

# Обеспечение эффективного использования энергоресурсов в группе мобильных роботов<sup>1</sup>

Богданов Д.Р., Даринцев О.В.

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, Уфа

Для успешного функционирования коллектива роботов необходимым условием является наличие достаточных энергоресурсов и механизма их эффективного распределения внутри группы. Сократить потребление ресурсов планируется с помощью оптимального, с точки зрения энергетических затрат, распределения задач, а повысить эффективность коллектива — благодаря использованию механизмов обмена энергией между агентами. Предлагаемый вариант архитектуры системы питания отдельного робота, алгоритм ее работы и аппаратное обеспечение рассматриваются как база для синтеза интеллектуальной системы мониторинга и управления энергопитанием, позволяющей реализовать на ее основе перераспределение общего энергоресурса коллектива между агентами-роботами в соответствии с выбранной стратегией поведения. Основными компонентами разрабатываемой системы являются модули беспроводного обмена энергией, система энергетического менеджмента и аппаратно-программный комплекс, реализующий поддержку как индивидуального, так и группового управления энергетическими потоками.

**Ключевые слова:** коллективное поведение роботов, беспроводная передача энергии, мобильные роботы, менеджмент аккумуляторных батарей, общий энергоресурс

## 1. Введение

Реализация коллективного поведения роботов является одной из актуальнейших задач в современной робототехнике. В настоящее время наиболее перспективными направлениями, в которых использование групп и коалиций роботов прогнозируется как необходимое условие развития, признаются следующие области применения: медицина, военное дело, промышленность, сельское хозяйство и т.д., а в качестве задач, где эффективность коллективов роботов несомненна, рассматриваются диагностика и лечение с помощью микро- и нанороботов, патрулирование, сбор разведанных, ведение боевых действий, сбор информации об окружающей среде в научных исследованиях. Анализ исследований, ведущихся в этой области, показал, что основные усилия прилагаются для: решения задач взаимодействия между агентами коллектива (ин-

формационного и физического); оптимизации разбиения общей задачи на подзадачи; эффективного выполнения задач каждым агентом с учетом действия других агентов. При этом вопросы управления общими энергоресурсами не рассматриваются, хотя для коллектива роботов (например, «умная сеть») «...наиболее актуальной проблемой является сбалансированность энергоресурса. Именно минимизация энергозатрат, гарантированность времени функционирования системы в целом — это самое слабое место сенсорных сетей» [1]. Также в работе [1] отмечено, что данная проблема в контексте управления группой совместно работающих устройств лишь изредка поднималась в немногочисленных работах отдельных ученых. Так, в работе [2] предлагается оптимизировать мощность излучения группы радиостанций с учетом их расположения и их «договоренности» между собой.

Актуальность задачи о необходимости учета энергоресурсов основывается на следующем тезисе: энергоемкость мобильного робота — это конечный ресурс, который необходимо периодически восполнять. При коллективной задаче важно также учитывать энергозапас всей группы и его распределе-

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-04165 офи-м) и Программы Президиума РАН № П-31.

