мира;

– формализация модели когнитивной системы;

– построение на основе методики инженерного проектирования интеллектуальной системы, реализующей когнитивный механизм планирования и адаптации целенаправленного поведения.

1. Модель когнитивной системы

В настоящей работе под когнитивной системой будем понимать совокупность некоторых множеств, объединенных протекающими между ними процессами, описывающими познание. Более конкретно рассматриваются два множества, одно из которых называется сознанием, а другое – подсознанием. Элементами этих множеств выступают образы, мыслеформы, архетипы, гештальты и т.п. а процессами – взаимодействие между множествами.

Когнитивной системой называется совокупность взаимосвязанных элементов, удовлетворяющая следующим аксиомам:

1. Система функционирует в непрерывном времени, т.е. аргументом всех процессов в системе является совокупность действительных чисел t с фиксированным начальным моментом t_0 .

2. Задано множество U допустимых входных воздействий $u(t) \in U$.

3. Задано множество состояний когнитивной системы со значениями (элементами) $z(t) \in Z$.

4. Существует переходное отображение (переходная функция) состояния F , значениями f которой являются состояния системы

$$z(t) = f[t, t_0, z(t_0), u] \quad (1.1)$$

5. Задано множество оценок X , значениями (элементами) которого $x(t) \in X$ являются преобразованные когнитивной системой состояния системы $z(t) \in Z$.

6. Существует переходное отображение (переходная функция) оценок G , значениями g которой являются оценки состояния системы

$$x(t) = g[t, t_0, z(t), u] \quad (1.2)$$

7. Определена функция потерь (штрафов) $\Pi(z, x)$ преобразования элементов из множества состояний Z в множество оценок X .

8. Определена выходная функция Γ , определяющая множество выходных состояний системы Y , элементами которого являются выходные состояния $y(t) = \gamma[t, x(t)]$.

Краткая характеристика элементов когнитивной системы состоит в следующем.

Свойство непрерывности времени отражает тот факт, что в реальных когнитивных системах время воспринимается как непрерывный аргумент вне зависимости от дискуссий по поводу квантовой природы времени. Очевидно, что и в моделях таких систем должно быть сохранено такое представление. Свойству непрерывности может быть противопоставлено требование протекания процессов дискретно. Тогда, если предположить стационарность всех отображений (функций) когнитивная система преобразуется в автомат. С формальной точки зрения автоматами являются все цифровые вычислительные средства, однако когнитивные свойства им приписать возможно тогда, когда дискретность времени выполнения операций пренебрежимо мала по сравнению с длительностью вычислительного процесса.

Допустимые входные воздействия $u(t) \in U$ (наблюдаемый процесс) – это такая совокупность элементов, которые могут быть непосредственно зафиксированы (записаны, отображены) когнитивной системой. Воздействия могут быть как детерминированными, так и случайными, причем

их допустимость понимается в смысле способности когнитивной системы их воспринять, переработать и т.п.

Множество состояний когнитивной системы $z(t) \in Z$ — это такое множество элементов, которое возникает в системе в результате отображения (восприятия, переработки) входных воздействий. Например, если входным воздействием является некий предмет, то элементами пространства состояний могут быть представления, соответствующие размерам и (или) весу предмета, о цвете, запахе, температуре и т.п. В человеческом процессе познания это множество ассоциируется с подсознанием или областью бессознательного.

Множество оценок X с элементами $x(t) \in X$ формируется в соответствии с переходной функцией оценок и состоит из характеристик, сформированных на основании уже имеющихся представлений в пространстве состояний. В человеческом процессе познания это множество ассоциируется с сознанием. Перемещение элемента из множества состояний во множество оценок интерпретируется как акт познания (мыслительный, чувственный).

Формальная функция потерь $\Pi(z, x)$ характеризует затраты когнитивной системы на формирование оценки, или, что то же самое, качество оценки с определенной точки зрения.

Множество выходных состояний Y с элементами $y(t) \in Y$ — это те средства, с помощью которых система может общаться с внешним миром, например, язык, сформированные когнитивной системой чувственные понятия и образы, произведения музыки, изобразительных искусств и т.п.

Приведенное определение, конечно, не может адекватно описать все существующие и теоретические когнитивные системы, и, в особенности, познавательную деятельность

человека, однако пригодно в качестве методической основы для математической формулировки основных задач изучения таких систем.

