

РАСПРЕДЕЛЁННОЕ ГРУППОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Хань Дунъюй

Аспирант

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

E-mail: handongyu3300@gmail.com

Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович

В последние годы многие практические приложения, включая совместный поиск и спасательные операции, привлекли большое внимание к управлению группой роботов. Группа роботов достигает согласованного движения за счёт взаимодействия отдельных роботов, обладая такими характеристиками, как распределённость в пространстве и функциях, а также высокая отказоустойчивость. В настоящее время потребность в координированной работе среди группы роботов продолжает расти.

Однако управление группами роботов по-прежнему сталкивается со многими вызовами, например, с проблемой групповой согласованности [1] при обходе препятствий. Это связано с тем, что во время движения в неизвестной среде роботы одновременно взаимодействуют друг с другом и с окружающей обстановкой, а частые и объёмные вычисления и обмен данными затрудняют реализацию управления в реальном времени. Указанные проблемы ограничивают развитие применения группы роботов в неизвестных средах. Поэтому необходим алгоритм управления с приемлемыми вычислительными и коммуникационными затратами, обеспечивающий управление группами роботов в реальном времени.

Разработал модель, которая представляет собой сопряжение алгоритма обхода препятствий на основе целевого управления и распределённого алгоритма управления на основе вознаграждения от соседей. Первый алгоритм улучшает метод искусственных потенциальных полей [2] за счёт прогнозирования пути и преобразования информации о цели, одновременно регулируя расстояние робота до препятствий и соседних роботов. Второй алгоритм оценивает движение и состояние робота с помощью значений вознаграждения от соседей [3] (включая вознаграждение за скорость и за препятствия) и, на основе этих значений, определяет, следует ли взаимодействовать с соседними роботами или адаптировать своё движение, используя их поведенческие данные. Такой распределённый подход снижает за-

траты на взаимодействие в многороботных системах и повышает их масштабируемость.

Рассматривается группа роботов $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, движущихся в неизвестной среде к целевой точке G . Необходимо разработать алгоритм управления, удовлетворяющий следующим условиям:

1. Роботы должны эффективно обходить препятствия, используя улучшенный метод искусственного потенциального поля, заданного выражением:

$$F(p_i) = -\nabla E_{att}(p_i) - \sum_{o \in O_i} \nabla E_{rep}(p_i) \quad (1)$$

где $E_{att}(p_i)$ — притягивающее потенциальное поле к цели, $E_{rep}(p_i)$ — отталкивающее поле от препятствий, O_i — множество препятствий вокруг робота r_i .

Метод искусственного потенциального поля может использоваться как для обхода препятствий роботами, так и для контроля расстояний между ними. В условиях ограниченной информации предполагается, что наиболее эффективный способ обхода препятствий — максимально приблизиться к препятствию и затем двигаться вдоль его поверхности. При движении робота на безопасном расстоянии от препятствия и при ориентации, параллельной его поверхности, координаты препятствия преобразуются в систему координат, ориентированную на целевую точку. Если препятствие после преобразования координат находится в первой четверти целевой системы координат, это означает, что оно располагается между роботом и целью. В таком случае робот временно не выполняет целевую задачу (силу притяжения к цели устанавливает равной нулю), выполняя только задачу обхода препятствий.

Мы объединили прогнозирование траектории с методом искусственного потенциального поля, разделив процесс обхода препятствия на два этапа: приближение к препятствию и движение вдоль его поверхности. Это позволило устранить типичные для традиционного метода искусственного потенциального поля проблемы локального минимума и недостижимости целевой точки.

2. Кроме того, необходимо разработать распределённую систему передачи и обработки информации между роботами на основе механизма вознаграждений от соседних роботов:

$$W_i(t) = \alpha V_{rew}(v_i) + \beta O_{rew}(d_i) \quad (2)$$

где $V_{rew}(v_i)$ — вознаграждение, основанное на текущем состоянии скорости робота относительно цели, $O_{rew}(d_i)$ — вознаграждение, зависящее от дистанции до ближайших препятствий, а коэффициенты α и β регулируют важность этих компонентов.

Мы используем информацию о текущем состоянии движения робота и препятствиях, получаемую в реальном времени от датчиков, и переводим её в целевую систему координат, получая векторы скорости и препятствий относительно целевого направления. С помощью этих векторов вычисляются компоненты вознаграждений:

- Вознаграждение за скорость:

$$V_{rew}(v_i)$$

характеризует движение робота в направлении цели;

- Вознаграждение за препятствия:

$$O_{rew}(d_i)$$

отражает расстояние робота до ближайших препятствий.

Далее робот сравнивает своё вознаграждение $W_i(t)$ с вознаграждением соседнего робота-лидера $W_{leader}(t)$ и принимает решение о дальнейшем движении: Если $W_{leader}(t) > W_i(t)$, то робот следует за лидером, иначе действует автономно. Для предотвращения попадания в локальные оптимумы допускается генерация случайного поведения с определённой вероятностью.

Цель алгоритма — обеспечить эффективный и безопасный обход препятствий в условиях неизвестной среды при минимальном объёме коммуникации.

Иллюстрации

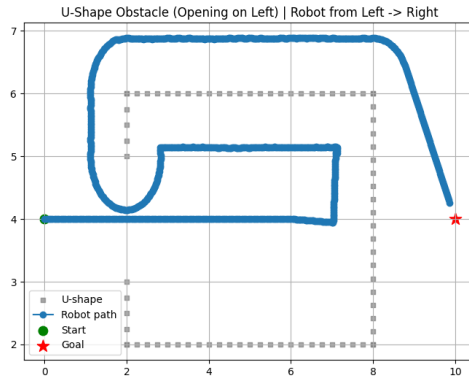


Рис. Процесс движения робота при невыпуклом препятствии.

Литература

1. Reynolds C.W. .Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model // ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1987, V. 21, №. 4, P. 25–34.
2. Olfati-Saber. Flocking for multi-agent dynamic systems: algorithms and theory // IEEE Transactions on Automatic Control, March. 2006, V. 51, P. 401-420.
3. Du, Linlin and Huang, Yuhong and Tang, Yuhua and Huang, Da. A Distributed Control Method Based on Neighbor Reward for Robot Swarm // Proceedings of the 2019 The 2nd International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering, 2020, P. 17-22.