

## МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ В РОЕВОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАВИГАЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

**Шамрай П.Ю.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент доцент Бойко А.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

pavel.shamray@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №623106 "Автономные интеллектуальные системы" мегафакультета компьютерных технологий и управления Университета ИТМО.

### **Введение**

Роевая робототехника активно развивается как в академических исследованиях [1], так и в коммерческих применениях [2]. Роевая робототехническая система (РРТС) – это децентрализованное управление, где каждый агент принимает решение об управлении сам, в том числе на основе информации, полученных от навигационных устройств. В условиях ограниченного пространства глобальная навигация (по ГНСС, сотовым вышкам) работает нестабильно, поэтому каждый агент РРТС для позиционирования себя относительно соседей полагается только на сенсоры локальной взаимной навигации (дальномеры, пеленгаторы). Кроме того, связь между агентами может быть нестабильной или вовсе отсутствовать. Модель роевого управления в данной работе основана на искусственных потенциалах [3].

Среди угроз для РРТС при локальном навигационном взаимодействии можно выделить нарушение работоспособности сенсоров (jamming), искажение получаемой навигационной информации (spoofing), физическое изменение траектории. При построении модели навигационной безопасности, как части информационной безопасности, мы будем рассматривать нарушителя как агента, обладающего такими же аппаратно-программными средствами (навигации, связи, конструкции, алгоритмов управления), что и обычный агент, но не обладающий заранее определенным набором правил, по которым изменяются параметры алгоритма управления в течение миссии. Эти правила, описанные далее, и являются основой для метода обнаружения нарушителя.

### **Основная часть**

Одним из методов противодействия нарушителю является его изоляция, а конкретно псевдослучайное перестроение или изменение параметров алгоритмов роевого управления, например, уменьшение расстояния [4]. После такого перестроения нарушитель окажется на краю группы, но для снижения энергозатрат такое воздействие нужно осуществлять только после детектирования аномального поведения. В этом случае нет необходимости локализовывать нарушителя, что сильно облегчает задачу в условиях децентрализованного управления и взаимодействия агентов. Метод обнаружения базируется на показателе локальной дезорганизации, определяющий степень нарушения периодичности пространственной структуры. Такой показатель может быть построен на основе относительного пространственного положения в виде многомерного вектора навигационного состояния агента. В данной работе был использован частный случай этого показателя как пространственного вектора до ближайших соседей.

Алгоритм обнаружения заключается в следующем. В заданные моменты времени все агенты, обладающие информацией, заданной до начала миссии, выполняют изменение параметров на заданный промежуток времени. Каждый агент рассчитывает показатель дезорганизации. При превышении показателя агент передает сообщение со своим идентификатором всем остальным агентам в группе посредством какого-либо

канала связи, в том числе внутри навигационного канала. В случае получения такого определенного критического количества сообщений считается, что обнаружен нарушитель. Далее применяется метод противодействия. Если же нарушитель не был обнаружен, то агент, а, следовательно, и весь рой не совершает перестроения. В численном эксперименте на 37 агентах было продемонстрировано, что метод обнаружения позволяет обнаружить нарушителя для последующего противодействия.

### **Выводы**

В работе разработан метод обнаружения нарушителя, в том числе нарушителя, не проявляющего никакой аномальной активности. Этот метод позволяет обеспечить комплексный подход по противодействию нарушителю в РПТС совместно с методом изоляции нарушителя на край группы. Метод обнаружения основан на периодических изменениях пространственной структуры группы, о параметрах которого нарушитель не знает. Метод может быть применен в РПТС, которые в определенном сценарии использования не имеют сильных пространственных ограничений для совершения перестроений, а также не сильно чувствительны к энергетическим затратам.

### **Литература**

1. Refis F. C., Mahammedi N. A., Kerrache C. A., Dhelim S. From Network Sensors to Intelligent Systems: A Decade-Long Review of Swarm Robotics Technologies // Sensors. publisher, 2025. Т. 25, № 19.
2. Swarm Robotics Market Share, Size, Trend, 2034 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/swarm-robotics-market-111317> (дата обращения: 01.02.2026).
3. Boyko A., Girgidov R. Maintaining the spatial stability of a swarm of autonomous unmanned aerial vehicles // Rob. and Tech. Cyb. J. 2021. Т. 9, № 2. С. 85–90.
4. Шамрай П. Ю., Заколдаев Д. А., Бойко А. М. Метод пространственного противодействия нарушителю в рое беспилотных воздушных судов // Научно-Технический Вестник информационных технологий, механики и оптики. 2025. Т. 164, № 6. С. 1125.