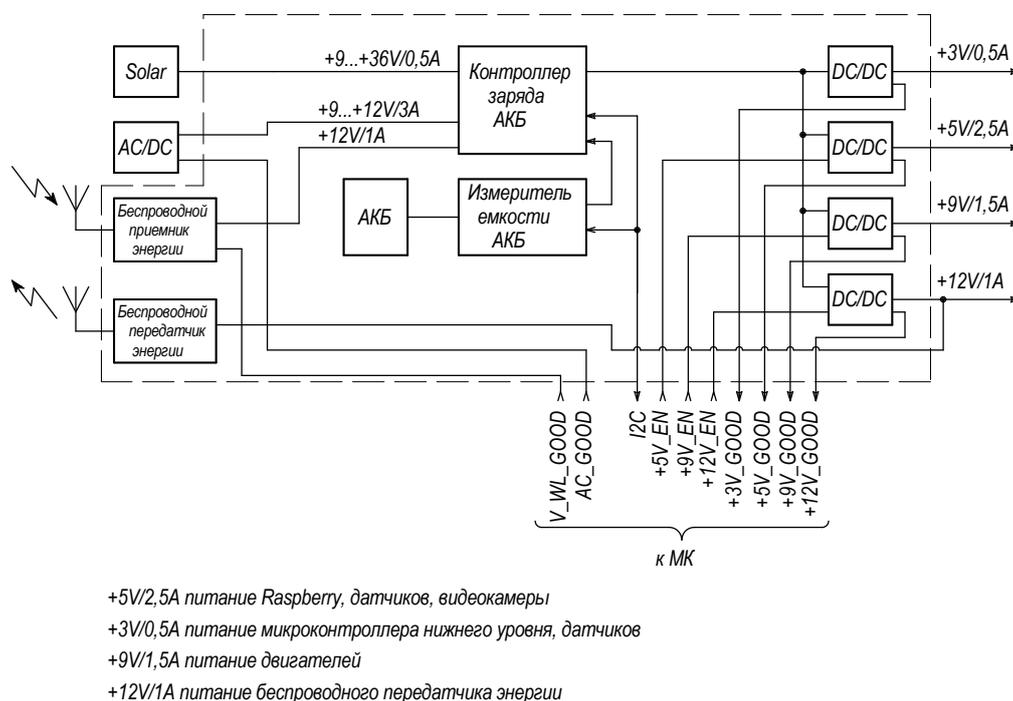


Рис. 1. Структурная схема питания мобильного робота

ние по агентам, так как можно разработать необходимые алгоритмы коллективного поведения роботов, которые не будут эффективно работать из-за отсутствия достаточного ресурса энергии при выполнении конкретной практической задачи. Поэтому комплексный подход в управлении коллективом роботов, затрагивающий и вопросы энергоснабжения, может обеспечить гарантированное достижение поставленной цели, особенно при автономной работе в экстремальных условиях.

## 2. Постановка задачи

Основной задачей при построении коллектива роботов является обеспечение их совместной деятельности с использованием разделяемых вычислительных и энергетических ресурсов. В настоящей статье рассматривается задача обеспечения необходимым объемом энергоресурсов коллектива роботов, разделенная на две, как правило, связанные подзадачи: пополнение энергии и контроль-управление ее расходом, так как для их реализации зачастую используются одни и те же аппаратные (физические) ресурсы. При решении поставленной задачи были сформулированы следующие основные требования к системе питания (СП) каждого робота, входящего в состав коллектива:

- 1) наличие программно-аппаратных средств для мониторинга текущего состояния энергоресурсов каждого агента;

- 2) наличие развитой системы пополнения и хранения энергии;
- 3) способность каждого агента группы оптимизировать личное потребление энергии путем формирования достаточного количества индивидуально управляемых напряжений для питания различных подсистем робота;
- 4) возможность перераспределения общего энергоресурса между членами группы;
- 5) способность группы оптимизировать потребление общей энергии исходя из поставленной коллективной задачи.

Выполнение требований должно обеспечиваться совокупностью аппаратной реализации СП, программного обеспечения мобильного робота и математических методов оптимизации энергоресурсов в зависимости от поставленной задачи.

## 3. Реализации системы управления энергоресурсами мобильного робота

С учетом вышеизложенного была разработана СП мобильного робота и синтезировано специализированное программное обеспечение. Структурная схема СП представлена на рис. 1.

Основные функции СП, реализованные на аппаратном и программном уровнях, следующие:

- 1) *Мониторинг текущего состояния СП.* Обеспечивается контроллером измерения заряда аккумуляторной батареи (КИЗ АКБ), служебными сигналами контроллера заряда АКБ (КЗ АКБ) и сигналами о текущем состоянии источников напряжений. Информация поступает на микроконтроллер (МК) управления мобильным роботом через стандартный интерфейс I2C, а также посредством дискретных цифровых сигналов;
- 2) *Получение и хранение энергии.* Осуществляется на базе АКБ типа LiPo (литий-полимерные аккумуляторы). Заряд АКБ проводится под управлением КЗ АКБ с различных источников питания, таких как:
  - блок питания, преобразующий переменное сетевое напряжение 220 В 50 Гц в постоянное напряжение/ток 9–12 В/3А;
  - модуль беспроводного приема энергии 12/1А;
  - бортовые солнечные батареи 9–36 В/0,5А. Процесс заряда контролируется КИЗ АКБ (контроль емкости, балансировка заряда при последовательном включении нескольких АКБ).
- 3) *Формирование различных напряжений.* Развита коммуникация СП робота с его вычислительными ресурсами позволяет гибко управлять включением и выключением распределенных источников напряжений и потребителей в зависимости от выполняемых текущих задач.
- 4) *Обмен энергией между роботами с помощью беспроводных технологий.*

Выполнение общей задачи группой роботов с учетом потребления энергии и программно-аппаратных возможностей, описанных выше, позволяет оптимизировать потребление общего энергоресурса. Несмотря на развитую аппаратную реализацию СП, ее эффективность будет высокой только при наличии соответствующих математического аппарата и программного обеспечения. При реализации СП была использована современная высокоинтегрированная элементная база ведущих мировых фирм-производителей: *Maxim Integrated* и *Texas Instruments*.

