

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА-АНДРОИДА С КОМПЬЮТЕРНЫМ ЗРЕНИЕМ

И.В. Севастьянов

ivan.vital@mail.ru

SPIN-код: 2360-5777

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Исследована возможность применения системы компьютерного зрения при движении робота-андроида. Представлен макет автономного робота, способного, как реальный автомобиль, проходить трассу и выполнять маневры. Новизна разработки заключается в том, что в автономном роботе-андроиде одновременно используются система компьютерного зрения на базе ОС Android, которая позволяет ему проходить трассу с разметкой без использования датчиков, и плата IOIO, которая помогает смартфону управлять приводами. Проведенное исследование доказывает эффективность внедрения компьютерного зрения во многие области. Например, можно использовать компьютерное зрение в транспортном движении, для выявления дефектов деталей в литейном производстве, построения нейросетей при решении сложных производственных задач, для обеспечения безопасности людей и др.

Ключевые слова

Робот, андроид, конструкция, макет, траектория, компьютерное зрение, транспорт, библиотека OpenCV, закон управления, регулятор

Поступила в редакцию 16.12.2019
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. Компьютерное зрение, набирающее популярность в последнее время, выводит робототехнику на новый уровень развития и повышает безопасность на производстве и в быту [1]. Цель работы — конструирование автономного робота и освоение вычислительных возможностей компьютерного зрения для управления будущими автомобилями-роботами. Для достижения цели следует начать с самой простой задачи — научиться управлять движением мобильного робота по линии. Актуальность данного проекта состоит в том, что решение поставленных в нем задач позволяет расширить границы возможностей современной робототехники и сделать робота полностью автономным.

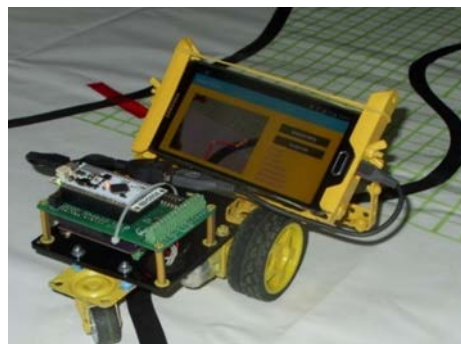


Рис. 1. Макет робота-андроида

Ход работы. Для обработки изображений использована широко распространенная библиотека OpenCV [2], с помощью которой можно, применяя различные преобразования изображения, отделить фон и тени от объектов, а объекты друг от друга. Процесс обработки изображения выглядит следующим образом.

1. На всей области видимости (исходной матрице с камеры) задается фрагмент, оптимальный для поиска линии. Это сделано для того, чтобы исключить захват в кадр соседних линий и предотвратить неправильное движение. Таким образом, область видимости устройства уменьшается и становится равной $15 \times 3 \text{ см}^2$ (рис. 2).

