

Интеллектуальные автономные системы — вызов информационным технологиям

Ю. В. Тюменцев

Московский авиационный институт им. С. Орджоникидзе
tium@mai.ru

Аннотация

На основе анализа тенденций развития исследований и разработок в области искусственных интеллектуальных систем (ИИС) делается вывод о необходимости формулирования некоторой «проблемы-вызова», которая могла бы послужить базой для корректного обсуждения и сопоставления результатов как концептуального, так и конкретного плана для ИИС. Предлагается использовать в качестве такой проблемы-вызова задачу изучения и создания интеллектуальных автономных систем (ИАС). Рассматриваются основные особенности ИАС, приводятся характерные примеры таких систем.

Введение

1. В течение 60 лет, если считать с момента выхода первопроходческой работы У. МакКаллока и У. Питтса [1], не прекращаются попытки создания искусственных интеллектуальных систем (ИИС).

Результаты этих попыток выглядят пока достаточно скромными, если сравнивать их с основной декларированной целью — создать ИИС, по уровню интеллектуальных возможностей не уступающую человеку. При этом, однако, до сих пор нет ясности даже в таком кардинальном вопросе, как принципиальная реализуемость ИИС подобного уровня. Диапазон точек зрения по этому вопросу варьируется от категорического «нет» (см., например, [2]) до решительного «да» [3].

Как правило, приводимая аргументация (как «за», так и «против») выглядит не очень убедительной. Основная причина — эта аргументация чаще всего умозрительна (она основана обычно на своего рода «мысленном эксперименте»), либо представляет собой не вполне корректную экстраполяцию неких частных результатов на более широкую область, где, вообще говоря, с этими результатами надо бы обращаться с большой осторожностью¹.

2. За прошедшие десятилетия предложено и разработано значительное количество всевозможных подходов, методов, алгоритмов, относящихся к различным

¹Один из наиболее знаменитых примеров такой экстраполяции — книга М. Минского и С. Пейперта «Перцептроны» [4], на полтора десятилетия существенно осложнившая жизнь представителям нейросетевого направления исследований в области ИИС.

аспектам проблемы ИИС. Однако анализировать, сопоставлять между собой эти подходы, методы, алгоритмы чрезвычайно затруднительно (и тем самым затрудняется оценка вклада того или иного результата в реализацию «основной цели» ИИС). Ведь корректное сопоставление результатов предполагает наличие некоей общей понятийной базы, основы для такого сравнения. Приходится констатировать, что такого рода основы пока нет.

3. Итак, можно утверждать, что в настоящее время в области ИИС отсутствует база для эффективного и корректного обсуждения и сопоставления результатов, принципиально важных для ИИС — как вопросов концептуального характера, ответы на которые определяют облик создаваемых систем, так и вопросов частного (конкретного) характера, относящихся к различным аспектам проблемы создания ИИС и их компонентов.

Обсуждение вопросов как концептуального, так и конкретного плана должно быть конструктивным.

Применительно к вопросам концептуального характера это значит, что надо не просто сказать «да, это возможно», но и дать способ построения обсуждаемого объекта; или же не просто «нет, это сделать нельзя», но показать конкретно, по каким именно причинам.

Аналогично, обсуждение тех или иных предлагаемых подходов, методов, алгоритмов должно проводиться таким образом, чтобы можно было сказать предметно, какую же часть общей проблемы создания ИИС и как позволяет решить предлагаемый метод (подход).

4. Такого рода базой, облегчающей поиск «общего языка» представителям различных направлений, занятых изучением и созданием ИИС, могла бы послужить некоторая «суперзадача», «проблема-вызов» (в англоязычной литературе проблема подобного рода обозначается словом “challenge”).