Как было отмечено выше, одним из методов управления общим энергоресурсом является возможность его перераспределения между членами группы. Одним из перспективных решений является применение технологий беспроводной передачи энергии. На сегодняшний день известны несколько способов беспроводной передачи информации [3] и энергии [4, 5] в качестве среды (или носителя),

в которых могут использоваться радиоволны, ультразвук, микроволновое и оптическое излучения (в инфракрасном и видимом диапазонах, в том числе лазерное излучение). Наиболее развитой и перспективной в настоящее время является технология WiTricity, разрабатываемая одноименной компанией [6]. В ней используется принцип электромагнитной резонансной связи, что позволяет передавать энергию на расстояния большие, чем размер самих антенн. Другим известным решением является применение технологии индукционной передачи энергии между катушками передатчика и приемника, регламентируемой стандартом Qi и разработанной Консорциумом беспроводной электромагнитной энергии (*Wireless Power Consortium, WPC*) [7]. Передача энергии осуществляется на расстоянии до 4 см с КПД порядка 80% [8] и широко используется для беспроводной зарядки смартфонов, планшетов, бытовых роботов-пылесосов и подобных устройств. Известны работы по передаче энергии с помощью лазерных устройств, например, для питания находящихся в полете БПЛА [9]. Но КПД таких систем в настоящее время не превышает 10%. Для осуществления передачи энергии на большие расстояния (например, для передачи с орбитальных солнечных электростанций на Землю) ведутся работы по использованию микроволнового излучения (СВЧ излучение). Передатчиком энергии служит генератор СВЧ излучения (например, магнетрон), а приемником — так называемые ректенны (выпрямляющие антенны) [4].

Отметим, что почти все рассмотренные технологии используются для пополнения энергоресурса или непосредственного питания достаточно габаритных устройств от условно неиссякаемого источника энергии (сетевой розетки, солнечной электростанции и т.д.). В настоящее же время основное направление развития коллективной робототехники связано с разработкой автономных миниатюрных агентов, поэтому, в нашем случае, решение задачи распределения ограниченного энергоресурса между роботами учитывает дополнительные ограничения и специфику области применения, такие как: жесткие ограничения на размеры реализуемой системы (экстремальная минимизация), повышение КПД передачи энергии.

При реализации текущего проекта был использован принцип индукционной передачи энергии на базе готовых модулей беспроводной передачи и приема энергии, работающих в стандарте Qi (рис. 2) и имеющих следующие характеристики:

- 1) мощность передачи — 10 Вт;
- 2) оптимальное расстояние приема-передачи — 3–6 мм;

