

Учебный проект робота, управляющего автомобилем

Цель данной работы — описать учебный проект для школьников старших классов по созданию робота-водителя, позволяющий обучать их программированию, схемотехнике, началам робототехники в процессе решения практически важных и интересных с научной точки зрения задач.

При широком разнообразии современных человекоподобных роботов программные средства для них зачастую недостаточно качественны. Некоторые действия, выполняемые животными и людьми просто и без раздумий, например движение по неровной местности или подъем по лестнице, для биоподобных роботов очень сложны, требуют тонких настроек и могут привести к серьёзным авариям при ошибках. Аналогичная ситуация складывается с восприятием роботов: для повседневных задач распознавания образов и анализа сцен требуются сложные алгоритмы и огромные ресурсы. Однако, можно избежать многих проблем, если применить в робототехнике биологически инспирированные модели.

Моделирование движений роботов путем копирования движений людей на практике используется часто. Однако, полное воспроизведение роботом работы центральных моторных программ человека может облегчить разработку систем управления и их проверку. Учебный проект позволяет школьникам сделать первые шаги в работе по этому перспективному направлению науки и техники. Кроме того, системы восприятия также могут более полно воспроизводить работу зрительных систем,

что позволит лучше структурировать системы компьютерного зрения и облегчит их разработку. В качестве примера применения метода биоподобия учащимся предлагалось создать систему, способную управлять моделью автомобиля.

В результате выполнения проекта школьники смогли освоить работу с андроидным роботом, способным манипулировать органами управления транспортными средствами (рычагами, рулевым колесом и кнопками), а также мобильной платформой для этого робота. Разработанная модель учебного робота YARP-3 позволяет легко вносить изменения в конструкцию, поощряя творчество учащихся. Программное обеспечение позволяет системе самостоятельно выполнять часть задач водителя (распознавание элементов управления автомобилем, распознавание некоторых видов препятствий, движение без столкновений). Проект разработан с учётом специфических для робототехники особенностей: междисциплинарности и соревновательности; он допускает внесение изменений как в математические формулировки поставленных задач, так и в методы реализации программных и аппаратных средств. Кроме того, в работе приводятся некоторые соображения по организации других обучающих робототехнических проектов, способных заинтересовать учащихся техническим творчеством.

Ключевые слова: биоподобные технологии, андроидная робототехника, учебный проект.

Petr S. Sorokoumov

National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia

The class project of cyber-driver

This article describes a class project of cyber-driver, i.e. an android robot controlling a mobile platform. This project can be used both to teach high-school students in programming, hardware design and foundations of robotic science by solving some important and scientifically interesting tasks.

Despite the great number of modern android robotics systems, their software controlling systems often have serious issues. Such actions as rough terrain movement or stairs climbing can be performed simply and accurately by both humans and animals but not by biosimilar robots.

The traditional systems in these cases demand many complex and precise settings to perform such movements and nevertheless they remain very vulnerable to random factors. In robotic perception models the situation is similar: casual human tasks as image recognition or scene analysis need complex algorithms and huge computer resources if performed by robots. Biologically-inspired models can improve matters in robotic science.

Human movement copying is often used for solving this problem in practice but it does not allow copying considerable aspects of movement controlling in nervous system. Both controlling quality and testing quality for the aforementioned tasks can be essentially improved if the robot uses techniques similar to central motor programs of human.

This project helps students to study this important domain. Besides, robotic perception can imitate biological systems more closely. Such biologically-inspired perception models give structure to computer vision systems and allow developing these systems quicker. The cyber-driver project is an example of biologically-inspired educational system.

The system proposed consists of android robot that can manipulate levers, wheels and buttons, and mobile robotic platform. Educational robotic platform YARP-3 allows easy modification of constructing arms and grippers encouraging students' creativity. The software of the robot can automatically perform some of the driver's tasks (indicators recognition, obstacle avoiding and movement without collisions). The project uses some key features of robotic science, which are interdisciplinarity and competitive spirit, to improve students' experience. The project's architecture allows modifications in both mathematical and practical aspects of the result system's description. Besides that, some extra suggestions about project-based inquiry in robotics are made.