В свете сказанного выше вполне естественными выглядят следующие требования к проблеме-вызову:

- с одной стороны, она должна быть настолько многосторонней и «всеохватной» («всеобъемлющей»), чтобы в ее рамках можно было бы обсуждать любые аспекты ИИС, чтобы само существование такой задачи оправдывало бы поиски и создание любых (новых и эффективных) методов и средств («сколько бы ни сделали, много не будет никогда»);
- с другой стороны, эта задача должна легко масштабироваться и структурироваться с тем, чтобы в ее рамках можно было бы обсуждать не только «глобальные концепции» ИИС, но и любые, самые конкретные и частные вопросы, связанные, например, с алгоритмами ИИС.

5. Представляется, что на роль такого рода задачи-вызова может претендовать проблема создания *интеллектуальных автономных систем* (ИАС). В следующих разделах предпринимается попытка сформулировать эту проблему.

1. Система и среда ее существования

1. Будем считать, что мир устроен так: есть некая *система* — предмет нашего изучения, и есть все остальное, не входящее в эту систему — *внешняя среда*.

Система и внешняя среда существуют во *взаимодействии*. Это взаимодействие может быть как *статическим*, когда воздействие среды на систему и реакция системы на это воздействие постоянны, так и *динамическим*, когда воздействия и реакции — некоторые функции времени. Отвечающие этим взаимодействиям классы систем принято именовать, соответственно, статическими и динамическими системами.

подавляющее большинство практически интересных классов систем являются динамическими, именно они и будут предметом изучения.

2. Как отмечалось выше, динамическая система взаимодействует со средой, т. е. воспринимает воздействия окружающей среды и соответствующим образом реагирует на них. Реакция системы на воздействия среды может быть как пассивной, так и активной.

Пассивное взаимодействие — это, например, движения камня, полет артиллерийского снаряда или неуправляемой ракеты под воздействием гравитационных и аэродинамических сил. Интуитивно ясно, что динамические системы, пассивно взаимодействующие со средой (т. е. неуправляемые системы), не представляют интереса с точки зрения выбора проблемы-вызова.

При *активном* взаимодействии система, получив воздействие среды, по тем или иным правилам формирует и реализует «ответ» (реакцию) системы на данное воздействие, например, отклоняет руль, парируя возмущение. Это значит, что динамическая система, способная активно взаимодействовать со средой, есть система *управляемая*.

3. Характер активного взаимодействия со средой, реализуемого системой, определяется свойствами данной системы, а также ресурсами, которыми она располагает. В процессе формирования реакции на то или иное воздействие среды система может как опираться на свои ресурсы (например, законы управления или карту местности, реализованные в ней), так и использовать некие информационные источники и управляющие воздействия внешнего характера (как, например, в задаче навигации с использованием спутниковой системы GPS и в задаче телеуправления, соответственно).

Чем меньше система зависит от внешних информационных источников и управляющих команд, тем выше степень ее *автономности*.

4. Требуемая проблема-вызов, чтобы быть нетривиальной, должна быть связана с управляемыми динамическими системами, активно взаимодействующими с внешней средой, причем это взаимодействие должно быть направлено на достижение некоторых *целей*.

Наибольший практический интерес представляют те системы, которые обладают достаточно высоким уровнем автономности (т. е. решают ту или иную прикладную задачу, в основном «опираясь на собственные силы»); будем именовать данный класс систем *системами высокой автономности* (СВА).

Будет ли представлять интерес тот или иной класс СВА с точки зрения проблемы-вызова, зависит от *поведения*, реализуемого системами этого класса.

2. Поведение системы

1. *Поведением* СВА будем называть последовательность реакций этой системы в процессе взаимодействия ее с внешней средой.

Понятие поведения как взаимодействия системы с внешней средой было сформулировано и давно исследуется применительно к человеку в психологии и нейрофизиологии (см., например, [9, 10, 12]), а применительно к животным — в этологии (см., например, [7, 8]). В более широком смысле принято также говорить о поведении и других классов систем, например, физических систем.

2. При выявлении видов поведения систем интересующего нас класса (СВА) используем в качестве отправной точки то, как эти виды выделяются для живых систем.

