

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ, ЗАПОМИНАЮЩЕЙ И ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ

М.Л. Паткин, А.А. Юдашкин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается способ синтеза системы коммуницирующих мобильных роботов, способной запоминать и восстанавливать свои конфигурации на плоскости. Конфигурации задаются координатами роботов. Динамика совокупности роботов задается нелинейными дифференциальными уравнениями в комплексных числах. Выполнено конструирование и физическое моделирование системы мобильных роботов с ультразвуковой системой навигации, которая реализует связи между отдельными роботами. Получены предварительные оценки возможности использования подобной навигации для синтеза системы мобильных роботов с памятью нескольких конфигураций.

Ключевые слова: самоорганизующиеся системы, мобильный робот, ультразвуковой сенсор.

Мобильные роботы имеют широчайший спектр применений в быту, промышленности и науке. Эта область бурно развивается в настоящее время. Существует две концепции для выполнения задач с помощью мобильных роботов: использование одного робота и использование нескольких взаимодействующих схожих по конфигурации роботов. Системы, использующие взаимодействие нескольких роботов, имеют ряд преимуществ. Они более живучи, так как выход из строя одного юнита не должен приводить к прекращению работы всей системы; также такие системы имеют потенциал для масштабирования. На практике ряд задач требует построения такой системы роботов, которая должна запоминать и восстанавливать свои пространственные положения. Например, в работе [1] разработаны роботы-кубики, которые могут выстраиваться нужной формой, – это может применяться при ремонтных работах в труднодоступных местах. В работе [2] разрабатывается самоорганизующаяся система роботов, которая моделирует роевое поведение в живом мире и служит для решения задач оптимизации маршрутов движения, объезда препятствий в условиях неизвестной местности. В работе [3] были созданы самоорганизующиеся микророботы, управляемые магнитным полем, которые могут перемещать микрогрузы. В будущем подобные микророботы могут быть применены в медицине для доставки химических препаратов непосредственно к раковым опухолям.

В данной работе ставится задача построения самоорганизующейся системы автономных роботов, способной запоминать и восстанавливать свои расположения в пространстве инвариантно к масштабам и поворотам, а также физической модели – то есть мобильных роботов. Эта задача подводит нас к необходимости решения другой задачи, а именно нахождения приемлемого метода координации мобильных роботов в пространстве внутри помещений. Для постановки эксперимента был выбран метод на основе ультразвуковых приемопередатчиков (УПП) из-за простоты опреде-

Михаил Львович Паткин, аспирант.

Александр Анатольевич Юдашкин (д.т.н.), профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

ления расстояния прохождения ультразвуковой волны. В данной работе ставился эксперимент по применимости ультразвукового метода навигации.

Математическая модель

Математическая модель самоорганизующейся системы задается системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений в комплексных числах, введенной в [4]. Сохраненные состояния системы задаются вектором комплексных чисел. Уравнение динамики модели в полярных координатах относительно центра масс имеет вид

$$\begin{cases} \dot{\sigma} = J_R \sigma - J_1 \omega - \sum_{k=1}^M \sum_{l \neq k} (A_k \sigma - B_k \omega) (\bar{q} u^{(l)} \bar{u}^{(l)} q) - (\bar{q} q) \sigma; \\ \dot{\omega} = J_1 \sigma - J_R \omega - \sum_{k=1}^M \sum_{l \neq k} (B_k \sigma - A_k \omega) (\bar{q} u^{(l)} \bar{u}^{(l)} q) - (\bar{q} q) \omega, \end{cases}$$

где $J_R = \text{Re}(J)$, $J_1 = \text{Im}(J)$ – матрица «памяти» системы;

$A_k = \text{Re}(u^{(k)} \bar{u}^{(k)})$, $B_k = \text{Im}(u^{(k)} \bar{u}^{(k)})$, $q = \sigma + i\omega$ – координаты относительно центра масс.

Математическая модель позволяет создать систему из N элементов, которая может запомнить $N - 2$ состояний.

Решение дифференциального уравнения производится методом Эйлера первого порядка. Из произвольного начального состояния совокупность элементов на плоскости переходит с течением времени в одно из запомненных состояний, которое наиболее близко к исходному.

Физическое моделирование

Для физического моделирования были сконструированы 4 мобильных робота на основе контроллера Arduino Mega, то есть $N = 4$. Робот представляет собой трехколесную платформу с двумя ведущими колесами и двумя независимыми электроприводами на каждом колесе. В качестве сенсоров использовались гироскоп, магнитометр, акселерометр – с помощью этих сенсоров определялись углы наклона робота относительно центра земли, а также азимут [5, 6]. На каждом из ведущих колес робота был установлен тахометр для синхронизации их вращения. Для задач синхронизации вращения колес, а также поворота робота на нужный угол были использованы цифровые ПИД-регуляторы, которые настраивались по критерию максимального быстродействия. Для управления роботами и расчета математической модели была разработана программа на языке C#. Связь с роботами осуществлялась по протоколу Bluetooth. Координация роботов друг с другом осуществлялась при помощи ультразвуковых приемопередатчиков (УПП), которые были спроектированы специально для эксперимента. Роботы должны были перемещаться в соответствии с математической моделью. Алгоритм определения положения роботов на плоскости относительно друг друга следующий:

- с компьютера на одного из роботов посылается команда, переводящая его в состояние «Передатчик»; на остальные же – команды, переводящие их в «Отражатель»;

- с «Передатчика» со всех УПП посылается ультразвуковой импульс по очереди в каждую сторону; засекается время;

- на всех «Отражателях», на которые дошел этот импульс, измеряется амплитуда этого импульса, далее формируется ответный импульс со стороны, принявшей

наиболее высокую амплитуду. Ответный импульс посылается спустя константное время, требующееся для погашения всех ультразвуковых отраженных волн, которые в данном случае будут являться помехами. Также соответствующая информация посылается на компьютер;

- передатчик принимает ответные импульсы; на основе времени, прошедшего от пункта 1, и константного времени рассчитывается время прохождения звуковой волны и, следовательно, расстояние.