Для разработки математических моделей, пригодных для количественного изучения поведения когнитивных систем, необходимо на множествах, фигурирующих в определении когнитивной системы ввести метрику, т.е. расстояние между элементами. В этом случае множества становятся метрическими пространствами, в которых возможно определение предельного перехода и, вслед за этим, операции дифференцирования и интегрирования.

Метрическим пространством называется множество X , в котором задано расстояние между каждыми двумя элементами $x \in X$, $y \in X$ в виде действительной функции $\rho(x, y)$, удовлетворяющей аксиомам [10]:

$$\begin{aligned} \rho(x, y) &= 0 \text{ тогда и только тогда, когда } x = y, \\ \rho(x, y) &= \rho(y, x) \\ &(\text{аксиома симметрии}), \\ \rho(x, z) &\leq \rho(x, y) + \rho(y, z) \\ &(\text{аксиома треугольника}). \end{aligned} \quad (1.3)$$

Простейшей метрикой является обычное евклидово расстояние в евклидовых многомерных пространствах. В этих пространствах применимы обычные математические действия.

2. Управление в когнитивной системе

Термин управление применяется в теории систем управления для обозначения процедуры такого воздействия на вход системы, которое перевело бы систему в желаемое состояние.

Обычно, рассматривая когнитивные системы, изучают процесс познания и разрабатывают соответствующие модели. В дальнейшем будем полагать, что познание не может быть абстрактным, а должно быть подчинено вполне опре-

деленной цели. Например, познание индивидуумом самого себя может преследовать цель сохранения здоровья, т.е. способности системы функционировать на возможно более длительном интервале времени. Таким образом, разрабатывая модель функционирования когнитивной системы, сделаем следующие предположения:

У процесса управления имеется начальный момент t_0 и соответствующее начальное состояние $x(t_0)$ в пространстве оценок X . Начальное состояние может быть как фиксированной точкой в пространстве X , так и некоторой начальной областью $X_0 \in X$.

В пространстве оценок системы X существует некоторое подпространство $X_1 \in X$, в которое необходимо перевести систему в результате процесса управления за конечное время управления $T = t_1 - t_0$ (t_1 — конечный момент процесса управления).

Ключевую роль в данной модели играет понятие закона управления. Вслед за общей теорией динамических систем будем полагать, что законом управления называется функция

$$u(t) = k[t, x(t)] \quad (2.1)$$

значениями которой являются допустимые управления.

Формулировка закона управления предполагает, что управление является входным воздействием когнитивной системы и зависит как от времени, так и от оценки состояния системы. В дальнейшем эти обстоятельства используются при разработке структурной схемы оптимальной когнитивной системы.

Общей задачей управления в когнитивные системы таким образом, является отыскание такого закона управления, который за время управления $T = t_1 - t_0$ переводил бы систему из начального состояния X_0 в целевое состояние X_1 .

Для реализации процесса управления когнитивная си-

стема должна удовлетворять некоторым свойствам, ключевыми из которых являются свойства наблюдаемости и управляемости.

Наблюдаемость (адекватность) когнитивной системы — ее способность формировать оценки $x(t)$ оптимальным образом, т.е. с минимальными потерями, определяемыми функцией потерь $P(z, x)$. Следует подчеркнуть, что в технических системах автоматического управления наблюдаемыми величинами являются выходные процессы $y(t)$, по которым и пытаются определить состояние системы. Существенной особенностью когнитивных систем является их способность к «самонаблюдению», т.е. осознанию собственного состояния. В терминах введенных величин это означает способность системы определять необходимые для процесса управления компоненты вектора $x(t)$. Вопросы наблюдаемости когнитивных систем в подобной постановке изучались в [11].

Управляемость когнитивной системы — ее способность совершать процессы управления. Далеко не очевидно, что когнитивная система будет в состоянии совершить необходимый для достижения цели управления соответствующий процесс управления. Ограничения могут быть связаны со следующими обстоятельствами:

Неприемлемое время управления. При этом процесс управления может настолько затянуться, что цель управления теряет актуальность. Например, настоятельная необходимость изучения иностранного языка может пропасть в процессе его изучения из-за изменения мотивации.

Необходимость затрат неприемлемого ресурса, т.е. ресурса, которого нет в распоряжении данной системы. Например, овладение искусством музыкальной композиции наталкивается на от-

сутствие соответствующих способностей.

