

А. С. Ющенко

**МЕТОДЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В УПРАВЛЕНИИ
МОБИЛЬНЫМИ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ
РОБОТАМИ**

Рассматриваются вопросы управления мобильными манипуляционными роботами на базе теории нечеткой логики. Такой подход основан на том, что интеллектуальный робот выполняет свои функции во взаимодействии с человеком-оператором, однако способ подобного взаимодействия должен быть естественным для оператора и в основном иметь форму речевого диалога с использованием проблемно-ориентированного языка, приближенному к естественному профессиональному языку. Данный подход затрагивает все уровни системы управления, в том числе уровень взаимодействия с оператором, обучения, планирования и исполнения.

E-mail: robot@bmstu.ru

Ключевые слова: *мобильный робот, нечеткая логика, интерфейс, человек-оператор, деятельность, поведение, планирование, обучение, нечеткая нейронная сеть, диалог, речевое управление*

Современные роботы могут перемещаться в окружающем пространстве и выполнять необходимые действия с помощью манипуляторов. Они оснащены системами технического зрения и информационных датчиков, способных дать комплексное представление о текущей ситуации. База знаний робота позволяет ему самостоятельно ориентироваться в окружающей среде и принимать решения о действиях, необходимых для выполнения поставленной задачи. Манипуляционный мобильный робот представляет собой интеллектуальную техническую систему, способную к автономному целенаправленному поведению. Функции человека-оператора теперь состоят в постановке задач роботу на проблемно-ориентированном языке, близком к естественному, и наблюдении за действиями робота. Роль обратной связи выполняют также сообщения робота оператору, имеющие целью уточнение команд, информирование оператора о текущей ситуации или о достижении поставленной цели. Таким образом, возникает диалог между человеком и роботом.

Постановка задачи диалогового управления предполагает определенный уровень «взаимопонимания», при котором человек и робот использовали бы одинаковые пространственно-временные оценки при анализе рабочей сцены, понятные человеку схемы рассуждений и логических выводов. По существу, речь идет об организации по антропоморфному принципу всей когнитивной деятельно-

сти робота, включая распознавание ситуации, принятие решений и планирование операций. Основой для разработки теории диалогового управления и целенаправленной деятельности роботов послужила теория нечетких множеств и нечеткая логика, получающая все более широкое распространение в последнее время. Теоретические основы описания внешнего мира с использованием нечетких и естественных с точки зрения человека пространственно-временных отношений были заложены в работах Д.А. Поспелова и соавторов [1]. Развитие этого подхода состоит в том, чтобы найти «естественную» в том же смысле оценку ситуации, принять решение и обеспечить естественное с точки зрения человека поведение робота в заранее неопределенных условиях.

К основным задачам теории целенаправленной деятельности роботов можно отнести описание внешнего мира и текущей ситуации с помощью лингвистических переменных, планирование операций и организацию речевого интерфейса оператора. Все эти задачи могут быть решены с применением методов нечеткой логики.

Нечеткая модель внешнего мира. Описание внешнего мира робота включает описание как объектов, представляющих интерес для выполнения заданной операции, так и пространственных отношений между объектами мира, в том числе и сам робот.

Для описания пространственных отношений между объектами рабочей сцены используются экстенциональные и интенциональные отношения [1]. К первым относятся отношения положения и ориентации объектов. Например, бинарные отношения (т.е. отношения между двумя объектами) ориентации: f_1 – объект a_1 впереди объекта a_2 , аналогично: f_2 – слева и впереди, f_3 – слева и т. д.; дистанции: d_1 – вплотную, d_2 – близко, d_3 – не близко – не далеко, d_4 – далеко, d_5 – очень далеко. Отношения задаются функциями принадлежности, которые обычно определяются экспериментально, и учитывают особенности восприятия пространственных отношений человеком (рис. 1).