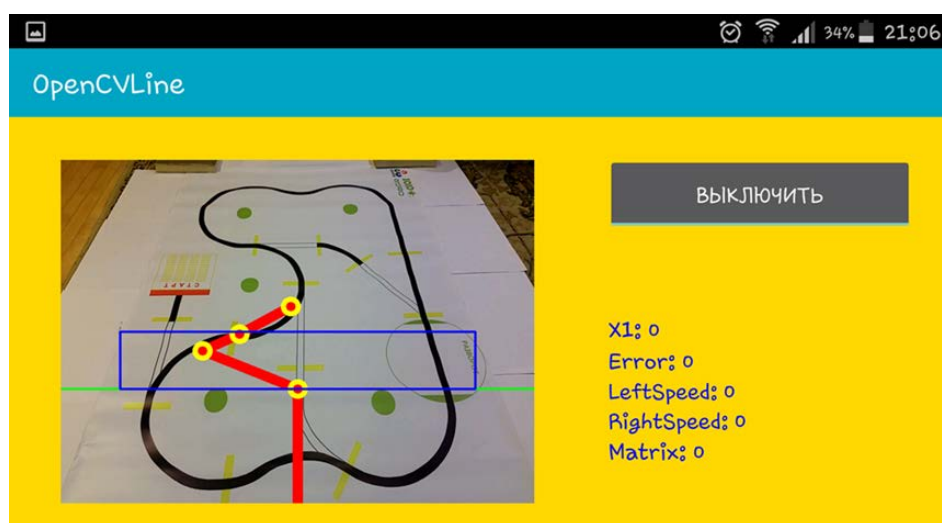


Рис. 2. Рабочая область видимости (показана синим цветом)

2. К фрагменту применяется последовательность действий по преобразованию матрицы изображения, ее линейной фильтрации, инвертированию и бинарному ограничению. Обработка матрицы дает возможность роботу четко определять контуры линии. Применять данные действия ко всей матрице не имеет смысла, поскольку тогда программа будет очень долго анализировать данные. На небольшом участке обработка происходит быстрее, что обеспечивает своевременное реагирование на изменение траектории (рис. 3).

3. Проводится контурный анализ. Он реализуется с помощью метода Find Contours, который является стандартным в библиотеке Open CV. Таким образом, на области видимости определяются контуры линии. Однако помимо контуров самой линии в область видимости попадают также нежелательные контуры от бликов или неровностей на поверхности трассы. Поэтому выделяется самый большой контур, соответствующий той части линии, которая попала в выделенную область.

4. Вычисляется координата центральной точки этого контура. В программе это реализуется с помощью метода Moments. По значению координаты центральной точки определяется дальнейшее направление робота.

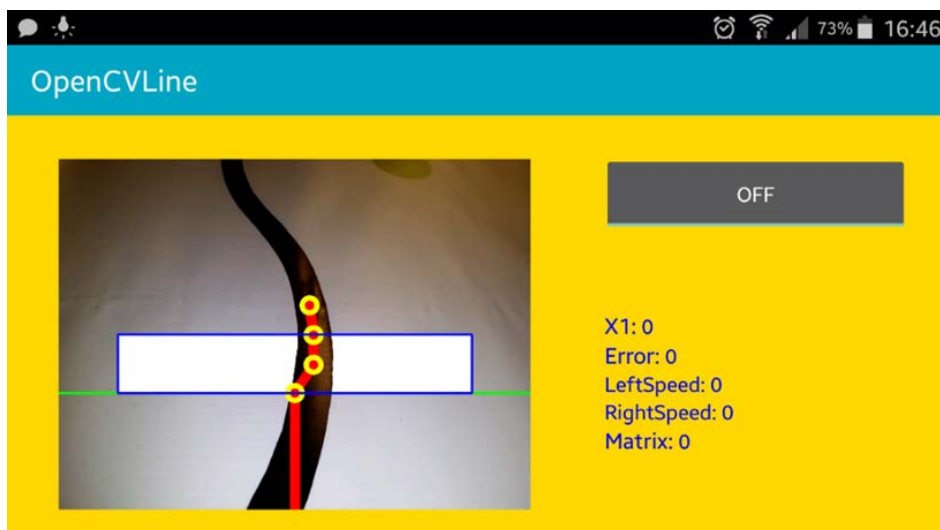


Рис. 3. Обработанная область видимости

Таким образом, робот «видит» трассу и прогнозирует свою дальнейшую траекторию. Робот старается двигаться так, чтобы линия проходила между колес. При изгибе линии робот фиксирует отклонение траектории и поворачивает, корректируя скорости вращения левого и правого колес. Угол обзора робота экспериментально подобран: матрица математически сужена (образно говоря, навешены «шоры», как у лошадей), чтобы исключить захват соседних линий и предотвратить неправильное движение [3]. Для этого разработана специальная программа обработки изображения.

