



УДК 681.51

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАКЛОННОЙ ПЛАТФОРМОЙ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАДАЧ ДИНАМИЧЕСКОГО МАНИПУЛИРОВАНИЯ

Д. Добриборщ<sup>а</sup>, Н.А. Николаев<sup>а</sup>, А.А. Дидренц<sup>а</sup><sup>а</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: Dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию 07.11.16, принята к печати 09.12.16

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-187-190

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Добриборщ Д., Николаев Н.А., Дидренц А.А. Система управления наклонной платформой с двумя степенями свободы для исследования задач динамического манипулирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 1. С. 187–190. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-187-190

### Аннотация

Представлены результаты исследования по разработке системы управления наклонной платформой с двумя степенями свободы. Разработан робототехнический комплекс, включающий систему технического зрения, с помощью которой определяются координаты объекта управления, расположенного на платформе прямоугольной формы. Установлены серводвигатели, которые позволяют осуществлять наклоны платформы в двух направлениях. Управляющая плата от рабочей станции по интерфейсу USB получает значения углов для серводвигателей и другие конструктивные элементы. Решена задача стабилизации объекта в заданных координатах на платформе.

### Ключевые слова

наклонная платформа, параллельный манипулятор, динамическое манипулирование, робототехнический комплекс, система технического зрения

### Благодарности

Работа выполнена на кафедре систем управления и информатики Университета ИТМО на средства гранта Президента Российской Федерации (№14.У31.16.9281-НШ).

## CONTROL SYSTEM FOR TILTABLE PLATE WITH TWO DEGREES OF FREEDOM FOR RESEARCH OF DYNAMIC MANIPULATION PROBLEMS

D. Dobriborsci<sup>а</sup>, N.A. Nikolaev<sup>а</sup>, A.A. Didrents<sup>а</sup><sup>а</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: Dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru

### Article info

Received 07.11.16, accepted 09.12.16

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-187-190

Article in Russian

**For citation:** Dobriborsci D., Nikolaev N.A., A Didrents.A. Control system for tiltable plate with two degrees of freedom for research of dynamic manipulation problems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 187–190. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-187-190

### Abstract

The paper presents results of work on control system design for tiltable plate with two degrees of freedom. Designed robotic system includes technical vision system that provides an opportunity to get the position of the control object placed on the square plate. Two servomotors provide each tilting axis operation. Single-board computer transmits angle values and other design elements to the servomotors by USB interface from the workstation. The problem of the object stabilization in the given coordinates on the plate is solved.

### Keywords

tiltable plate, parallel manipulator, dynamic manipulation, robotic system, technical vision system

### Acknowledgements

The work was performed at the Control Systems and Informatics Department of ITMO University and was partially financially supported by the grant of the President of the Russian Federation (No.14.Y31.16.9281-НШ).

В общем случае наклонная платформа представляет собой параллельный робот-манипулятор, одна из основных задач которого заключается в перемещении с места на место какого-либо объекта. Общим решением данной задачи является оснащение манипулятора захватывающим устройством, позволяющим осуществлять схват предмета. Проектирование захватного устройства осуществляется с учетом всех сил, которые могут действовать на объект во время движения, планирования схвата и планирования пути. Однако при условии больших размеров и веса объекта данный подход может оказаться неприменим. В задачах динамического манипулирования становится возможным использование таких приемов, как толкание, бросок, удар. В результате происходит расширение области применения роботов-манипуляторов в промышленном мире [1].

Например, в [2] представлена разработка лабораторного стенда наклонной платформы с двумя степенями свободы, реализующего управление движением мяча на прямоугольной платформе, используя систему технического зрения на базе программируемой логической интегральной схемы. Расчет закона управления выполняется на цифровом контроллере. В [2] проводится экспериментальная апробация пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (ПИД-регулятора) с наблюдателем состояний в цепи обратной связи. В [3] для аналогичной платформы для решения задач стабилизации объекта в заданных координатах и перемещения объекта из точки в точку предлагается использование алгоритмов управления на основе нечеткой логики. В [4] управление платформой реализовано на базе прогнозирующей модели. В первую очередь авторы произвели моделирование в математическом пакете MATLAB/Simulink и по его итогам провели эксперимент.

По результатам исследований разработан робототехнический комплекс, включающий платформу квадратной формы, положение которой регулируется двумя сервоприводами, установленными на основании. Валы приводов, оснащенные удлинителями, с помощью шарнирного соединения прикрепляются к платформе. Для определения координат центра мяча используется система компьютерного зрения (КЗ), предложенная в [5, 6]. Разработанная авторами система позволяет определить координаты объекта управления (ОУ) с помощью внешней видеокамеры. Обработка видеоизображений осуществляется на персональном компьютере (ПК), от которого управляющая плата (УП) по USB-интерфейсу получает пакет данных, содержащий значения углов (ЗУ) поворота двигателей  $D(x)$  и  $D(y)$ . На УП пакет проходит проверку на целостность, и данные отправляются непосредственно на двигатели. Получив команду поворота на необходимый угол, сервоприводы приводят платформу в движение. Функциональная схема комплекса и кинематическая схема мехатронного модуля (ММ) приведены на рис. 1.

