

# Модели и алгоритмы управления мобильным роботом с элементами самообучения на базе КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

С. В. Манько<sup>1</sup>, Е. А. Слепынина<sup>2</sup>

Московский технологический университет (МИРЭА)

<sup>1</sup>cpu@mirea.ru, <sup>2</sup>slepykina.ev.a@gmail.com

**Аннотация.** Возрастающая сложность задач, поставленных перед интеллектуальными роботами, обуславливает необходимость разработки новых моделей и подходов управления. Отдельным практическим интересом является поиск методов и алгоритмов самообучения интеллектуальных роботов, предназначенных для работы в недетерминированных средах, не имеющих базовых знаний для генерации управляющих решений. В данной статье рассматриваются некоторые прикладные задачи самообучения интеллектуальных мобильных роботов: приобретение простейших моторных навыков (автоматическое изучение элементарных движений), автоматическое формирование стратегии управления, автоматическое формирование модели внешней среды. Предложены решения этих задач на основе технологии конечных автоматов. Проведены экспериментальные исследования моделей управления автономными роботами с элементами самообучения. Представлен анализ результатов исследований и определены перспективы методов решения выбранных прикладных задач управления.

**Ключевые слова:** самообучение; интеллектуальные мобильные роботы; конечные автоматы

## I. ВВЕДЕНИЕ

В качестве прикладных задач, поставленных перед интеллектуальными роботами с элементами самообучения, выступают задачи с высокой вариативностью возможных действий. К подобным задачам относятся автоматическое формирование модели внешней среды, автоматическое формирование стратегии управления на основе базы элементарных действий, а также различные моторные (двигательные) задачи.

Достоинствами систем управления мобильными роботами с самообучением является их безусловная гибкость и универсальность, а также возможность функционирования в заранее неизвестной среде. Основным препятствием на пути к их созданию является сложность реализации моделей и алгоритмов управления. Тем не менее, в настоящее время существует ряд проектов, направленных как на разработку фундаментальных подходов к самообучению, так и на создание реальных прототипов [1, 2, 3]. В большинстве случаев в основе механизма самообучения лежат данные, полученные посредством интеллектуальной обратной связи [4]. Частные решения получены при использовании

технологий нейронных сетей, нечеткой логики, различных модификаций генетических и эволюционных алгоритмов.

## II. ТЕХНОЛОГИЯ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ В ЗАДАЧЕ САМООБУЧЕНИЯ

В качестве альтернативного решения задач самообучения могут быть использованы методы, подходы и алгоритмы, основанные на технологии конечных автоматов. Конечный автомат, в настоящем случае, представляет собой способ организации механизма самообучения, основанный на последовательных переходах между дискретными состояниями объекта управления по некоторому набору предварительно заложенных правил. На рис. 1 представлена обобщенная принципиальная схема Конечного автомата, решающего задачу поиска соответствий между входным и выходным значениями.

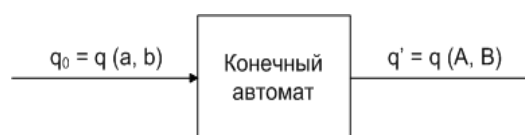


Рис. 1. Конечный автомат принципиальная схема

Пусть вход  $q_0$  Конечного автомата может принимать значения  $a$  или  $b$ . Тогда выход конечного автомата  $q'$  может быть представлен значениями  $A$  или  $B$ . Задача самообучения в таком случае в автоматическом режиме определить соответствия  $q_0 \rightarrow q'$ , такие что: при входе  $q_0 = a$  – выход принимает значение  $q' = A$ , а при  $q_0 = b$  –  $q' = B$ .

В начале функционирования Конечный автомат не имеет знаний о соответствиях, но имеет механизм обратной связи ( $f$ ), позволяющий оценить результат логического вывода. В качестве примера самообучения можно подробно рассмотреть случай, проиллюстрированный на рис. 1 (рис. 2). Пусть на вход Конечного автомата  $q_0$  поступило значение  $a$ , и система логического вывода случайным образом или на основании каких-либо механизмов предварительной оценки сформировала  $A$  на выходе (система перешла в состояние  $q_A$ ). Система интеллектуальной обратной связи  $f$  оценила соответствие  $q_a \rightarrow q_A$  как верное и занесла результат логического вывода в базу знаний объекта управления

(состояние  $q_{A*}$ ). Пусть в следующий момент времени на вход автомата подается значение  $b$ , а на выходе автомата формируется значение, отличное от  $B$ .