На рис. 4 показана область видимости устройства (выделена зеленым цветом), в которой расположен фрагмент линии. Желтым цветом обозначена центральная точка этого фрагмента. Если ее координата, которая вычисляется с помощью метода Moments, смещена относительно центральной оси устройства (она обозначена красным цветом), это означает, что робот отклонился от центра траектории. Значение err в этом случае будет являться ошибкой. Чтобы изменить траекторию движения робота, необходимо скорректировать скорости приводов.

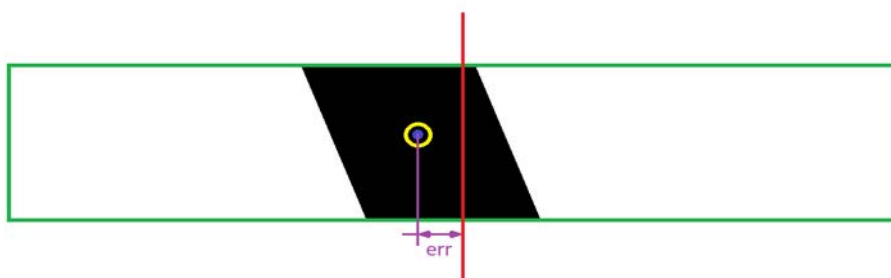


Рис. 4. Область видимости устройства

На рис. 5 представлена схема для осуществления пропорционального закона управления [4, 5]. Сумматор — устройство, выполняющее алгебраическое сло-

жение двух сигналов: задающего воздействия $x_3(t)$ и реального выходного сигнала $y(t)$. При этом вход сигнала обратной связи отмечен знаком минус, т. е. на устройство управления УУ поступает разность этих сигналов. Именно эта разность и представляет собой сигнал ошибки (разность между тем, что нужно, и тем, что имеется реально). Суть данного регулятора заключается в том, что он берет отклонение (сигнал ошибки), умножает его на константу (k_p) и выдает в качестве управляющего воздействия на моторы, т. е. управляющее воздействие пропорционально сигналу ошибки. Именно поэтому данный закон называется пропорциональным: $u_p(t) = k_p e(t)$.

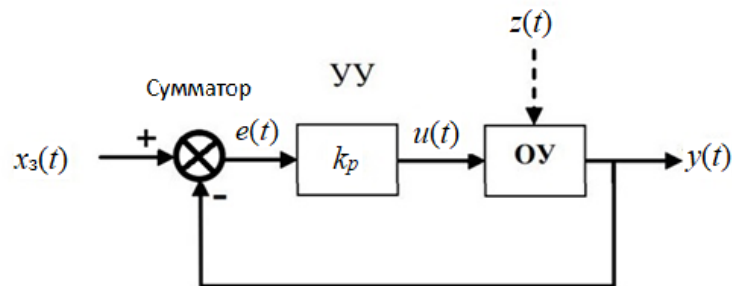


Рис. 5. Схема пропорционального закона управления:

ОУ — объект управления; $x_3(t)$ — задающее воздействие; $y(t)$ — реальный выходной сигнал; УУ — устройство управления; $u(t)$ — напряжение, подаваемое на моторы; $z(t)$ — помехи: неровности дороги и инерция робота

После применения регулятора в программе обнаружили некоторые недостатки. По прямой линии робот двигался уверенно и достаточно быстро, однако на поворотах и кривых участках дороги он мог очень долго колебаться, выравнивая свою траекторию. Вследствие этого увеличивалось время переходного процесса, за которое робот возвращался на трассу и переходил в так называемый «установившийся режим». О качестве регулятора судят по реакции системы на единичное воздействие — специальную функцию, скачком принимающую единичное значение. Если подставить эту функцию в регулятор, то график переходного процесса будет иметь вид, показанный на рис. 6, на котором видно, что при любом значении коэффициента k_p робот не может быстро и плавно реагировать на резкое изменение траектории.