Применительно к живым системам, для которых поведение трактуется как форма адаптации, принято выделять стереотипные и приобретенные виды поведения [7, 8, 11], включающие такие их разновидности:

- Стереотипные виды поведения:
 - тропизмы и таксисы;
 - рефлексy;
 - инстинкты (частично).
- Приобретенные и модифицируемые виды поведения:
 - инстинкты (частично);
 - научение;
 - рассудочная деятельность;
 - инсайт.

Тропизмы и таксисы представляют собой простейшие формы адаптации «автоматического» характера. *Тропизмы* характерны для растений, примером здесь может служить гелиотропизм — поворот соцветия к солнцу у подсолнечника. *Таксисы* присущи одноклеточным существам, стоящим на самой нижней ступеньке «лестницы» животного мира. Пример таксиса — движение парамеции (инфузории-туфельки) к пище или от источника раздражения, в частности, слишком яркого света.

Рефлексы — это уже формы поведения, связанные с наличием нервной системы. Они представляют собой цепь событий, когда сигналы от какого-либо органа чувств передаются с помощью нервной системы и вызывают соответствующую автоматическую реакцию. Примеры рефлекса — отдергивание человеком руки при воздействии на нее, причиняющем боль; расширение зрачков в темноте.

Таксисы и рефлексы относятся к классу простых стереотипных реакций. Наряду с ними могут быть и формы сложного стереотипного поведения (*инстинктивного поведения*), присущие данному виду животных. Характер и цели такого поведения, а также условия его запуска детерминированы генетически. Примерами инстинктивного поведения являются постройка гнезда у птиц, миграция у лососевых рыб и перелетных птиц.

Перечисленные выше формы поведения (адаптации) являются врожденными. По мере подъема по эволюционной лестнице, с совершенствованием нервной системы, врожденное поведение все чаще заменяется приобретенным.

Возникает, например, частичная модифицируемость инстинктивного поведения. В частности, млекопитающие в ряде случаев (материнский инстинкт, например) располагают врожденным знанием, дополняемым за счет приобретенного знания.

Более высокий уровень поведения связан с *научением*, когда нервная система животных получает возможность накапливать информацию, способную изменять их поведение.

Научение реализуется либо через подражание, либо путем проб и ошибок. Высшие млекопитающие, главным образом обезьяны и человек, располагают также возможностями организации поведения путем *рассудочной деятельности*, не прибегая к предварительным пробным действиям, как это имеет место при простом научении.

3. Выше отмечалось, что предметом рассмотрения является класс систем высокой автономности — искусственных динамических управляемых систем, существующих в некоторой среде. Состояние этой среды (и, следовательно, характер воздействия ее на систему) и самой системы, а также еще ряд факторов определяют текущую *ситуацию*.

Рассматриваемая система является управляемой; процесс управления предполагает, как известно (см., например, [6]), наличие *целей* управления (целеполагание может быть как *внешним*, когда цели «диктуются» системе некоей «внешней инстанцией», так и *внутренним*, когда цели формулируются самой системой, исходя из некоторой системы ценностей, мотиваций и т. п.).

В зависимости от текущей ситуации, а также от целей формируется и реализуется та или иная реакция системы; эта реакция может как выбираться некоторым способом из репертуара заранее заготовленных реакций, так и порождаться динамически.

4. В зависимости от того, какие механизмы вовлечены в то, чтобы поставить в соответствие паре $\langle \text{ситуация}, \text{цели} \rangle$ отвечающую ей реакцию, можно выделить несколько *уровней поведения СВА*:

1. «Механическое» поведение.
2. Стереотипное поведение на основе средств, конструктивно встроенных в систему.
3. Стереотипное поведение, приобретенное путем обучения.
4. Поведение, направляемое знаниями и рассуждениями.
5. Поведение, направляемое опытом.
6. Поведение, направляемое интуицией.

4.1. «Механическое» поведение СВА — это реакции системы на воздействия внешней среды, реализуемые без привлечения управления, исключительно за счет «физических» факторов. Примером здесь может служить поведение аэродинамически устойчивого летательного аппарата при воздействии на него возмущения, например, ветрового порыва.

Аналогом этого вида поведения СВА в мире живой природы можно считать тропизмы и таксисы.