Общий вид робототехнического стенда представлен на рис. 2.

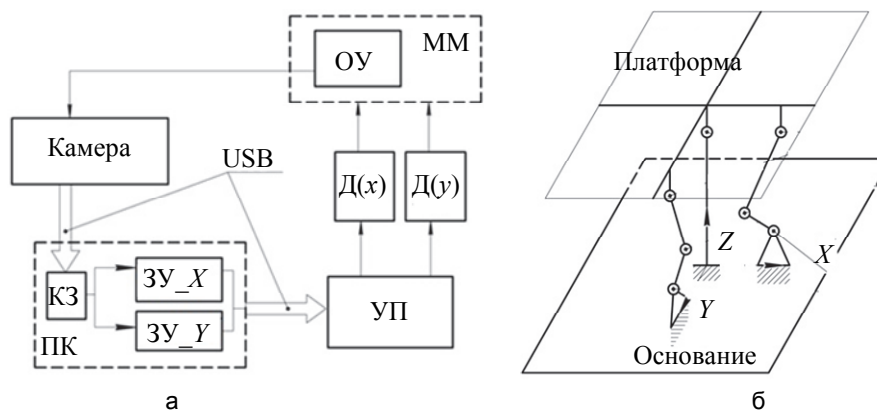


Рис. 1. Функциональная схема робототехнического комплекса (а); кинематическая схема мехатронного модуля (б)

Рассмотрим уравнения, описывающие систему «Ball and Plate» [6]:

$$\left(m + \frac{I}{r^2}\right) \ddot{x} - m(x\dot{\alpha}^2 + y\dot{\alpha}\dot{\beta}) + mg \sin \alpha = 0, \quad \left(m + \frac{I}{r^2}\right) \ddot{y} - m(y\dot{\beta}^2 + x\dot{\alpha}\dot{\beta}) + mg \sin \beta = 0, \quad (1)$$

где  $m, r, I$  – масса, радиус и момент инерции мяча соответственно;  $x, y$  – положение мяча,  $\alpha, \beta$  – углы наклона платформы;  $g$  – ускорение свободного падения.

Рассмотрим случай, когда углы наклона платформа достаточно малы, тогда уравнения (1) принимают упрощенный вид [7, 8]:

$$\left(m + \frac{I}{r^2}\right) \ddot{x} - \frac{2mgd}{l} \theta_x = 0, \quad \left(m + \frac{I}{r^2}\right) \ddot{y} - \frac{2mgd}{l} \theta_y = 0,$$

где  $\theta_x, \theta_y$  – углы поворота валов серводвигателей;  $l$  – длина стороны платформы;  $d$  – длина удлинителя от вала двигателя к платформе.

Используя преобразование Лапласа, получаем следующие передаточные функции:

$$P_x(s) = \frac{x}{\theta_x} = -\frac{2mgdr^2}{l(mr^2 + I)} \frac{1}{s^2}, \quad P_y(s) = \frac{y}{\theta_y} = -\frac{2mgdr^2}{l(mr^2 + I)} \frac{1}{s^2},$$

где  $s$  – комплексная переменная [9].

Для решения задачи стабилизации объекта в заданных координатах использован ПИД-регулятор, настроенный методом Циглера–Никольса [7]. Эксперимент на разработанном мехатронном стенде показал, что задача стабилизации мяча в заданных координатах решена и соответствует заявленным требованиям.

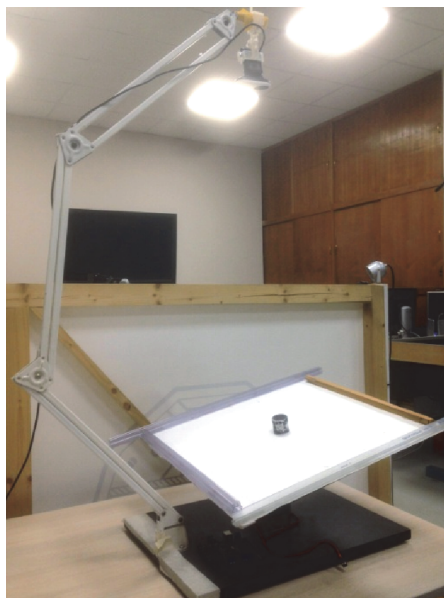


Рис. 2. Общий вид робототехнического комплекса

В дальнейшей работе планируется улучшение качества обратной связи путем замены системы технического зрения на резистивную сенсорную подложку, что позволит увеличить скорость получения координат, а также планируется исследование возможности использования современных методов адаптивного и робастного управления, например, метод последовательного компенсатора [10].

