

УДК 004.021

## КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПУТИ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Довгополик И.С. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Борисов О.И. (ИТМО)

**Введение.** С увеличением уровня роботизации в мире на плечи робототехнических систем ложится выполнение всё более сложных задач при ограниченных ресурсах. Базовой задачей робота является планирование пути от места нахождения до некоторой целевой точки в рабочем или конфигурационном пространстве. Существуют различные подходы, позволяющие получить наиболее эффективный по какому-либо критерию путь, чаще всего это критерии кратчайшего расстояния или энергопотребления [1]. В рамках данной работы рассматривается задача поиска пути с учётом обоих критериев для алгоритмов поиска на основе графа со случайной выборкой.

**Основная часть.** Для алгоритмов со случайной выборкой нахождение кратчайшего пути в пространстве затруднительно, так как теоретически оно возможно только при количестве сгенерированных случайных точек, стремящемся к бесконечности. Для того, чтобы найти квазиоптимальный путь в пространстве, необходимо ограничить область поиска до некоторой окрестности квазиоптимального пути. Геометрический подход к ограничению области поиска был предложен в [2]. Предлагается его модернизировать, введя динамическое ограничение области поиска. Начальная область поиска будет ограничиваться заданным по умолчанию предельным углом расширения, который определяет окрестность оптимального пути. В случае, если пространство поиска занято препятствием, происходит увеличение предельного угла расширения, что увеличивает пространство поиска. После того, как препятствие будет обойдено, пространство поиска сузится до значения по умолчанию.

Для многосвязных робототехнических систем характерно пропорциональное распределение нагрузки между звеньями. Обычно, звеном с наибольшей нагрузкой является первое (у основания робота), так как оно тянет всю конструкцию и полезную нагрузку инструмента робота. Сочленение этого звена расходует наибольшее количество энергии на перемещение. На основе этой особенности был предложен подход к оптимизации поиска пути в графе [3]. Для этого определена новая функция перехода между состояниями робота, которая содержит по сравнению со стандартной весовой коэффициент. Коэффициенты представляют собой результат нормирования номинального момента двигателя рассматриваемого звена к максимальному номинальному моменту двигателя среди всех звеньев. Этот подход предлагается применить для графа, содержащего оптимальный путь и его некоторую окрестность. Комбинирование подходов позволяет найти квазиоптимальный путь с минимальным энергопотреблением.

**Выводы.** Предлагаемый подход был промоделирован для двумерного, трехмерного (соответствует роботу с тремя степенями свободы) и семимерного (соответствует роботу с семью степенями свободы) пространств. Результаты показали, что предлагаемый подход динамического ограничения области поиска позволяет находить квазиоптимальные пути в пространстве с ограниченным количеством сгенерированных случайных точек, а комбинирование подхода с энергетической оптимизацией поиска пути в графе позволяет находить наиболее энергоэффективный путь в окрестности оптимального по расстоянию решения.

### Список использованных источников:

1. Hauser K. Motion and Path Planning. Berlin, Heidelberg: Springer, 2020. pp. 1—11.
2. Dovgopolik I., Artemov K.A., Zabihifar S., Semochkin A., Kolyubin S. Fast and Memory-Efficient Planning in C-space: Modified Bi-directional RRT\* Algorithm for Humanoid Robots. International Conference Nonlinearity, Information and Robotics (NIR). 2021. pp. 1-17.

3. Dovgopolik I., Borisov O. Simple energy-efficient path planning based on graph algorithms for articulated robotic-manipulators // IFAC-PapersOnLine - 2023, Vol. 56, No. 2, pp. 7014-7019