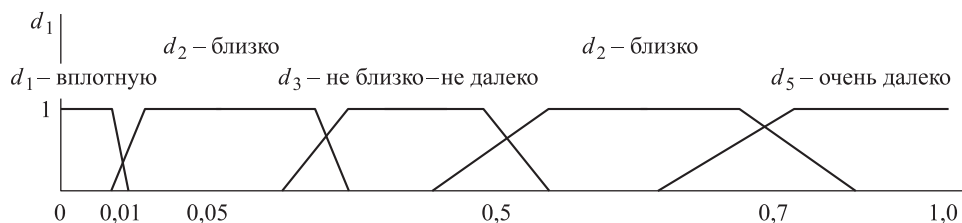


Рис. 1. Функции принадлежности для лингвистической переменной «дистанция», построенные по экспериментальным данным

К числу интенциальных бинарных относятся такие отношения, как 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; R_8 – стоять на поверхности. В [1] введены два унарных отношения – R_{00} быть горизонтальным и R_{01} быть вертикальным, а также 28 элементарных пространственных бинарных отношений. Эти отношения получаются из базовых отношений с использованием формальных логических правил конъюнкции и дизъюнкции.

Совокупность заданных объектов в пространстве рабочей сцены, отношений между ними и правил преобразования составляют формальный язык описания ситуации. На этом языке описание ситуации допускает формальное (семиотическое) представление с использованием логики пространственно-временных отношений. Например, сложное пространственное отношение a_1 *стоит на плоскости S далеко справа* можно записать как $(a_1 R_8 S) \& (a_0 d_5 f_7 a_1)$, где a_0 – наблюдатель, относительно которого сформулированы отношения дистанции и ориентации объекта a_1 .

Состояние внешнего мира робота, т. е. текущая ситуация, описывается системой бинарных фреймов ($\langle \text{объект } m \rangle$, $\langle \text{отношение} \rangle$, $\langle \text{объект } m + 1 \rangle$), $m = 1, 2, \dots, M$, где в качестве одного из объектов может выступать робот или внешний наблюдатель. Если заранее установлены нечеткие отношения между всеми объектами, которые могут наблюдаться роботом в процессе движения, мы получим нечеткую семантическую сеть, или «нечеткую карту». Используя такую карту, можно, в частности, осуществлять навигацию робота по наблюдаемым реперам. Определив свое положение по реперам, т. е. по объектам, положение которых было заранее известно, робот может установить с помощью нечетких отношений свое собственное положение или вычислить свое отношение к цели, имеющейся на нечеткой карте, но непосредственно не наблюдаемой, и определить направление движения к цели [2]. Вводя третью нечеткую координату по высоте (h_1 – на одном уровне, h_2 – выше, h_3 – значительно выше, h_4 – ниже, h_5 – значительно выше) и используя трехмерные отношения между объектами, робот может планировать движение в физическом пространстве с учетом рельефа местности.

Задача анализа роботом рабочей сцены включает и алгоритмы идентификации препятствий. Эти алгоритмы представляют собой систему нечеткого логического вывода, оперирующую с набором правил классификации и нечеткими признаками объектов-эталонов, которые составляют базу знаний о препятствиях. В качестве нечеткого классификатора может быть использован алгоритм Мамдани. Нечеткие признаки объектов (*протяженный объект, большая высота, большой размер* и т. п.) задаются функциями принадлежности соответствующих лингвистических переменных, которые должны быть согласованы с техническими характеристиками мобильного робота и системы технического зрения. Например, признак *достаточность*

ширины дверного проема задается габаритными размерами снаряженного робота, признак *небольшая высота* зависит от характеристик шасси робота, функция принадлежности нечеткого множества *далеко* ограничена рабочим диапазоном системы зрения и т. д. Функции принадлежности считаются известными до начала движения; их параметры устанавливаются на этапе калибровки системы зрения в составе конкретного мобильного робота. По результатам наблюдения робот определяет не только параметры объекта, но и характер препятствия, используя нечеткие признаки [3].

Особенность задачи управления мобильным роботом с использованием нечеткой модели рабочей сцены состоит в том, что в процессе движения меняется масштаб изображения, воспринимаемого телекамерой, установленной на роботе. Данный эффект приводит к необходимости введения двумерной функции принадлежности. При этом одной из переменных является дальность до препятствия. Так, для термов, являющихся множеством значений лингвистической переменной «Высота объекта», функции принадлежности вводятся с учетом угла установки системы зрения на шасси робота (рис. 2) [3]. Аналогично меняются в зависимости от дистанции и функции принадлежности по ориентации: «слева», «справа».