Keywords: biosimilar technologies, android robotics, class project.

Введение

Дополнительное обучение детей техническим дисциплинам – широко распространённая практика. Она позволяет школьнику применить полученные в школе знания к реальным задачам, получить опыт самостоятельной работы, а также помогает профессиональной ориентации. Среди других технических дисциплин, преподавание которых возможно в этих условиях, робототехника вызывает особый интерес: область применения роботов постоянно расширяется, доступность их повышается, а спрос на специалистов пока в полной мере не удовлетворён. Поэтому создание качественных учебных программ для таких курсов кажется весьма важной задачей.

Обучение школьников робототехнике – задача весьма трудная. Конструирование и программирование роботов требуют знаний сразу во многих областях: механике, электротехнике, программировании, обработке данных. При этом программа обучения даже в специализированной школе не обеспечивает требуемых знаний и навыков; чаще всего эти предметы входят в состав курсов высшего образования. Некоторые школьники пытаются освоить требуемые дисциплины – например, радиотехнику или программирование – самостоятельно, с переменным успехом. Исходный уровень знаний как специальных, так и общеобразовательных дисциплин у разных учащихся отличается очень сильно. Различаются и их предпочтения в работе: некоторых интересует в первую очередь изготовление роботов, других – проектирование, третьих – программирование. Таким образом, обучать всех по единообразному учебному плану сложно – изложение необходимого материала займёт слишком много времени, значительная

часть его будет восприниматься многими учащимися как ненужная в их работе («зачем мне, будущему программисту, электроника?»), и это погасит в них всякий интерес к делу. Много трудностей возникает и в практических занятиях: чтобы сделать интересного робота, нужно много времени и усилий, нужно работать вместе с коллегами – даже для дипломированных специалистов регулярная методичная работа может оказаться слишком сложной и монотонной, не говоря о детях.

Преодолеть значительную часть описанных трудностей может позволить проектный подход [1]. Основная его идея – обучение в процессе выполнения заранее поставленного задания с чётко определённой целью (в данном случае цель – создание робота с заданными свойствами)[2]. Для успешного выполнения проекта проектная команда делится на коллективы, каждый из которых выполняет отдельное поставленное преподавателем задание – разработку одного из модулей робота. В данном случае под модулем понимается функционально законченная часть системы, которая взаимодействует с другими модулями заранее определённым образом и обладает внутренней структурой, доступной для понимания и модификации. Каждая группа непосредственно получает только те знания, которые необходимы для работы над его модулем, и сразу же применяет их на практике; это позволяет обучать коллективы в значительной степени независимо и адаптировать программу обучения при необходимости. В дальнейшем при сборке системы из модулей учащимся приходится взаимодействовать с коллегами из других групп, и это способствует закреплению полученных знаний у одних и пробуждает интерес к новым разделам у других.

Модули системы могут разрабатываться независимо друг от друга, если они удовлетворяют поставленным заранее требованиям. Устройство модулей не должно влиять на работоспособность итоговой системы (на эффективность, разумеется, оно влияет). Если умения учащихся позволяют это сделать, можно поручить им разработать несколько вариантов модуля, работающих по-разному. При этом дух состязательности, свойственный робототехнике, лучше вовлекает детей в работу. Многие школьники участвуют или хотя бы участвуют в соревнованиях роботов разных классов. Если организовать соревнования внутри коллектива разработчиков, можно сделать работу интереснее для учащихся, добавить зрелищности.

Изложенные выше основные принципы были использованы в заданиях, выполнявшихся школьниками в образовательном центре «Сириус» в июле 2016 г. и на молодёжном форуме в Ярославле в ноябре 2016 г. Далее излагаются теоретические предпосылки проекта робота-водителя, объясняется практическое и педагогическое значение поставленной перед школьниками задачи. В следующих разделах описывается общая архитектура системы, формулируются варианты её построения, излагается ход решения основных задач, а также делаются выводы о возможных применениях полученных результатов.

