

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Предлагается при разработке интеллектуальной робототехнической системы (ИРТС) с адаптивным управлением реализовать принцип предварительного обучения и самообучения системы по результатам машинного имитационного моделирования для целей обеспечения функционирования ИРТС в экстремальных условиях среды с использованием мониторинговой информации от блока идентификации состояния среды. Рассмотрены два примера реализации этой схемы: управление экспериментом с термоядерной плазмой и проектирование автономного подводного робота для обследования затонувших аварийных объектов.

© В.Г. Писаренко, И.А. Варава,
Ю.В. Писаренко,
В.И. Семенова, 2004

УДК 621.865

В.Г. ПИСАРЕНКО, И.А. ВАРАВА,
Ю.В. ПИСАРЕНКО, В.И. СЕМЕНОВА

ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТА С СИСТЕМОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ И АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

1. Постановка задачи. При переходе от дистанционного управления (осуществляемого человеком-оператором) мобильными манипуляционными роботами, предназначенными для работы в экстремальных, недетерминированных ситуациях, к проектированию автономного робота, наделенного рядом функций искусственного интеллекта, взаимодействие человека и робота переходило при этом от уровня управления на «языке движений» и относительно простых команд взаимодействий до уровня постановки задач, формирования представлений о внешнем мире и планирования сложных операций [1, 2].

К числу таких функций относится способность к самообучению, формированию баз знаний, способность «очувствования» внешней среды и способность к адаптивному управлению. Одна из основных проблем при переходе к интеллектуальным роботам заключается в организации обмена информацией между человеком и роботом на языке естественных представлений о пространстве. К настоящему времени накоплен большой опыт в использовании систем распознавания и разработано большое количество алгоритмов решения задач классификации, основанных на методах распознавания образов. Однако, внедрение этих алгоритмов в реальные робототехнические системы по-прежнему затруднено рядом проблем, среди которых важное место занимает проблема нехватки и

неточности экспертной информации об объектах управления [1]. Во многих случаях эксперты не обладают достаточным количеством информации для принятия гарантированно безошибочных решений о классах объектов, представленных им для классификации.

В стандартной постановке задачи различают два случая: дискриминантный и кластерный анализы [2]. Первый метод означает, что ставится задача обучения системы процедуре классификации: имеется некоторый набор объектов (обучающая выборка), заданных значениями своих измеряемых характеристик. Для каждого объекта априорно, на основании суждений экспертов, задан его класс. Необходимо, опираясь на эти данные, построить решающее правило отнесения произвольного объекта с известными значениями измеряемых параметров к тому или иному классу. Во втором случае ставится задача самообучения. Авторы считают, что для рассматриваемой задачи наиболее эффективен подход, рассматривающий обучение и самообучение как единую задачу извлечения максимума информации из имеющихся данных. При этом можно организовать итерационный процесс адаптации системы распознавания к ненадежным источникам априорной информации.

Предлагается схема адаптивного управления объектом, функционирующим в экстремальных условиях конфликтной среды, содержащая блок наблюдения и идентификации состояния внешней среды (НИС), а также объекта управления (ОУ) и блок исполнительных устройств (ИУ). Информация о текущем состоянии объекта и среды от соответствующего блока НИС попадают в блок имитационного моделирования (ИМ), с выхода которого попадает далее в информационно-аналитическую систему (ИАС). Выработанные в ИАС сигналы управления поступают на вход блока исполнительных устройств ИУ.

Для целей имитационного моделирования переходных процессов между различными штатными ситуациями в системе «среда-объект управления» исследуется множество решений начально-краевых задач для уравнений динамики среды и движущегося в ней объекта управления, из которых в режиме обучения формируется база данных и база знаний «штатные ситуации». Эта информация заносится в блок «база знаний штатных состояний объекта и среды» и используется затем для адаптивного управления переходными процессами при изменении штатного состояния объекта управления « $i \rightarrow j$ » по схеме.

