

В рамках данной работы был предложен метод управления биологической системой, соответствующий реальному поведению человека при осуществлении целевого движения.

С целью возможности применения метода было проведено следующее:

1. Предложена математическая модель планарной руки человека, держащей предмет, и выведено уравнение динамики для данной системы;
2. Постулирован принцип оптимальности, дающий возможность применения методов оптимального управления для построения траекторий движения, соответствующих траекториям человека;
3. Рассмотрены предложенные в литературе формализации энергетического критерия оптимальности, минимизация которого присуща биологическому движению;
4. В соответствии с полученным уравнением динамики и выбранным критерием оптимальности поставлена задача оптимального целевого управления системой в непрерывной и дискретной формах.

Для решения поставленной задачи были рассмотрены известные базовые методы решения нелинейных задач оптимального управления, и на основе метода итеративного линейно-квадратичного регулятора был разработан метод построения оптимального управления для дискретной постановки задачи. Особенностью метода, предложенного в данной работе, является способ регуляризации итеративной поправки на управление, позволяющий улучшить сходимость базового метода для рассматриваемой задачи. Рассмотрены альтернативные варианты регуляризации поправки и возможность их применения для задач с ограничениями на управление. Для демонстрации работы метода было реализовано программное решение.

С целью уменьшения числа итераций предложенного алгоритма и, соответственно, времени работы программного решения был предложен способ построения начального референсного управления как линейно-квадратичного регулятора приведенной к линейному виду задачи для минимизации терминального критерия исходной задачи. Данный способ быстро работает и не опирается на мнение эксперта в области биологической моторики при построении начальной референсной траектории. На примере было показано, что он действительно снижает необходимое число итераций основного алгоритма.

Наконец для возможности сравнения предложенного метода с имеющимися в литературе в качестве примера были рассмотрены конкретные постановки задачи, являющиеся классическими задачами биомеханического движения:

1. Переход в целевое состояние;
2. Переход в целевое положение схвата;
3. Переход в целевое положение схвата с заданной скоростью;
4. Задача обхода препятствия.

Для рассмотренных классических задач:

1. Представлена формализация в подходящем для предложенного метода виде, а также способ нахождения минимизатора терминального критерия для построения начальной референсной траектории;
2. При помощи программного решения построено оптимальное управление, и приведена соответствующая ему траектория системы;
3. Приведено число итераций, потребовавшихся программному решению для построения оптимального управления.

Таким образом, работа содержит полный анализ движения руки человека, держащей предмет: от построения математической модели и постановки задачи до разработки метода её решения и его имплементации в виде программного решения. Основными научными результатами работы являются метод построения оптимального управления и метод построения начальной референсной траектории, выраженными в Теореме 1, Теореме 2 и предложенном способе регуляризации оптимальной поправки (Подраздел 4.3).