### Литература

1. Lynch K.M. *Nonprehensile Robotic Manipulation: Controllability and Planning*. Pittsburgh: The Robotics Institute, 1996. 222 p.
2. Ho M.-T., Rizal Y., Chu L.-M. Visual servoing tracking control of a ball and plate system: design, implementation and experimental validation // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2013. V. 10. N 7. Art. 287. doi: 10.5772/56525
3. Cheng C.-C., Chou C.-C. Fuzzy-based visual servo with path planning for a ball-plate system // *Proc. 1<sup>st</sup> International Symposium on Intelligent Computing Systems*. Merida, Mexico, 2016. V. 597. P. 97–107. doi: 10.1007/978-3-319-30447-2\_8
4. Oravec M., Jadlovska A. Model predictive control of a ball and plate laboratory model // *Proc. 13<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*. Herl'any, Slovakia, 2015. P. 165–170. doi: 10.1109/SAMI.2015.7061869
5. Громов В.С., Власов С.М., Борисов О.И., Пыркин А.А. Система технического зрения для роботизированного макета надводного судна // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2016. Т.16. №4. С. 749–752. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-4-749-752
6. Шаветов С.В., Ведяков А.А., Бобцов А.А. Система технического зрения в архитектуре системы удаленного управления // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2014. №2 (90). С. 164–166.

### References

1. Lynch K.M. *Nonprehensile Robotic Manipulation: Controllability and Planning*. Pittsburgh, The Robotics Institute, 1996, 222 p.
2. Ho M.-T., Rizal Y., Chu L.-M. Visual servoing tracking control of a ball and plate system: design, implementation and experimental validation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2013, vol. 10, no. 7, art. 287. doi: 10.5772/56525
3. Cheng C.-C., Chou C.-C. Fuzzy-based visual servo with path planning for a ball-plate system. *Proc. 1<sup>st</sup> International Symposium on Intelligent Computing Systems*. Merida, Mexico, 2016, vol. 597, pp. 97–107. doi: 10.1007/978-3-319-30447-2\_8
4. Oravec M., Jadlovska A. Model predictive control of a ball and plate laboratory model. *Proc. 13<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*. Herl'any, Slovakia, 2015, pp. 165–170. doi: 10.1109/SAMI.2015.7061869
5. Gromov V.S., Vlasov S.M., Borisov O.I., Pyrkin A.A. Technical vision system for the robotic model of surface vessel. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 749–752. (In Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-4-749-752
6. Shavetov S.V., Vedyakov A.A., Bobtsov A.A. The system of technical vision in the architecture of the remote control system. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 2, pp. 164–

7. Aphiratsakun N, Otaryan N. Ball on the plate Model based on PID tuning methods // Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. Thailand, 2016. doi: 10.1109/ECTICon.2016.7561324
8. Mochizuki S., Ichibara H. Generalized KYP lemma based I-PD controller design for ball and plate system // Journal of Applied Mathematics. 2013. doi: 10.1155/2013/854631
9. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975. 768 с.
10. Бобцов А.А., Николаев Н.А. Синтез управления нелинейными системами с функциональными параметрическими неопределенностями на основе теоремы Фрадкова // Автоматика и телемеханика. 2005. № 1. С. 118–129.
7. Aphiratsakun N, Otaryan N. Ball on the plate Model based on PID tuning methods. *Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*. Thailand, 2016. doi: 10.1109/ECTICon.2016.7561324
8. Mochizuki S., Ichibara H. Generalized KYP lemma based I-PD controller design for ball and plate system. *Journal of Applied Mathematics*, 2013. doi: 10.1155/2013/854631
9. Besekerskii V.A., Popov E.P. *Teoriya Sistem Avtomaticheskogo Regulirovaniya* [The Theory of Automatic Control Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 768 p.
10. Bobtsov A.A., Nikolaev N.A. Fradkov theorem-based design of the control of nonlinear systems with functional and parametric uncertainties. *Automation and Remote Control*, 2005, vol. 66, no. 1, pp. 108–118.

### Авторы

**Добриборщ Дмитрий** – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru

**Николаев Николай Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, nikona@yandex.ru

**Дидренц Александр Александрович** – студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, didrenc@gmail.com

### Authors

**Dmitrii Dobriborsci** – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru

**Nikolay A. Nikolaev** – PhD, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, nikona@yandex.ru

**Alexander A. Didrents** – student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, didrenc@gmail.com