

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ШАРА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

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

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

Более высокие требования к методам представления информации студентам ставят на технических специальностях в высших учебных заведениях. Прежде всего для усвоения информации используется наглядный способ, который способен вывести качество обучения на более высокий уровень.

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.

Для более глубокого усвоения студентом необходимой информации и приобретению практических навыков необходимо, чтобы студенты работали над реальными проектами, например, над лабораторными образцами, чтобы иметь современные системы управления, для дальнейшего изучения дисциплины. В данной статье обсуждается система автоматического управления шаром по заданной траектории на горизонтальной плоскости с использованием системы компьютерного зрения.

Схема данной установки приведена на рис. 1.

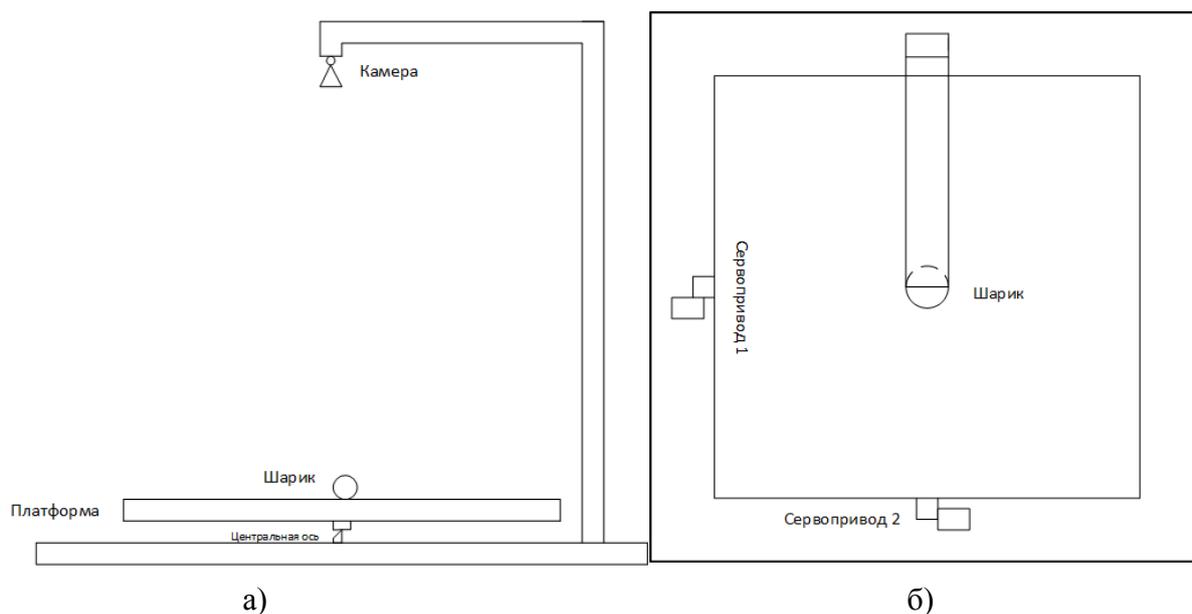


Рисунок 1 – Схема установки (а – вид сбоку, б – вид сверху)

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 неподвижен, 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 JMyron на языке программирования Processing.

Ниже (рис. 2) приведена схема объекта управления.

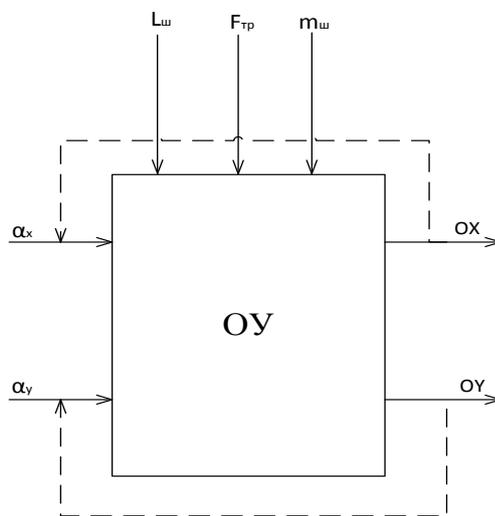


Рисунок 2 – Схема объекта управления

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.

Наиболее простая реализация трекинга рассматривает два кадра и строит траектории по ним [3]. Сначала отмечаются перемещения на текущем и предыдущем кадре, далее, анализируя скорость, направления движения объектов, а также их размеры, вычисляются вероятности перехода объектов из одной точки траектории предыдущего кадра в другую точку текущего. Наиболее вероятные перемещения присваиваются каждому объекту и складываются в траекторию. 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 шара по платформе и выделить его окружность.

Существует несколько типов трекинга объектов:

1. Трекинг при помощи пикселей (Pixel Tracking).
2. 3D – трекинг как часть процесса Matchmoving – а.
3. 3D – трекинг как часть процесса Motion Capture.