Характерной особенностью когнитивных систем является то обстоятельство, что процессы управления протекают в таких системах оптимальным в некотором смысле образом. Для моделирования такого оптимального управления необходимо ввести в рассмотрение показатель качества управления и критерий (правило) в соответствии с которым выбирается наилучшее управление.

Будем полагать, что показателем качества управления является функция (функционал)

$$I = I(x, u, t).$$

Оптимальным будем называть такой процесс управления $u^*(t) = k^*[t, x(t)]$, который доставляет указанному функционалу экстремум. Примерами показателей оптимального управления могут быть минимальное время управления, минимальные затраты некоторого ресурса и т.п.

3. Структурная интерпретация управления в когнитивной системе

Сформулированные выше определения когнитивной системы, управления в когнитивной системе и оптимального управления позволяют представить структурную схему, представленную на рис. 1, иллюстрирующую эти определения.

Очевидно, что управляющие воздействия $u(t)$ первоначально возникают при взаимодействии когнитивной системы с внешним миром с помощью органов чувств. Возникающее при этом управляющее воздействие переводит подсознание из первоначального (промежуточного) состояния $z(t_0)$ в текущее $z(t)$. В терминах модели это означает формирование состояния когнитивной системы.

Следующий этап — формирование оценки текущего состояния когнитивной

системы в сознании. В переходной функции оценок $x(t) = g[t, t_0, z(t), u]$ выделено управляющее воздействие u , очевидно, совпадающее с управляющим воздействием, действующим на подсознание. Это обстоятельство отражает возможность воздействия органов чувств на сознание непосредственно, если обработка сигналов внешнего мира подсознанием не требуется.

Функция оценок $x(t)$ используется когнитивной системой для общения с внешним миром через преобразование $y(t) = \gamma[t, x(t)]$, а также формирования оптимальных управляющих воздействий с целью достижения заданной области X_1 .

По-видимому, управляющее воздействие разделяется в когнитивной системе на две составляющих — управление органами чувств и управление сознанием. При этом управление органами чувств понимается в широком смысле и включает разработку таких технических устройств, которые расширяют возможности общения с внешним миром. Специально формируемые управляющие воздействия $u_1^*(t)$ действуют в следующих направлениях.

Расширение диапазонов величин, непосредственно воспринимаемых органами чувств человека. Действительно, в области электромагнитных излучений человек непосредственно воспринимает чрезвычайно узкий диапазон видимого света. Понадобилось привлечение приборов для возможности регистрации электромагнитного излучения от сверхдлинных волн до гамма излучения. Это позволило создать радиосвязь, телевидение, навигацию, томографию, рентгенографию и т.п. Аналогичное расширение происходит и с помощью других систем, например, развитие сети Интернет.

Создание приборов, позволяющих регистрировать физические явления, непо-

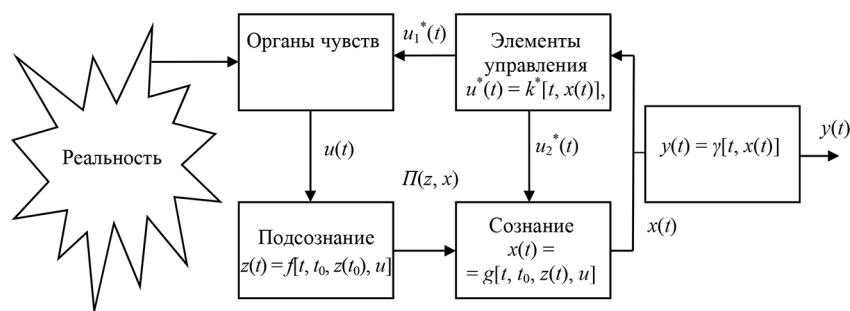


Рис. 1. Структурная интерпретация управления в когнитивной системе

средственно человеком не воспринимаемые, например, сильные и слабые взаимодействия. Строительство Большого адронного коллайдера, например, является проявлением этой тенденции.

Еще раз подчеркнем, что управление $u^*(t) = k^*[t, x(t)]$ является функцией оценок состояния когнитивной системы.

Из приведенной структурной схемы следует, что подсознание является наиболее изолированной частью когнитивной системы в том смысле, что не подвергается никаким управляющим воздействиям, кроме естественных. Это согласуется с мнением психологов об автономном функционировании подсознания по крайней мере у рядовых личностей.

