

Нечеткое управление в эргатических робототехнических системах

© А.С. Ющенко

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Наиболее сложные и ответственные задачи выполняются роботами под контролем человека. Однако в настоящее время взаимодействие робота и человека уже не является управлением в традиционном смысле. Робот обладает собственной информационно-сенсорной системой, базой знаний, может самостоятельно принимать решения. Поэтому речь идет о взаимодействии робота и оператора в процессе решения задач во внешнем мире. Такая постановка проблемы предполагает разработку специального аппарата для описания и планирования кооперативной деятельности робота и человека. Один из возможных подходов – применение аппарата нечеткой логики и лингвистических переменных, чему и посвящена настоящая статья.

Ключевые слова: эргатические системы, искусственный интеллект, нечеткая логика, лингвистические переменные, разрешение противоречий, диалоговое управление, нейро-нечеткие сети

Введение. Развитие робототехники происходит по пути передачи роботу все более сложных задач, выполняемых человеком. Тем не менее полная передача всех действий роботу при работе в условиях, связанных с риском для человека, с опасностью аварий и катастроф невозможна. Так, в медицинских приложениях действия робота всегда будет сопровождать хирург, а при сборке конструкций в космосе – опытный оператор. Вопрос только в том, в какой форме будет осуществляться это взаимодействие. В настоящее время чаще всего взаимодействие происходит на уровне непосредственного управления движениями робота или манипулятора, что неэффективно в условиях ограниченной информации, воспринимаемой человеком. Тем более в условиях потенциальной опасности для робота или оператора. Наиболее удобная форма взаимодействия в экстремальных условиях – прямой диалог оператора и «интеллектуального» робота на языке, близком к естественному. Такой способ управления радикально меняет не только структуру интерфейса, но и всю систему управления. Для сохранения «естественности» управления со стороны оператора необходимо обеспечить такую же «естественность» восприятия информации роботом, естественность рассуждений, планирования, принятия решений. Одним словом, требуется обеспечить антропоморфизм системы на уровне когнитивной деятельности робота.

В случаях, когда участие человека в работе робота в той или иной форме сохраняется, имеют дело с эргатической системой человек – робот. Ее основная особенность заключается в том, что техническая часть такой системы обладает элементами искусственного интеллекта. Поэтому целесообразно называть ее эргатической робототехнической интеллектуальной системой (ЭРИС). Основная задача создания такой системы состоит не столько в управлении интеллектуальным роботом, сколько в организации взаимодействия и согласования возможностей технической и биологической частей системы для обеспечения наибольшей эффективности системы в целом. Подобная задача, конечно, не может быть решена в рамках одной статьи. Речь идет, скорее, о ее постановке и некоторых предварительных результатах.

Структура и состав ЭРИС. Структурная схема ЭРИС (рис. 1) имеет три уровня управления, которые можно условно назвать уровнями целеуказания, планирования и исполнения. К третьему уровню относятся средства взаимодействия с объектами внешнего физического мира – исполнительные устройства (манипуляторы, рабочий инструмент, мобильная платформа робота). Эргатическая робототехническая интеллектуальная система обладает развитой информационной системой, включающей в себя датчики внешней информации (системы технического зрения и силомоментного осязания, тактильные датчики, лазерные и ультразвуковые дальномеры и т. п.), с помощью которых можно формировать адекватный образ ситуации во внешнем мире. Информационная система – единый комплекс, позволяющий получить «образ» ситуации и обладающий признаками различной модальности. Кроме пространственной ориентации робота и окружающих объектов это могут быть признаки цвета, размеров объектов, их геометрической формы, массы и т. д. Датчики внутренней информации – это датчики положения, скорости, ускорения, моментов, развиваемых движителями, и другие датчики, обеспечивающие автоматическое функционирование технической части системы и ее адаптацию к условиям работы.

На первом уровне ЭРИС организован интерфейс, позволяющий представлять информацию оператору в графической форме и в форме речевых сообщений с использованием лингвистических переменных, а также обеспечивать интерпретацию указаний оператора с помощью проблемно-ориентированного языка на основе тех же лингвистических переменных.

На втором уровне решается проблема планирования достижения целей, поставленных оператором, путем формирования последовательности подзадач, выполнимых роботом в данных условиях и приводящих к достижению цели. Наличие этого уровня освобождает оператора от детального анализа текущей обстановки, осуществляемого в автоматическом режиме собственными сенсорными устройствами робота. В процессе планирования возможен речевой диалог системы с оператором.



