

Управление комбинированным сферороботом с обратной связью

1 Введение

На сегодняшний день существует большое количество работ, посвященных сферическим роботам. Подробные обзоры конструкций и принципов приведения в движение можно найти в работах [1]. Наиболее популярными способами реализации движения сферических роботов являются изменение положения центра масс и изменение внутреннего гиросtatического момента.

Теоретические исследования динамики сфероробота комбинированного типа, использующего для движения как смещение центра масс, так и изменение гиросtatического момента, катящегося без проскальзывания по горизонтальной плоскости, проведены в работе [3]. В работе [2] были проведены экспериментальные исследования, была доказана возможность управления сферическим роботом комбинированного типа. При проведении экспериментов было отмечено, что введение в систему управления обратных связей позволит повысить эффективность управления и устойчивость движения. Теоретическое исследование модели управления сфероробота комбинированного типа с обратной связью, рассмотрена в работе [], также было проведено компьютерное моделирование движения, которое показало эффективность предложенной модели. В предлагаемом подходе обратная связь зависит от фазовых переменных (текущего положения, скоростей) и не зависит от конкретного вида траектории. В данной работе мы проведем экспериментальные исследования, на основе теоретических данных введем в систему управления обратные связи и покажем как это влияет на движение сфероробота.

2 Экспериментальное исследование движения сфероробота с обратными связями

Рассмотрим уравнения определяющие обратную связь в виде управляющих моментов K_ϑ и K_φ

$$K_\vartheta = \tilde{k}_\vartheta(\dot{\vartheta} + \frac{v^*}{R_s}), \quad K_\varphi = \tilde{k}_\varphi(\Omega, e_2 + e_3). \quad (1)$$

где $\tilde{k}_\vartheta, \tilde{k}_\varphi$ – постоянные коэффициенты, ϑ – угол поворота маятника вокруг оси e_1 в подвижной системе координат, R_s – радиус сферической оболочки, v^* – заданное значение линейной скорости качения сфероробота после стабилизации движения, Ω – угловая скорость вращения оболочки.

2.1 Особенности управления моментом на практике

Для проведения экспериментальных исследований используется лабораторная модель сфероробота комбинированного типа, представленная на рисунке 1. Радиус сфероробота $R_s = 0.15$ м.



Рис. 1: Лабораторная модель сфероробота комбинированного типа.

Для вращения роликов и ротора используются двигатели постоянного тока фирмы Pololu, у этого типа двигателей момент на валу двигателя прямо пропорционален току, протекающему через обмотки двигателя [4] (рисунок 2). Поэтому для определения величины момента достаточно знать величину тока, протекающего через обмотки.

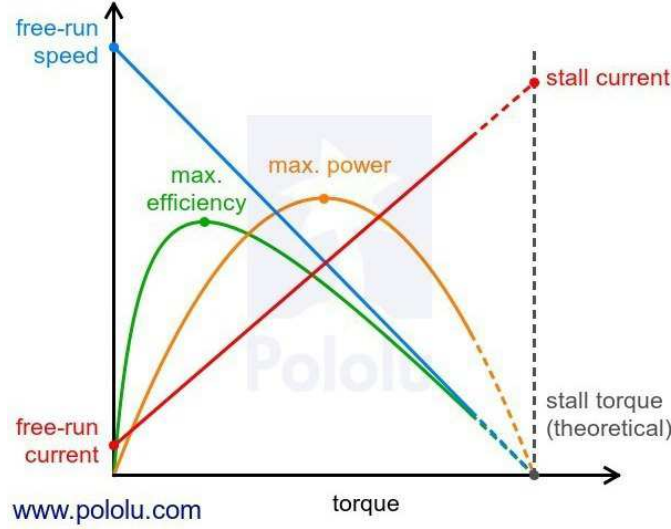


Рис. 2: Зависимость характеристик двигателя.

Для измерения тока используется датчик ACS712 – линейный датчик тока на базе эффекта Холла. На выходе датчика имеем аналоговый сигнал пропорциональный силе тока. Измерения тока проводятся с частотой 20 КГц, для каждого двигателя берется среднее значение из 50 измерений. Для поддержания заданного значения тока реализован П-регулятор для каждого двигателя. Следует отметить, что непосредственный переход значений тока к моментам не производится, так как эта зависимость заложена в коэффициенты регуляторов.