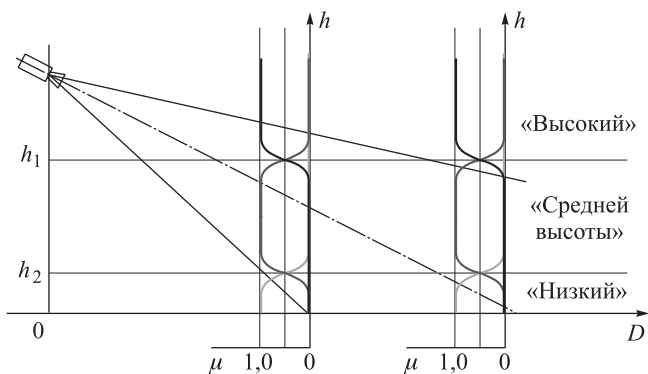


Рис. 2. Зависимость функции принадлежности от расстояния до измерителя

Помимо пространственных отношений и идентифицированных объектов «образ» текущей ситуации может включать и другие признаки. Например, мобильный робот, предназначенный для охраны помещения, может иметь датчики температуры, влажности, состава воздуха (наличия вредных веществ или задымления), акустические датчики. Вся информация, получаемая с помощью таких датчиков, также может быть представлена в форме нечетких сообщений («температура низкая, влажность очень высокая, сильное задымление» и т. п.) [4].

Поскольку внешний мир непрерывно изменяется за счет как движения наблюдаемых объектов, так и движения самого робота, то и

описание ситуации изменяется во времени. Это обстоятельство требует учета в общем случае не только пространственных, но и временных отношений во внешнем мире, таких как *быть одновременно, быть раньше, следовать за*.

Таким образом, в общем случае ситуация S определяется фреймом, слотами которого служат имена объектов внешнего мира, естественные отношения между объектами (пространственные и временные), а также иные признаки, характеризующие ситуацию.

Поведение мобильного робота. Термин «поведение» вполне уместно применить к автономному мобильному роботу. Можно априори выделить стереотипы поведения, определяемые сложившейся ситуацией. Их иногда рассматривают как аналог условно-рефлекторного поведения «стимул – реакция». Эти стереотипы поведения имеют вид продукционных правил: «*если ситуация есть S_i , то тактика – T_j* ». Под тактикой мы понимаем совокупность правил поведения, выраженных с помощью лингвистических переменных и определяемых поставленной целью. Данные правила ставят в соответствие типовой ситуации заранее определенное движение робота. При этом предполагается, что типовые ситуации можно заложить в нечеткую базу знаний робота. С использованием такой базы можно составить совокупность правил поведения, соответствующих преследованию нового объекта, выходу в определенную точку, заданную на электронной карте, проходу в дверной проем, обходу внезапно появившегося препятствия на пути к цели и т. п. Отметим, что алгоритмы маневрирования, помимо лингвистических переменных, могут содержать и доступные для измерения «четкие» параметры, такие как: D – расстояние до препятствия, W – ширина объекта/дверного проема, L – расстояние от оси робота до левого края препятствия, H – высота препятствия и т. д.

Отметим, что тактика поведения робота не всегда предполагает непосредственное наблюдение цели. Так, при разработке способов управления противопожарным роботом, функционирующим в условиях задымления, было предложено использовать в качестве измеряемого параметра градиент температуры в скалярном температурном поле, имеющем место при закрытом пожаре. Вычисляя данный градиент, можно осуществить управление роботом с помощью метода пропорциональной навигации, при котором угловая скорость робота пропорциональна угловой скорости линии визирования, направленной в воображаемую целевую точку [4].

В общем случае тактика поведения робота определяется фреймом задачи, который можно представить в следующем виде: *<текущая ситуация S_i > <объект управления a_0 > <имя операции> <сопутствующие объекты $_j$ > <условия выполнимости операции>*. Объектом управления по умолчанию является сам мобильный робот, возмож-

ности которого имеются в базе данных. Подобные возможности (габариты, масса, мощности двигателей, скорость, маневренность и т. п.) определяют условия выполнимости операции с учетом текущей ситуации и свойств рабочей среды (рельеф, сцепление колес или гусениц с грунтом, несущие свойства грунта, характер препятствий). Здесь надо отметить, что не все перечисленные признаки известны априори. Поэтому может быть поставлена задача «самоанализа» робота, основной частью которой являются задачи идентификации его подсистем в процессе работы. Данная задача также может быть решена методами нечеткой логики, однако пока она не получила приемлемого для практики решения.