Рис. 1. Структурная схема ЭРИС

Важнейший элемент ЭРИС – база знаний, содержащая априорные сведения о технических возможностях ЭРИС и об элементарных операциях, которые могут быть выполнены роботом. Эти операции могут образовывать более сложные технологические процедуры, например, обработка поверхности, резание или сварка материалов, сборка и т.п. Правила организации типовых технологических процедур также должны содержаться в базе знаний. Логика управления должна быть формализована в виде продукционных правил, которые определяют целесообразное поведение ЭРИС в зависимости от реальной ситуации. В общем случае база знаний должна включать в себя сведения эргономического характера, определяющие возможности человека-оператора участвовать в процессе управления на том или ином уровне.

Системообразующим фактором рассматриваемой системы является сам человек, оценивающий ситуацию, ставящий задачи и контролирующий работу системы. При этом, как уже было отмечено выше, он использует при оценке ситуации и принятии решений «естественные» пространственно-временные отношения [1, 2]. Это обстоятельство при-

водит к необходимости применения аппарата нечеткой логики и при организации всех остальных когнитивных элементов ЭРИС с целью облегчить процесс управления и контроля работы системы со стороны человека. Следует принять во внимание и объективную нечеткость информации, получаемой от датчиков. Можно утверждать, что схема, приведенная на рис. 1, описывает не только робот, но и достаточно широкий класс технических систем, включающих в себя все перечисленные элементы. Такие системы можно отнести к интеллектуальным мехатронным системам. По существу, это схема, обеспечивающая взаимодействие техники и человека на интеллектуальном уровне с учетом предпочтений и объективных возможностей последнего.

Лингвистические переменные и нечеткая модель внешнего мира. При построении модели внешнего мира человек использует нечеткие отношения ориентации, дистанции между объектами сцены, а также нечеткие параметры, определяющие их геометрические и физические характеристики (например, размеры, массу этих объектов). В свою очередь, эти отношения и параметры связаны с существованием у человека субъективных шкал дистанции, ориентации, размеров и т. д. [2, 3]. При формировании команд и запросов, касающихся структуры пространства, человек применяет эти шкалы и нечеткие отношения.

Для описания отношений между объектами рабочей сцены в нечеткой логике используются экстенциональные и интенциональные отношения [2]. К первым относятся отношения положения и ориентации объектов. Значения лингвистических переменных «дистанция», «ориентация» задаются функциями принадлежности. В качестве примера рассмотрим функции принадлежности лингвистической переменной «дистанция между объектами A и B », построенные экспериментально на основе анализа гистограмм, которые получены при оценке дистанции группой операторов (рис. 2) [2]. Обозначим $d_j, j = 1, 2, \dots, 5$, значения лингвистической переменной «дистанция»: d_1 – очень близко; d_2 – близко; d_3 – не близко – не далеко; d_4 – далеко; d_5 – очень далеко. Тогда запись $(a_1 d_j a_2)$ обозначает следующее: элемент a_2 находится в отношении d_j к элементу a_1 .

Взаимная угловая ориентация между объектами обычно находится с помощью базовых направлений, связанных с системой координат наблюдателя. В самом простом случае это спереди – сзади и справа – сле-

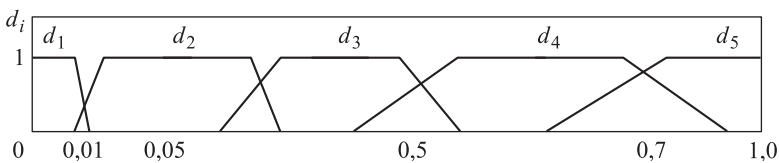


Рис. 2. Функции принадлежности для лингвистической переменной «дистанция между объектами A и B », построенные по экспериментальным данным

