

# ВЫБОР ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ КАК ГИПЕРПАРАМЕТРА ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ПРИ ПОИСКЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ

Москалев П.В., Стебулянин М.М., Мягков А.С.

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», РФ, 127055, Москва, Вадковский пер. 1,  
[moskaleff@mail.ru](mailto:moskaleff@mail.ru), [mmsteb@rambler.ru](mailto:mmsteb@rambler.ru), [almyagkov99@yandex.ru](mailto:almyagkov99@yandex.ru)

При поиске оптимального пути мобильного робота в физическом пространстве с препятствиями последнее может быть представлено в виде решетки. Тогда шаг  $h$  этой решетки будет гиперпараметром, определяющим область допустимых решений. Предложенный алгоритм можно рассматривать как разновидность метода обучения с подкреплением. На первом этапе с помощью перколяционного алгоритма Лиса выполняется анализ достижимости, что эквивалентно верификации связности пространства состояний при заданной дискретизации  $h$ . На втором этапе с помощью модифицированного алгоритма A\* реализуется поиск оптимального пути, где функция стоимости пути определяется эвристикой, прогнозирующей стоимость состояния, и штрафом за вход в зону безопасности, моделирующим негативное вознаграждение за рискованные участки пути. На третьем этапе с помощью комбинации алгоритмов Гилберта-Джонсона-Кирти и расширяющегося многогранника реализуется механизм уточнения ограничений, обеспечивающих безопасность решений, найденных на дискретной решетке, в непрерывном физическом пространстве.

Статистическое моделирование позволило выявить нелинейную зависимость вероятности существования допустимого решения  $P(q|h)$  от гиперпараметра  $h$  и безразмерной плотности препятствий  $q$ . Успешная аппроксимация этой зависимости логистической функцией указывает на наличие критического значения  $h_c(q)$ , подобного порогу протекания в теории перколяции, за которым среда для агента становится «непроходимой». Эффективность найденного решения  $E(q|h)$  демонстрирует насыщение при малых  $h$ , что соответствует известному в обучении с подкреплением принципу «убывающей отдачи» с ростом сложности модели: после определенного порога дальнейшая детализация мало улучшает качество решения, но сильно увеличивает сложность его поиска. Тогда критическое значение шага  $h_c(q)$  можно рассматривать как точку Парето-оптимума в пространстве «связность среды — сложность обучения».

Таким образом, шаг решетки является гиперпараметром, определяющим свойства процесса принятия решений при управлении мобильным роботом. Оптимизация этого параметра должна предшествовать процессу обучения. Найденные в [1] аппроксимации  $P(q|h)$  и  $E(q|h)$  создают базис для разработки алгоритмов обучения с подкреплением, адаптивно выбирающих оптимальное разрешение в задачах управления.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (госзадание в области научной деятельности FSFS-2024-0012).*

## Литература

1. *Москалев П.В., Стебулянин М.М., Мягков А.С.* Влияние пространственного разрешения на оптимальность пути мобильного робота в двумерных решеточных моделях // *Компьютерные исследования и моделирование*. – 2025. – Т. 17, № 6. – С. 1131-1148.