Таким образом уравнения (1) определяют входное значение П-регуляторов, но данные уравнения предполагают линейную зависимость необходимых моментов от отклонения фазовых переменных. В действительности же мы ограничены максимальным моментом двигателя, приводящего в движения тот или иной компонент сфероробота, при котором через двигатель протекает максимальный ток. Поэтому перепишем уравнения (1) в следующем виде

$$K_{\vartheta} = \frac{2K_{max}}{\pi} \arctg((\dot{\vartheta} + \frac{v^*}{R_s})\zeta_{\vartheta}), \quad K_{\varphi} = \frac{2K_{max}}{\pi} \arctg((\Omega, e_2 + e_3)\zeta_{\varphi}). \quad (2)$$

где $\zeta_{\vartheta}, \zeta_{\varphi}$ – коэффициенты наклона графика, K_{max} – максимальный ток, обеспечивающий максимальный момент двигателя. K_{max} можно определить заблокировав вал двигателя и измерить значение тока. Для двигателей, установленных на нашей модели сфероробота максимальный ток равен приблизительно 1100 мА. Но в таком режиме двигатель находится в нерекомендуемом режиме работы, поэтому установим $K_{max} = 1000$ мА.

2.2 Движение по прямой

Рассмотрим движение сфероробота по прямолинейной траектории с небольшим препятствием (рисунок 3), преодолевая которое, сфероробот начинает раскачиваться.

Препятствие представляет собой ступеньку высотой в 5 мм и длиной 600 мм. В данных экспериментах рассмотрено только уравнение момента K_{ϑ} , так как раскачивание сфероробота происходит по ходу движения.

Для определения траектории движения сфероробота использовалась система захвата движения Vicon Motion Capture, которая позволяет получать зависимость от времени как координат, так и ориентации объекта.

Чтобы найти оптимальный коэффициент ζ_{ϑ} проведено несколько серий экспериментов, в которых использовались различные значения ζ_{ϑ} в интервале от [1, 4]. Анализ экспериментов проводился по проекции вектора e_3 на ось Z в неподвижной системе координат, определялось среднее отклонение проекции от 1

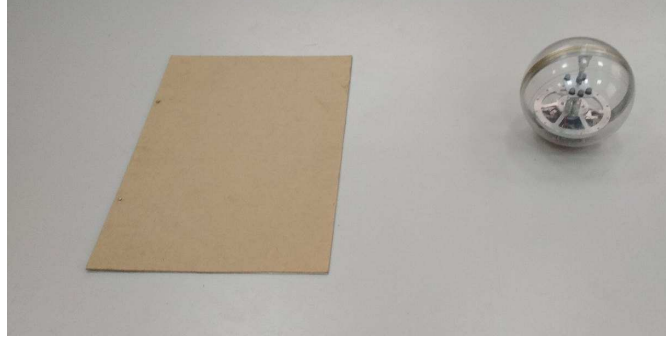


Рис. 3: Зависимость характеристик двигателя.

$$\langle \sigma \rangle_{av} = \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_3^Z - 1)^2}{n-1}} \cdot \frac{1}{N}, \quad (3)$$

где n – количество точек полученных при захвате траектории движения для одного эксперимента, N – количество экспериментов в серии.

На рисунке 4 показана зависимость среднего отклонения $\langle \sigma \rangle_{av}$ от значения коэффициента ζ_ϑ .

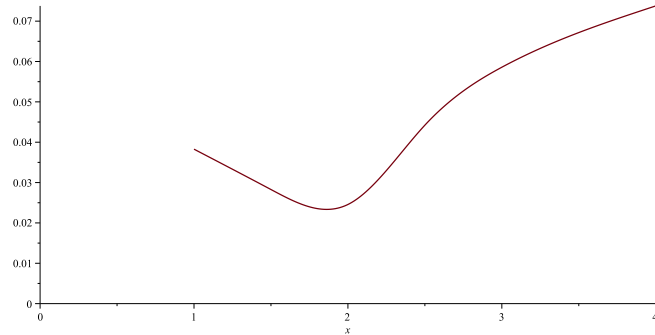


Рис. 4: Зависимость среднего отклонения $\langle \sigma \rangle_{av}$ от значения коэффициента ζ_ϑ .

Можно сделать вывод, что оптимальным является значение $\zeta_\vartheta = 2$.

Далее проведены 3 эксперимента для движения с обратной связью и 3 эксперимента для движения без обратной связи. В экспериментах с обратной связью для расчета управляющих моментов (1) использовались следующие значения параметров: $\zeta_\vartheta = 2, \zeta_\varphi = 0, v^* = 0.3$ м/с. В экспериментах без обратной связи: $\zeta_\vartheta = 0, \zeta_\varphi = 0, v^* = 0.3$ м/с.

Графики, отображающие проекции вектора e_3 на ось Z в неподвижной системе координат для трех экспериментов движения сфероробота с обратной связью показаны на рисунке 5а, аналогичные графики для экспериментов без обратной связи – на рисунке 5б.

