

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.8:004.896

Коников  
Александр Дмитриевич

Платформа для изучения роевого поведения на основе пьезороботов

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра информатики и вычислительной техники  
по специальности 1-40 81 02 «Технологии виртуализации и облачных  
вычислений»

Научный руководитель  
Самаль Дмитрий Иванович  
кандидат технических наук,  
доцент

Минск 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Сфера автономных мобильных роботов набирает высокую популярность и получает всё большее распространение. По заслуживающим внимания оценкам, наибольшее развитие она получит в течение ближайших 5-10 лет. Одним из наиболее обещающих направлений в данной области являются исследования коллективного интеллекта, иными словами роевого поведения. В случае достижения поставленных целей множество независимых компактных самоорганизующихся роботов смогут объединяться для решения одной большой и сложной задачи, непосильной для решения одним роботом. Примером такой задачи является перемещение крупного и тяжёлого объекта, либо большого множества маленьких объектов.

При разработке алгоритмов роевого поведения возникает необходимость отладки и визуализации процесса работы алгоритма. Помимо специализированного программного обеспечения для моделирования взаимодействия, для «полевых испытаний», изучения и наглядного представления коллективного поведения в реальных условиях, необходимо иметь довольно легко копируемую робототехническую платформу, которая и является основным предметом настоящего исследования. Наглядное представление процесса работы алгоритмов роевого поведения является незаменимым в процессе образования, помогает легче понять принципы работы этих алгоритмов, что существенно облегчает их изучение. Таким образом, работа является актуальной.

В исследовательской работе рассмотрены различные платформы, на которых могут базироваться мобильные автономные роботы, исследованы способы их перемещения и взаимодействия между собой, а также изучены способы определения взаимного месторасположения. В результате разработана компактная, недорогая и легко тиражируемая робототехническая платформа для исследования роевого поведения.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Объектом исследования** являются группы беспилотных движущихся объектов.

**Предметом настоящего исследования** является масштабируемая легко копируемая роботехническая платформа для изучения алгоритмов коллективного поведения.

**Целью работы** является разработка и реализация действующей платформы для изучения роевого поведения на основе компактных роботов, приводимых в движение колебаниями пьезоэлектрического элемента.

Исходя из цели, были поставлены следующие **задачи исследования**:

1. Проанализировать систему передвижения робота при помощи пьезоэлектрического элемента.

2. Провести анализ способов взаимодействия автономных роботов между собой.

3. Рассмотреть виртуализацию робототехнической платформы в рамках абстрагирования алгоритмов роевого поведения от аппаратной реализации системы.

4. Разработать версию компактного пьезоробота и множество экземпляров, взаимодействующих между собой.

5. Разработать и реализовать чувство «боковой линии» у пьезороботов.

### **Научная и практическая значимость работы**

В данной исследовательской работе рассмотрены различные виды приводов и особенности их конструкций, которые могут применяться для приведения мобильных роботов в движение. Подробно описан и применён вибрационный двигатель на основе пьезоплатформы.

Данная пьезоплатформа применяется для передвижения компактных роботов впервые и не имеет аналогов.

Описаны некоторые наиболее популярные алгоритмы роевого поведения.

Подробно описан и изучен принцип действия и основные характеристики пьезоэлектрического элемента.

Исследованы различные способы генерации сигналов, для управления пьезоплатформой и выбран наиболее оптимальный вариант.

Измерены некоторые схемы усилителей электрических сигналов, используемых для увеличения амплитуды управляющего пьезоплатформой сгенерированного сигнала.

Обоснована и рассчитана система подавления помех по питанию, появляющихся в следствие использования импульсных преобразователей.

Рассмотрен и реализован способ децентрализованного обмена информацией между группой роботов на основе Mesh-сетей с применением технологий Wi-Fi и ESP-NOW.

Исследованы различные способы определения взаимного расположения группы компактных автономных мобильных роботов.

Разработана и реализована платформа для исследования алгоритмов роевого поведения на основе пьезороботов. Разработанная система может применяться в исследовательских целях при исследовании и моделировании алгоритмов коллективного поведения, а также в образовательном процессе для наглядной демонстрации принципов работы алгоритмов распределённых систем и алгоритмов группового взаимодействия.

