**АЛГОРИТМ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ В
НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ С ДИНАМИЧЕСКИМИ
ПРЕПЯТСТВИЯМИ**

Саврасов Геннадий Александрович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: gengensav@gmail.com

Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович

Рассматривается задача навигации группы автономных агентов в динамической среде с препятствиями. Динамика движения каждого агента описывается следующей системой уравнений.

$$\begin{cases} \dot{q}_i = p_i \\ \dot{p}_i = u_i \end{cases}$$

Здесь $i = \overline{1, n}$, где n — количество агентов, q_i — позиция i -го агента в глобальной системе координат, а p_i — скорость i -го агента, u_i — управляющее воздействие.

Для навигации в неизвестной среде предлагается использовать метод потенциальных полей. Предполагается построить потенциальные функции, градиенты которых определяют траектории агентов. Для решения задачи предполагается взять потенциальную функцию, описанную в [3]. Тогда $u_i = u_i^\alpha + u_i^\beta + u_i^\gamma$, где u_i^α , u_i^β , u_i^γ отвечают за построение строя, обход препятствий и достижение цели соответственно. Каждое u_i^k является суммой градиента некоторого потенциала и силы для выравнивания скоростей.

У данного метода при присутствии препятствий существуют проблемы, связанные с локальными минимумами потенциальных функций. Минимумы могут возникать из-за конфигурации выпуклых препятствий и присутствия невыпуклых препятствий, сценарии этого описаны в [1]. При неблагоприятных сценариях агенты достигают точки локального минимума и движение останавливается.

Для обхода локальных минимумов, возникающих из-за выпуклых препятствий, вводится дополнительная гироскопическая сила обхода $u_i^\delta = c^\delta * (u_i^\beta \times z)$, где c^δ — коэффициент усиления, z — единичный вектор, перпендикулярный плоскости движения, $\times$ — оператор векторного произведения.

Для решения проблемы минимумов, связанных с невыпуклостью препятствий, невыпуклые препятствия заменяются их выпуклой

оболочкой, что позволяет сгладить границы потенциального поля и снизить риск застревания в локальных минимумах.

При расчёте элементов управления $u_i^\alpha, u_i^\beta, u_i^\gamma$ используются коэффициенты усиления, определяющие баланс между стабильностью строя, избеганием препятствий и достижением цели. Оптимальные значения этих параметров требуют подбора. Для оценки вводятся метрики: время выполнения задачи T и связность группы C .

$$C = \frac{k}{|\mathcal{V}|} \frac{1}{T} \sum_{i \in \mathcal{V}} \int_0^T \sum_{j \in \mathcal{N}_i} ||q_i - q_j| - d| dt,$$

где $\mathcal{V}$ — множество агентов, $\mathcal{N}_i$ — множество агентов, находящихся в заданном радиусе, от i -го агента, d — заданное расстояние между агентами, k — нормирующий коэффициент. Меньшие значения T и C означают более быстрое выполнение задачи и лучшую связность. Для оптимизации вводится метрика $J = T + C$, минимизация которой позволяет подобрать оптимальные параметры управления.

Для решения задачи разработана среда моделирования. На квадратном поле со случайно размещёнными и движущимися препятствиями агенты перемещаются из одного угла в противоположный. Агенты в реальном времени, используя датчики, сканируют окружающее пространство, двигаясь к цели. Когда группа достигает окрестности цели, то задача считается выполненной.

Проведенное исследование показало, что предложенные методы решения проблем локальных минимумов значительно улучшают планирование движения с помощью метода потенциальных полей. Разработанный метод подбора коэффициентов усиления позволил улучшить связность группы агентов и сократить время выполнения задачи.

Литература

1. Белоглазов Д. А., Гайдук А. Р., Косенко Е. Ю., Медведев М. Ю., Пшихопов В. Х., Соловьев В. В., Титов А. Е., Финаев В. И., Шаповалов И. О. Групповое управление подвижными объектами в неопределённых средах М. : ФИЗМАТЛИТ, 2015, С. 137–139.
2. Latombe J.-C. Robot motion planning. Kluwer, 1991.
3. Olfati-Saber R. Flocking for multi-agent dynamic systems: algorithms and theory // IEEE Transactions on Automatic Control, 2006, Vol. 5, № 3, P.401–420.