

Восстановление человеком исходной позы после толчка Reversion of initial posture by a person after a push

Романов Андрей Владимирович

МГУ им. М.В. Ломоносова
Механико-математический факультет
Кафедра прикладной механики и управления
Научный руководитель: Кручинин П.А.

19 ноября 2022 г.

Описание задачи



Рис.: Схематическое изображение толкателя и положения испытуемого на стабиллоплатформе

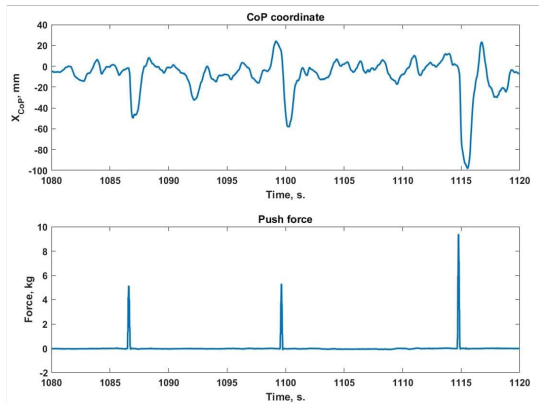


Рис.: Отклонение сагиттальной координаты при различных по силе толчках (данные предоставлены сотрудниками ИМБП РАН)

Задача быстрогодействия

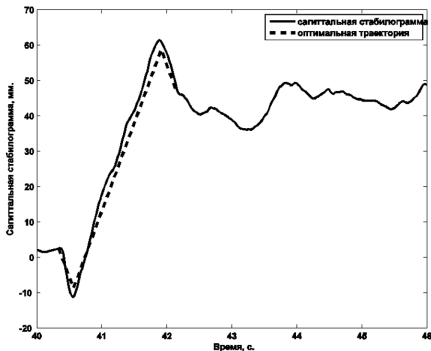
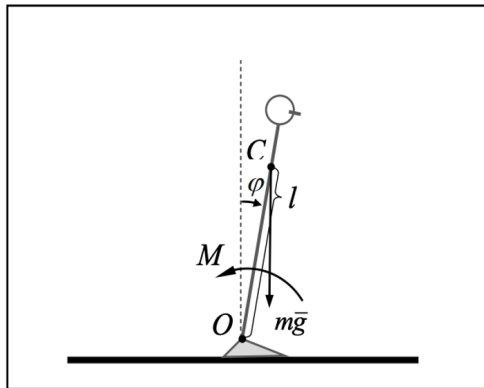


Рис.: Характерный вид сагиттальной стабиллограммы при выполнении теста со ступенчатым воздействием

В работе рассматриваются возможные алгоритмы управления изменением позы человека, основанные на решении задачи оптимального быстрогодействия, которые можно было бы использовать для возвращения человека в исходную вертикальную позу. В качестве математической модели используется модель «перевернутого маятника». Это решение предлагается использовать для оценки эффективности управления человеком при возвращении в вертикальную позу, путем сравнения времени реального процесса с полученным эталонным решением оптимальной задачи.

Математическая модель



$$J\ddot{\varphi} = m_T g l \varphi + M$$

$$\varphi(0) = \varphi_0, \dot{\varphi}(0) = \omega_0$$

$$\varphi(t) = \varphi_k, \dot{\varphi}(t_k) = 0$$

$$M(0) = M(t_k) = -m_T g l \varphi_k$$

$$U^- \leq \dot{M} \leq U^+$$

Рис.: Модель перевернутого маятника

Решение задачи быстрогодействия

В прошлом году решалась задача быстрогодействия

Система разбивается на 3 этапа, на каждом из которых управление меняет знак

В результате получилось численно-аналитическое решение, которое сводится к отысканию корней полинома для нахождения времени возвращения в вертикальную позицию.

$$\begin{cases} \theta' = \omega, \\ \omega' = \theta + m, \\ m' = u. \end{cases} \quad (1) \quad u = \begin{cases} -u_{max} \\ +u_{max} \end{cases}$$

Связь центра масс и центра давления

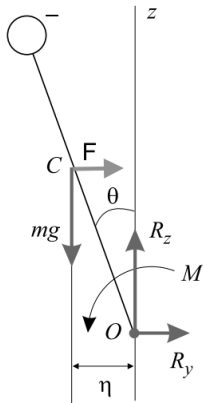


Рис.: Силы действующие на модель стержня, имитирующего тело человека

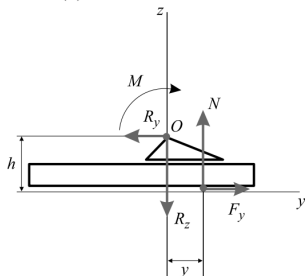


Рис.: Силы действующие на систему «стопы ног – платформа стабилоанализатора»