4.2. Стереотипное поведение СВА на основе средств, конструктивно встроенных в систему — это поведение систем под действием традиционных «жестких» регуляторов. Закон управления в таких регуляторах задан при проектировании системы, фиксирован при ее изготовлении и никаким изменением в дальнейшем не подлежит.

При этом соответствующие программы реагирования (цепочки элементарных действий) могут быть как простыми, так и весьма сложными, принципиально здесь лишь то, что эти программы подготовлены *заранее* и в дальнейшем остаются неизменными.

В живой природе этому виду поведения СВА соответствует врожденное поведение на уровне безусловных рефлексов, а также инстинктивное поведение в той части, что определяется врожденными знаниями.

4.3. Стереотипное поведение СВА, приобретенное путем обучения, по характеру реагирования сходно с предыдущим уровнем поведения. Имеется некоторый репертуар программ-реакций, текущему значению пары *⟨ситуация, цели⟩* ставится в соответствие одна из реакций данного репертуара.

Принципиальное отличие данного уровня поведения от предыдущего уровня состоит в том, что отображение множества значений пар *⟨ситуация, цели⟩* в множество программ-реакций (и сами эти программы-реакции) формируются в процессе работы СВА путем *обучения*, в отличие от предыдущего случая, где это отображение было «врожденным» и неизменным.

Здесь существенно, однако, то, что *сначала* систему надо «научить» новым «умениям» (программам реагирования) для каких-то указанных ей классов пар *⟨ситуация, цели⟩*, а лишь потом требовать от нее применения этих «умений».

В живой природе данному виду поведения СВА отвечает инстинктивное поведение в той части, что связана с модификацией врожденного поведения, а также поведение на основе научения.

4.4. Поведение СВА, направляемое знаниями и рассуждениями — это уровень осмысленных действий «по правилам», «по инструкции», когда имеются некоторые знания и формализованные процедуры, которым надо следовать.

В данном случае при определении реакции СВА на текущую пару *⟨ситуация, цели⟩* используется уже не просто отображение, упоминавшееся в предыдущем пункте, а более сложная конструкция, где вместо единичного отображения используется некоторая *цепочка рассуждений*, т. е. последовательность отображений, формируемая динамически (примерно так, как это делается в машинах вывода баз знаний).

Если на предыдущих двух уровнях процессы реагирования были «одношаговыми» (текущей паре *⟨ситуация, цели⟩* сразу ставилась в соответствие и запускалась программа-реакция), то в рассматриваемом случае имеет место уже многошаговый процесс поиска адекватной реакции. Однако доступный репертуар реакций, как и в предыдущих двух случаях, должен быть подготовлен заранее.

В живых системах данному уровню поведения СВА соответствует рассудочная деятельность в той ее части, что связана с действиями по заранее известным предписаниям (правилам).

4.5. Поведение СВА, направляемое опытом, в определенной степени напоминает предыдущий уровень (поведение, направляемое знаниями и рассуждениями), здесь также важную роль играет обучение.

Принципиальные различия между этими двумя уровнями поведения заключаются в следующем.

Вместо цепочки рассуждений (в духе машины вывода в системе, основанной на знаниях) методом проб и ошибок строится существенно менее формализованная цепочка ассоциативных контекстно-зависимых переходов (примерно в духе гетероассоциативных нейронных сетей).

Еще более существенно то, что как программы-реакции, так и рассуждения для них формируются динамически, в процессе работы СВА. Это значит, что снимается ограничение, которое было на двух предыдущих уровнях поведения, требующее *предварительной* подготовки как реакций, так и схем их поиска (отображений или деревьев вывода).

Таким образом, на данном уровне поведения соответствие между парой *ситуация, цели* и реакцией есть объект *динамический*, формируемый в процессе работы СВА: работая, система «накапливает опыт» поведения применительно к различным ситуациям и целям.

В живой природе этому уровню частично отвечает рассудочная деятельность (когда рассуждающий субъект оперирует понятиями, связанными с неопределенностью), частично уровень инсайта (в силу неосознаваемого характера ряда предпринимаемых действий).