Для устранения этого недостатка в регулятор добавлены дифференциальная и интегральная компоненты. Дифференциатор помогает роботу на извилистых участках трассы не сойти с траектории и не уменьшить скорость движения. Формула дифференцирующего звена имеет вид

$$u_d(t) = k_d [y(t) - y(t-1)].$$

Если выходной сигнал не изменяется, т. е. $y(t) = y(t-1)$, то значение $u_d(t) = 0$ и никакого изменения не происходит. Если же скорость начинает меняться и $y(t) \neq y(t-1)$, то соответственно начинает изменяться дифференциальная

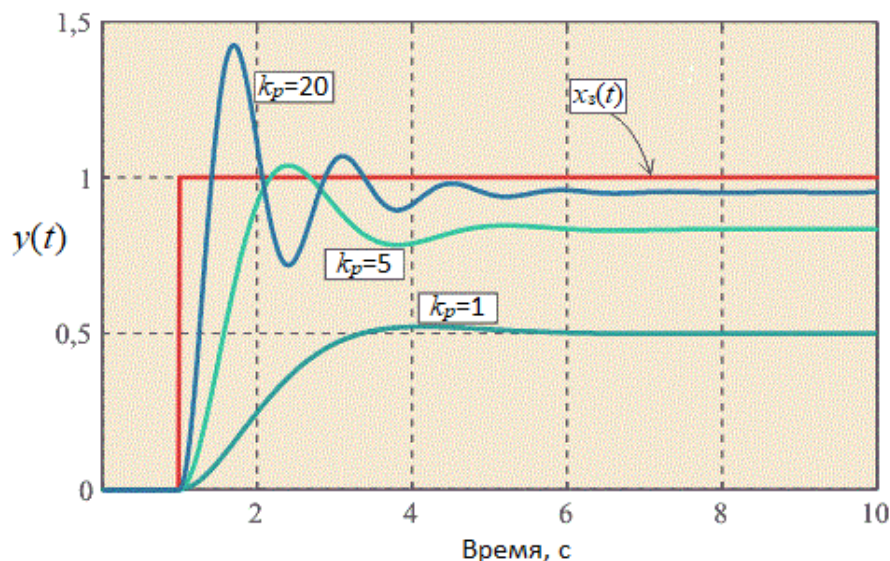


Рис. 6. График реакции пропорционального регулятора на единичное воздействие

компонента, которая вычитается из ошибки по положению (err). Чем больше различаются между собой значения выходного сигнала, тем больше вклад этой компоненты. Недостатками дифференциального закона является малая точность и чувствительность к шумам. Для повышения точности и уменьшении шумов нужна интегральная составляющая. Формула интегрирующего звена имеет вид

$$u_i(t) = k_i \int e(t) dt \approx k_i \sum e(t) \Delta t.$$

Управляющий сигнал $u_i(t)$ в каждый момент времени пропорционален интегралу ошибки $e(t)$. Отсюда следует, что регулятор реагирует на длительные отклонения управляемой величины, а кратковременные отклонения им сглаживаются. В итоге каждый из элементов регулятора (пропорциональное, интегральное и дифференциальное звенья) выполняет свою задачу и оказывает свое специфическое воздействие на функционирование системы: пропорциональный закон отвечает за настоящее (реагирует на текущую ошибку), дифференциальный — за будущее (реагирует на скорость изменения ошибки), а интегральный — за прошлое (накапливая предыдущие ошибки и сглаживая высокочастотные шумы). Выходы этих элементов складываются между собой и формируют управляющий сигнал для устройства [6, 7]. Таким образом, робот стал более плавно и точно двигаться по линии, что отражает график переходного процесса (рис. 7).

