

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ

А.А. Протопопов, В.С. Стерехова
Томский политехнический университет
aap80@tpu.ru

Введение

Анализ устойчивости движения антропоморфных роботов является сложной задачей, так как динамика перемещения таких роботов сильно нелинейна. Общие методы определения устойчивости систем, такие как анализ собственных значений, оценка фазовых траекторий или определение устойчивости по Ляпунову обычно неспособны характеризовать устойчивость движение антропоморфных роботов в целом. Поэтому стабилизация движения таких методов происходит с использованием специальных методов, некоторые из которых будут рассмотрены далее.

Стабильная походка бывает двух типов: статическая и динамическая. При статической походке проекция центра масс робота никогда не выходит за пределы опорного многоугольника. Такая ходьба слишком медленная и редко применяется в робототехнике. При динамической ходьбе проекция центра масс может покидать опорный многоугольник на ограниченное время. Такой тип ходьбы представляет больший интерес. Рассмотрим возможные методы реализации такого типа ходьбы.

Whole-body control

В данном методе рассматривается полная кинематическая и динамическая модель робота (Рис. 1). Для достижения динамически стабильной походки происходит моделирование движения каждого звена и влияния звеньев друг на друга [1].

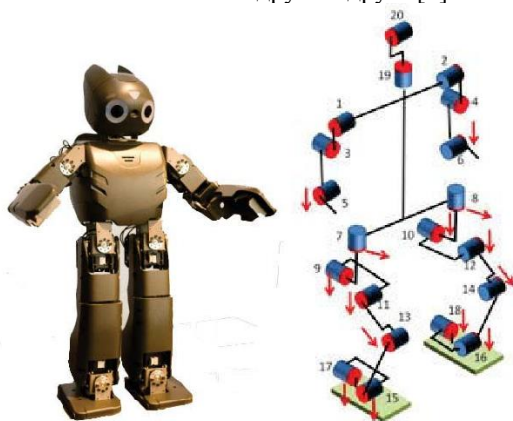


Рис. 1. Кинематическая схема робота

Контроль всего тела антропоморфного робота является сложной задачей из-за кинематической и динамической сложности системы. Реализация данного метода требует наличия больших вычислительных ресурсов, поэтому данный метод неприменим для стабилизации движения малоразмерных роботов.

ZMP

Наиболее распространенный метод решения задачи динамической стабилизации — метод точки нулевого момента (ZMP). Данный метод стал основой для большинства исследовательских проектов по анализу и контролю ходьбы двуногих роботов.

Контакт робота между стопой и поверхностью не управляем напрямую, однако он имеет важное значение для реализации ходьбы, потому как позиция робота относительно окружающей среды зависит от позиции стоп относительно поверхности. Стопа может управляться только косвенным образом, путем обеспечения динамики робота выше стопы. Таким образом общий показатель поведения робота - это точка где влияние всех сил, действующих на робота может быть заменено одной единственной силой (Рис. 2). Это точка называется точка нулевого момента, так как вокруг нее все горизонтальные моменты равны нулю [2].

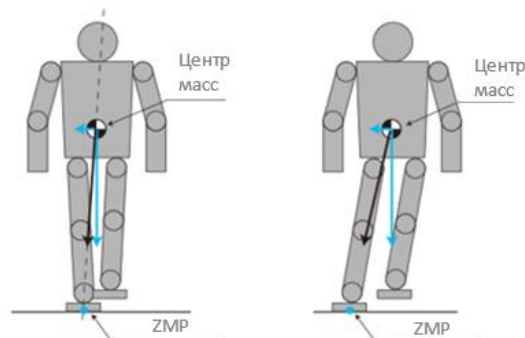


Рис. 2. Точка ZMP

Суть метода заключается в нахождении такой точки, и если эта точка выходит за пределы поддерживающего многоугольника, то РТК находится в неустойчивом положении и может упасть, если не предпринять опережающие действия приводами робота.

Нахождение этой точки возможно несколькими способами. Наиболее простой моделью для вычисления ZMP является модель стол-тележка (Cart-Table Model) [3]. На Рис. 3 представлена упрощенная модель, которая состоит из катающейся тележки и безмассового стола. Тележка имеет массу m и положение (X, Y) . Пусть это положение и есть центр масс системы (CoM). Предполагается, что стол имеет тот же поддерживающий многоугольник, что и двуногий робот.