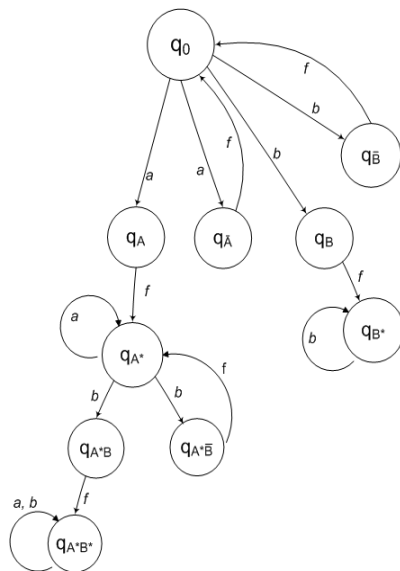


Рис. 2. Иллюстрация процесса самообучения на базе технологии конечных автоматов

Система обратной связи оценивает такой вывод, как ложный (состояние  $q_{A*B}$ ), система возвращается к последнему верному логическому выводу (состояние  $q_{A*}$ ). Формирование логического вывода при поступающем на вход значении  $b$  продолжается, пока система не предложит на выход верное значение и не перейдет в состояние  $q_{A*B*}$ .

Подходы к самообучению на базе технологии конечных автоматов позволяют решить задачи автоматического формирования последовательности управляющих команд на основании данных обратной связи. Отметим, что конечные автоматы рассматриваются как общий подход к организации модуля самообучения и не исключают использования иных интеллектуальных алгоритмов для оптимизации и повышения общей эффективности решения. Способы оптимизации и организации интеллектуальной обратной связи, а также механизма оценки результатов обучения, могут варьироваться в зависимости от программно-аппаратных возможностей объекта управления. Базовая структура модуля самообучения при этом изменяться не будет.

Очевидным достоинством технологии конечных автоматов является ее универсальность, в силу которой в качестве прикладного применения технологии, может выступать решение различных задач формирования управляющих последовательностей. Основным требованием является принципиальная возможность формирования базы элементарных действий (при формировании моторных навыков), тактических команд (при формировании стратегии управления) или базовых классов объектов внешней среды (при формировании

модели внешней среды) на уровне сенсорного обеспечения – то есть наличие интеллектуальной связи.

### III. ФОРМИРОВАНИЕ МОТОРНЫХ НАВЫКОВ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

#### A. Постановка задачи самообучения

Для иллюстрации применения технологии конечных автоматов в задаче самообучения будет рассмотрен простой пример автоматического формирования моторных навыков модели системы управления мобильного робота Kuka YouBot. Формирование моторных навыков заключается в определении стратегий управления в задачах целевого перемещения робота или определении сложных движений на базе известных элементарных движений.

Характерной особенностью конструкции является наличие роликонесущего колеса, позволяющего бесповоротное движение робота во всех направлениях. В соответствии с этим в качестве основных моторных функций (примитивов движения) мобильной платформы можно выделить:

- Движение вперед
- Движение назад
- Остановка (отсутствие движения)
- Движение вправо
- Движение влево

В работе не рассматривалось движение по диагонали или иное совместное использование примитивов.

Задача самообучения моторным навыкам в данном примере заключается в поиске соответствия между примитивами движения и управляющими командами (вперед, назад, вправо, влево, стоп) на базе технологии конечных автоматов.

#### B. Модель системы управления мобильным роботом с элементами самообучения на базе конечных автоматов

Для реализации поставленной цели была разработан модуль самообучения интеллектуального мобильного робота при использовании средств программирования C#. Структурная схема программного обеспечения представлена на рис. 3.

В качестве блока «Внешняя среда» представлена среда виртуального моделирования V-Rep, в рамках которой производится отработка основных движений модели Kuka Youbot на лишенной препятствий сцене (рис. 4).

На вход блока «Информационно-измерительная система» поступает информация о положении объекта управления в системе координат виртуальной сцены V-REP.