Рассмотрим далее два примера предметной области, для которых актуальна задача проектирования проблемно-ориентированного интеллектуального робота с системой идентификации текущего состояния и адаптивной системой управления по заданному критерию. Для каждого из этих примеров начально-краевая задача для уравнений динамики среды и движущегося в ней объекта управления формулируется различными способами, иллюстрированными далее. Первый пример связан с проблемой адаптивного управления системой гашения опасного разряда в термоядерной плазме в установке Т-10 путем использования пеллет-инъекции (т. е. впрыскивание примесных макрочастиц с большим электрозарядом). Второй пример касается проектирования подводного необитаемого мобильного робота для обследования аварийного технического объекта на морском

дне (например, нефтедобывающая платформа, морской нефтепровод, затонувшие боеприпасы, потерпевшая аварию атомная подводная лодка).

2. Первый пример: управление научным экспериментом по УТС. За 50 лет исследований по проблеме управляемого термоядерного синтеза (УТС) от первых установок до сложного и дорогого оборудования с термоядерной плазмой, достигнут большой прогресс, позволивший получить такие экстремальные параметры плазмы (по температуре, времени удержания и плотности), которые уже обеспечивают начало термоядерной реакции в рабочей камере. Наряду с успешным изучением плазмы в традиционных токамаках, стеллараторах, магнитных ловушках [3], при лазерном обжатии дейтериевой мишени, рекордные параметры термоядерной плазмы достигались на установках с плазмой, перетянутой в Z-пинче [4], при впрыске легких ионов (H, D, Be) с помощью мощных лазерных импульсов [5]. Изучаются также перспективные идеи применения пучка тяжелых ионов от драйвера-ускорителя [6] для обжатия и нагрева цилиндрической мишени из смеси дейтерия и трития с целью инициирования термоядерной реакции.

Для научных экспериментов по разработке перспективных термоядерных реакторов представляют большую актуальность разработка программно-аппартных средств управления установкой с тороидальным магнитным полем (токамаком) в штатных [7] и аварийных режимах [8]. К числу аварийных режимов относятся прежде всего неустойчивость вертикального смещения шнура, неустойчивость большого срыва, а также любые другие нежелательные процессы быстрого роста тока, требующие срочного выключения (гашения) разряда в плазме во избежание аварийных состояний. К числу технологий адаптивного управления относится перспективная технология выключения в реальном времени разряда в токамаке T-10 методом инъекций примесных макрочастиц с большим Z (так называемая технология пеллет-инжекция), для которой была получена информационная модель [8]. Эта модель базируется на следующей системе четырех уравнений с частными производными параболического и гиперболического типа:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \Gamma) = n_{imp} \frac{\partial Z_{imp}}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_{imp}}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \Gamma_{imp}) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{3}{2} \frac{\partial n T}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \left[q + \frac{5}{2} \Gamma \right] \right) = n (Q_{oh} - Q_{imp} - Q_{br}), \quad (3)$$

$$\frac{\partial \sigma E}{\partial t} = \frac{c^2}{4\pi r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E}{\partial r} \right). \quad (4)$$

Система уравнений (1)–(4) описывает динамику примесных макрочастиц (объект управления) и конфликтной среды (плазма в тороидальной камере с

опасным разрядом). Потоки электронов и ионов инжектированной примеси записываются в следующем виде:

$$\Gamma = -D \frac{\partial n}{\partial r} + nV_p, \quad (5)$$

$$\Gamma_{imp} = -D \frac{\partial n_{imp}}{\partial r} + n_{imp}V_p. \quad (6)$$

