

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.

21 ноября 2022 г.

Описание задачи



Рис.: Схематическое изображение толкателя и положения испытуемого на стабиллоплатформе

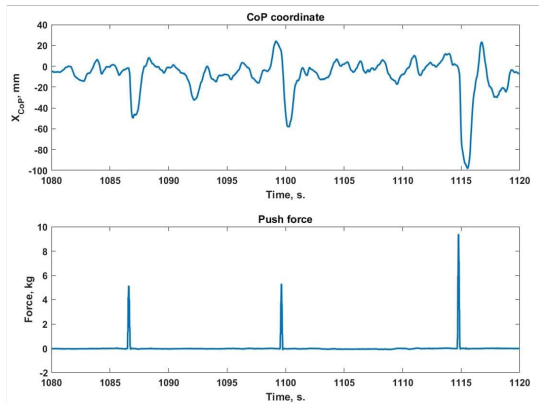


Рис.: Отклонение сагиттальной координаты при различных по силе толчках (данные предоставлены сотрудниками ИМБП РАН)

Задача быстрогодействия

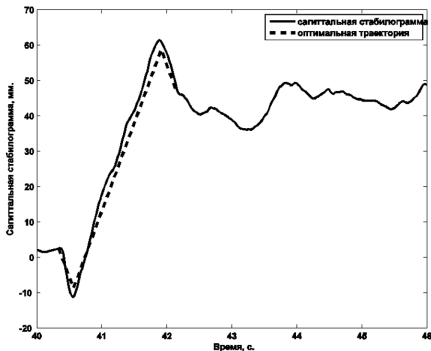
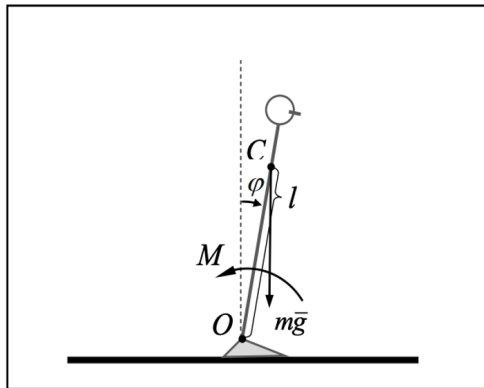


Рис.: Характерный вид сагиттальной стабиллограммы при выполнении теста со ступенчатым воздействием

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



$$\begin{aligned} J\ddot{\varphi} &= m_T g l \varphi + M \\ \varphi(0) &= \varphi_0, \dot{\varphi}(0) = \omega_0 \\ \varphi(t) &= \varphi_k, \dot{\varphi}(t_k) = 0 \\ M(0) &= M(t_k) = -m_T g l \varphi_k \\ U^- &\leq \dot{M} \leq U^+ \end{aligned}$$

Рис.: Модель перевернутого маятника

Решение задачи быстроедействия

В прошлом году решалась задача быстроедействия

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.

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

Решение задачи быстрогодействия

Требуется отобрать наименьший корень уравнений больший 1. При различных по знаку u_* .

$$\begin{cases} u_* z^2 + \Omega_0 - 1 - u_* = 0, \\ (-u_* \Omega_0 + u_*^2 - u_*) z^4 - 4u_*^2 z^3 + (2u_* \Omega_0 + 6u_*^2 - \Omega_0^2 + 1) z^2 - \\ - 4u_*^2 z + -u_* \Omega_0 + u_*^2 + u_* = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$\tau_f = \ln(z)$

Определение начальных условий для задачи быстрогодействия

Для корректного решения задачи быстрогодействия необходимо правильно определить начальные условия после толчка.

Для этого необходимо построить оценку $\tilde{\eta}$ траектории центра масс системы и взять значение $\tilde{\eta}_0$ и $\dot{\tilde{\eta}}_0$ в момент времени завершения толчка

Связь центра масс и центра давления

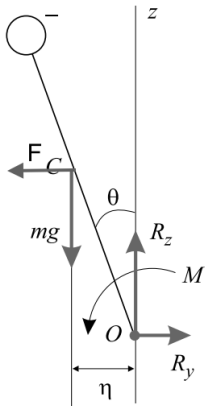


Рис.: Силы действующие на модель стержня, имитирующего тело человека

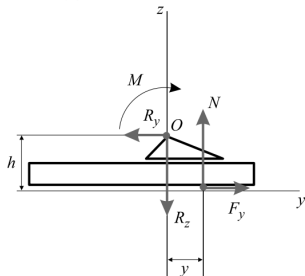


Рис.: Силы действующие на систему «стопы ног – платформа стабилоанализатора»

Связь центра масс и центра давления

$$\begin{cases} ml\ddot{\theta} = -R_y - F, \\ 0 = R_z - mg, \\ J\ddot{\theta} = mlg\theta - Fl + M_x. \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} M_x = Ny + F_y h, \\ F_y = R_y, \\ N \approx mg. \end{cases} \quad (4)$$

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

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

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

$$T^2\ddot{\eta} = \eta - y + \frac{F}{mg}(l + h) \quad (5)$$

Связь центра масс и центра давления

Соотношение (5) предлагается использовать для определения начальных условий движения сразу после толчка

Далее необходимо построить оценку $\tilde{\eta}$ движения центра масс различными способами, описанными в работах, выполненных под руководством П.А. Кручинина

Моделирование движения человека

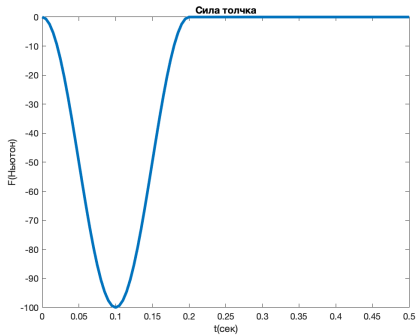


Рис.: Модель силы толчка

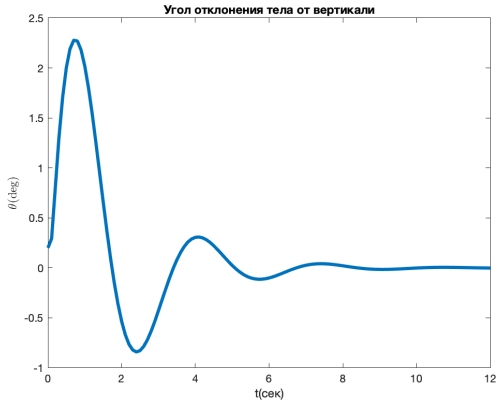


Рис.: Модель изменения угла отклонения

Моделирование движения человека

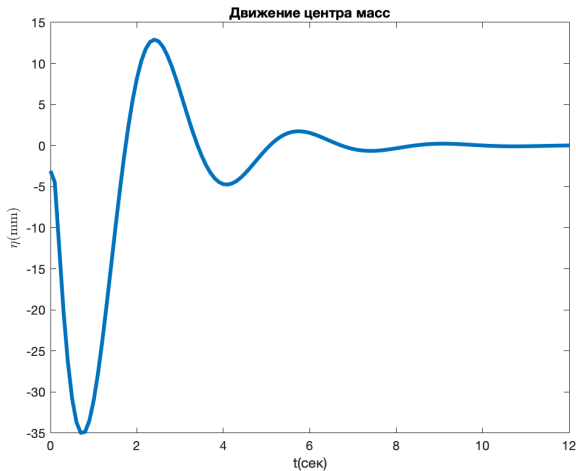


Рис.: Модель изменения саггитальной координаты центра масс

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