

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ШАРА НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ С ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ ОБЪЕКТА СРЕДСТВАМИ ОРЕНСВ

Золотухин Н., студ.; Хорхордин А.В., проф., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Дисциплины, связанные с автоматическими системами управления, являются довольно сложными для студентов. Связано это с тем, что материальная база устаревает, но современные студенты продолжают её использовать при выполнении лабораторных работ. Для закрепления теоретических знаний больше всего внимания уделяется практическим занятиям.

Более глубокому пониманию теории и приобретению практических навыков по решению задач автоматизации способствует участие студентов в выполнении реальных проектов, хотя бы и по созданию лабораторных образцов систем регулирования. Данная статья посвящена обсуждению проблем создания системы автоматического управления по управлению траекторией движения шара по плоскости. Схема лабораторного макета системы приведена на рис. 1.

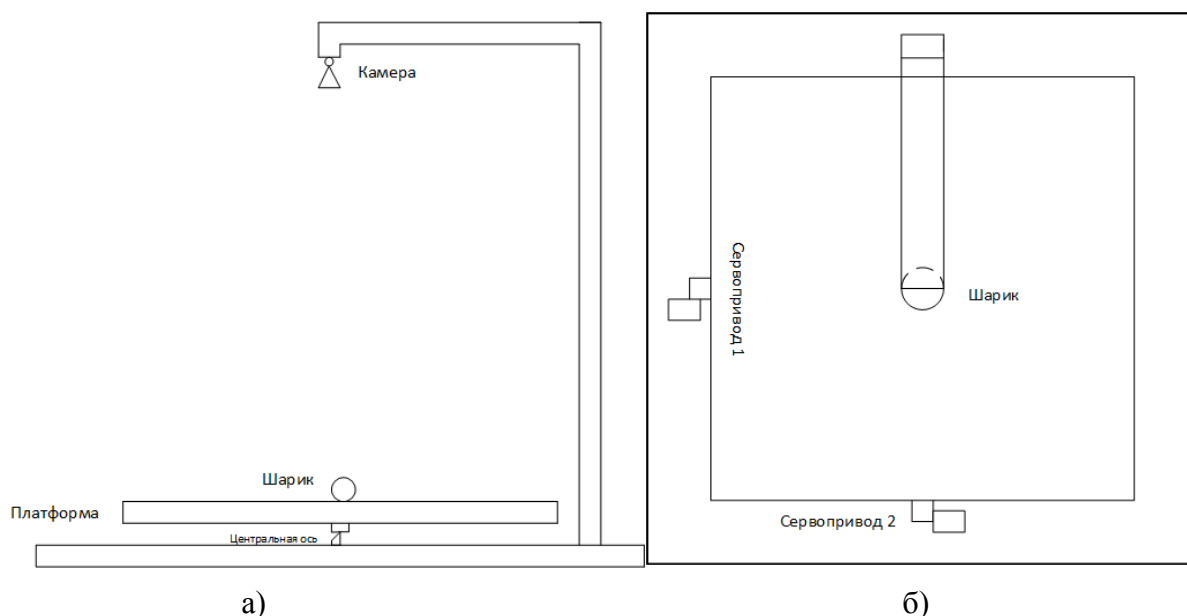


Рисунок 1 – Схема установки (а – вид сбоку, б – вид сверху)

Объект управления представляет собой шар радиуса 20 мм и массой 2.7 г на прямоугольной платформе со сторонами 27 сантиметров и 20.3 сантиметра, над которой на расстоянии 33 см закреплена видеокамера, по длине и ширине платформы закреплены два двигателя, которые осуществляют движение платформы по двум осям. Ниже, на рис 1.1 приведена схема установки.

