

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НТИ-AI ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УГРОЗ

М.О. Каримов¹, В.А. Байков¹

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
e-mail: alexsawino@yandex.ru

Аннотация

В работе предложена математическая модель системы обнаружения угроз, основанная на интеграции сенсорных сетей, графового анализа и роевого интеллекта. Разработан симулятор, позволяющий исследовать поведение системы при различных параметрах. Проведённые вычислительные эксперименты показывают сходимость роя к цели и влияние параметров системы на скорость реагирования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, роевой интеллект, сенсорные сети, графовый анализ, обнаружение угроз

Введение

Современные системы мониторинга территорий требуют методов обнаружения угроз, способных работать в условиях неопределённости и шума. Централизованные подходы плохо масштабируются и обладают ограниченной устойчивостью.

Перспективным направлением является использование распределённых моделей, основанных на методах Искусственный интеллект и роевая робототехника [1, 2]. В данной работе рассматривается модель, объединяющая сенсорную сеть и рой автономных агентов.

1. Математическая модель сенсорной сети

Контролируемая область представляется в виде графа

$$G = (V, E),$$

где V – множество сенсоров, E – связи между ними.

Лапласиан графа определяется как

$$L = D - A, \tag{1}$$

где D – матрица степеней, A – матрица смежности.

Для анализа сигналов сенсорной сети вводится энергия графового сигнала:

$$E(x) = x^T L x. \tag{2}$$

Данная величина характеризует различие сигналов соседних сенсоров. При возникновении аномалии значение энергии возрастает.

Обнаружение угрозы производится при выполнении условия:

$$E(x) > \tau. \tag{3}$$

2. Вероятностная модель угрозы

Вероятность наличия угрозы определяется как:

$$P(T | x) = P(x | T) P(T) / P(x), \tag{4}$$

где T – событие угрозы; x – наблюдения сенсоров.

3. Роевая динамическая модель

Для реагирования на обнаруженную угрозу используется рой агентов. Положение каждого агента описывается системой дифференциальных уравнений [1, 2]:

$$dp_i / dt = v_i \quad (4)$$

$$\begin{aligned} dv_i / dt = & \\ & - \alpha \sum_j (p_i - p_j) \\ & - \beta (p_i - T) \\ & - \gamma v_i \end{aligned} \quad (5)$$

где p_i – положение агента, v_i – скорость, T – координаты цели.

Первое слагаемое отвечает за согласование движения агентов, второе – за движение к цели, третье – за демпфирование.

4. Алгоритм НТИ-AI

Работа системы включает следующие этапы:

- 1) сбор данных сенсорами;
- 2) вычисление энергии сигнала по формуле (2);
- 3) проверка условия (3);
- 4) активация роя;
- 5) движение агентов по уравнениям (4)–(5).

5. Вычислительный эксперимент

Для исследования модели разработан симулятор на языке Python.

Параметры моделирования:

- размер области: 100×100 ;
- число сенсоров: 10–60;
- число агентов: 5–20;
- уровень шума: 0–0.5.

Шум моделирует случайные отклонения положения цели.

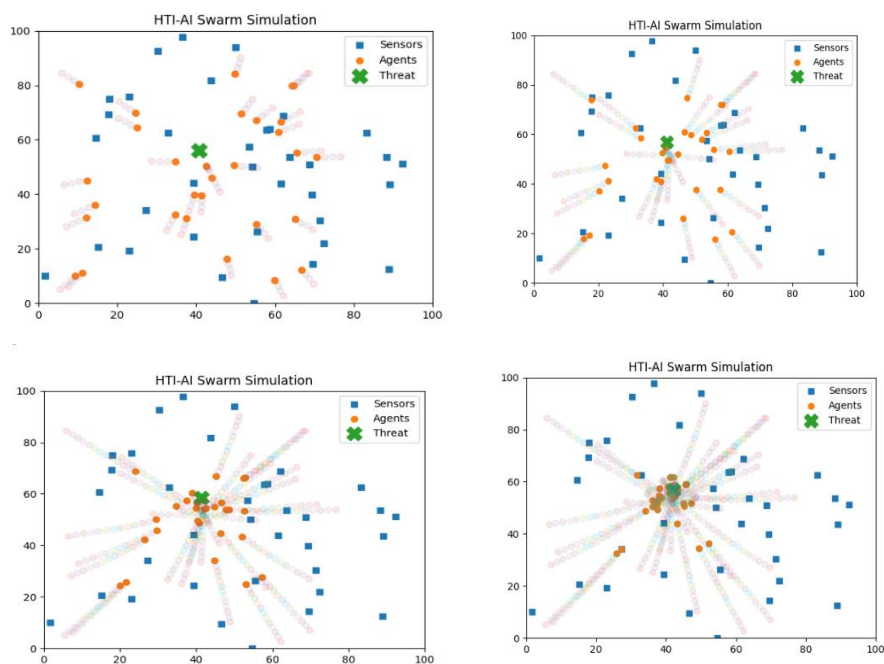


Рисунок 1 – Визуализация работы НТИ-AI (сенсоры, рой агентов и угроза)

6. Результаты

На рисунке 2 представлена зависимость среднего расстояния агентов до цели от времени.