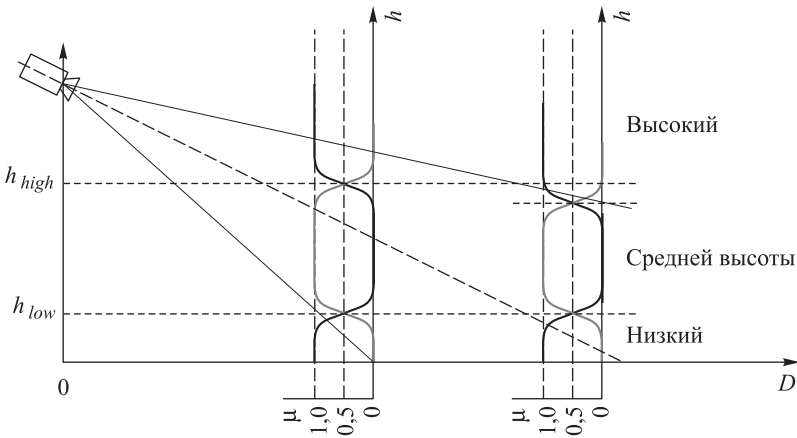


Рис. 3. Зависимость функции принадлежности от расстояния до измерителя

ва. Более тонкая градация направлений получается путем добавления логического условия «и». Например, справа и спереди; справа, слева и спереди и т. п. Всего при таком подходе получается восемь направлений и лингвистическая переменная «направление» принимает значения f_i , $i=1, 2, \dots, 8$, где f_1 – спереди; f_2 – спереди и слева; f_3 – слева и т.д. Например, для двух объектов a_1, a_2 отношение $(a_1 f_2 a_2)$ соответствует утверждению « a_2 спереди и левее a_1 », а отношение $(a_1 f_8 a_2)$ – « a_2 спереди и правее a_1 ».

Вводя аналогичные отношения в вертикальной плоскости (по высоте) и используя логические произведения нечетких отношений по высоте и ранее введенных отношений дистанции и ориентации на плоскости, можно определить нечеткое взаимное положение объектов в трехмерном пространстве. Например, «далеко, спереди справа и немного выше». Таким образом, будет получена система отношений между объектами пространственной сцены, аналогичная сферической системе координат.

Отметим, что для мобильных роботов, получающих информацию от бортовой системы технического зрения, функции принадлежности зависят от расстояния до объекта, т. е. являются трехмерными. Поясним это на примере определения лингвистической переменной «высота объекта» (рис. 3). Более подробно этот вопрос исследован в работе [4].

Для завершения пространственной модели сцены необходимо ввести интенциональные отношения между объектами. В работе [2] предложены два унарных отношения (R_{00} – быть горизонтальным; R_{01} – быть вертикальным) и 28 элементарных бинарных отношений. Например, для описания пространственной сцены могут быть использованы следующие бинарные отношения: R_1 – соприкоснуться; R_2 – быть внутри; R_3 – быть вне; R_4 – быть в центре; R_5 – быть на одной прямой; R_6 – быть на одной плоскости; R_7 – иметь ненулевую проекцию. Отношения R_1, R_5 и R_6 симметричны, а отношения R_2 и R_3 транзитивны.

Перечень отношений можно расширить в зависимости от конкретных задач.

С помощью введенных интенциональных и экстенциональных отношений можно описать достаточно сложную рабочую сцену путем конъюнкции из элементарных (бинарных) отношений. Например, сложное отношение « a_1 стоит на плоскости S далеко справа» можно записать как $(a_1 R_8 S) \& (a_0 d_5 f a_1)$, где a_0 – базовый объект (наблюдатель), относительно которого сформулированы отношения дистанции и ориентации.

Поскольку внешний мир непрерывно меняется как за счет движения наблюдаемых объектов, так и за счет движения самого робота, то и описание ситуации изменяется во времени. В общем случае это обстоятельство требует учета не только пространственных, но и временных отношений во внешнем мире (быть одновременно, быть раньше, следовать за).

Совокупность заданных объектов в пространстве рабочей сцены, отношений между ними и правил преобразования составляют *формальный язык описания сцены*. Данные о внешнем мире в ЭРИС поступают от датчиков информации в виде сигналов, имеющих конкретные значения, поэтому, для того чтобы воспользоваться процедурами нечеткой логики, необходимо вначале сопоставить значения измеренных физических величин с нечеткими значениями соответствующих лингвистических переменных, т. е. выполнить их фазификацию. Способы решения этой задачи, как и возникающие здесь проблемы, хорошо известны [1, 2].

Описание операций ЭРИС и их планирование. Введенные выше нечеткие отношения могут быть использованы для описания ситуации и выполнения роботом действий во внешнем мире. При этом язык описания внешнего мира может быть применен и для описания цели выполняемых действий. Наиболее просто эта задача решается для управления мобильным роботом, когда результатом действий является перемещение робота к заданной цели. Положение цели может быть задано с помощью нечеткого задания последовательности реперов, что напоминает задание цели собеседнику примерно в такой форме: «иди прямо, пока не увидишь фабричную трубу. Теперь немного сверни направо и двигайся вперед до старой церкви и т. д.». Недостаток такого способа задания цели – достаточно грубое задание направлений. Согласно тщательному анализу, это может привести к появлению процессов автоколебательного типа, когда робот начинает совершать циклические движения между двумя реперами [5]. Поэтому подобная система работоспособна только при наличии нижнего (см. рис. 1) уровня управления. Тогда цель логического уровня управления – это не достижение цели, а вывод робота в окрестность, в которой цель может быть захвачена локационной системой мобильного робота, после чего осуществляется точное наведение на цель в автоматическом режиме.