4.6. Поведение СВА, направляемое интуицией (инсайтом), связано с реализацией действий по аналогии, путем внутреннего связывания разнородных элементов. Здесь не используются такие механизмы сопоставления паре *ситуация, цели* адекватной реакции, как отображение (уровни 2 и 3), логические рассуждения (уровень 4) или метод проб и ошибок (уровень 5).

Этот вид поведения надо, по-видимому, связывать с интуицией, инсайтом в живых системах, когда возникает решение, которое «непонятно откуда взялось» («озарение»).

Ключ к этому виду (уровню) поведения содержится, возможно, в следующем.

Все приобретенные формы поведения, рассмотренные выше (это уровни 3, 4 и 5), имеют дело с задачами, *заранее определенными* в том смысле, что классы решаемых задач и соответствующие способы реагирования на них задаются тем или иным способом заранее. Некоторый уровень неопределенности в динамический механизм реагирования на изменения значений пар *ситуация, цели* вносится только на уровне 5 (поведение, направляемое опытом), но радикально это сути дела не меняет — здесь неопределенность играет некоторую роль в основном в звене, связанном с «тонкостями применения» реакций-программ с целью их приспособления к имеющимся условиям («подгонка по месту»). По общему стилю «опыт», накапливаемый и применяемый на данном уровне поведения, очень напоминает эвристики.

В отличие от этого, на уровне поведения, направляемого интуицией, ставятся другие цели. Традиционные архитектуры интеллектуальных систем обладают одной «врожденной» особенностью, существенно снижающей их эффективность — система, обученная (или подготовленная каким-либо другим способом) решению некоторой частной задачи, абсолютно беспомощна перед другой частной задачей.

Напрашивается необходимость поиска механизмов, наделяющих систему некими *метасвойствами*, т. е. адаптивностью к виду задач, предъявляемых системе для решения — это и есть основная цель для уровня поведения, направляемого интуицией.

5. Системы высокой автономности, реализующие хотя бы один из уровней поведения 4, 5 или 6, будем именовать *интеллектуальными автономными системами* (ИАС).

Очевидно, что ИАС, предназначенная для решения сколько-нибудь нетривиальных задач, будет реализовывать не один какой-то уровень (вид) поведения, а некую их комбинацию («смесь»). Компоненты этой «смеси» могут появляться либо по-отдельности (в некоторой очередности), либо даже одновременно — это будет случай «основной задачи» для искусственных интеллектуальных систем, когда требуется создать систему, сопоставимую по интеллектуальным возможностям с человеком.

Уровни поведения от третьего и ниже также могут участвовать в упомянутой «смеси»; в общем случае они будут реализовываться на фоне других уровней поведения и в сочетании с ними на одном и том же отрезке времени.

В ряде случаев СВА будет задействовать только «неинтеллектуальные» уровни поведения. Это может иметь место в двух случаях: во-первых, если рассматриваемая система в принципе не в состоянии по своим потенциальным возможностям к реализации более высоких уровней поведения; во-вторых, когда текущая пара *⟨ситуация, цели⟩* такова, что в качестве реакции на нее вполне достаточно низших уровней поведения (своего рода «принцип наименьшего действия»). Эти случаи СВА можно трактовать как вырожденные варианты ИАС и рассматривать их в той мере, что требуется для полноты общей картины.

3. Свойства интеллектуальных автономных систем

1. Проведенный анализ позволяет утверждать, что значительная часть перспективных технических систем будет создаваться либо в классе интеллектуальных автономных систем (ИАС) и сообществ таких систем, либо будет содержать в себе ИАС в качестве подсистем.