### **Содержание исследовательской работы**

Общий объём магистерской диссертации составляет 77 страниц, включая 64 иллюстрации, библиографический список из 31 наименования, список опубликованных работ из 5 пунктов и приложение.

Работа состоит из 3 глав.

В главе 1 «Анализ способов перемещения компактных роботов на основе литературных источников» рассмотрены основные типы двигателей и способы перемещения роботов.

В главе 2 «Анализ системы перемещения робота при помощи пьезоэлектрического элемента» рассмотрен физического принципа приведения в движение робота при помощи пьезоэлектрического элемента, управляемого изменяемой частотой сигнала

Глава 3 «Взаимопозиционирование и прецизионное перемещение группы компактных роботов» посвящена описанию различных способы определения расстояния между объектами, вычисления взаимного расположения группы роботов между собой. В этой главе рассмотрены схмотехнические решения системы управления пьезороботом, доказана необходимость применения обратной связи для точного позиционирования робота в пространстве. Приведены результаты эмпирических измерений.

В заключении приведён анализ результатов, полученных на всех этапах проведённого исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовательской работе рассмотрены различные платформы, на которых могут базироваться мобильные автономные роботы, исследованы способы их перемещения и взаимодействия между собой, а также изучены способы определения взаимного месторасположения.

Для реализации робототехнической платформы, выбран вибрационный двигатель на основе пьезоэлемента, как имеющий наименьшую себестоимость и относительную простоту изготовления. Для перемещения компактных роботов применяется впервые.

Проведены исследования влияния наличия обратной связи на точность позиционирования робота. Исследованы различные схемы усилителей мощности, которые обеспечивают колебания пьезоэлектрической платформы. Разработана и реализована схема на операционном усилителе, как обладающая наименьшими искажениями и простотой реализации.

Рассмотрены преимущества и недостатки генерации сигналов различными средствами. Выбрано оптимальное решение, основанное на применении специализированной микросхемы прямого цифрового синтеза, как обеспечивающее наивысшую точность частоты (0,004Гц) и минимум искажений генерируемого сигнала.

Реализована и изучена система обмена данными между группой роботов с применением Mesh-сетей на основе технологии ESP-NOW.

Конечная цель данного исследования, а именно: разработка и изучение робототехнической платформы для исследования роевого поведения – достигнута. Точное позиционирование и определение взаимоположения роботов между собой позволяет реализовать так называемое чувство «боковой линии», которое наблюдается у рыб. Таким образом появляется возможность абсолютно синхронного перемещения роботов, что является зрелищным процессом (например и может использоваться для популяризации науки среди молодёжи).

Одной из перспектив развития данного проекта является использование роботов на основе пьезоэлементов в дефектоскопии: после того, как робот приведён в движение и продолжает двигаться по инерции, при помощи пьезоэлемента можно регистрировать затухающие колебания и анализируя их, можно судить о наличии микродефектов на поверхности, по которой двигался робот. Компактные размеры робота позволяют анализировать поверхности в труднодоступных местах, например внутреннюю поверхность труб.

Низкая цена и масштабируемость системы позволяет применять её в исследовательских проектах и образовательном процессе.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1 – А. «Корректировка вектора движения в реальном времени» Компьютерные системы и сети: материалы 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. (Минск, 22-26 апреля 2019 года). – Минск: БГУИР, 2019. – С. 45-47

2 – А. «Система точного позиционирования низкоскоростных роботов» Информацион-ные технологии и системы 2019 (ИТС 2019): материалы международной научной конференции, (БГУИР, Минск 30 октября 2019 г.) – Минск: БГУИР, 2019. – С. 50-51

3 – А. «Платформа для изучения роевого поведения роботов с ультразвуковым движателем» Информационные технологии : тезисы 84-й научно-технической конференции БГТУ. (Минск, 03-14 февраля 2020 г). - Минск : БГТУ, 2020. – С. 111-114.

4 – А. «Взаимопозиционирование мобильных роботов с применением MESH-сетей» Компьютерные системы и сети: материалы 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. (Минск, 21-26 апреля 2020 года). – Минск: БГУИР, 2020. – С. 45-47

5 – А. «Корректировка вектора движения в реальном времени» Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2019» / редкол. : С23 В. А. Богуш (пред.) [и др.]. — Минск : Изд. центр БГУ, 2020. – 511

с.