Условия выполнимости операции могут включать и проверку постусловий, которые должны быть проведены после завершения операции. Например, невозможно установить робот на поверхность, меньшую по размерам, чем база робота, или на наклонной поверхности с большим углом наклона. Условия выполнимости операции могут потребовать предварительного осуществления специальных поисковых движений, которые мы относим к «гностическим операциям» и которые также должны содержаться в базе знаний робота. В число сопутствующих объектов мы включаем, например, обнаруженное препятствие или преследуемый объект, которые должны быть классифицированы по своим признакам.

Сравнение наблюдаемой ситуации с одной из эталонных ситуаций, содержащихся в базе знаний, проводится с использованием тех или иных критериев нечеткой близости ситуаций. Получаемая таким образом роботом оценка ситуации представляет собой формализованную и осредненную оценку аналогичной ситуации человеком. Идентификация ситуации определяет автономное поведение робота, если правила поведения были заложены заранее. К числу последних исследований в этом направлении можно отнести наши работы в области медицинской диагностики сосудов с помощью перемещающихся по ним микророботов [5]: установленная на роботе система технического зрения не только определяет тактику движений в деформированном сосуде, но и формирует предварительное заключение для хирурга-оператора о его состоянии.

Система знаний робота может включать несколько тактик поведения, которые могут активизироваться не только ситуацией, например появлением препятствия определенного вида (эскарп, контрэскарп, проем, лестница и т. п.), но и командами оператора. Команда оператора обычно включает только два элемента: *<имя операции>* *<сопутствующие объекты>*. Например, *<преодолеть>* *<порог П>*. В данном случае формализация текущей ситуации и проверка условий выполнимости операции должна быть осуществлена самой системой. При невыполнении этих условий, т. е. при некорректности команды

оператора, система обращается к нему с запросом и, таким образом, организация диалога «робот – оператор» становится необходимым условием функционирования интеллектуальной системы.

Планирование предметной деятельности робота. Оператор может сообщать мобильному роботу только конечную цель движения в пространстве с частично известной структурой. В связи с этим возникает задача автономного планирования движения роботом. Ее решение обеспечивает прокладку траектории в пространстве с известными препятствиями, обладающей наилучшими в том или ином смысле показателями качества, и перепланирование траектории при появлении непредвиденных препятствий, сопровождаемое диалогом с оператором при появлении неоднозначности или при необходимости уточнения поставленной цели. Выполнение сложной операции может включать и условно-рефлекторные стереотипы, о которых упоминалось выше, например обход появляющихся препятствий, уклонение от движущихся объектов и т. п. Если цель поставлена некорректно или планировщик не выявил реализуемой последовательности движений, приводящих к цели, делается запрос оператору, требующий уточнения цели или условий ее достижимости.

Особенностью процедуры планирования в робототехнике по сравнению с известными методами интеллектуального планирования (AI-planning) является возможность постоянного сравнения результатов фактического наблюдения за ситуацией и заданных в процедуре планирования условий. При этом сравниваться могут лингвистические описания реально наблюдаемой и предполагаемой (существующей только в качестве высказывания) ситуаций. Возникающее противоречие порождает план действий, направленных на устранение противоречий и, как следствие, на реализацию желаемой ситуации. Таким образом, цель и имя каждой отдельной типовой операции не задаются человеком, а генерируются самой системой исходя из сопоставления реальных и предполагаемых ситуаций [6]. Эта задача особенно актуальна при выполнении сложных манипуляционных операций.

Отметим, что при использовании манипуляционных роботов, которые могут не только перемещаться по рабочей сцене, но и взаимодействовать с объектами сцены с помощью манипуляторов, более уместным кажется термин «предметная деятельность» робота, а не «поведение». Классификация манипуляционных операций включает не только операции транспортного типа (взять, перенести, установить), но и операции, связанные с монтажом (сборкой или разборкой) узлов и сложных объектов, а также с их механообработкой или с иными способами изменения форм и свойств объектов внешнего мира [2]. Предметная деятельность манипуляционного робота в отличие от активности мобильного робота, не оснащенного манипуляторами,

состоит в том, что она приводит к изменению ситуации за счет не только перемещения самого робота, но и его активной деятельности на рабочей сцене.