Разработанная модель и соответствующая структурная схемы могут быть использованы для моделирования когнитивных процессов в реальных технических устройствах и конструирования таких устройств. Ниже приводится пример конструирования элемента управления для формирования

4. Архитектура интеллектуальной системы с использованием когнитивного механизма для формирования управляющих воздействий и планов адаптации целенаправленного поведения

С учетом разработанной модели и соответствующей структурной схемы когнитив-

ной системы создана интеллектуальная система (ИС), формирующая управляющие воздействия для целенаправленного поведения на основе чувственных образов.

В качестве примера рассматривается ИС, содержащая когнитивный механизм, реализующий планирование и описанный Аристотелем в книге Никомахова этика (том III. 3, 1112b), где также предложен алгоритм. Алгоритм Аристотеля был реализован более чем через 2300 лет Ньюэллом и Саймоном в одной из первых программ по ИИ – программе GPS. В настоящее время то, что создано на его базе, называют регрессивной системой планирования [12,13,14].

Для построения ИС будет использоваться агентно-ориентированный подход [15]. В составе ИС при организации целенаправленного поведения должны использоваться следующие компоненты:

- многоагентная система (МАС) восприятия действительности;
- МАС ввода и хранения описания требуемого состояния;
- МАС формирования управляющих воздействий (УпрВ);
- МАС реализации УпрВ;
- МАС базы знаний (БЗ).

Структура данной ИС представлена на рис. 2.

МАС восприятия действительности в технических системах выполняет функции сбора информации от датчиков по заранее заданному алгоритму или по запросу о выдаче текущего значения в описание текущего состояния (Стек) одного или нескольких, заранее заданных параметров. Аналогом такой МАС является телеметрическая система (ТМС). В контексте данной статьи МАС восприятия действительности играет роль органов чувств в общей модели когнитивной системы (рис. 1).

МАС ввода и хранения описания требуемого состояния является интерфейсом для получения описания требуемого состояния Стр и передачи его в МАС формирования УпрВ. Стр может поступать от пользователя ИС в голосовом, текстовом, видео-формате, от МАС или агентов других ИС.