Пример более сложных задач управления мобильным роботом – задачи слежения и преследования. В последнем случае речь идет о преследовании подвижного объекта и цель заключается в сближении с ним. Эта задача хорошо известна как задача самонаведения. Проблема возникает тогда, когда текущее положение преследуемого объекта может быть определено только приблизительно. Например, при пожаре плохо виден источник возгорания, который и является целью наведения пожарного робота. Для этого был предложен способ нечеткого самонаведения, в котором текущее положение объекта задается лингвистическими переменными, определяющими градиент температурного поля, в котором находится мобильный робот [6].

Проблема усложняется, если имеют дело с манипуляционными операциями, которые намного сложнее по своей структуре, чем движение мобильного робота. Так, при выполнении манипуляционных операций возникает еще один важный класс операций, связанный с физическим взаимодействием робота и объектов рабочей сцены (например, при осуществлении операций механической обработки или сборки). В этом случае требуется дополнительная информация о силах и моментах, характеризующих процесс взаимодействия, которая должна быть заложена в описание операции либо как ограничение, либо как управляемый фактор.

Элементарные операции (ЭО) описываются в виде фреймов, а объекты, участвующие в операции, – в виде субфреймов [7]. Слоты фрейма операции содержат условия окончания операции, налагаемые на контролируемые переменные (описание цели операции), а также дополнительные условия, определяющие ее особенности:

- 1) условия, сложившиеся на рабочей сцене к моменту начала операции (исходная ситуация);
- 2) возможности технической части системы;
- 3) свойства объектов деятельности ЭРИС, которые существенны для выполнения действия (если эти свойства известны заранее).

Первое условие выполняется в реальном масштабе времени с помощью сенсорной системы робота, второе – по имеющейся базе данных. Проверка третьего условия может потребовать осуществления роботом операций гностического типа – операций, целью которых является получение дополнительной информации, необходимой для выполнения поставленных задач (изменение точки обзора, определение массы объекта и т. п.). Такие операции могут потребоваться, если не полностью определено первое условие.

Элементарные операции нечеткого типа позволяют организовать нечеткие операции более сложного типа, состоящие из отдельных элементарных операций, например, обход неподвижного препятствия, прохождение в «ворота», преодоление эскарпа и контрэскарпа. Преимущество нечеткой логики заключается в том, что перечисленные операции

непосредственно задаются в виде списка продукционных правил, основанных на лингвистических переменных.

Для планирования сложной операции было предложено использовать принцип разрешения противоречий, являющийся аналогом процедуры принятия решения человеком в случае планирования своих действий [8]. Существенная часть предлагаемой процедуры планирования – проверка условий выполнимости ЭО [9]. С каждой ЭО заранее ассоциируется совокупность условий (правил), при соблюдении которых операция считается реализуемой (выполнимой). Например, при осуществлении ЭО «взять объект A » должны соблюдаться следующие условия, отнесенные к трем условиям, приведенным выше:

- 1) объект A свободен;
- 2) робот имеет захват, соответствующий типу объекта и его размерам, масса объекта не превышает грузоподъемность робота;
- 3) объект A является твердым телом и может выдержать без разрушения силу, развиваемую захватом манипулятора.

Система после задания целевой ситуации и определения исходной ситуации сопоставляет условия, которые их описывают. Если хотя бы одно из целевых условий не выполнено, возникает противоречие между реальным состоянием сцены и условием выполнения операции. Если ситуационные отношения экстенциональные, то противоречие может быть разрешено путем выполнения ЭО, цель которой – отношение, заданное в условии. Например, если требуется «объект A близко спереди справа объекта B », в то же время из измерений следует, что на реальной сцене «объект A далеко слева от объекта B », то цель ЭО – «перенести объект B » в положение «объект A близко спереди справа от объекта B ».

Если ситуационное отношение интенциональное, то в тезаурусе операций необходимо предусмотреть название соответствующих отношений – отрицаний. Например, если в условии операции присутствует «не» (A на B), а на реальной сцене (в чем можно убедиться с помощью системы технического зрения) выполняется (A на B), то цель дополнительной операции может быть сформулирована как «убрать объект B с объекта A ». Дополнительная операция может потребовать реализации других ЭО, условия выполнения которых также могут противоречить действительным состоянием сцены. Таким образом, невыполнение ситуационных условий может привести к генерации цепочки взаимосвязанных операций. В процессе планирования строится направленный граф, который включает в себя последовательность предусловий, этапов анализа противоречий цели и ситуации, этапов генерации ЭО. Такой граф позволяет построить последовательность операций, рассматривая полученную цепочку ЭО в обратном направлении, т. е. от конца графа к началу [9].