Мы различаем элементарные и сложные операции, которые определяются на модели внешнего мира, представленной выше. К элементарным операциям (ЭО) мы относим такие операции, которые уже не допускают дальнейшего разбиения на элементарные действия и обычно содержатся в роботоориентированном языке программирования, например в языке ARPS, принятом для промышленных манипуляторов типа PM-01 (Puma-560). Сложные операции могут быть представлены как последовательность приводящих к цели элементарных операций.

Описание элементарных операций как рабочих, так и когнитивных содержится в базе знаний робота, в которой с каждой операцией связывается соответствующий фрейм. Такой фрейм содержит имя операции и описание с помощью лингвистических переменных начальной и целевой ситуаций, а также предусловий, при которых операция может быть выполнена, и постусловий, обеспечивающих корректность цели. Предусловия могут зависеть от ситуации, возможностей робота и свойств объекта работы. Структура фрейма элементарной операции такова: <(1)имя операции> <(2)объект операции> <(3)исходная ситуация> <(4)целевая ситуация> <(5)условия выполнимости операции (предусловия)> <(6)условия корректности задания цели (постусловия)> <(7)дополнительные обстоятельства выполнения операции>. Например: <(1)перенести> <(2)короб А > <(3)короб А стоит на поддоне П> <(4)короб А стоит на столе С> <(5)короб А свободен> <(6)на С достаточно свободного места> <(7)установить короб А без удара>. Заметим, что при выполнении технологических операций (механообработка, сборка и т. п.) этот фрейм следует дополнить слотом <(8)способ выполнения операции>.

Особенностью манипуляционных операций по сравнению с задачами движения является наличие более сложных предусловий. В общем случае предусловия могут быть трех типов: а) ситуационные, например, условие *объект А свободен* означает, что *на объекте А не находится любой другой объект*; б) определяемые возможностями робота: *робот имеет захват, соответствующий типу объекта и его размерам*; в) связанные с особенностями объекта работы: *объект является твердым телом и может выдержать без разрушения усилие, развиваемое при захвате*.

Для генерации последовательности ЭО, приводящих к цели, используется принцип разрешения противоречий, который достаточно близок к когнитивной деятельности человека при планировании действий. В этом случае также проводится постоянное сопоставление оперативного образа ситуации и образа цели. Использование прин-

цита разрешения противоречий требует дальнейшего расширения правил управления роботом. Если пространственные отношения интенциональные, то каждый тип противоречий порождает собственную типовую операцию для своего разрешения. Например, если цель: $(a_1 R_8 S)$, т.е. объект a_1 стоит на поверхности S , а реально $(a_1 \neg R_8 S)$, то противоречие порождает типовую операцию *перенести a_1 на S* . Если цель определяется как $(a_1 R_2 C)$, т.е. вал a_1 находится внутри втулки C , а по результатам наблюдений выполняется $(a_1 \neg R_2 C)$, то порождается типовая операция: *вставить a_1 в C* . Нетрудно продолжить этот список действий, разрешающих противоречия интенционального характера.

Если отношения экстенциональные, то специального словаря соответствий между ситуацией и требуемой типовой операцией не требуется. Противоречие может быть разрешено путем выполнения типовой операции, целью которой является отношение, заданное в ее условии. Если мобильный робот R должен находиться относительно наблюдателя N в *положении* $(R d_1 f_1 N)$, а реально выполняется другое условие: $(R d_2 f_2 N)$, то требуемая операция определяется в форме: *переместить робот R из положения $(R d_2 f_2 N)$ в положение $(R d_1 f_1 N)$* .

При планировании сложных операций возникает многошаговая процедура разрешения противоречий. Сначала сопоставляются целевая и фактическая ситуации. Если они не совпадают, выявляются противоречия и определяются действия, их разрешающие. Далее проверяются предусловия разрешающих действий, которые также могут находиться в противоречии с фактической ситуацией. Они генерируют новые действия и так далее до тех пор, пока, по крайней мере, для одной из разрешающих операций предусловия не окажутся выполненными. Тогда эта операция выполняется (пока на уровне планирования), возникает новая ситуация, которая анализируется аналогичным способом, и т. д. В конечном счете генерируется цепь согласованных ЭО, приводящих к реализации цели, если выполнены соответствующие постусловия. т. е. если вообще задача может быть решена. Эту процедуру можно представить в виде направленного графа, корнем которого является целевая ситуация [6].