Управление положением шара на платформе осуществляется посредством изменения углов наклона платформы. На смежных двух сторонах платформы установлены ползунки, связанные с сервоприводами: поворот сервопривода на тот или иной угол, приводит к изменению наклона плоскости. В данной работе использован алгоритм выделения объекта на изображении по распределению цветовой гаммы. Данный подход достаточно прост и может использоваться для отслеживания объекта цвет которого отличается от фонового. Необходимо отследить движение шарика по платформе и выделить его какой – либо фигурой. Для этого необходимо провести следующие шаги:

- 1) выделение пикселей, соответствующих шарика;

- 2) нахождение контура шарика;
- 3) построение окружности, в которую попадают все точки контура шарика.

Для изменения углов наклона платформы используются два исполнительных механизма (сервоприводы или шаговые двигатели), высокой мощности, управление которыми реализуется на компьютере через микроконтроллер. Платформа закреплена таким образом, что центр платформы неподвижный, а к двум сторонам платформы прикреплены два исполнительных механизма, которые и осуществляют её поворот. Такая конструкция позволяет обеспечить движение платформы по двум угловым координатам. Цифровая камера, установленная сверху на платформе, детектирует объект на платформе и передаёт значение пикселей на компьютер где и вычисляются координаты платформы и шара в режиме реального времени. И на основе данных координат производится расчёт углов, на которые должна отклониться платформа. Изображение передаётся на ПК. Можно заставить двигаться шарик по любой траектории и даже стабилизировать его, когда он брошен на платформу. Такой способ управления описывает принцип управления по обратной связи. При разработке данной платформы был использован микроконтроллер Arduino, к которому подключены сервоприводы. Составной частью системы регулирования является система измерения координат шара при помощи видеокamеры и обработки изображения средствами библиотеки OpenCV на языке программирования C++.

Ниже (рис. 2) приведена схема объекта управления

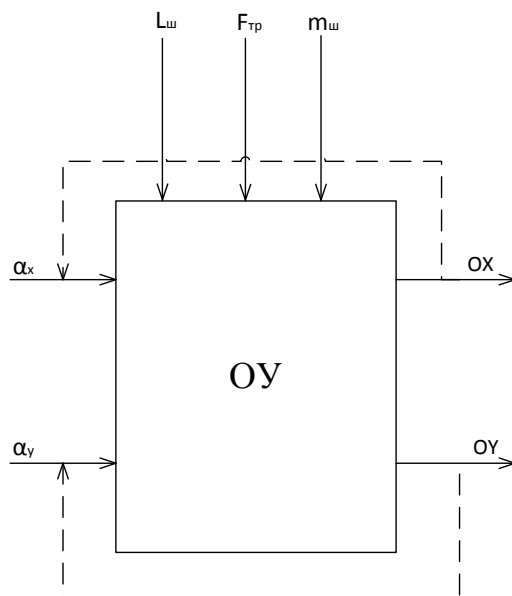


Рисунок 2 – Схема объекта управления

Входными переменными являются углы - по двум координатам, на которые поворачиваются исполнительные механизмы. Далее происходит обработка этих переменных с учётом возмущающих воздействий – размеров и массы шара и силы трения по платформе. Выходными являются координаты шара, которые с помощью обратной связи влияют на входные переменные, то есть происходит их регулирование. Таким образом происходит управление объектом. Шар детектируется на плоскости и таким образом выставляются углы поворотов исполнительных механизмов, платформа двигается, а вместе с ней и движется объект управления.

Алгоритм детектирования объекта через OpenCV можно представить последовательностью следующих операций:

1. получение кадра с камеры;
2. конвертация изображения из RGB в HSV;
3. пропускание через маску некоторого цвета;
4. расчет моментов изображения.

Библиотека OpenCV имеет достаточно простые алгоритмы для реализации компьютерного зрения, она имеется в открытом доступе.

Для оценки требуемого быстродействия системы измерения координат шара необходимо путем моделирования замкнутой системы в предположении идеальности измерительной системы определить возможное минимальное время пребывания шара на наклонной плоскости.