По структуре рассматриваемый метод весьма близок к структуре интеллектуального планирования методом Graphplan. Здесь также применяется процедура обратного вывода для принятия решений и анализируются противоречия в предусловиях выполнения отдельных операций. Однако предложенный метод обладает более широкими возможностями вследствие использования нечетких отношений при описании условий выполнения операций. В отличие от большинства методов интеллектуального планирования, ориентированных на работу в абстрактном пространстве, которое задается условиями, не меняющимися в процессе работы, в этом методе предполагается проверка выполнения условий реализуемости каждой операции с помощью сенсорной системы робота. Если условия выполнимости операции перестают по тем или иным причинам соблюдаться, то проводится перепланирование операции с данного момента.

Предполагается возможность активных действий робота при выполнении операций гностического типа в том случае, если условия их выполнения не доопределены. Еще одна особенность такого метода планирования – диалог с оператором. Невыполнение второго условия, например, по грузоподъемности манипулятора или отсутствие захвата заданного типа, приводит к невыполнимости операции и требует обращения к оператору. То же самое можно утверждать и о третьем условии, относящемся к объекту работы, свойства которого нельзя изменить.

Отметим, что необходимость диалога с оператором возникает и на других уровнях ЭРИС, в том числе при постановке и коррекции цели в связи с возможностями робота или при оценке текущей ситуации (см. рис. 1).

Реализация исполнительного уровня. Существует альтернатива выбора принципа построения исполнительной системы. Первый подход заключается в том, что предполагаются известными те нечеткие правила управления системой, которые использует человек-оператор. Второй подход основан на предположении, что эти правила априори неизвестны или не могут быть сформулированы.

В первом подходе правила поведения робота можно формализовать в продукционной форме и построить нечеткий контроллер, который их реализует в реальном времени. Пример – задача управления мобильным роботом по маякам, положение которых в рабочей зоне робота заранее неизвестно. Робот должен найти ближайший маяк и двигаться до сближения с ним или пройти в «ворота», образованные двумя маяками. Система управления мобильным роботом приведена на рис. 4. Цель управления формализуется как система нечетких правил принятия решения. Например: «если маяк далеко, то двигаться быстро», «если маяк близко, то двигаться медленно», «если маяк справа, то круто повернуть направо», «если маяк спереди и справа, то немного повернуть направо»

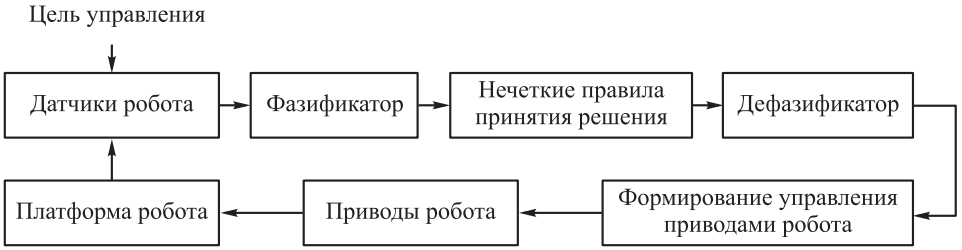


Рис. 4. Схема управления мобильным роботом с использованием нечеткого контроллера

и т. п. В этом случае для принятия решения может быть применена наиболее просто реализуемая схема нечеткого логического вывода Мамдани, состоящая из процедур фазификации показаний датчиков, определяющих относительное положение робота и маяков, и дефазификации получаемых управляющих команд.

В ряде случаев правила выполнения операций роботом не могут быть заранее сформулированы человеком. Это касается в первую очередь задач управления, решаемых оператором путем выработки соответствующего сенсомоторного навыка, к которым относятся, например, задачи дистанционного управления мобильными роботами при наличии типовых препятствий (эскарп, контрэскарп, лестница, узкий проход и т. п.). Другими примерами могут являться манипуляционные задачи сборки типа «вал–втулка» или задачи инструментальной механической обработки, требующие контроля сил. Возникает проблема передачи рабочих навыков оператора, минуя лингвистическое представление правил поведения. Эта проблема может быть решена с помощью искусственной гибридной нейронной сети, основанной на нечетких отношениях и способной обучаться в процессе управления роботом со стороны опытного оператора.