МАС формирования управляющих воздействий (УпрВ) выполняет операции, связан-

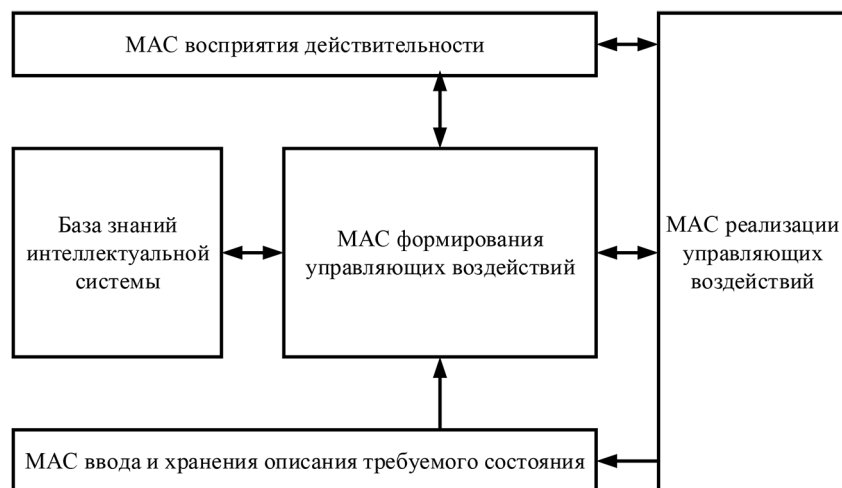


Рис. 2. Структура интеллектуальной системы

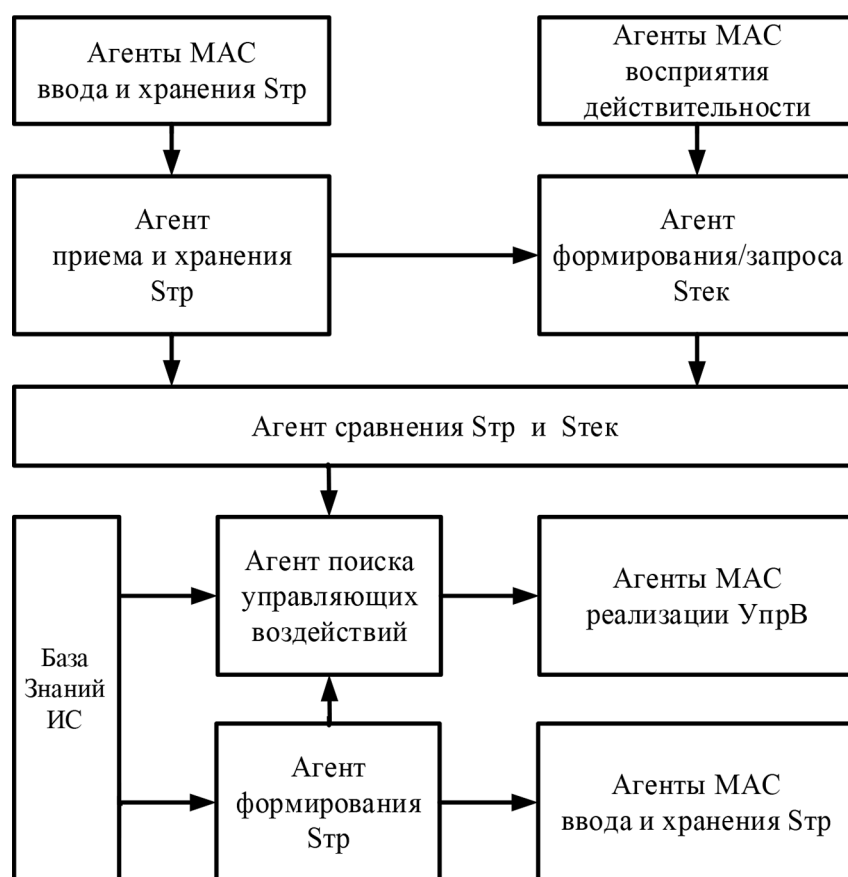


Рис. 3. Архитектура MAC формирования управляющих воздействий

ные с планированием УпрВ и использует для этого следующих агентов:

- агент приема и хранения Str;
- агент формирования/запроса стек;
- агент сравнения Str и стек;
- агент поиска УпрВ с именем параметра и его значением в ПстУ, соответствующим имени параметра и его значению в описании Str;
- агент формирования Str для следующего шага планирования.

Оптимальность управляющего воздействия обеспечивается выбором соответствующего критерия работы агента сравнения Str и стек. В простейшей ситуации таким критерием может быть полное совпадение параметров Str и стек.

MAC реализации УпрВ организует хранение сформированных УпрВ и их реализацию (выдачу в исполнительные органы, контроль выдачи и ис-

полнения, а также обнаружение для компенсации влияния внешних возмущений). Для решения указанных задач используются следующие агенты:

- агент получения и хранения УпрВ для текущего шага реализации;
- агент выдачи УпрВ с текущего шага реализации (связь агента с объектом управления не показана и может быть различной природы);
- агент контроля выдачи УпрВ с текущего шага реализации;
- агент контроля исполнения УпрВ с текущего шага реализации;
- агент обнаружения внешних воздействий на текущем шаге реализации.

MAC БЗ. Обеспечивает запись, хранение и использование знаний ИС для решения задач целенаправленного поведения.

При решении задач целенаправленного поведения ИС начинает работу с поступления

состояния, которое необходимо достичь (от блока «Сознания», или блока «Подсознания», или от блока датчиков – чувственных органов). По именам признаков, описывающих требуемое состояние, формируются их текущие значения от органов чувств (датчиков).

Далее происходит сравнение значений признаков требуемого состояния со значениями этих же признаков, но из текущего состояния. Выявляются параметры, у которых значения требуемого состояния и текущего не совпадают.

Когда такие параметры определены, необходимо найти управляющие воздействия, которые могут их изменить в требуемом направлении. С этой целью рассматриваются управляющие воздействия, после выполнения, которых произойдут необходимые изменения.

Выбранные таким образом управляющие воздействия сохраняются, для выдачи на исполнительные органы, на одном, первом шаге.

После этого происходит проверка на предмет возможности выполнения, выдачи, записанных на первом шаге управляющих воздействий. Если окажется, что выдача управляющих воздействий с первого шага планирования возможна, то управляющие воздействия выдаются, и требуемое состояние будет достигнуто.

Если же не все управляющие воздействия могут выдаваться, то из признаков условий выполнения (предусловий) формируется состояние, которое необходимо достичь, но уже для нового шага планирования.