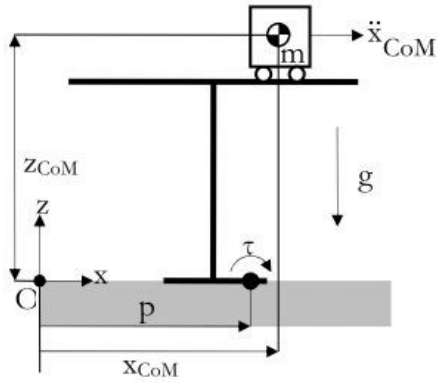


Рис. 3. Cart-Table Model

В этой модели крутящий момент τ вокруг точки P можно записать по формуле (1):

$$\tau = -mg(x_{CoM} - p) + m\ddot{x}_{CoM}Z_{CoM} \quad (1)$$

Теперь, используя определение ZMP, получаем (2):

$$x_{ZMP} = p = x_{CoM} - \frac{\ddot{x}_{CoM}}{g}Z_{CoM} \quad (2)$$

Для Y-направления вывод формулы такой же (3):

$$y_{ZMP} = p = y_{CoM} - \frac{\ddot{y}_{CoM}}{g}Z_{CoM} \quad (3)$$

Другой подход к вычислению координат этой точки основан на том утверждении, что если все активные силы, действующие на систему уравновешены, то положение центра давления совпадает с положением точки нулевого момента (Рис. 4).

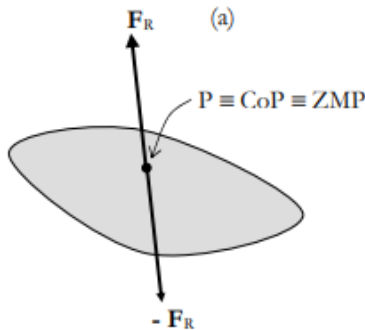


Рис. 4. Взаимное расположение точки нулевого момента и центра давления

FRI

Критерий FRI расширяет критерий ZMP в том смысле, что не считает обязательным постоянное положение точки ZMP в пределах опорного многоугольника для получения динамически устойчивой ходьбы [4].

Точка FRI – это точка на поверхности контакта, в пределах или за пределами опорного многоуголь-

ника, в которой результирующий момент вращения, приложенный к стопе перпендикулярен поверхности.

Точка FRI указывает на величину несбалансированного крутящего момента в стопе. Так же она характеризует запас устойчивости робота, который может быть оценен как минимальное расстояние от границы опорного многоугольника до текущего положения точки FRI в его пределах.

Заключение

В результате сравнения представленных выше методов было принято решение разрабатывать систему стабилизации на основе алгоритма ZMP. Это обусловлено хорошей проработанностью данного метода, приемлемыми показателями устойчивости, практической применимостью метода, а также небольшими вычислительными и материальными затратами на его реализацию.

Управление движением робота при таком алгоритме основано на измерении действительного положения точки ZMP робота в режиме реального времени с помощью сенсорного устройства и корректировании заранее сгенерированной траектории движения центра масс с помощью регулятора. В данной системе может применяться П, ПИ или ПИД регулятор. Выбор конкретного регулятора, а также его параметры предполагается осуществить экспериментально.

В качестве метода расчета точки ZMP может быть принят метод на основе вычисления положения центра давления робота на опорной поверхности. А значит стоит задача измерять силу давления робота на опорную плоскость и определять локальные координаты точки приложения этой силы. Для получения необходимой информации целесообразно применение тактильных датчиков, закреплённых на нижней поверхности стопы антропоморфной конечности.

Список использованных источников

1. Oscar Efrain Ramos Ponce. Generation of the whole-body motion for humanoid robots with the complete dynamics. Robotics [cs.RO]. Universite Toulouse III Paul Sabatier, 2014. English.
2. M. Vukobratovic, B. Borovac, D. Surla, D. Stokic, Scientific Fundamentals of Robotics 7. Biped Locomotion: Dynamics Stability Control and Application, New York:Springer-Verlag, 1990.
3. Dekker M. H. P. Zero-moment point method for stable biped walking. Eindhoven, July 2009, DCT no.: 2009.072.
4. A. Goswami Foot rotation indicator (FRI) point: a new gait planning tool to evaluate postural stability of biped robots // Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1999, — [p. 47-52].