Схема управления роботом в таком случае показана на рис. 5, а [10]. Ядро этой схемы – адаптивная система нечеткого вывода (АСНВ), реализованная в виде гибридной сети. Принцип работы АСНВ проиллюстрирован на схеме, представленной на рис. 5, б. Схема имеет два входных сигнала и один выходной. В ней реализованы два правила продукционного типа: если x есть A_i и y есть B_i , то $f_i = px + qy + r_i, i = 1, 2$.

Каждый i -й узел в первом слое определяется значениями лингвистических переменных A_i и B_i с заданной функцией принадлежности $\mu_i(x)$ (например, далеко, близко, справа и т. п.). Параметры этих функций могут изменяться в процессе настройки системы (параметры антицедента). Функция узлов во втором слое – перемножение входных сигналов, что соответствует логическому «и» « x есть A_i и y есть B_j »

$$w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_j}(y), i = 1, 2.$$

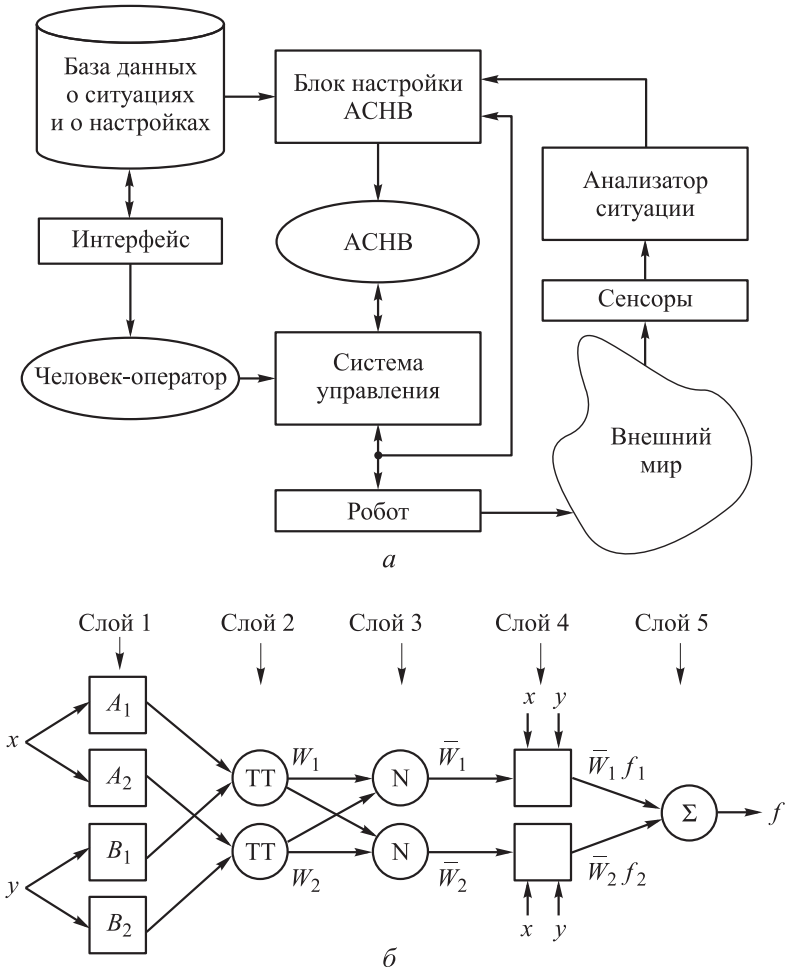


Рис. 5. Структурная схема системы управления (а) и схема гибридной сети нечеткого вывода (б)

В третьем слое происходит нормализация потока информации

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i=1, 2.$$

Каждый узел сети в четвертом слое имеет узловую функцию

$$Q_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i),$$

где $\{p_i, q_i, r_i\}$ – набор настраиваемых параметров (параметры консеквента). В единственном узле последнего, пятого слоя выходная величина вычисляется по формуле

$$f = Q_1^5 = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}.$$

Таким образом, построенная сеть содержит настраиваемые элементы, относящиеся как к виду функций принадлежности, так и к структуре решающих правил. Отметим, что эта сеть, по существу, воспроизводит процедуру нечеткого вывода Сугено.

Для анализа ситуаций используются массивы данных, получаемых из показаний телеметрии при движении робота при управлении со стороны оператора. Для каждой из распознанных или заданных оператором типовых ситуаций осуществляется настройка АСНВ так, чтобы обеспечить управление роботом, наиболее близкое (в среднеквадратическом) к соответствующему управлению со стороны оператора. Эта настройка (обучение сети) выполняется методом обратного распространения ошибки.