На новом шаге планирования выполняются те же операции, что и на первом шаге планирования и так до тех пор, пока не будут спланированы управляющие воздействия, которые возможны для выполнения.

Если начать выдачу управляющих воздействий начиная с последнего шага планирования, то после выдачи управ-

ляющих воздействий, спланированных на первом шаге, то требуемое состояние будет достигнуто.

При реализации спланированных управляющих воздействий достижение требуемого состояния возможно при безошибочной отработке управляющих воздействий и отсутствии внешних возмущений [16].

Для компенсации допущенных ошибок в реализации управляющих воздействий или при наличии внешних возмущений необходима адаптация ИС [17] к таким ситуациям. Адаптация может выполняться с помощью операций планирования и включает определенные шаги. Для описания алгоритма адаптации целенаправленного поведения используются следующие обозначения:

Sc_0 — описание целевого состояния целенаправленного поведения ИС;

Sc_i — описание целевого состояния для i -го шага формирования плана;

$Sper_i$ — описание различий между целевым состоянием и текущим (модели перевода) для i -го шага формирования плана;

$Stek_i$ — описание текущего состояния для текущего, i -го шага формирования плана;

i — номер шага формирования плана;

$Tr3$ — требуемые значения признаков.

С использованием введенных сокращений алгоритм адаптации целенаправленного поведения интеллектуальной системы будет содержать следующие шаги:

1. После исполнения команд (управляющих воздействий) текущего шага реализации необходимо зафиксировать Sc_i в качестве исходного требуемого состояния (i отражает шаг планирования команд, которые были исполнены), т. е. $Sc_0 = Sc_i$. Установить первый шаг формирования плана адаптации: $j = 1$. Зафиксировать целевое состояние для первого шага формирования плана адаптации $Sc_j = Sc_0$.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-16"?>
<AIBase>
  ...
  <concept name="Шарать" comments="Шарнуть">
    <PRDU>
      <element name="FB" value="нет"/>
      <element name="ON" value="нет"/>
      <element name="FR" value="нет"/>
      <element name="FO" value="да"/>
    </PRDU>
    <PSTU>
      <element name="ON" value="да"/>
    </PSTU>
  </concept>
  ...
  <concept name="Поворот к музею(право)" comments="Повернуться направо">
    <PRDU>
      <element name="FO" value="нет"/>
      <element name="RO" value="да"/>
      <element name="RB" value="нет"/>
    </PRDU>
    <PSTU>
      <element name="FO" value="да"/>
    </PSTU>
  </concept>
  ...
  <concept name="Начать обход препятствия справа" comments="Повернуться направо">
    <PRDU>
      <element name="FB" value="да"/>
      <element name="FO" value="да"/>
      <element name="RB" value="нет"/>
      <element name="LO" value="нет"/>
    </PRDU>
    <PSTU>
      <element name="FB" value="нет"/>
    </PSTU>
  </concept>
  ...
</AIBase>
```

Рис. 4. Фрагмент базы знаний для целенаправленного поведения

2. Формирование текущего состояния для j -го шага планирования. По именам параметров из Sc_j запрашиваются их текущие значения, т.е. формируется $Stek_j$.

3. Сравнение Sc_j и $Stek_j$. Формирование $Sper_j$ из параметров, текущие значения которых не совпали с $Tr3$.

4. Если $Sper_j = \emptyset$, то перейти к шагу 8.

5. Выбор операций содержащих в предусловиях такие параметры с $Tr3$, как в $Sper_j$.

6. Из предусловий (условий возможности выполнения) выбранных операций, формируется образ требуемого состояния для следующего шага формирования плана адаптации Sc_{j+1} .

7. Установить следующий шаг планирования $j := j + 1$. Перейти к п.2.

8. Конец формирования плана адаптации.

При наличии внешних возмущений может потребоваться не один, а несколько шагов планирования. Реализация спланированных управляющих воздействий позволит выйти на требуемую траекторию управления [16].

На рис. 4 представлен фрагмент базы знаний ИС для реализации алгоритма адаптации целенаправленного поведения.

Заключение

Разработанная модель когнитивной системы в пространстве состояний стала методической основой формулировки задач оптимального функционирования человекоподобных алгоритмов. Особенностью модели является возможность составления математических алгоритмов и соответствующих структурных схем технических устройств.

Применимость модели подтверждена разработкой архитектуры интеллектуальной системы для формирования управляющих воздействий и планов адаптации целенаправленного поведения, а также соответствующего алгоритма.

Дальнейшими направлениями исследований могут стать детализация модели и ее более подробное математическое описание с целью расширения возможностей инженерных решений [18, 19, 20].

Литература

1. Сушин М.А. Байесовский разум: новая перспектива в когнитивной науке // Вопросы философии. 2017. № 3. С. 74–87.
2. Грицанов А.А. Новейший философский словарь. Минск: Книжный Дом, 1999.
3. Савельев А.В. Аспекты возможности сознательного моделирования бессознательного в искусственных социумах // Искусственные общества. 2009. Т. 4. С. 1–4.
4. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. М.: Мир, 1971. 399 с.
5. Новиков О.Ю. Компоненты понятия Industry 4. 0 [Электрон. ресурс] // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017. №1 (1). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/komponenty-ponyatiya-industry-4-0>. (Дата обращения: 29.09.2019).
6. «Индустрия 4.0»: создание цифрового предприятия [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry-2016_rus.pdf
7. Giusto D. Iera A., Morabito G., L. Atzori (Eds.). The Internet of Things. New York: Springer-Verlag New York, 2010. 442 p.
8. Саламатов И.А. Локализация данных за счет использования облачно-туманных технологий [Электрон. ресурс] // Вестник ВУиТ. 2015. №1 (23). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/lokalizatsiya-dannyh-za-schet-ispolzovaniya-oblachno-tumannyyh-tehnologiy>. (Дата обращения: 28.06.2019).
9. Саттон Р.С. Барто Э.Г. Обучение с подкреплением. пер. с англ. М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2011. 399 с.
10. Справочник по теории автоматического управления. Под ред. А.А. Красовского. М.: Наука, 1987. 712 с.
11. Солодов А.А. Байесовская адаптация в пуассоновских когнитивных системах // Открытое образование. 2019. № 23(4). С. 23–31.

12. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. 1408 с.
13. Кузнецов О.П. Когнитивная семантика и искусственный интеллект // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 4. С. 32–42
14. Трембач В.М. Модульная архитектура интеллектуальной системы для решения задач интернета вещей // Открытое образование. 2019. № 23(4). С. 32–43. DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2019-4-32-43>
15. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
16. Трембач В.М. Решение задач управления в организационно-технических системах с использованием эволюционирующих знаний: монография. М.: МЭСИ, 2010. 236 с.
17. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981. 375 с.
18. Карпов В.Э., Карпова И.П., Кулинич А.А. Социальные сообщества роботов: эмоции и темперамент роботов; общение роботов; модели контактного, подражательного и агрессивного поведения роботов; командное поведение роботов и образование коалиций; пространственная память анимата. М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2019. 349 с. (Сер. «Науки об искусственном», № 19)