Разработанная конструкция робота OpenCVBot имеет два мотора и использует бортовую («танковую») схему поворота. Смартфон с ОС Android закреплен так, чтобы камера смотрела на траекторию перед роботом. К смартфону кабелем

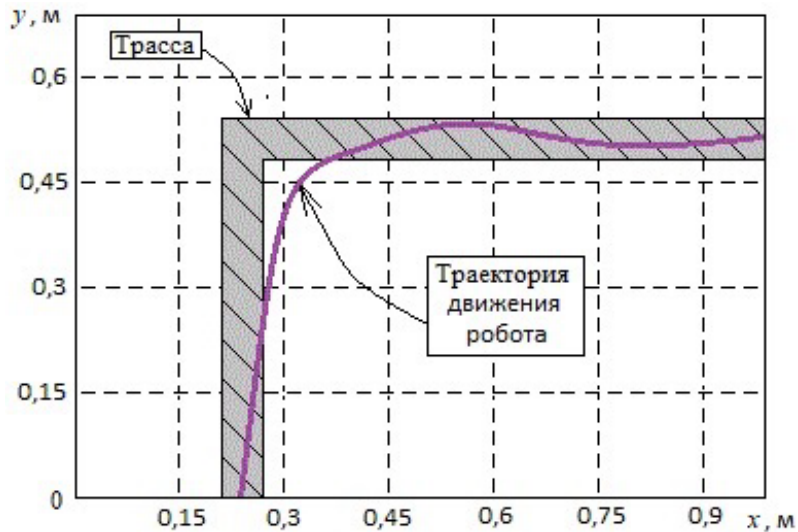


Рис. 7. Конечный график реакции робота на резкое изменение траектории

USB-OTG подключена плата IOIO, которая управляет приводами через Arduino-шилด์. Драйвер моторов L298 усиливает сигнал, поступающий на моторы. Питанием служат шесть аккумуляторов типа АА, дающих общее напряжение 7,2 В (рис. 8).

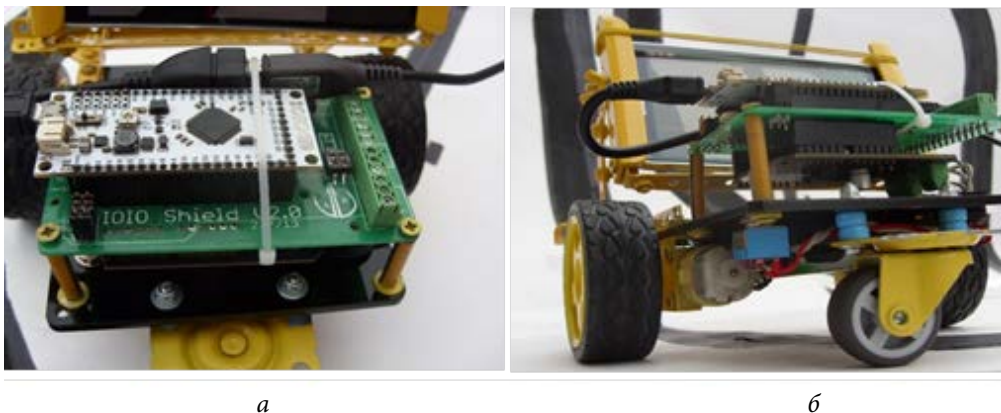


Рис. 8. Конструкция OpenCVBot:

- а* — плата IOIO с адаптером для шильдов Arduino (IOIO Shield зеленого цвета);
б — шильд драйвера моторов L298 под адаптером

В результате мобильный робот OpenCVBot стал более четко двигаться по сложной траектории, имеющей специальные визуальные «ловушки», предназначенные для проверки надежности программы.

Заключение. На примере созданного автомобиля-робота, оснащенного компьютерным зрением, доказана способность распознавать объекты, определять их размеры, различать знаки, буквы и видеть окружающую обстановку

с помощью компьютерного зрения. Все это позволяет создать беспилотный транспорт нового типа для применения в условиях реального уличного движения. Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Компьютерное зрение открывает большие перспективы как в развитии транспорта, так и в совершенствовании технологических процессов с обеспечением их безопасности для людей.