Речевой интерфейс и организация диалога. Речевой интерфейс – основной способ задания управляющей информации для диалоговой системы управления роботом. Команды оператора могут быть сформулированы на языке ситуационного управления роботом. Речевой интерфейс включает в себя модуль распознавания и лингвистический модуль. Модуль распознавания представляет собой устройство для преобразования речевых сигналов и их интерпретации в качестве отдельных слов или фраз. Лингвистический анализатор осуществляет синтаксический и семантический разбор высказывания, в результате которого должны быть заполнены слоты фрейма для описания действий.

Выше было показано, что высказывания, представленные на языке ситуационного управления, могут быть выражены на внутреннем семиотическом языке, т. е. сведены к последовательности символов. В свою очередь, команда оператора, поступающая от модуля распознавания речи, также является последовательностью символов. Таким образом, взаимодействие модуля распознавания и лингвистического модуля сводится к преобразованию одной последовательности символов в другую на базе грамматики, построенной экспертом. При этом лингвистический анализатор обычно может быть представлен в форме конечного автомата.

В настоящее время все применяемые способы распознавания речи основаны на сравнении произносимых слов с эталоном. Учитывая, что словарь языка ситуационного управления довольно ограничен, необходимо составить предварительную базу используемых слов и иметь возможность в реальных условиях дополнять (дообучать) робот новым словам, которые отсутствуют в базовом словаре. На практике чаще всего применяются два способа распознавания речи:

- способ динамического искажения времени (Dynamic Time Warping, DTW), или способ сравнения с эталоном;
- метод оценки вероятности гипотез с использованием скрытых марковских моделей (Hidden Markov Models, HMM).

Для распознавания слитной речи можно использовать конструирование возможных эталонов фраз и синтаксис проблемно-ориентированного языка ЭРИС. При профессиональном управлении роботом речевая база может быть составлена применительно к конкретным операторам, что снимает проблему дикторозависимости.

Диалог представляет собой последовательность речевых сообщений, которыми обмениваются робот и оператор. Если каждое сообщение – это текущее состояние диалога, то сценарий диалога – это совокупность его состояний от начального до конечного и переходов между ними. Исходным состоянием диалога служит команда оператора, структура которой была рассмотрена выше. Развитие диалога происходит, как правило, по одному из следующих сценариев:

- 1) уточнение состава команды;
- 2) уточнение операции.

Сценарий описывается прото-фреймом, а конкретная реализация диалога фиксируется в виде фрейма-экземпляра. Например, для сценария «уточнение состава команды» прото-фрейм имеет следующий вид:

<(1) исходный текст команды>, <(2) недостающий компонент>, <(3) фокусирующий запрос оператору>, <(4) вторичный текст команды>, <(5) число итераций>, <(6) окончательный вид команды>.

Возможность включения в структуру фрейма процедурной информации позволяет в случае неудовлетворительного уточнения оператора организовать цикл по заполнению содержимого слотов (1) – (4) фрейма-сценария. Недостаток использования аппарата фреймов при организации диалога – отсутствие хронологической информации и невозможность учета истории диалога. В этом случае возникает необходимость введения внешнего менеджера диалога, задачей которого является выход из тупиковых веток диалога, если оператор, например, не способен предоставить требуемую уточняющую информацию. Тогда по инициативе системы, могут быть предложены возможные готовые варианты ответа, задание другой команды или переход в режим гностических операций. Основой для управляющего воздействия менеджера диалога может стать процедурная информация, включенная в фрейм-сценарий.

История диалога и состояний ЭРИС может трактоваться также, как и признаки в задаче распознавания следующего элемента сценария диалога. Это позволит создавать системы управления диалогом и планирования действий путем обучения по примерам. Таким образом, экспертную информацию о системе понимания речи можно отделить от сценарной информации, во многом зависящей от предметной области и трудно формализуемой, что ускорит сроки разработки системы речевого управления и повысит ее качество. Такая задача в теории машинного обучения представляет собой задачу классификации цепочек, при этом возможны различные модели процесса диалога: конечно-автоматная модель, предсказательная модель, модель на сетях Петри [11]. Закоди-

ровав запросы оператора и сигналы от других систем робота и составив примеры работы системы в различных ситуациях при различных запросах оператора в терминах последовательностей этих кодов, можно обучить сеть Петри для менеджера диалога. Менеджер диалога в процессе своей работы в разрабатываемой системе речевого диалогового управления будет обращаться к модулю планирования и требовать от него предсказания дальнейшего состояния модели внешнего мира и выработки решения по дальнейшим действиям для достижения желаемого состояния.

