

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tutorial: image classification with scikit-learn [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://kapernikov.com/tutorial-image-classification-with-scikit-learn/> – 31.01.2020
2. Histogram of Oriented Gradients [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.learnopencv.com/histogram-of-oriented-gradients/> – 31.01.2020
3. Н. В. Пацей Алгоритм многоуровневой классификации объектов, основанный на кодах коррекции ошибок // Информационные технологии : материалы 83-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 4-15 февраля 2019 года [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2019. – с. 48

УДК 004.82

Д.И. Самаль, доц., канд. техн. наук; А. А. Понкратов, асп.;  
А.Д. Конигов, магистрант (БГУИР, г. Минск)

### **ПЛАТФОРМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РОЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ РОБОТОВ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДВИЖЕТЕЛЕМ**

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 [1]. Одним из малоисследованных направлений в данной области являются исследования коллективного интеллекта, иными словами роевого поведения. Рой – группа роботов с низким уровнем способностей, но формирующих в совокупности робота с высоким уровнем способностей. Множество независимых компактных роботов смогут объединяться для решения одной большой и сложной задачи, непосильной для решения одним роботом либо требующей слишком много ресурсов: энергии, времени и т.д. Примером такой задачи является перемещение крупного и тяжёлого объекта, либо большого множества маленьких объектов.

Многие направления технологий подсмотрены у природы, роевое поведение не исключение. Муравьи образуют колонии, пчёлы живут семьями, птицы собираются в стаи, рыбы в косяки. Эти группы организмов проявляют сложное социальное поведение, но при этом каждый индивид является довольно простым по строению и поведению. Наиболее популярными алгоритмами роевого поведения явля-

ются алгоритмы поиска еды и защиты от внешних опасностей.

Типичными задачами, решаемыми роем, являются: синхронизация (по принципу светлячка), выстраивание в линию (chain formation), сбор в кучу (Aggregation), поиск оптимального маршрута (Collective Exploration), перемещение объекта.

При разработке алгоритмов роевого поведения возникает необходимость отладки и визуализации процесса работы алгоритма. Наглядное представление процесса работы алгоритмов роевого поведения является незаменимым в процессе образования, помогает быстрее понять принципы работы этих алгоритмов, что существенно облегчает их изучение.

В докладе рассмотрены параметры самых известных робототехнических платформ для моделирования роевого поведения.

- mROBerTO (Mechanical and Industrial Engineering University, Канада)
- Kilobot (Harvard University, США)
- Jasmine (University of Stuttgart, Германия)
- Robatz network (БГУ, Минск)

Выделены общие критерии, которыми обладают все рассмотренные платформы. Данные критерии позволяют задать требования для построения собственной платформы. Необходимыми функциональными требованиями являются:

- автономность;
- взаимодействие и обмен данными с другими роботами;
- передвижение;
- обнаружение препятствия;
- индикация;
- чувствительность к внешнему воздействию.

В виду применения данной платформы в образовательном процессе система должна быть компактной, недорогой и легко тиражируемой, в том числе силами студентов младших курсов.

В качестве системы управления роботом [3], используется платформа ESP32, которая представляет собой двухядерный 32-битный микропроцессор с таковой частотой до 240МГц с 520Кб ОЗУ, 448Кб ПЗУ, а также имеет встроенный модуль Wi-Fi 802.11n и Bluetooth 4.2. Данный модуль обладает низкой стоимостью и малым энергопотреблением, большим количеством линий ввода/вывода – 34, плюс ко всему имеется 12-битный АЦП, 8-битный ЦАП и некоторые проводные системы коммуникации: 4 порта SPI, 2 порта I2C, 3 порта UART, 16 каналов ШИМ, инфракрасный порт, поддержка CAN шины, контроллер управления картами памяти и многое другое.

Под эту платформу написано множество библиотек, что позволяет сократить время на разработку программной составляющей системы. Встроенный Wi-Fi модуль позволяет связать роботов между собой в mesh-сеть используя технологию ESP-Now. Таким образом роботы могут обмениваться данными между собой без необходимости подключения к общей точке доступа

В данном проекте применяется вибрационный двигатель на основе пьезоэлемента разработанный и запатентованный профессором Владимиром Тимофеевичем Минченей [2]. Он представляет из себя равнобедренный треугольник с загнутыми краями, изготовленный из листовой стали, к которому приклеен пьезоэлемент. При подаче переменного напряжения с определённой частотой, начинаются колебания. Т.к. пьезоэлемент жёстко соединён с платформой, то все колебания пьезоэлемента передаются на стальное основание. Волны механических колебаний распространяются по металлу и вызывают пружинящие колебания (изгибания) очень малой амплитуды ножек платформы. При попадании в частоту резонанса, из-за различных расстояний от пьезоэлемента до концов ножек платформы в определённый момент вектор суперпозиции сил оказывается ненулевым и направленным в определённую сторону, что вызывает движение платформы. Сужающиеся углы треугольника вызывают существенный рост амплитуды волн колебаний на концах ножек основания, что обеспечивает ещё большее смещение платформы. Отверстие в платформе изначально расположено в точке наибольших механических напряжений и вызывает переотражение и усиление колебаний.

При движении платформы, из-за шероховатости поверхности, по которой она движется, возникает отклонение движения робота от намеченного курса. Чтобы устранить отклонения в движении требуется вводить корректировки, рассчитываемые на основании системы обратной связи, построенной на базе оптического сенсора компьютерной мыши.

Основные достоинства данного двигателя - простота и дешевизна конструкции, позволяющая создать множество экземпляров для изучения роевого поведения роботов.

Главным недостатком является необходимость подбора частот для приведения платформы в движение для каждого экземпляра робота. Данный недостаток необходимо решать алгоритмически, с сохранением параметров на самом роботе.

Для приведения платформы в движение используется DDS-генератор на основе микросхемы AD9833[4], позволяющий генерировать сигналы различной формы в диапазоне от 0,1 Гц до 12 МГц с

точностью 0,1 Гц.

Вся система питается от аккумуляторов типоразмера 18650, для питания управляющих цепей используется step-up преобразователь на 5В. Для подавления помех импульсного преобразователя применён LC-фильтр.

Для идентификации соседей используется система, основанная на инфракрасных передатчиках и приёмниках. Эта же система используется для определения расстояния до препятствий, с помощью триангуляции [5]. Несколько фотоприёмников расположенных по кругу, таким образом можно определить, с какой стороны находится сосед, переместившись на определённое расстояние и повторно измерив угол взаимного расположения на основании триангуляции можно вычислить расстояние до препятствия.

Модульность, низкая цена и простота конструирования платформы позволяет применять её в исследовательских проектах и образовательном процессе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gartner Hype Cycle [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>
2. Спецификация микроконтроллеров семейства ESP32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
3. Минченя В.Т. Цифровые системы управления технологическим оборудованием : уч. пособие / В. Т. Минченя [и др.]. – Минск : Энциклопедикс, 2016. – 108 с. Информационные технологии и управление : материалы 49 науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 6–10 мая 2013 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2013. – 103 с.
4. Спецификация DDS-генератора AD9833 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9833.pdf>
5. Justin Yonghui Kim. Designing an Effective Millirobot for Swarm Behaviour Studies with Human-Swarm Interaction / Justin Yonghui Kim – Toronto, Mechanical And Industrial Engineering University of Toronto, 2017