Каждый из этих типов трекинга можно использовать отдельно, или они могут быть частью каких-либо сложных систем. Для создания лабораторной стенда используется трекинг при помощи пикселей, конкретной точки, которая имеет собственный цвет (цвет шара - желтый), выделяющийся среди других объектов на изображении. Это означает, что происходит отслеживание движения конкретного пикселя. В результате этого отслеживания мы получаем траекторию движения пикселя, который соответствует движению отслеживаемого объекта. Цвет помогает программному обеспечению для отслеживания не

потерять точку и точно получить её траекторию движения. При реализации данного проекта был использован контурный метод трекинга. Данный метод основан на выделении на объекте с помощью детектора краёв резких перепадов яркости, метод реализован с помощью алгоритма компьютерного зрения. Задача отслеживания каких – либо объектов является неотъемлемой частью некоторых прикладных областей, например – видеонаблюдение, отслеживание дорожного трафика, распознавание объектов производства. При этом следует отметить, что трекинг объектов на видео – это достаточно затратный, с точки зрения вычислений, процесс, требующий определённого времени на обработку.

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.

Движение шара на платформе описывается 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:

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

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

Микроконтроллер ARDUINO передает управляющий сигнал на сервоприводы с частотой 50 Гц, необходимо принять за период дискретности время $3 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = T = \text{с}$. 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 Тизм должно быть не более чем $T_{изм} = T_0 - T_{алг}$, где $T_{алг}$ - длительность обработки алгоритма управления в микроконтроллере.

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

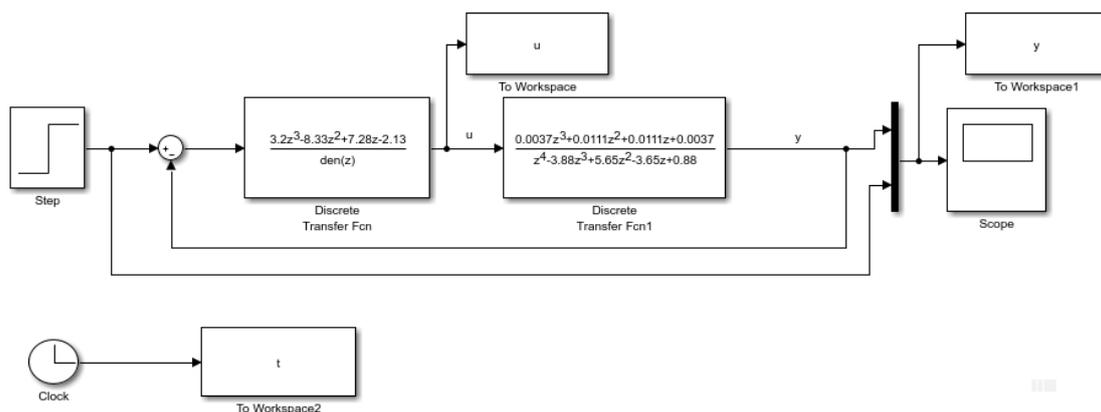


Рисунок 3 – Схема системы в среде SIMULINK

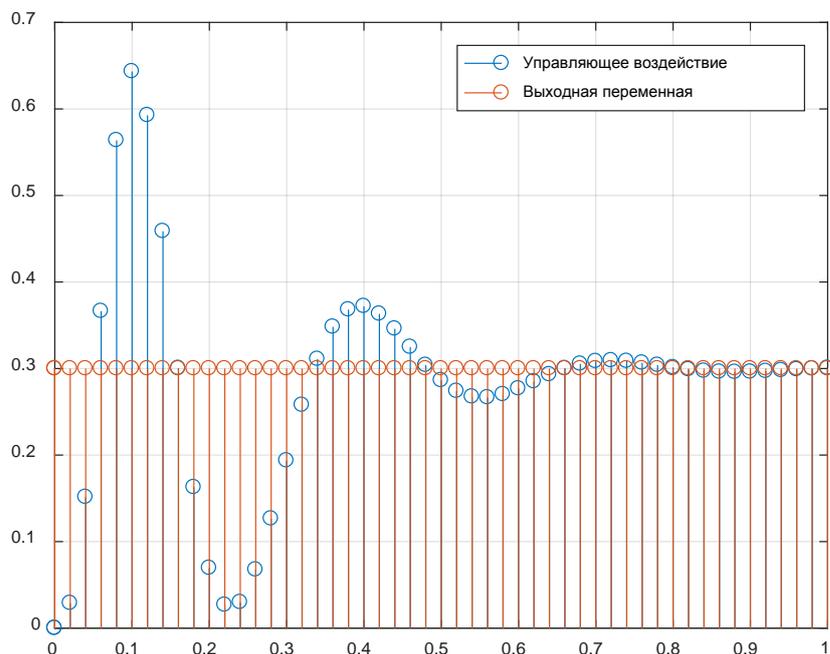


Рисунок 4 – Переходной процесс в замкнутой системе при отработке единичного ступенчатого воздействия величиной 0.3 м

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

Перечень ссылок

1. Зоненко, Т. В. Система управления движением шара по желобу / Т. В. Зоненко, А. В. Хорхордин // Материалы XVI международной научно-технической конференции «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых», 24-26 мая 2016 г. – Донецк : ДонНТУ, 2016. – С. 252 – 255.
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.su/rus/lab/mech/Lab125_1.pdf. – Загл. с экрана.
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. – Донецк : ДонНТУ, 2016. – С. 293 – 295.