Идея поддержания баланса достаточно проста, потому что конструкция имеет единую точку равновесия, когда центр масс груза находится непосредственно над осью вращения. Если центр тяжести конструкции отклоняется в сторону, то сила тяжести частично передается через сопротивления к земле, а другая её составляющая создаёт момент вращения конструкции, который стремится завалить её на бок. Чтобы компенсировать эту силу, система должна начать движение с ускорением в сторону падения. Сила, которую создаёт ускорение, раскладывается на силу, действующей в сторону опоры, и силу, которая создаёт обратный момент вращения конструкции.

Движение шара на платформе можно описать следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0.714g\sin\alpha \\ \ddot{y} = 0.714g\sin\beta \end{cases}$$

где α и β – углы поворота платформы вокруг осей X и Y, а $g = 9.81 \text{ мс}^{-2}$ – ускорение свободного падения.

При проектировании данной платформы были выбраны сервоприводы Springrc SM-S4315M, которые при питании в 5 В поворачиваются на 60° за 180 мс. Передаточную функцию сервопривода можно представить в виде:

$$W(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{N_{red} \cdot 1/K_b}{s(T_d s + 1)} \text{ с}$$

$$N_{red} = 271, K_b = 6 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot \text{с}, T_d = 0.161 \text{ с.}$$

Микроконтроллер ARDUINO передает управляющий сигнал на сервоприводы с частотой 50 Гц, необходимо принять за период дискретности время $T = 20 \cdot 10^{-3} \text{ с}$. В этом случае z-передаточной функцией последовательного соединения сервопривода и объекта управления будет:

$$W(z) = Z \left\{ \frac{N_{red} \cdot 1/K_b}{s(T_d s + 1)} \cdot \frac{0.714g}{s^2} \right\} = \frac{0.0037z^3 + 0.0111z^2 + 0.0111z + 0.0037}{z^4 - 3.88z^3 + 5.65z^2 - 3.65z + 0.88}$$

Для данной передаточной функции спроектирован следующий регулятор:

$$W_R(z) = \frac{U(z)}{e(z)} = \frac{3.2z^2 - 8.33z^2 + 7.28z - 2.13}{0.123z^3 - 0.0078z^2 + 0.0514z + 0.0068}$$

Предполагая, что шар находится на краю плоскости, представляющей собой прямоугольник и наклоненной по отношению к горизонтальной плоскости на угол 150° , на основании (1) легко рассчитать время, за которое шар скатиться с этой поверхности, если его начальная скорость была равна нулю. Это время составит порядка 0,4с. Если же шар бросить на наклонную под углом 150° плоскость, сообщив ему таким образом начальную скорость 0,2м/с, то время пребывания шара на плоскости уменьшится до 0,2с. Таким образом, в дальнейших расчетах следует принимать за минимальное время пребывания шара на плоскости время $t_{\min} = 0,2 \text{ с} = 200 \text{ мс}$. Из этого следует сделать вывод, что период дискретности для системы управления положением шара на плоскости должен составлять величину порядка $T_0 = 20 \text{ мс}$, а время измерения координат шара $T_{\text{изм}}$ должно быть не более чем $T_{\text{изм}} = T_0 - T_{\text{алг}}$, где $T_{\text{алг}}$ - длительность обработки алгоритма управления в микроконтроллере.

В среде Matlab/Simulink (рис.2) при задающем воздействии величиной 0,3 м и периоде дискретности 20 мс проверяется устойчивость и качество системы регулирования.