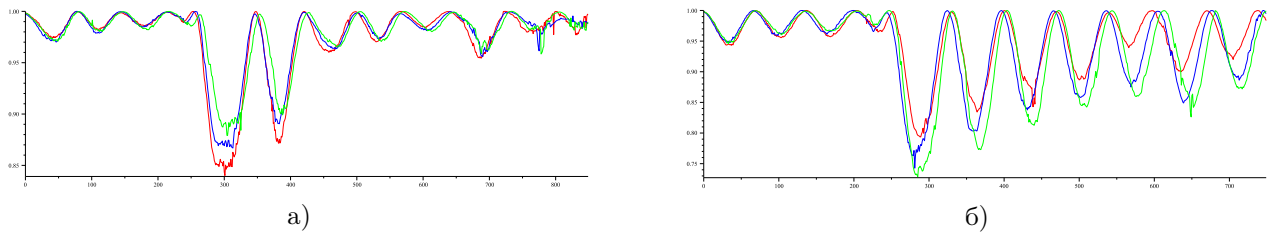


Рис. 5: Проекция вектора e_3 на ось Z для экспериментов с обратной связью (а) и без (б)

Для сравнения, на рисунке 6 показаны графики, отображающие проекцию вектора e_3 на ось Z в неподвижной системе координат для одного из экспериментов движения сфероробота с обратной связью и одного из экспериментов движения сфероробота без обратной связи.

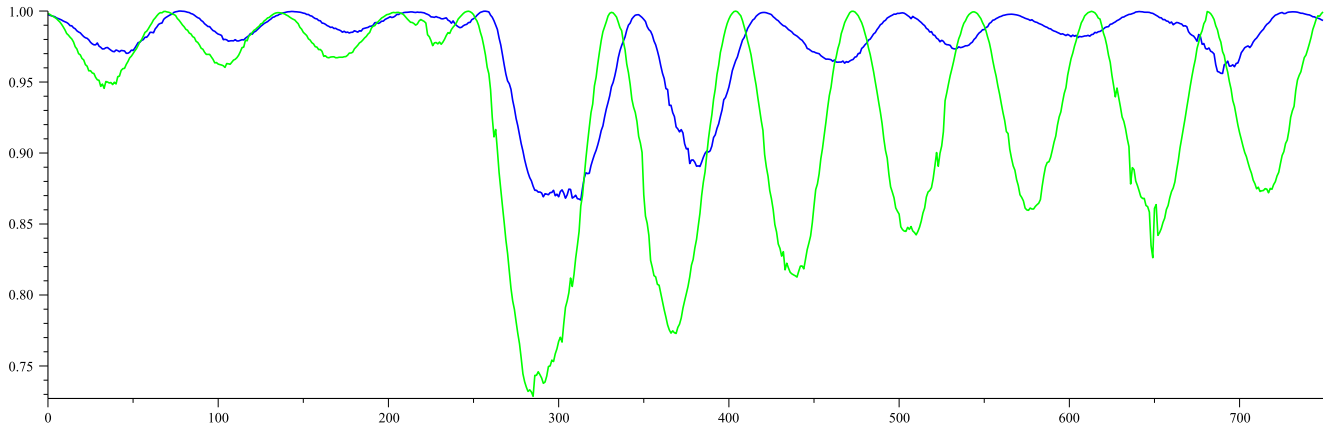


Рис. 6: Проекция вектора e_3 на ось Z . Сравнение эксперимента с обратной связью и без обратной связи.

Сравним среднее отклонение проекции вектора e_3 от 1 для трех экспериментов с обратной связью и без нее, рассчитанное по уравнению (3). Для экспериментов с обратной связью $\langle \sigma \rangle_{av} = 0.025$, а для экспериментов без обратной связи $\langle \sigma \rangle_{av} = 0.078$. Это показывает, что движение с обратной связью более устойчивое, чем без нее.

Список литературы

- [1] Karavaev Y. L., Kilin A. A., The Dynamics and Control of a Spherical Robot with an Internal Omniwheel Platform, Regular and Chaotic Dynamics, 2015, vol. 20, no. 2, pp. 134-152
- [2] Килин А. А., Караваев Ю. Л., Экспериментальные исследования динамики сферического робота комбинированного типа, Нелинейная динамика, 2015, т. 11, №4, с. 721-734
- [3] Kilin A.A., Pivovarova E.N., Ivanova T.B. Spherical robot of combined type: Dynamics and control // Regul. Chaotic Dyn., 2015, vol.20, no.6, pp.716-728.
- [4] Pololu Robotics'n'Electronics [Электронный ресурс] // URL: <https://www.pololu.com/product/1443/faqs>