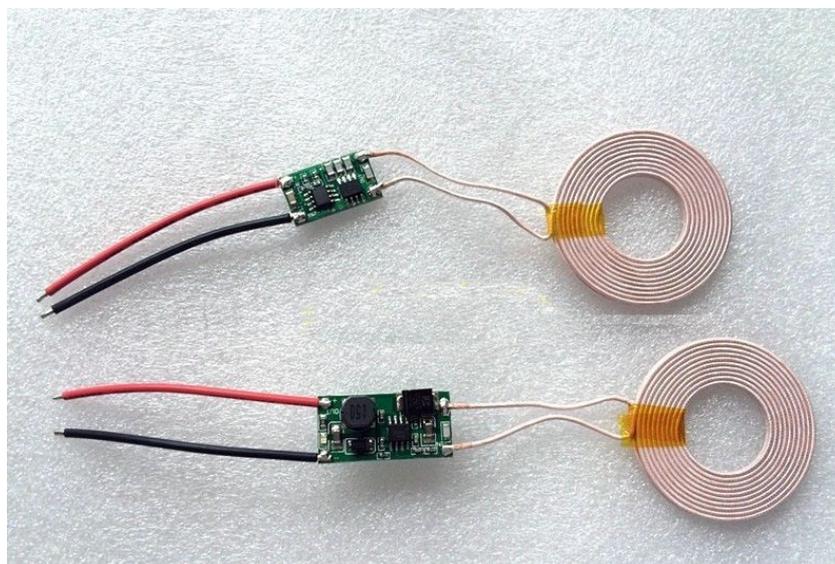


Рис. 2. Модули беспроводной передачи и приема энергии

#### 4. Заключение

На сегодняшний день созданы макетные образцы мобильных роботов, включающие в себя специализированные системы питания с возможностью обмена энергией между агентами коллектива. В дальнейшем модификация вышеописанной системы будет проводиться с учетом результатов синтеза алгоритмов решения коллективных задач, эффективность которых будет обеспечиваться, в том числе, и с помощью данного метода использования общего энергоресурса (например, назначение задач в соответствии с энергозапасом конкретного агента или исключение агента из миссии и передача его ресурсов другому агенту и т.д.). Кроме того, ведется работа по повышению мощности и КПД при обмене энергией и разработка систем позиционирования роботов в пространстве друг относительно друга с целью обеспечения наилучших условий для эффективной передачи энергии. Благоприятные перспективы по применению беспроводных технологий в решении поставленной задачи связаны с тем, что фирма *WiTricity*, выпускающая специализированные микросхемы для разработки передатчика-приемника энергии [10], оказывает методологическую помощь при реализации проектов [11].

#### Список литературы

- [1] Карпов В.Е. Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное. URL: <http://www.insycom.ru/html/metodmat/Robots2014/Karpov.pdf> (дата обращения: 24.05.2017).
- [2] Стефанюк В.Л., Цетлин М.Л. О регулировке мощности в коллективе радиостанций // Проблемы передачи информации. 1967. Т. 3, № 4. С. 59–67.

- [3] Джим Гейер. Беспроводные сети. Первый шаг: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 192 с.
- [4] Освобожденное электричество. Питание без проводов. [Электронный ресурс] URL: <http://old-real.ppmech.ru/article/11314-osvobozhdennoe-elektrichestvo> (дата обращения: 23.05.2017).
- [5] Зарядка гаджета на расстоянии? Уже реальность! [Электронный ресурс] URL: <http://www.innoros.ru/news/foreign/13/09/zaryadka-gadzheta-na-rasstoyanii-uzhe-realnost> (дата обращения: 16.05.2017).
- [6] Беспроводное электричество поразило своих создателей. [Электронный ресурс] URL: <http://www.membrana.ru/particle/1986> (дата обращения: 16.05.2017).
- [7] The technology powering Qi. [Электронный ресурс] URL: <http://www.wirelesspowerconsortium.com> (дата обращения: 16.05.2017).
- [8] WPC Compliant Single Chip Wireless Power Receiver. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq51025.pdf> (дата обращения: 23.05.2017).
- [9] Лазерная беспроводная передача энергии разработана для американских военных. [Электронный ресурс] URL: <http://pravoslav-voin.info/main/2357-lazernaya-besprovodnaya-peredacha-yenergii.html>
- [10] WT8800 wireless transmitter SoC. [Электронный ресурс] URL: <http://witricity.com/products/integrated-circuits/> (дата обращения: 23.05.2017).
- [11] LIVE Reference Design. [Электронный ресурс] URL: [http://witricity.com/wp-content/uploads/2016/12/LIVE\\_Reference\\_Design\\_20161229.pdf](http://witricity.com/wp-content/uploads/2016/12/LIVE_Reference_Design_20161229.pdf) (дата обращения: 16.05.2017).

## Ensuring for effective use of energy resources in mobile robots group

**Bogdanov D.R., Darintsev O.V.**

Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa

For the successful functioning of the robot team, the necessary condition is the availability of sufficient energy resources and the mechanism for their effective distribution within the group. Reducing the consumption of resources is planned using the optimal distribution of tasks from the point of view of energy costs, and to increase the effectiveness of the collective — thanks to the use of energy exchange mechanisms between agents. The proposed variant of the power system's architecture for an individual robot, the algorithm of its operation and hardware are considered as the basis for the synthesis of an intelligent monitoring and managing energy supplies system, which allows the redistribution of the collective energy resources among robot-agents in accordance with the chosen behavior strategy. The main components of the being developed system are wireless energy exchange modules, an energy management system and a hardware&software complex that implements support for both individual and group management of energy flows.

**Keywords:** collective behavior of robots, wireless transmission of energy, mobile robots, management of rechargeable batteries, shared energy resource



**Многофазные системы:**  
модели, эксперимент, приложения

ИМех им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН

Статья рекомендована к публикации  
Программным комитетом VI Российской конференции  
«Многофазные системы: модели, эксперимент, приложения»