Связь центра масс и центра давления

$$\begin{cases} ml\ddot{\theta} = -R_y - F, \\ 0 = R_z - mg, \\ J\ddot{\theta} = mlg\theta - Fl + M_x. \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} M_x = Ny + F_y h, \\ F_y = R_y, \\ N \approx mg. \end{cases} \quad (3)$$

$$M_x = mgy - h(F + ml\ddot{\theta})$$

$$(J + mlh)\ddot{\theta} = mgl\theta + mgy - Fl - Fh$$

$$\frac{(J + mlh)l\ddot{\theta}}{mgl} = l\theta + y - \frac{F}{mg}(l + h); \quad \text{Замена: } \eta = -l\theta; \quad T^2 = \frac{J + mlh}{mgl};$$

$$T^2\ddot{\eta} = \eta - y + \frac{F}{mg}(l + h) \quad (4)$$

Связь центра масс и центра давления

Соотношение (4) предлагается использовать для определения начальных условий движения сразу после толчка
Дальнейший анализ сводится к задаче Коши

$$T^2 \ddot{\eta} = \eta - y \quad (5)$$

С начальными условиями $\eta(0) = \eta_0$; $\dot{\eta}(0) = \nu_0$, найденными из (4).
Далее необходимо построить оценку $\tilde{\eta}$ движения центра масс различными способами

Моделирование движения человека

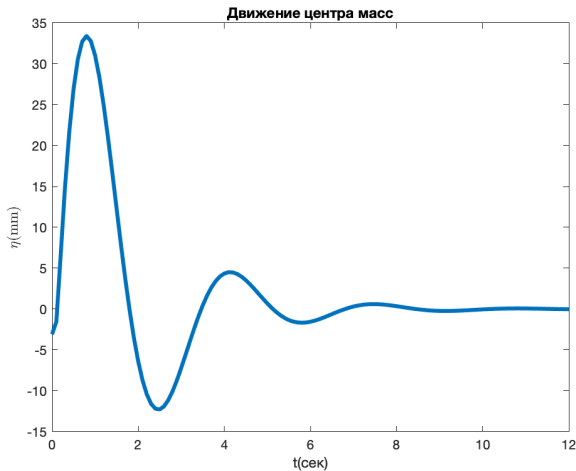


Рис.: Модель изменения саггитальной координаты центра масс

Моделирование движения человека

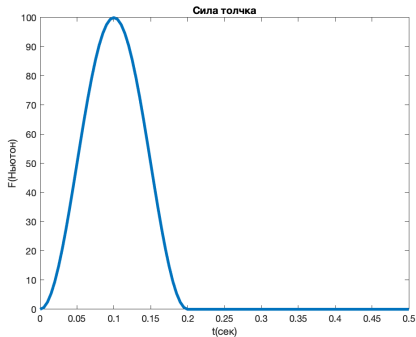


Рис.: Модель силы толчка

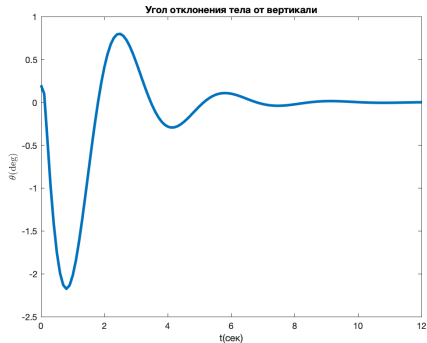


Рис.: Модель изменения угла отклонения

Моделирование движения человека

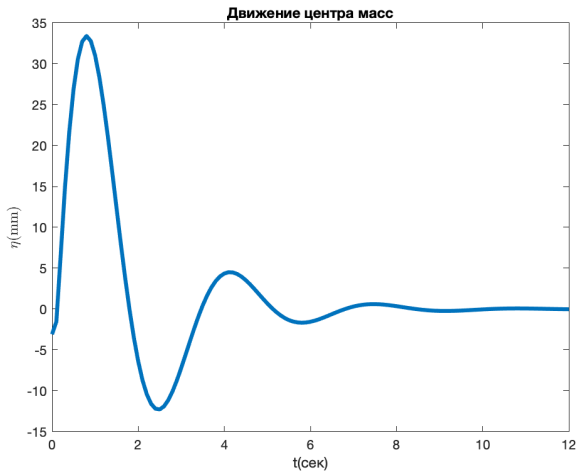


Рис.: Модель изменения саггитальной координаты центра масс

Дальнейшие шаги

- Провести дальнейшее моделирование и построить оценку траектории центра масс
- Сравнить реальное время возвращения в вертикальную позу с полученными при решении задачи быстрогодействия
- Построить траекторию центра масс при управлении, полученном при решении задачи быстрогодействия