Обучение и самообучение робота. Очевидным недостатком рассмотренного подхода является необходимость для оператора заранее определить условия и правила работы системы в тех или иных ситуациях, причем и сами возможные ситуации должны быть заранее известны. На практике, особенно при управлении мобильными роботами в заранее непредсказуемых ситуациях, это не всегда возможно. Кроме того, существуют трудности и в составлении системы правил. Так, при выполнении оператором хорошо отработанных управляющих движений, ему не всегда удастся сформулировать правила, по которым он фактически работает. В этом случае целесообразно про-

водить обучение системы по принципу «обучение с учителем». Опытный оператор осуществляет управление роботом в характерных ситуациях, информация запоминается и обрабатывается с помощью обучаемых нечетких (гибридных) нейросетей.

В качестве примера можно привести задачу управления мобильным роботом «Богомол» (рис. 3), разработанным в ГосНИИ физико-технических проблем (ИФТП) [7]. Трудность управления этим роботом заключается в том, что его подвижная платформа состоит из шести гусениц (траков), из которых четыре имеют управляемые углы подъема.

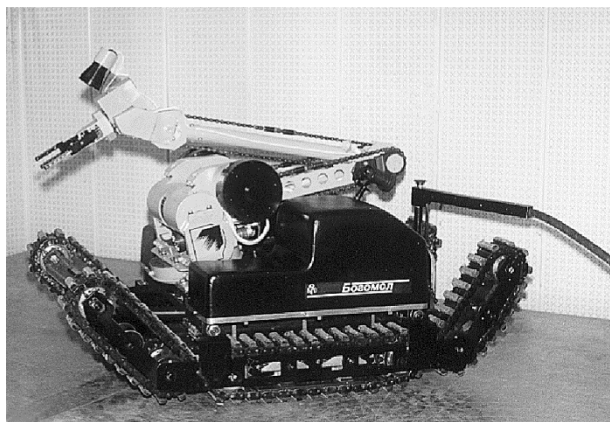


Рис. 3. Мобильный робот «Богомол»

Можно построить гибридную нейросеть типа ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Intelligent System), используемую для обучения мобильного робота преодолению препятствий. Входными переменными являются углы ориентации платформы робота α , β , его линейная скорость V и моменты, развиваемые в шарнирах подвеса траков M_i , а выходными – углы поворота осей управляемых гусениц робота $\gamma_1 - \gamma_4$. Сеть имеет пять слоев (рис. 4). Первый слой содержит функции принадлежности соответствующих лингвистических переменных, второй – произведение, соответствующее нечеткому «и», третий слой определяет нормированную силу правила, четвертый – формирует выходные переменные и пятый слой осуществляет дефазификацию. Обучающая выборка определялась по результатам работы опытного оператора. По полученной обучающей выборке обучение нейросети проводилось методом обратного распространения ошибки.

Поскольку каждое типовое препятствие требует своей настройки параметров сети, использование такого подхода предполагает наличие механизма распознавания типа препятствия. В данном случае использовался метод кластерного анализа параметров ситуации, позволяющий выделить наиболее вероятную из возможных (известных заранее) ситуаций. Появление новых ситуаций требует дополнительного обучения робота, что представляет собой ограничение метода в

тех случаях, когда возможные ситуации не могут быть заранее определены. В таких случаях может быть использован новый подход, развиваемый А.А. Ждановым и его сотрудниками, при котором робот обучается поведению в неопределенных условиях по принципу «обучение без учителя» на основе только собственного опыта [8]. Аппаратом накопления и обработки опыта является специальный тип нейронных сетей. Система содержит блок, названный авторами «блоком эмоций», позволяющий оценить успех или неуспех того или иного действия. Последующие действия выполняются с учетом «накопленных знаний» в предыдущих экспериментах.