2. ИАС — это системы, реализующие некоторую комбинацию из уровней поведения, перечисленных в предыдущем разделе, обладающие высоким *«уровнем самостоятельности»*, в том числе умеющие:

- достигать поставленных *целей* в высокодинамичной среде со значительным числом разнородных неопределенностей в ней;
- корректировать поставленные цели, а также формировать *новые цели* и комплексы целей, исходя из заложенных в ИАС ценностных и нормативных установок (мотивации);
- добывать *новые знания*, накапливать *опыт* решения разнообразных задач, обучаться на этом опыте, модифицировать свое поведение (реакции на изменение ситуации) на основе полученных знаний и накопленного опыта;

- адаптироваться к виду задач, в решении которых возникает необходимость, в том числе обучаться решению задач, *не предусмотренных* первоначальным проектом системы;
- образовывать «коллективы» из ИАС (*сообщества ИАС*), нацеленные на взаимодействие их членов при решении некоторой общей задачи; эти коллективы должны располагать возможностями *самоструктуризации* (разнородность элементов коллективов ИАС, разнородность и динамичность связей между ИАС), исходя из текущей и/или прогнозируемой ситуации;
- осуществлять *самовоспроизведение* с привлечением местных сырьевых и энергетических ресурсов, возможно, с изменениями в «геноме» системы (для поддержки процессов эволюции в сообществах ИАС).

3. В первую очередь ИАС — это «самодостаточные» системы, на которые может возлагаться решение определенного комплекса прикладных задач *в полном объеме*. Имеется, однако, еще одна важная «ниша» для ИАС — это *интеллектуальные автономные подсистемы* в сложных системах, включающих человека-оператора (пилотируемые самолеты, вертолеты, космические аппараты, надводные, подводные или наземные аппараты и т. п.). Такие подсистемы нацеливаются на то, чтобы в максимальной степени самостоятельно решать поставленные перед ними задачи. Их использование дает возможность существенно повысить качество реализации критически важных функций, уменьшить рабочую нагрузку человека-оператора и повысить за счет этого безопасность и эффективность эксплуатации соответствующих сложных систем согласно их целевому назначению.

4. Структурно «*деятельность*» ИАС в некоторой среде можно разделить на *три сферы*:

1. Восприятие текущей ситуации (ситуация = внешняя-ситуация + внутренняя-ситуация) — *сенсорные функции*.
2. Формирование реакции («ответа») на текущую или прогнозируемую ситуацию (виды возможных реакций: изменение состояния ИАС в ее фазовом пространстве, реконфигурация, реструктуризация, адаптация целей, самообучение, самоорганизация и т.п.) — *управляющие функции*.
3. Реализация (сформированной) реакции на текущую или прогнозируемую ситуацию — *эффекторные функции*.

5. Заданное сочетание необходимых «умений» ИАС и требуемых конкретных форм ее «деятельности» определяет состав функций, которые должна реализовывать ИАС того или иного вида (примеры таких функций: зрение в различных диапазонах электромагнитного излучения, совмещение сенсорных данных из разных источников в единую информационную картину, выявление отказов в системах ИАС, компенсация обнаруженных отказов путем реконфигурации/реструктуризации и т. п.).

4. Применения интеллектуальных автономных систем

1. В настоящее время широко употребляется пара терминов «автоматическая система» и «автоматизированная система». Первый из этих терминов относится к системам, действующим без какого-либо вмешательства человека в процессе их функционирования, второй обозначает такие системы, где в качестве активного элемента присутствует человек.

По аналогии с этим будем различать *системы-роботы* (или просто роботы) и *роботизированные системы*. Оба этих класса систем представляют собой наиболее очевидную сферу применения ИАС.

2. К системам-роботам, которые целесообразно было бы реализовывать на уровне ИАС, можно отнести самолеты-роботы, вертолеты-роботы, космические аппараты-роботы, надводные и подводные аппараты-роботы, безлюдные (автоматические) системы, предназначенные для решения сложных комплексов задач без вмешательства человека и т. п.

Разница между аппаратами-роботами и традиционными автоматическими аппаратами состоит в существенно более высоком уровне «самостоятельности» поведения роботов по сравнению с традиционными автоматами, в способности роботов обучаться, накапливать и использовать опыт в ходе решения поставленных задач.