В ходе экспериментов установлено:

- при увеличении числа агентов с 5 до 20 время достижения цели уменьшается примерно на 30–40%;
- увеличение числа сенсоров повышает стабильность обнаружения;
- при увеличении уровня шума наблюдаются колебания траектории, однако система сохраняет способность к сходимости при умеренных значениях шума (до 0.3).

График показывает, что после начального этапа расстояние уменьшается и стабилизируется, что свидетельствует о сходимости роя к цели.

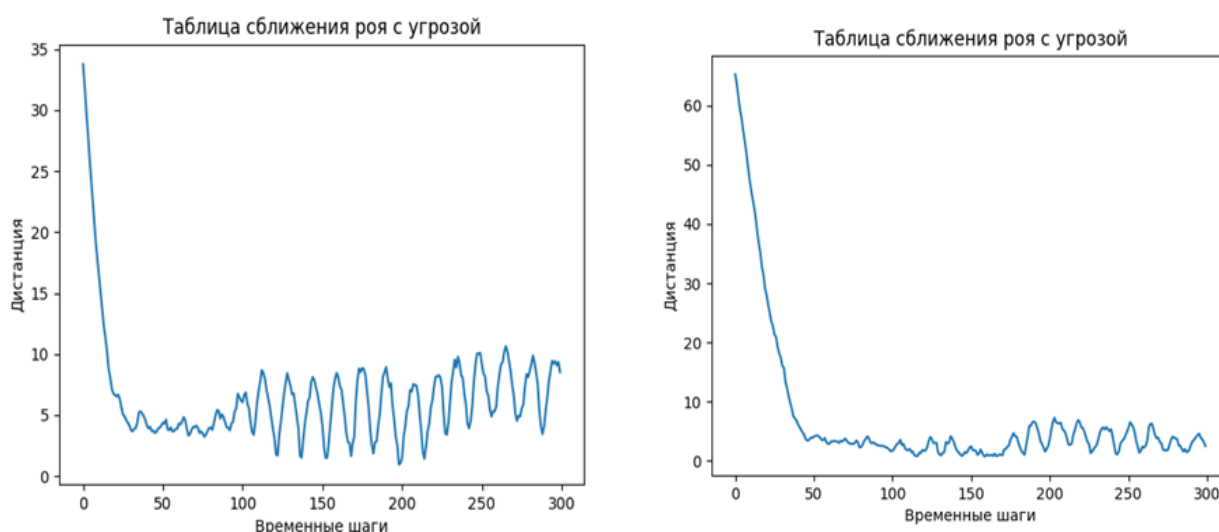


Рисунок 2 – Зависимость расстояния до цели от времени

Заключение

В работе предложена математическая модель системы обнаружения угроз, основанная на интеграции сенсорной сети и роевого управления. Результаты моделирования показывают, что система обеспечивает сходимость агентов к цели и демонстрирует устойчивое поведение при умеренном уровне шума. Разработанная модель может быть использована для дальнейших исследований распределённых систем мониторинга.

Список использованных источников

1. Reynolds, C. W. Flocks, herds and schools: a distributed behavioral model / C. W. Reynolds // SIGGRAPH. – 1987. – P. 25–34.
2. Olfati-Saber, R. Flocking for multi-agent dynamic systems / R. Olfati-Saber // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2006. – V. 51, № 3. – P. 401–420.
3. Shuman, D. I. Signal processing on graphs / D. I. Shuman // IEEE Signal Processing Magazine. – 2013. – V. 30, № 3. – P. 83–98.
4. Bishop, C. Pattern Recognition and Machine Learning / C. Bishop. – Springer, 2006.

HIERARCHICAL MATHEMATICAL MODEL HTI-AI FOR DETECTING THREATS

M.O. Karimov¹, V.A. Baikov¹

*¹Ufa University of Science and Technology (UUST), Ufa
e-mail: alexsawino@yandex.ru*

Abstract

This paper presents a mathematical model of a threat detection system based on sensor networks, graph analysis and swarm intelligence. Simulation results demonstrate stability and efficiency.

Keywords: artificial intelligence, swarm intelligence, sensor networks, graph analysis