Процедура восстановления конфигурации состоит из нескольких этапов:

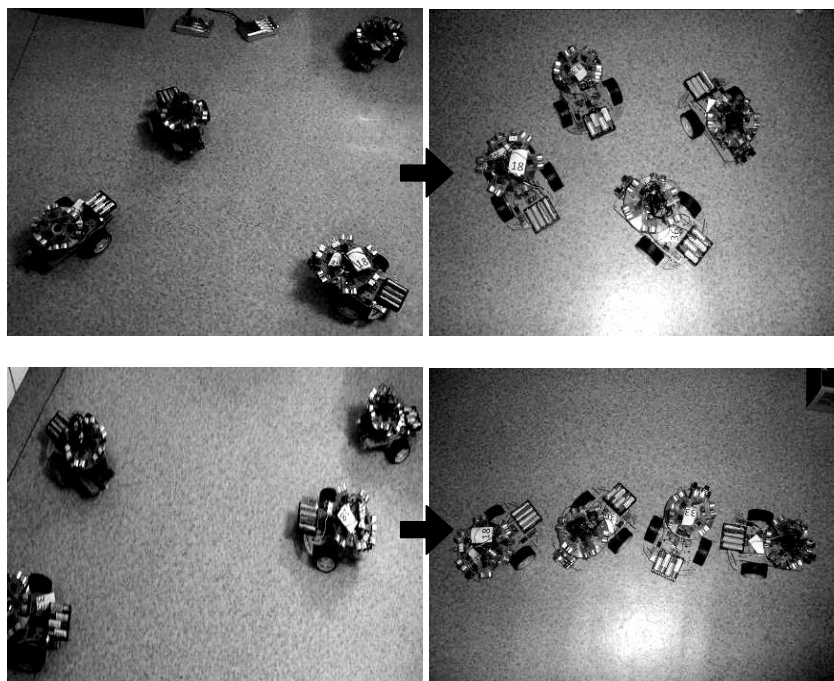
- с помощью ультразвукового метода определяется начальное положение роботов;

- модель возвращает координаты, по которым происходит трансформация в одно из двух сохраненных состояний;

- посылаются управляющие команды на роботы типа «Проедь 5 см» или «Поверни на 30 градусов»;

- определяется конечное положение роботов.

В случае если конечная конфигурация сильно отличалась от сохраненной, алгоритм повторялся. На рисунке изображены результаты восстановления структуры «линия» и «квадрат».



Результаты физического моделирования

Заключение

В статье предложен метод построения самоорганизующейся системы автономных роботов, восстанавливающей свои структуры, с использованием ультразвукового метода нахождения относительных координат. Полученное в результате физического моделирования качество восстановления конфигурации после воздействия является достаточно низким (ошибка восстановления составляет 30 %) из-за невысокого качества навигационной системы, но в качестве тестового результата вполне приемлемо.

Такие системы могут найти применение в сфере доставки грузов дроидами. В тех случаях, когда одному роботу не под силу переместить груз, может применяться кооперация, причем дроиды могут перестраиваться самостоятельно в зависимости от текущих условий и решаемой задачи.

В дальнейшем планируется продолжать работу над совершенствованием навигационной системы, использовать другие методы определения координат внутри помещений. Планируется построить улучшенных мобильных роботов, а также усовершенствовать математическую модель.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. John W. Romanishin, Kyle Gilpin, Daniela Rus. M-Blocks: Momentum-driven, Magnetic Modular Robots, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, November, 2013.
2. Marco Dorigo, Vito Trianni, Erol Sahin. Evolving Self-Organizing Behaviors for a Swarm-bot, Autonomous Robots, special Issue on Swarm Robotics, vol. 17, num. 2-3, p. 223-245, 2004.
3. Gwangjun Goa, Dohyun Kwaka, Linfeng Piao. Manipulation of micro-particles using a magnetically actuated microrobot, Dept. of Mechanical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Republic of Korea, December 2013.
4. Юдашкин А.А. О подходе к построению трансформирующихся систем с несколькими устойчивыми состояниями // Дифференциальные уравнения и их приложения: Межвуз. сб. науч. тр. – 2002. – № 1. – С. 64-68.
5. Seong Y.C., Chan G.P. A Calibration Technique for a Two-Axis Magnetic Compass in Telematics Devices // ETRI Journal. – № 27. – 2005. – P. 280-288.
6. Pedley M. Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer [Электронный ресурс, 580 Кб] – 2013. – http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3461.pdf.

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2013 г.

BUILDING SYSTEMS OF AUTONOMOUS ROBOTS, WITH ABILITY TO MEMORIZE AND RESTORE THEIR STRUCTURES IN THE SPACE

M.L. Patkin, A.A. Yudashkin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The solution describes the methods of synthesis the communicating mobile robot capable to memorize and restore configuration on the plane. Configuration sets the coordinates of the robots. Population of robots dynamics sets nonlinear differential equations in complex numbers. Achieved design and physical parameter modeling system of mobile robots with ultrasonic navigation system that implements the connection between the individual robots and obtained preliminary estimates using such a navigation system for the synthesis of mobile robots with multiple memory configurations.

Keywords: *self-organization, mobile robots, ultrasound sensor.*

*Mihail L. Patkin, Postgraduate Student.
Alexander A. Yudashkin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*