Построен численный алгоритм и программа ПЛАЗМА имитационного моделирования процесса пеллет-инъекции, отвечающей уравнениям (1) – (6). С помощью этого алгоритма получены значения параметров уравнения, обеспечивающие достижение необходимого результата пеллет-инъекции в аварийном режиме разряда. Проведенные имитационные эксперименты показывают, что лишь при определенных значениях вектора параметров эксперимента (т. е. значений коэффициентов этих уравнений, краевых и начальных условий и правых частей уравнений) в результате применения пеллет-инъекции происходит гашение опасного разряда в тороидальной магнитной камере установки Т-10 и происходит стабилизация процесса на более низких уровнях плотности и температуры плазмы. В наших численных экспериментах выход системы на стабилизацию процесса при значениях электронной плотности, на порядок меньше первоначальной (отвечавшей исходному опасному разряду), наблюдался при следующих параметрах информационной модели: $D = 100$, $V_p = 10$, $\sigma = 7.19 \cdot 10^{14}$, $Z = 0.3$, $\chi = 1$ и $Q_{oh} - Q_{imp} - Q_{br} = 2600$.

На рис. 1 показан пример рассчитанных решений при указанных параметрах для плотности электронной компоненты плазмы N , плотности инжектируемой смеси N_{imp} , электронной температуры T , напряженности электрического поля E . При этом для различных значений вектора параметров эксперимента вычислялось значение функционала качества конкретного эксперимента в виде интеграла:

$$J = \alpha \int_0^{t_m} [N(t=0, R) - N(t, r)] dt \int_a^b r dr + \beta^* t_m, \quad (7)$$

где t_m – значение момента времени, когда подинтегральное выражение в (7) достигает первого минимума, $a = 0,2 R$; $b = 0,8 R$; R – малый радиус тороидальной камеры токамака Т-10.

Коэффициенты α и β подбираются в адаптивном режиме для обеспечения эксиматорности всего выражения (7) при выборе наиболее эффективных параметров эксперимента по гашению опасного разряда путем пеллет-инъекции [8].

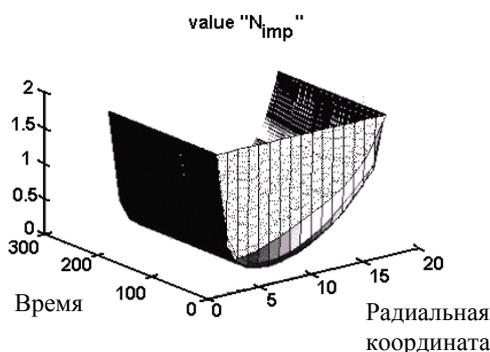


РИС.1. Поведение построенных численных решений для плотности инжектируемой смеси N_{imp} , (поведение решений электронной плотности N , электронной температуры T , напряженности электрического поля E не приведено) для $D = 100$, $V_p = 10$, $\sigma = 7.19 \cdot 10^{14}$, $Z = 0.3$, $\chi = 1$ и $Q_{oh} - Q_{imp} - Q_{br} = 2600$. Исходная графика была реализована в цветном стандарте MathCad, но в данной работе цветовая гамма сознательно обеднена

Выбрав оптимально эти коэффициенты, получаем функционал качества (7) с этими оптимальными значениями α^* и β^* для маркировки (паспортизации) множества экспериментов на предмет выбора наиболее эффективных стратегий гашения опасного разряда, возникшего в рабочей камере токамака Т-10 для данных начальных и краевых условий.

3. Второй пример: проектирование подводного необитаемого мобильного робота для обследования аварийного объекта на морском дне. Для примера задачи управления объектом, функционирующим в жидкой среде (пример такого случая показан на рис. 2) или атмосфере необходимо для формирования информационной модели решать соответствующую начально-краевую задачу для уравнения Навье-Стокса и уравнения непрерывности:

$$-\partial v / \partial t + (v \cdot \partial / \partial x) v = \text{grad} (p / \rho) + \nu \Delta v, \quad (8)$$

$$\partial \rho / \partial t = -\partial / \partial x (\rho v), \quad (9)$$

где ρ – плотность среды, v – скорость, p – давление.

При этом рассчитанные примеры элементов баз данных [9,10] в виде графических файлов показаны на рис. 3.

С использованием этих баз данных построен алгоритм и программный комплекс для адаптивного оптимального управления траекторией движения автономного робота-зонда, выполняющего программу обследования объекта и попавшего в условиях придонных течений в вихревой след подводного препятствия (в окрестности аварийного обследуемого объекта) на морском дне.