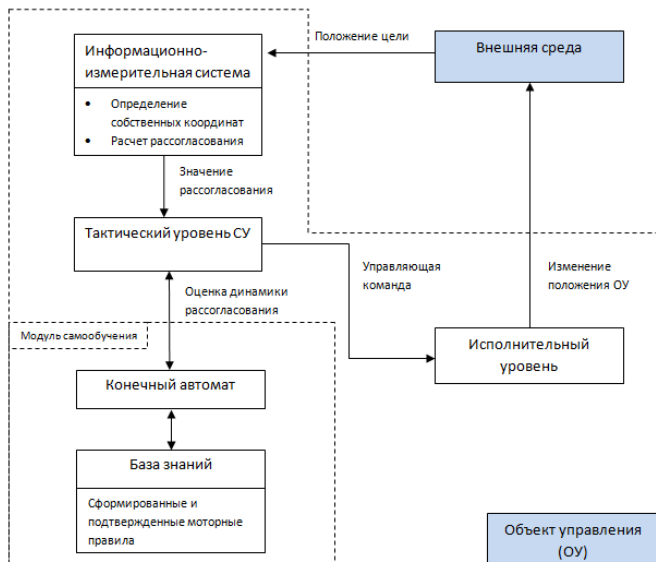


Рис. 3. Структурная схема программного обеспечения системы управления

Внутри блока производится расчет динамики изменения рассогласования координат объекта управления и целевой точки, как длина радиус-вектора с началом в центре масс робота и концом в точке с координатами цели. Значение рассогласования отправляется в блок «Тактический уровень», где производится его оценка. Если рассогласование увеличивается, модуль продуцирует вывод о том, что объект управления отдаляется от цели. В ином случае, формируется вывод о приближении к последней.

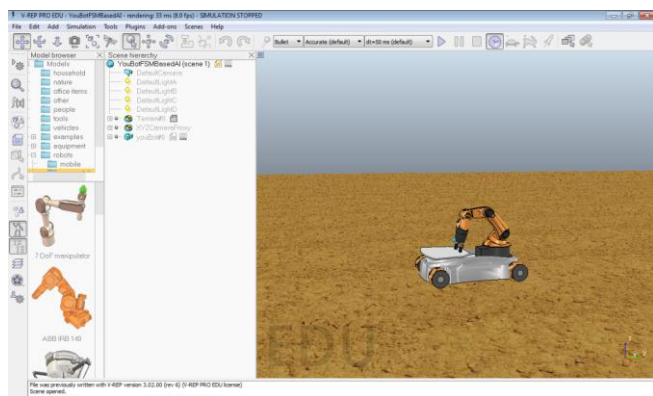


Рис. 4. Внешний вид сцены виртуального моделирования и рабочего окна среды V-Rep

Модуль «Тактический уровень СУ» взаимодействует с модулями «Самообучение» и «Исполнительный уровень». На основании оценки рассогласования формулируется желаемое направление движения мобильной платформы. Задача модуля самообучения делегировать команду «Исполнительному уровню» системы, претворяющую движение в искомом направлении, т.е. найти и передать на тактический уровень нужное элементарное движение в случае, если такое есть в базе знаний, или, в противном

случае, предварительно определить его, связать с выбранной командой и записать в базу знаний.

Выбор элементарного движения на основании данных обратной связи производится в модуле «Конечный автомат». На вход модуля отправляется команда («Направление») и оценка динамики рассогласования, на выходе модуля вырабатывается связка «Команда - Элементарное движение» («Направление - действие»). Структурно модуль представляет собой линейный конечный автомат, последний узел которого связан с первым, образуя замкнутый контур. Переход между узлами автомата происходит на основании оценки динамики рассогласования целевой точки и положения робота.

Формально процесс обучения можно описать следующим образом. Пусть

$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$  – вектор элементарных действий робота, представленных узлами конечного автомата

а  $S = [s_1, s_2, \dots, s_n]$  – вектор возможных команд.

Параметр  $F$  – выражает оценку рассогласования положения робота и целевой точки (радиус-вектор), и может принимать значение  $F$  в случае увеличения рассогласования и  $\sim F$  – в случае его уменьшения. Задача самообучения найти такую совокупность элементов  $x_i$  и  $s_j$ , при которой

$$x_i \vee s_j \equiv \sim F \quad (1)$$

В ходе обучения, получив команду  $s_j$  от стратегического уровня, модуль Конечный автомат в первый момент времени выбирает случайный узел  $x_i$  и делегирует его на Исполнительный уровень, который обеспечивает соответствующее элементарное движение. После окончания движения на модуль «Информационно-измерительная система» поступает информация о положении объекта управления в системе координат виртуальной сцены V-REP. Производится расчет радиус-вектора до цели, результат которого передается в модуль «Тактический уровень», осуществляющий оценку динамики рассогласования. Если модуль радиус-вектора увеличил свое значение, то элементарное действие  $x_i$  считается ошибочным и элементарное действие, соответствующее команде, выбирается повторно.

Если же совокупность (1) найдена, она записывается в базу знаний (модуль «База знаний») объекта управления. В последствии, при вызове команды  $s_j$  на исполнительный уровень делегируется команда  $x_i$ .