Отметим, что работу менеджера диалога можно интерпретировать как планирование и прогнозирование, весьма по сути сходное с задачами модуля планирования; отличаются структуры данных, которыми оперируют модули (менеджер диалога систематически не оперирует определенными данными, модуль планирования оперирует цепями ЭО, описаниями состояний мира).

Заключение. Применение методов нечеткого управления позволяет существенно продвинуться в решении задач лингвистического управления роботами. Робототехнические и мехатронные системы, в которых применяются естественные представления человека о внешнем мире и естественные для оператора описания выполняемых в нем действий, могли бы найти широкое применение. Они не требуют специальных знаний от оператора и используют профессиональную лексику, обеспечивают двусторонний диалог оператора и ЭРИС. Вместе с тем остаются реальные трудности для массового применения таких систем. В первую очередь, – это недостаточно изученные психологические проблемы, возникающие при взаимодействии человека с ЭРИС, обладающей элементами искусственного интеллекта. Здесь задача заключается не только в согласовании психофизиологических шкал, которые использует человек, воспринимая мир с помощью собственных рецепторов, с формализуемыми лингвистическими переменными. Основная трудность – психологический барьер, препятствующий применению автоматически функционирующих устройств в зоне риска, в том числе, при спасательных операциях и в медицинской робототехнике, когда речь может идти об опасности, которую может представлять ЭРИС для человека. В этом случае проблема безопасности становится одной из решающих.

Можно надеяться, что рассматриваемая концепция построения системы лингвистического управления роботами будет способствовать преодолению перечисленных препятствий, что в свою очередь существенно расширит область применения ЭРИС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Заде Л.А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных интеллектуальных систем. *Новости искусственного интеллекта*, 2001, № 2–3, с. 7–11.

- [2] Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. *Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах*. Москва, Наука, 1989, 328 с.
- [3] Аверкин А.Н., Тарасов В.Б. Нечеткое отношение моделирования и его применение в психологии и искусственном интеллекте. *Сообщения по прикладной математике ВЦ АН СССР*. Москва, ВЦ АН СССР, 1986, 34 с.
- [4] Володин Ю.С., Михайлов Б.Б., Ющенко А.С. Нечеткая классификация препятствий мобильным роботом с использованием телевизионной системы пространственного зрения. *Сб. науч. тр. междунар. конф. по интегрированным моделям и мягким вычислениям в искусственном интеллекте*. Москва, Физматгиз, 2011, с. 372–380.
- [5] Ющенко А.С. Маршрутизация движения мобильного робота в условиях неопределенности. *Мехатроника, автоматизация и управление*, 2004, № 1, с. 31–28.
- [6] Тачков А.А., Ющенко А.С. Интерактивная система управления пожарным разведывательным роботом. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спец. вып. №6 «Робототехнические системы»*, 2012, с. 106–119.
- [7] Ющенко А.С. Управление роботами с использованием нечеткой логики: состояние и проблемы. *Новости искусственного интеллекта*, 2006, №1, с. 119–130.
- [8] Магазов С.С. *Формально-логический анализ функций противоречия в когнитивном процессе*. Санкт-Петербург, «Алетейя», 2001, 304 с.
- [9] Ющенко А.С. Интеллектуальное планирование в деятельности роботов. *Мехатроника*, 2005, №3, с. 5–18.
- [10] Ющенко А.С., Киселев Д.В., Вечканов В.В. Адаптивная система нечеткого управления мобильным роботом. *Мехатроника*, 2002, №1, с. 20–26.
- [11] Жонин А.А. Алгоритм обучения менеджера диалога речевой диалоговой системы управления роботом. *Сб. науч. тр. междунар. конф. по интегрированным моделям и мягким вычислениям в искусственном интеллекте*, 2011, Москва, Физматгиз, с. 395–406.

Статья поступила в редакцию 19.07.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Ющенко А.С. Нечеткое управление в эргатических робототехнических системах.

Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 8.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/938.html>

Ющенко Аркадий Семенович – д-р техн. наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ в области образования. Автор ряда монографий и более 200 статей в области робототехники, теории автоматического управления и эргономики. В течение 15 лет заведовал кафедрой «Робототехнические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Одним из первых в МГТУ начал работы в области применения нечеткой логики в робототехнике. e-mail: arkadyus@mail.ru