2. Оснащение роботов системой компьютерного зрения, построенной на операционной системе Android, является самым оптимальным вариантом. Лучше оснастить будущий автомобиль-робот десятком дешевых Android-устройств с камерами, чем использовать одну дорогую специальную камеру. Десять камер можно направить в разные стороны и увеличить угол обзора системы зрения. И, конечно, несколько одновременно работающих телекамер повышают надежность работы, особенно при движении в сложных условиях.

Литература

- [1] Есть ли жизнь без водителей? Часть 1. *infuture.ru: веб-сайт*. URL: <http://www.infuture.ru/article/1283> (дата обращения: 02.07.2019).
- [2] Howse J. Android application programming with OpenCV 3. Packt Publishing, 2015.
- [3] Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. O'Reilly Media, 2008.
- [4] Карпов В.Э. ПИД-управление в нестрогом изложении. *robofob.ru: веб-сайт*. URL: http://robofob.ru/materials/articles/pages/Karpov_mobline1.pdf (дата обращения: 02.07.2019).
- [5] Wescott T., Ботов А. Просто о ПИД-алгоритмах. *webhamster.ru: веб-сайт*. URL: <https://webhamster.ru/mytetrashare/index/mtb0/15420971244k978zgoya> (дата обращения: 15.01.2020).
- [6] Лукас В.А. Теория автоматического управления. М., Недра, 1990.
- [7] Филиппов С.А. Робототехника для детей и родителей. СПб., Наука, 2011.

Севастьянов Иван Витальевич — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Юренкова Любовь Романовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Севастьянов И.В. Исследование движения робота-андроида с компьютерным зрением. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 01(42). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-01-568>

THE STUDY OF THE MOVEMENT OF AN ANDROID ROBOT WITH COMPUTER VISION

I.V. Sevastianov

ivan.vital@mail.ru

SPIN-code: 2360-5777

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper investigates the possibility of using a computer vision system for the movement of an android robot. A mock-up is presented of an autonomous robot capable of passing a route and performing maneuvers like a real car. The novelty of the development lies in the fact that in a autonomous android robot two systems are used simultaneously: a computer vision system based on the Android OS, which allows it to traverse the track with markings without the use of sensors, and an IOIO board that helps the smartphone control the drives. The study proves the effectiveness of the introduction of computer vision in many areas. For example, you can use computer vision in traffic, to identify defects in parts in the foundry, to build neural networks in solving complex production problems, to ensure the safety of people, etc.

Keywords

Robot, android, design, layout, trajectory, computer vision, transport, OpenCV library, control law, regulator

Received 16.12.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Est' li zhizn' bez voditeley? Chast' 1 [Is there a life without drivers? Part 1]. *infuture.ru: website* (in Russ.). URL: <http://www.infuture.ru/article/1283> (accessed: 02.07.2019).
- [2] Howse J. Android application programming with OpenCV 3. Packt Publishing, 2015.
- [3] Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. O'Reilly Media, 2008.
- [4] Karpov V.E. PID-upravlenie v nestrogom izlozhenii [Proportional-integral differentiating control in non-formal statement]. *robofob.ru: website*. URL: http://robofob.ru/materials/articles/pages/Karpov_mobline1.pdf (accessed: 02.07.2019). (in Russ.).
- [5] Wescott T., Botov A. Prosto o PID-algoritmakh [PID without a PhD]. *webhamster.ru: website* (in Russ.). URL: <https://webhamster.ru/mytetrashare/index/mtb0/15420971244k978zgoya> (accessed: 15.01.2020).
- [6] Lukas V.A. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Automatic control theory]. Moscow, Nedra Publ., 1990 (in Russ.).
- [7] Filippov S.A. Robototekhnika dlya detey i roditeley [Robotics for kids and parents]. Sankt-Petersburg, Nauka Publ., 2011 (in Russ.).

Sevastianov I.V. — Student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Yurenkova L.R., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Engineering Graphics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Sevastianov I.V. The study of the movement of an android robot with computer vision. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 01(42). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-01-568.html> (in Russ.).