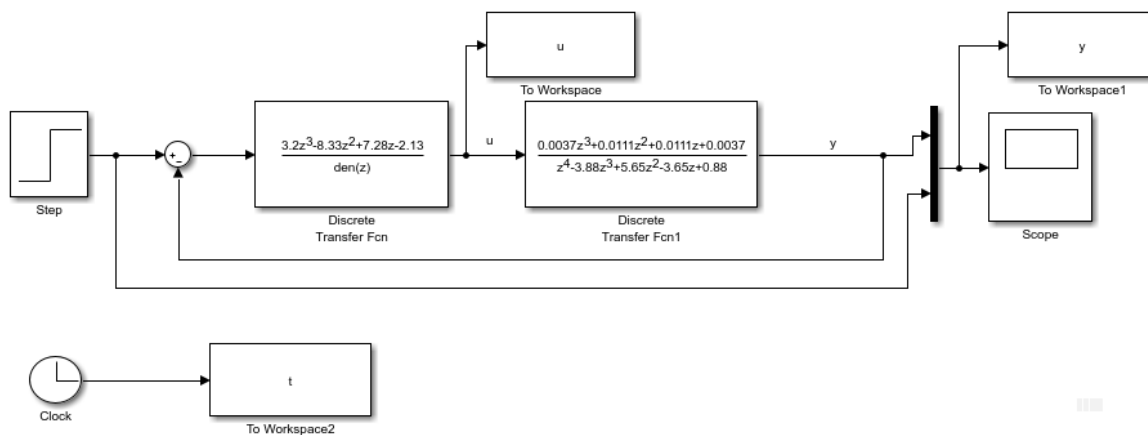


Рисунок 3 – Схема системы в среде SIMULINK

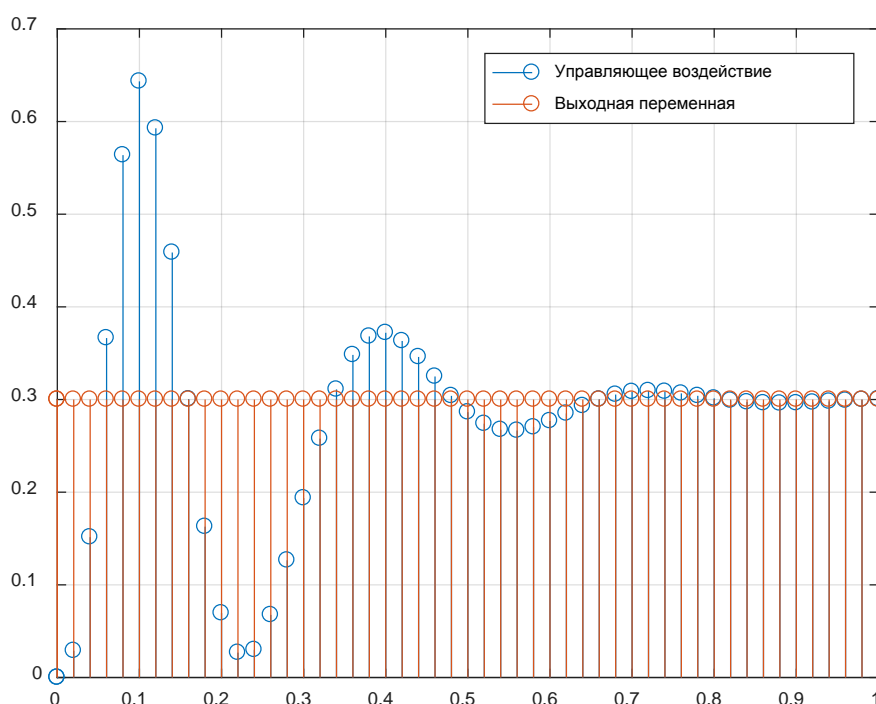


Рисунок 4 – Переходной процесс в замкнутой системе при отработке единичного ступенчатого воздействия величиной 0.3 м.

Как следует из рис. 4, длительность переходного процесса составляет величину порядка 0,35с, что вполне приемлемо.

Перечень ссылок

1. Зоненко, Т. Система управления движением шара по желобу / Т. Зоненко, А. В. Хорхордин // Материалы XVI международной научно-технической конференции «Автоматизация технологических объектов и процессов. поиск молодых», 24-26 мая 2016 г».
2. Митин, И. В. Задача № 125 Изучение движения шара по наклонному желобу [Электронный ресурс] / И. В. Митин // Лабораторный практикум по физике. Механика. Москва, 2011. – Режим доступа : http://genphys.phys.msu.ru/lab/mech/Lab125_1.pdf
3. Удовенко, А. В. Система управления балансирующей платформой / А. В. Удовенко, А. В. Хорхордин // Материалы XVI международной научно – технической конференции «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых», 24-26 мая 2016 г».