Замкнутая структура конечного автомата позволяет производить переобучение объекта управления. Так в случае, если выбранное из базы знаний соотношение «Команда – Элементарное движение» привело к увеличению рассогласования с целевой точкой (робот был обучен неправильно, изменились условия его функционирования и т.п.), происходит повторное обращение к модулю Конечный автомат – процесс самообучения запускается снова. В результате переобучения актуализируется база знаний.

### С. Экспериментальное исследование модели системы управления

Для анализа принципиальной возможности применения аппарата конечных автоматов было проведено 25 испытаний, в ходе которых производилось обучение системы 5ти элементарным действиям: движение вперед, движение назад, движение вправо, движение влево, остановка (соответствует отсутствию движения). Для реализации поставленной задачи было определен список четырех целевых точек, равноудаленных от начального положения робота (рис. 5).

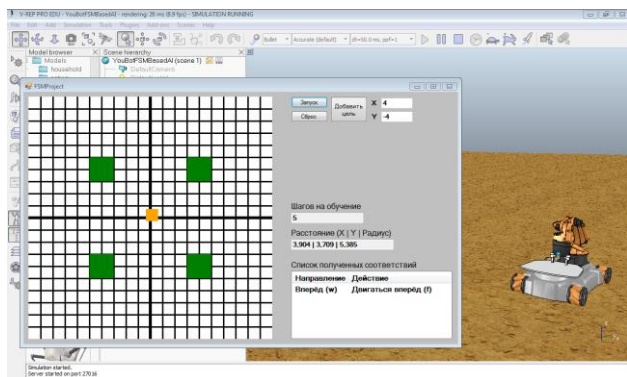


Рис. 5. Иллюстрация хода экспериментального тестирования

Робот выбирает целевые точки в порядке их добавления на подготовительном этапе. Общая задача управления: приблизиться к целевой точке и остановиться.

Анализ результатов экспериментальной части позволяет утверждать о принципиальной возможности применения аппарата конечных автоматов в задачах самообучения. Из 25 экспериментов робот обучился 5 элементарным действиям в %100 случаев. Среднее время самообучения – 17 итераций. Максимальное время обучения составляет 24 итерационных шага. Минимальное время обучения 12 итераций. Плотность распределения результатов экспериментов представлена рис. 6.

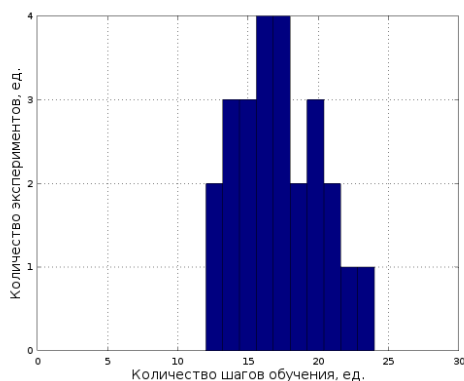


Рис. 6. Плотность распределения результатов экспериментальной части

Как видно из диаграммы основной количество результатов принадлежит диапазону от 14 до 17 итерационных шагов. Значения, соответствующие большей длительности, характеризуют эксперименты, в ходе которых возникала необходимость переобучения, и составляют около 30% от общего числа измерений.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках представленной работы были рассмотрены прикладные задачи самообучения с точки зрения их решения на базе технологии конечных автоматов. Проведены экспериментальные исследования моделей системы управления мобильным роботом Kuka YouBot, показавшие принципиальную возможность применения технологии конечных автоматов в задаче автоматического формирования моторных навыков.

Вариативность структурных форм, масштабируемость и простота реализации конечных автоматов позволяют говорить о перспективах их применения в различных задачах самообучения интеллектуальных мобильных роботов. Тем не менее, анализ результатов экспериментального исследования показал необходимость применения модификаций для сокращения времени обучения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Berenson D., Abbeel P., Goldberg K. A robot path planning framework that learns from experience (Conference Paper), IEEE International Conference on Robotics and Automation 2012, 6224742, Pages 3671-3678, DOI: 10.1109/ICRA.2012.6224742
- [2] Bay Y., Hou Y. Research of Environmental Modeling Method of Coal Mine Rescue Snake Robot based on Information Fusion // Proc. Of 20th International Conference on Information Fusion. July 2017. China. DOI:10.23919/ICIF.2017.8009747
- [3] Yusman Y., H.M. Asri H. Mansor, Adizul A. Formulation of a Lightweight Hybrid AI Algorithm Towards Self-Learning Autonomus Systems // Proc. of 2016 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC 2016). 2016. Malaysia
- [4] Manko S., Diane S., Panin A. Intellectual feedback in adaptive control systems // Proc. of the 2014 International Conference on Network Security and Communication Engineering, NSCE 2014
- [5] Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М.: «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, 1966. 264 с.