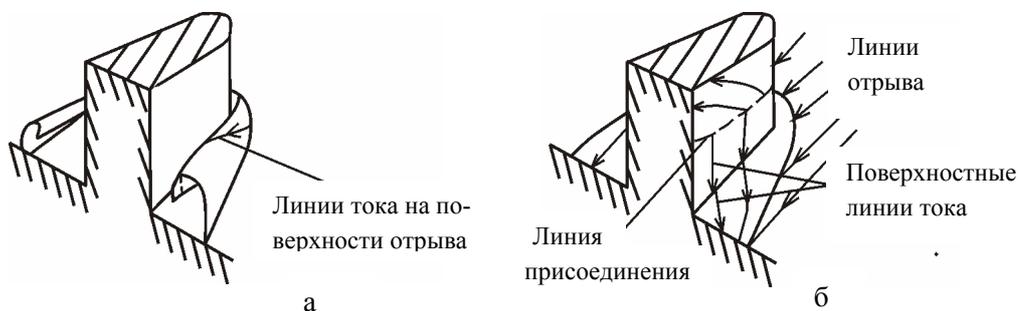


РИС. 2. Форма поверхности отрыва и линии тока при обтекании трехмерного выступа (рубка подводной лодки): а – поверхность отрыва; б – линии тока

Полученные программой ПОСЕЙДОН варианты расчетной траектории робота-зонда показаны на рис. 3.



РИС. 3. Картина двух рассчитанных траекторий (в двух ракурсах) подводного робота-зонда, перемещающегося в зоне течения за подводным объектом в режиме адаптивного управления по оси объекта и участвующего в этом вихревом движении (суммарное движение робота принимает вид одной из показанных спиралевидных траекторий)

Вышеприведенные примеры призваны иллюстрировать целесообразность предложенного в данной работе принципа предварительного обучения и самообучения интеллектуальной робототехнической системы по результатам машинного имитационного моделирования. При этом цель имитационного моделирования состоит в последующем адаптивном управлении функционированием объекта при выполнении заданной основной программы в экстремальных условиях среды при использовании мониторинговой информации, поступающей от блока интеллектуальных сенсоров текущего состояния среды и состояния самого объекта управления.

1. *Полищев С.А.* Интеллектуальная система управления мобильным роботом как сеть процессов // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 373–379.
2. *Патрик Э.* Основы теории распознавания образов. – М.: Советское радио, 1980. – 408 с.
3. *Hawryluk R.J.* Results from deuterium-tritium tokamak confinement experiments // Reviews of modern physics. – 1998. – Vol.70. – N 2. – P. 537–584.
4. *Бакшаев Ю.Л.* Исследование плазмы в предварительно созданной перетяжке Z-пинча // Физика плазмы. – 2001. – 27, № 12. – С.1101–1110.
5. *Быченко В.Ю.* Быстрый поджиг на основе легких ионов // Физика плазмы. – 2001. – 27, № 12. – С.1076–1080.
6. *Кошкарев Д.Г., Чуразов М.Д.* Инерционный термоядерный синтез на базе тяжелоионного ускорителя-драйвера и цилиндрической мишени // Атомная энергия. – 2001. – 91. – Вып.1. – С.47–53.
7. *Самойленко Ю.И., Губарев В.Ф., Кривонос Ю.Г.* Управление быстропротекающими процессами в термоядерных установках. – Киев: Наук. думка, 1988. – 384 с.
8. *Тимохин В.М.* Исследование выключения разряда в Токамаке Т-10 методом инжекции примесных частиц с большим Z // Физика плазмы. – 2001. – 27, № 3. – С.195–208.
9. *Тимофеев А.В.* Адаптивные робототехнические комплексы. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 332 с.
10. *Гогин Л.В., Степанов Г.Ю.* Отрывные и кавитационные течения. – М.: Наука, 1990. – 384 с.

Получено 01.07.2003