

ПОСТРОЕНИЕ ПОХОДОК ДВУНОГИХ РОБОТОВ НА ОСНОВЕ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ТРАЕКТОРИЙ DESIGN OF BIPED LOCOMOTION USING BALLISTIC TRAJECTORIES

А.М. Формальский
(Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова,
e-mail: formal@imec.msu.ru,)

Рассматривается задача синтеза движений двуногого шагающего антропоморфного механизма при помощи баллистических траекторий. Исследуется плоская модель механизма, состоящая из пяти – семи звеньев. Пятизвенный механизм состоит из корпуса и двух идентичных двухзвенных ног без стоп. В семизвенном механизме присутствуют также безмассовые стопы. Как одна, так и другая механическая модель описывается существенно нелинейными высокого порядка дифференциально-алгебраическими уравнениями с переменной структурой.

Ходьба аппарата, как и человека, представляет собой последовательность чередующихся *одноопорной*, и *двухопорной* фаз. В одноопорной фазе аппарат опирается на одну ногу (опорную), другая нога при этом переносится. В двухопорной фазе он опирается на обе ноги. Одноопорное движение считается *баллистическим* (пассивным), т.е. это движение происходит по инерции – без приложения каких-либо активных управляющих воздействий (моментов) в шарнирах механизма. На аппарат действуют только сила тяжести и, разумеется, силы реакции опоры. При ходьбе *человека* фаза двойной опоры занимает примерно 20% времени всего шагового цикла. Принято считать, что во время ходьбы именно в этой фазе, а не в одноопорной прикладываются интенсивные управляющие воздействия. В настоящей работе двухопорная фаза считается *мгновенной*, и управляющие моменты прикладываются в шарнирах механизма в этой фазе. Эти управляющие моменты являются импульсными и описываются дельта-функциями Дирака. Импульсные воздействия вызывают скачкообразное изменение скоростей звеньев.

Проблема построения одноопорного баллистического движения сводится, с математической точки зрения, к решению краевой задачи. Заданными в этой задаче являются начальная и конечная (краевые) конфигурации механизма и время шага. Для организации периодической ходьбы по ровной поверхности эти конфигурации механизма (позы) нужно задавать одинаковыми с точностью до смены ног. Решить краевую задачу это значит найти начальные угловые скорости звеньев, при которых механизм в баллистическом движении за заданное время попадает из заданной начальной конфигурации в заданную конечную. Решения краевой задачи обладают некоторыми свойствами симметрии. Использование этих свойств, в частности, облегчает численные исследования. Численное решение нелинейной краевой задачи отыскивается при помощи итераций. Для линеаризованных уравнений движения она решается с использованием конечных формул без каких-либо итераций. Решение задачи представлено в докладе в виде анимации – в виде шагающего на экране монитора механизма.

Смена опорной ноги происходит после удара переносимой ноги об опорную поверхность. Эта нога после удара становится опорной. За мгновение перед ударом (еще в предшествующей одноопорной фазе) в межзвенных шарнирах прикладываются импульсные управляющие моменты. Затем происходит пассивный (без приложения каких-либо управляющих воздействий) удар с отрывом опорной ноги от поверхности. Этот удар считается абсолютно неупругим. Сразу после этого пассивного удара начинается следующая одноопорная фаза, в начале которой (в первое мгновение) снова прикладываются импульсные управляющие моменты в межзвенных шарнирах. Целью управляющих воздействий является придание звеньям механизма желаемых в начале следующей одноопорной фазы скоростей, которые вычисляются при решении краевой задачи. Количество этих управляющих моментов оказывается большим, чем нужно для реализации

требуемых скачков скоростей. Поэтому может быть поставлен вопрос о минимизации затрачиваемых на управление ресурсов.

На ногу, стоящую на опоре, накладывается односторонняя связь. Поэтому при исследовании процесса ходьбы нужно следить за тем, чтобы вертикальная составляющая реакции опоры была всегда направлена вверх.