3. Примерами роботизированных систем могут служить пилотируемые летательные аппараты (самолеты, вертолеты, космические корабли), в состав систем и бортового оборудования которых входят (на правах подсистем) интеллектуальные автономные системы. Здесь обязательным (и активным) элементом системы в целом является человек. Совсем необязательно при этом, чтобы человек находился непосредственно на борту роботизированного аппарата. Он может осуществлять свои функции (контроль, управление, целеуказание и т. п.), находясь вне аппарата, в том числе и на значительном удалении от него. Примером такого рода аппаратов могут служить роботизированные дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА), а также другие дистанционно управляемые аппараты, когда оператор и управляемый им аппарат разнесены в пространстве.

4. В качестве примеров систем, роботизация которых позволила бы резко повысить их эффективность, можно назвать: системы организации воздушного движения; средства управления энергетическими системами; средства поддержки процессов контроля и управления производствами традиционных видов (машиностроительными, химическими и нефтехимическими, добывающими и т. п.); средства управления в чрезвычайных обстоятельствах — ликвидация последствий стихийных бедствий, техногенных катастроф и другие, где ИАС можно было бы использовать как средства поддержки процессов формирования и принятия решений («интеллектуальные помощники») в человеко-машинных системах, позволяющие работать в средах со значительным числом разнородных неопределенностей, в условиях больших потоков данных и жестких временных ограничений.

5. Еще одна очевидная сфера применения ИАС — роботизированная бытовая техника различного назначения, а также сообщества роботизированных бытовых устройств («роботизированное жилище»).

Заключение

Как следует из приведенного выше материала, задача изучения и создания интеллектуальных автономных систем вполне может претендовать на статус проблемы-вызова, вызова современным и перспективным информационным технологиям.

Эта задача удовлетворяет тем требованиям, которые были сформулированы во введении. Она допускает широкий диапазон постановок, варьируемый как по уровню общности (от концептуальных до конкретно-алгоритмических) и сложности («от червяка до человека») решаемых задач, т. е. обеспечивает необходимую масштабируемость подхода. В свою очередь, такое варьирование приводит к необходимости вовлечения в процесс изучения и создания ИАС всех без исключения дисциплин, связанных с искусственными интеллектуальными системами («всеохватность»).

Литература

1. *McCulloch W.S., Pitts W.* A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. // *Bull. Math. Biophys.*, – 1943. – v. 5. – pp. 115–133.
Рус. перевод: *Мак-Каллок У.С., Питтс В.* Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности // В сб.: «Автоматы» под ред. *К. Э. Шеннона* и *Дж. Маккарти*. – М.: Изд-во иностр. лит., 1956. – с. 362–401. См. также перепечатку этой статьи в журнале «Нейрокомпьютер». – 1992. – №3, 4. с. 39–53.
2. *Дрейфус У.* Чего не могут вычислительные машины: Критика искусственного разума. – М.: Прогресс, 1979.
3. *McCarthy J.* What is Artificial Intelligence?
URL: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.html>
4. *Минский М., Пейперт С.* Перцептроны. – М.: Мир, 1977.
5. Будущее искусственного интеллекта / Ред.-сост. *К.Е. Левитин* и *Д.А. Поспелов*. – М.: Наука, 1991. – 302 с.
6. *Шрейдер Ю. А., Шаров А. А.* Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
7. *Вилли К., Детье В.* Биология: Биологические процессы и законы. – М.: Мир, 1975. – 822 с.
8. *Кемп П., Армс К.* Введение в биологию. – М.: Мир, 1988. – 671 с.
9. *Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л.* Мозг, разум и поведение. – М.: Мир, 1988. – 248 с.
10. *Веккер Л. М.* Психика и реальность: Единая теория психических процессов. – М.: Смысл; Per Se, 2000. – 685 с.
11. *Годфруа Ж.* Что такое психология. В двух томах. – М.: Мир, 1992. – Том 1, 496 с.; Том 2, 376 с.
12. *Выготский Л. С.* Психология. – М.: Изд-во ЭКСМО-Пресс, 2000. – 1008 с.