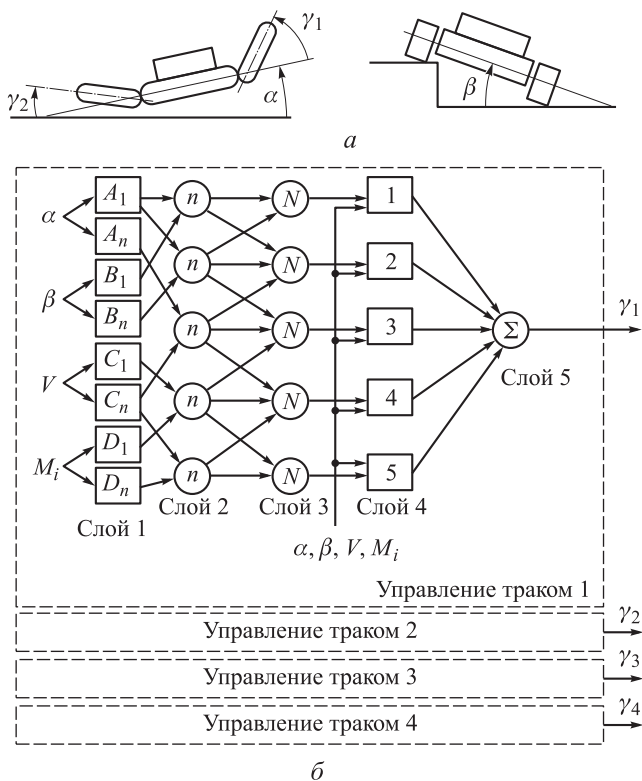


Рис. 4. Схема нечеткой нейросети для управления углами поворота траков платформы мобильного робота:

a – углы поворота траков относительно платформы: γ_1 – γ_2 (управляемые параметры); α – угол наклона платформы; β – угол крена; *б* – структура нечеткой нейросети типа ANFIS: V – скорость робота и моменты, развиваемые приводами платформы M_i (измеряемые параметры); γ_3 – γ_4 (управляемые параметры)

Особой формой поведения мобильного робота может быть операция гностического типа, направленная на получение недостающей информации. Такая форма поведения может избавить оператора от необходимости предварительного анализа условий достижимости. Если слот, соответствующий условиям достижимости не заполнен,

робот должен самостоятельно определить, выдерживаются ли эти условия. Например, робот может искать выход из помещения, наиболее короткий путь на электронной карте (если требовалось как можно быстрее выйти из помещения), исследовать возможность прохода по своим габаритным размерам, определять несущую способность грунта и т. п. Такого рода гностические операции должны содержаться в базе знаний робота или же задаваться оператором в ходе диалога в виде системы правил.

Речевой интерфейс оператора в диалоговом управлении. Речевой интерфейс – основной способ задания управляющей информации для диалоговой системы управления роботом. Команды оператора могут быть сформулированы на языке ситуационного управления роботом, о котором говорилось выше. Речевой интерфейс включает 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.

Как было показано выше, высказывания, представленные на языке ситуационного управления, могут быть выражены на внутреннем семиотическом языке, 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 сам лингвистический анализатор обычно может быть представлен в форме конечного автомата.

В настоящее время практически все 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. В настоящее время на практике чаще всего применяются два способа распознавания речи: способ динамического искажения времени (DTW – Dynamic Time Warping), или способ сравнения с эталоном, и метод оценки вероятности гипотез с использованием скрытых Марковских моделей (НММ – Hidden Markov Models). Для распознавания слитной речи можно конструировать возможные эталоны фраз с применением синтаксиса проблемно ориентированного языка диалога оператора и робота. При профессиональном управлении роботом речевая база может быть составлена применительно к конкретным операторам, что снимает проблему дикторозависимости.

Увеличить число операторов, команды которых будет распознавать система, можно с помощью так называемого метода многих этапов (ММЭ). Представляет интерес использование этого метода совместно с методами динамического искажения времени на основе применения сложных решающих правил и композиций алгоритмов распознавания. Альтернативным направлением разработки методов распознавания речи может стать построение энграммных моделей различных типов, некоторые модификации которых обладают способностью к инкрементальному обучению и использованию контекстной информации. Такие модели требуют разработки дискретных признаков описаний.

