

УДК 004.021

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ АРТИКУЛИРОВАННЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ

Довгополик И.С. (федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Научный руководитель – к.т.н. Борисов О.И.

(федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Аннотация. В докладе представлен подход к оптимизации планирования движения артикулированных роботов-манипуляторов в конфигурационном пространстве по критерию затрачиваемой энергии для методов планирования пути на базе графов. Подход базируется на введении весовых коэффициентов в расчёт стоимости перехода между вершинами графа, которые отражают энергетический вклад в движение робота.

Введение. Количество роботов в мире стремительно растёт, это вызвано ускоренной роботизацией и автоматизацией технологических процессов и совершенствованием конструкций роботов, расширению сфер их применения. В связи с этим растёт количество необходимой энергии для работы всех робототехнических систем, поэтому энергетическая оптимизация планирования движения является важной задачей, так как позволяет сократить затраты и косвенно улучшить экологию за счёт уменьшения выбросов в процессе производства электроэнергии. Наиболее актуально вопрос минимальных затрат энергии на рабочие процессы стоит для роботов с ограниченным её запасом (мобильные роботы, антропоморфные роботы). Движение мобильных роботов чаще всего оптимизируют по кратчайшему пути, так как между расходом энергии и длиной пути есть прямая корреляция. Также существует ряд подходов, которые позволяют энергетически оптимизировать траекторию за счёт изменения финальной формы траектории путём интерполяции и аппроксимации. Основная разница в планировании движения для мобильных и многосвязных роботов заключается в том, что для первых планирование происходит в рабочем пространстве, а для вторых в конфигурационном. Оптимизация по кратчайшему пути в конфигурационном пространстве не обеспечивает энергоэффективность. Энергетическую оптимизацию движения роботов-манипуляторов на этапе планирования пути рассматривают редко, во многом из-за того, что есть её неограниченный запас в сети питания. Существующие подходы вводят ограничения на высокотратные движения, что либо ограничивает возможные решения проблемы, либо потенциально увеличивает время работы алгоритмов поиска пути из-за необходимости возвращаться на предыдущие итерации и включать в путь ранее отброшенные движения так как без них достижение цели невозможно. Цель данной работы заключается в исследовании существующих алгоритмов оптимизации планирования пути для поиска путей оптимизации движения артикулированных роботов-манипуляторов по потребляемой энергии.

Основная часть. Для артикулированных роботов-манипуляторов 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. Каждое следующее звено имеет нагрузку такую же, как предыдущее звено за вычетом его инерции. Часто сочленения вращаются за счёт вращающего момента одного и того же двигателя, причём двигатель может вращать как соседние по порядковому номеру сочленения (первое и второе, например), так и не соседние (первое и последнее). Оптимизация по кратчайшему пути не отражает распределение нагрузки по звеньям. Для учёта затрат энергии предлагается модифицировать функцию стоимости перехода между вершинами графа. Для конфигурационного пространства стандартная функция перехода между состояниями (подразумевается, что пространство представлено в виде графа) представляет собой сумму углов вращений всех сочленений робота. Предлагается ввести в функцию умножение угла вращения каждого звена на весовой коэффициент, отражающий энергетический вклад в общее движение. Коэффициенты могут быть вычислены путём сравнения номинального момента двигателя рассматриваемого звена и максимального номинального момента двигателя среди всех звеньев. Таким образом, самое

энергозатратное звено будет иметь коэффициент равный 1, а остальные меньше 1. Тогда при поиске пути в графе более приоритетными будут вращения слабонагруженных звеньев, в то время как наиболее нагруженные звенья будут вращаться только при отсутствии альтернативы. Таким образом при оптимизации планирования движения будут учтены энергетические вклады каждого звена.

Выводы. Предложенный метод оптимизации потребления энергии артикулированными роботами-манипуляторами апробирован при моделировании работы плоского трехзвенного робота и семизвенного артикулированного робота-манипулятора *Kuka LBR iiwa*. Результаты показывают, что полученные траектории имеют сумму углов вращений всех сочленений больше, но сравнение мгновенных моментов в сочленениях показывает, что затраты энергии снизились за счёт приоритетного использования малонагруженных звеньев перед сильнонагруженными. Таким образом, для артикулированных роботов-манипуляторов предложенный подход является более оптимальным, чем оптимизация по кратчайшему пути. Дальнейшим шагом является экспериментальная апробация на реальном роботе и масштабирование подхода на другие типы кинематики многозвенных роботов.