

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МЕТРИКА ПОКРЫТИЯ КАК КРИТЕРИЙ ВЫЯВЛЕНИЯ ОТКЛОНЯЮЩЕГОСЯ ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ В ЗАДАЧЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПОКРЫТИЯ ТЕРРИТОРИИ ГРУППОЙ БВС**

**Кочнева Е. М.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – Беляев С. С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

kkochnewa@yandex.ru

### **Введение**

В задаче распределённого покрытия территории группой беспилотных воздушных судов (БВС) требуется поддерживать заданную долю актуально обслуженных участков при отсутствии централизованного управляющего узла. Современные методы в основном направлены на координацию траекторий и перераспределение нагрузки при отказах агентов [1, 2], а устойчивость к недостоверной информации рассматривается преимущественно в контексте задач консенсуса и противодействия византийскому поведению [3, 4].

При децентрализованном подтверждении обслуживания фактическое состояние зоны определяется не заявлениями агентов, а подтверждёнными событиями. В этих условиях возможна ситуация, когда обмен сообщениями остаётся формально согласованным, однако доля актуально обслуженных участков в отдельных зонах постепенно снижается. Такое расхождение не всегда выявляется средствами контроля согласованности и проявляется через динамику полноты покрытия.

Таким образом, изменение доли актуально обслуженных участков может рассматриваться как индикатор отклоняющегося поведения агента.

### **Основная часть**

Территория моделируется как совокупность дискретных участков. Для каждого участка в локальном реестре агента хранится время последнего подтверждённого обслуживания. Заявление об обслуживании учитывается только при наличии независимого подтверждения, при этом отсутствие подтверждения не приводит к обновлению времени последнего обслуживания.

На каждом шаге моделирования для участков зоны ответственности агента вычисляется их возраст как время, прошедшее с момента последнего подтверждения. Участок считается устаревшим при превышении допустимого интервала актуальности.

В скользящем временном окне фиксированной длины для зоны ответственности агента вычисляется доля актуально обслуженных участков, а также средний и максимальный возраст покрытия. Полученные значения сопоставляются с медианными показателями соседних агентов либо с собственной историей агента при ограниченной связности. Диагностическим признаком считается устойчивая тенденция к снижению доли актуально обслуженных участков в зоне ответственности.

При выявлении такой тенденции формируется оценка отклонения, на основании которой агент переводится в режим наблюдения или ограниченный режим с частичным перераспределением участков между соседями.

В сценариях координированного поведения дополнительно учитывается структура взаимных подтверждений. Частые взаимные подтверждения одних и тех же агентов увеличивают риск соответствующих участков и инициируют проверку с привлечением третьего агента при наличии таковой возможности.

Эффективность подхода оценивается в имитационных сценариях, включающих замедление агента, частичную и стратегическую ложь, координированный сговор и ограниченную связность.

### **Выводы**

Показано, что анализ изменения доли актуально обслуженных участков в зоне ответственности агента может использоваться для выявления деградации покрытия без привлечения централизованного доверенного узла. В отличие от подходов, ориентированных на проверку отдельных заявлений, оценка строится на анализе устойчивых изменений полноты покрытия во времени.

Результаты моделирования демонстрируют, что применение данного способа позволяет удерживать долю актуально обслуженных участков в допустимых пределах при индивидуальных и координированных отклонениях поведения в условиях ограниченной связности и частичной недостоверности сообщений. Эффективность диагностики определяется параметрами топологии взаимодействия и интенсивностью проверочных процедур, что следует учитывать при выборе режимов функционирования системы.

### **Литература**

1. Ramezani M., Amiri Atashgah M. A., Rezaee A. A fault-tolerant multi-agent reinforcement learning framework for UAV–UGV coverage path planning // *Drones*. 2024. Vol. 8, no. 10. Art. 537. <https://doi.org/10.3390/drones8100537>.
2. Wu Q., Liu Q., Geng Z., Ren Y., Feng Q., Zhong J. Multi-UAV redeployment optimization based on multi-agent deep reinforcement learning oriented to swarm performance restoration // *Sensors*. 2023. Vol. 23, no. 23. Art. 9484. <https://doi.org/10.3390/s23239484>.
3. Wang J., Deng X., Guo J., Zeng Z. Resilient consensus control for multi-agent systems: A comparative survey // *Sensors*. 2023. Vol. 23, no. 6. Art. 2904. <https://doi.org/10.3390/s23062904>.
4. Strobel V., Pacheco A., Dorigo M. Robot swarms neutralize harmful Byzantine robots using a blockchain-based token economy // *Science Robotics*. 2023. Vol. 8, no. 79. eabm4636. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.abm4636>.