Самостоятельной задачей является планирование диалога в системе «человек–робот». В общем случае 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. Далее возможно развитие диалога, например, по одному из следующих сценариев: 1) *уточнение состава команды*, 2) *уточнение операции*. Сам сценарий описывается протофреймом, а конкретная реализация диалога фиксируется в виде фрейма-экземпляра. Например, для сценария «уточнение состава команды» протофрейм 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 состоит в отсутствии хронологической информации и невозможности учета истории диалога. В этом случае возникает необходимость введения внешнего менеджера диалога, задача которого – выход из тупиковых веток диалога, если оператор, например, не способен предоставить необходимую 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 служить процедурная информация, включенная в сам фрейм-сценарий [9].

История диалога и состояний робототехнической системы может использоваться как признаки в задаче распознавания следующего элемента сценария диалога. Такой подход позволяет создавать си-

стемы управления диалогом и планирования действий путем обучения по примерам. Данная задача в теории машинного обучения является задачей классификации цепочек, при этом возможны различные модели процесса диалога, в том числе модель, основанная на сетях Петри [9]. Закодировав 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 диалогового менеджера. Менеджер диалога в процессе своей работы обращается к рассмотренному выше модулю планирования и требует от него предсказания дальнейшего состояния модели мира и выработки решения по дальнейшим действиям для достижения желаемого состояния.

Методы нечеткой логики позволяют решать достаточно широкий круг задач, связанных с управлением манипуляционными роботами в условиях неопределенности. Эти методы ориентированы на участие человека в контроле действий робота, постановке задач, помощи робототехнической системе при возникновении сложных ситуаций. Роль оператора существенно изменяется при управлении интеллектуальными робототехническими системами. Оператор управляет не отдельными движениями, а предметной деятельностью (поведением) робота путем постановки задач подобно тому, как он работал бы с человеком-ассистентом. Сходство еще более усиливается при использовании речевого общения с использованием языка ситуационного управления, о котором речь шла выше. Диалоговый способ управления существенно упрощает задачи оператора и практически не предъявляет к нему никаких специальных требований за исключением знакомства с общими синтаксическими правилами проблемно ориентированного языка диалога, максимально приближенного к естественному языку. Подчеркнем еще раз, что использование естественного языка, естественных пространственно-временных отношений предполагает формирование базы знаний робота и интерфейса «человек–робот» с использованием нечетких отношений и нечеткой логики. Именно это обстоятельство делает доступным управление роботом пользователем, не имеющим специальной подготовки. В перспективе совершенствование интеллектуальных робототехнических систем и техники диалогового управления позволит включить роботов в человеческий социум, что будет означать новую стадию развития общества будущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кандрашина Е. Ю., Литвинцева Л. В., Поспелов Д. А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. – М.: Наука, 1989.
2. Ющенко А. С. Управление роботами с использованием нечеткой логики: состояние и проблемы // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – № 1. – С. 119–130.

3. Володин Ю. С., Михайлов Б. Б., Ющенко А. С. Нечеткая классификация препятствий мобильным роботом с использованием телевизионной системы пространственного зрения // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб научн. трудов международной конференции. – М.: Физматлит, 2011. – С. 372–380.
4. Тачков А. А. Нечеткая система принятия решений пожарной робототехнической системой. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. научных трудов международной конференции. – М.: Физматлит, 2011. – С. 446–453.
5. Войнов В. В., Ющенко А. С. Управление микророботом медицинского назначения с использованием нечетких конечных автоматов и методов ситуационного управления // Экстремальная робототехника. Нано-, микро- и макророботы: труды международной конференции (Геленджик, 2009). – СПб.: Политехника – сервис, 2009. – С. 115–116.
6. Ющенко А. С. Интеллектуальное планирование в деятельности роботов // Мехатроника. – 2005. – № 3. – С. 5–18.
7. Вечканов В. В., Киселев Д. В., Ющенко А. С. Адаптивная система нечеткого управления мобильным роботом // Мехатроника. – 2002. – № 1. – С. 20–26.
8. Жданов А. А. Автономный искусственный интеллект. – М.: БИНОМ, 2008.
9. Жонин А. А. Алгоритм обучения менеджера диалога речевой диалоговой системы управления роботом. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. научн. трудов международной конференции. – М.: Физматлит, 2011. – С. 395–406.

Статья поступила в редакцию 28.06.2012