19. Telnov Y. Enterprise product and service process design with the use of intelligent technologies [Электрон. ресурс] // Selected Papers of the XXII International Conference «Enterprise Engineering and Knowledge Management (EEKM 2019)». (Moscow, Russia, April 24–26, 2019). Moscow: CEUR Workshop Proceedings, 2019. P. 152–160. Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-2413/>
20. Lakoff J. Women, Fire and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind. Chicago: University of Chicago Press, 1987.

References

1. Sushchin M.A. Bayesian mind: a new perspective in cognitive science. Voprosy filosofii = Philosophy Issues. 2017; 3: 74-87. (In Russ.)
2. Gritsanov A.A. Noveyshiyy filosofskiy slovar' = The latest philosophical dictionary. Minsk: Book House; 1999. (In Russ.)
3. Savel'yev A.V. Aspects of the possibility of conscious modeling of the unconscious in artificial societies. Iskustvennyye obshchestva = Artificial Societies. 2009; 4 : 1-4. (In Russ.)
4. R. Kalman, P. Falb, M. Arbib. Ocherki po matematicheskoy teorii system = Arbib. Essays on the mathematical theory of systems. Moscow: Mir; 1971. 399 p. (In Russ.)

5. Novikov O.YU. Components of the concept Industry 4. 0 [Internet]. ITNOU: informatsionnyye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii = ITNOU: information technologies in science, education and management. 2017; 1 (1). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/komponenty-ponyatiya-industry-4-0>. (cited: 29.09.2019). (In Russ.)
6. «Industriya 4.0»: sozdaniye tsifrovogo predpriyatiya = Industry 4.0»: the creation of a digital enterprise [Internet]. Available from: https://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry-2016_rus.pdf. (In Russ.)
7. Giusto D. Iera A., Morabito G., L. Atzori (Eds.). The Internet of Things. New York: Springer-Verlag New York; 2010. 442 p.

8. Salamatov I.A. Data localization through the use of cloud-fog technology [Internet]. Vestnik VUiT = Bulletin of VUiT. 2015; 1 (23). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/lokalizatsiya-dannyh-za-schet-ispolzovaniya-oblachno-tumannyh-tehnologiy>. (cited: 28.06.2019). (In Russ.)
9. Satton R.S. Barto E.G. Obucheniye s podkrepleniym. per. s angl = Reinforced training. Tr. from Eng. Moscow: BINOM Laboratory of Knowledge; 2011. 399 p. (In Russ.)
10. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya. Pod red. A.A. Krasovskogo = Reference on the theory of automatic control. Ed. A.A. Krasovsky. Moscow: Nauka; 1987. 712 p. (In Russ.)
11. Solodov A.A. Bayesian adaptation in Poisson cognitive systems. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2019; 23(4): 23-31. (In Russ.)
12. Russel S., Norvig P. Iskusstvennyy intellekt: sovremennyy podkhod, 2-ye izd.: Per. s angl = Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2 edition. Tr. from Eng. Moscow: Williams Publishing House; 2007. 1408 p. (In Russ.)
13. Kuznetsov O.P. Cognitive semantics and artificial intelligence. Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy = Artificial intelligence and decision making. 2012; 4: 32-42. (In Russ.)
14. Trembach V.M. The modular architecture of an intelligent system for solving the problems of the Internet of things. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2019; 23(4): 32-43. DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2019-4-32-43>. (In Russ.)
15. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nykh organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika = From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, computer science. Moscow: Editorial URSS; 2002. 352 p. (In Russ.)
16. Trembach V.M. Resheniye zadach upravleniya v organizatsionno-tekhnicheskikh sistemakh s ispol'zovaniyem evolyutsioniruyushchikh znaniy: monografiya = Solving management problems in organizational and technical systems using evolving knowledge: a monograph. Moscow: MESI; 2010. 236 p. (In Russ.)
17. Rastrigin L. A. Adaptatsiya slozhnykh system = Adaptation of complex systems. Riga: Zinatne, 1981. 375 p.
18. Karpov V.E., Karpova I.P., Kulinich A.A. Sotsial'nyye soobshchestva robotov: emotsii i temperament robotov; obshcheniye robotov; modeli kontagioznogo, podrazhatel'nogo i agressivnogo povedeniya robotov; komandnoye povedeniye robotov i obrazovaniye koalitsiy; prostranstvennaya pamyat' animate = Social communities of robots: emotions and temperament of robots; communication robots; models of contagious, imitative and aggressive behavior of robots; team behavior of robots and the formation of coalitions; spatial memory of animat. Moscow: URSS: LENAND; 2019. 349 p. (Ser. «The Sciences of the Artificial» № 19). (In Russ.)
19. Telnov Y. Enterprise product and service process design with the use of intelligent technologies [Internet]. Selected Papers of the XXII International Conference «Enterprise Engineering and Knowledge Management (EEKM 2019)». (Moscow, Russia, April 24-26, 2019). Moscow: CEUR Workshop Proceedings, 2019: 152-160. Available from: <http://ceur-ws.org/Vol-2413/>
20. Lakoff J. Women, Fire and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind. Chicago: University of Chicago Press; 1987.

Сведения об авторах

Александр Александрович Солодов

д.т.н., профессор, профессор кафедры
Прикладной математики и программирования
Российский государственный университет им.
А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
Москва, Россия
Эл. почта: aasol@rambler.ru

Василий Михайлович Трембач

к.т.н., доцент, доцент кафедры 304
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
Москва, Россия
Эл. почта: trembach@yandex.ru

Information about the authors

Aleksander A. Solodovnikov

Dr. Sci. (Engineering), Professor,
Professor of the Department of Applied Mathematics
and Programming
Kosygin Russian State University,
Moscow, Russia.
E-mail: aasol@rambler.ru

Vasiliy M. Trembach

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the
Department 304
Moscow Aviation Institute (National Research
University), Moscow, Russia
E-mail: trembach@yandex.ru