1. Теоретические основы проекта

Современные человекоподобные роботы – сложные и дорогие технические устройства, способные выполнять многие действия аналогично тому, как их выполняют люди: ходить на двух ногах, манипулировать предметами, узнавать людей, общаться с ними. Однако

многие действия, которые для людей не представляют сложности, андройды выполняют с большим трудом и множеством ошибок – например, подъём по лестнице, бег, работа одновременно двумя руками, то есть комплексные движения, требующие быстрой координации конечностей и органов чувств. Существующие решения этих задач обычно очень сложны и плохо адаптируются к изменяющейся обстановке.

Интересно, что такие задачи давно и успешно решаются живыми организмами. Если удастся раскрыть механизмы, позволяющие естественным нервным системам работать над такими задачами быстро и без сбоев, можно применить их в робототехнике [3]. Воплощение такого биоподобного подхода в роботах может привести к полезным практическим результатам достаточно быстро и надёжно, так как проверка корректности предлагаемых решений может сводиться к прямому сравнению с действующей моделью (биологическим организмом).

Исследования такого рода имеют большое научное значение, но в некоторых случаях можно применить их и для обучения. Если задачи, которые должен решать робот, достаточно просты, то можно разработать для него систему управления, в том числе и биологически-инспирированную, которая позволит достичь поставленной цели. В качестве демонстрационного варианта такой концепции была выбрана разработка робота, способного управлять моделью автомобиля.

Некоторые успехи в организации перевозки людей и грузов без водителей были достигнуты довольно давно: существуют автоматические поезда, автоматические космические аппараты, автопилоты для авиационной техники, не говоря о конвейерах, трубопроводах и т.п. Однако задача автоматизации автомобильно-

го транспорта оказалась весьма сложной. Связано это с огромным числом случайных факторов при вождении, которые обязательно надо учитывать: состояние дорожного полотна, погода, условия видимости, наличие других водителей, их поведение, состояние самого управляемого автомобиля и др., причём принимать решения необходимо быстро, а цена допущенной ошибки очень велика. Тем не менее, несмотря на все трудности, техника существенно продвинулась к созданию беспилотных транспортных средств [4,5]; эта область, очевидно, будет развиваться и дальше [6].

Автоматический автомобиль может быть переоборудован из обычного серийного образца с ручным управлением, хотя всё чаще встречаются и разработанные заново модели; иногда человек может перехватить управление, иногда – нет. Такое переоборудование автомобиля требует значительных усилий и существенных изменений конструкции. Но можно пойти другим путём – создать человекоподобного робота, который способен выполнять работу водителя обычного автомобиля без специального оборудования.

Такой робот должен будет обладать развитыми системами управления движением, компьютерного зрения и принятия решений; при его создании было бы необходимо привлечь обширный арсенал средств искусственного интеллекта. Очевидно, что задание в такой постановке слишком сложно для школьников, хотя и весьма перспективно с научной и практической точек зрения. Однако в учебном проекте можно ограничиться созданием малого антропоморфного робота для управления моделью автомобиля. Задача по его разработке очень хорошо подходит для начала работы с роботами, в том числе и для школьников.

Дело в том, что при создании любого робота, способного действовать аналогично человеку, весьма важно проверить его работу: насколько хорошо он справляется с типичными «человеческими задачами»? В каких ситуациях он действует лучше человека, в каких – хуже? И насколько хуже? Работа водителя подходит для такой проверки очень хорошо: во-первых, движения опытного водителя-человека отработаны, экономичны и вместе с тем разнообразны, он может при необходимости действовать очень быстро и точно, но может и расслабиться, если обстоятельства позволяют – ценное качество для экономии ресурсов робота. Во-вторых, водители-люди уверенно распознают приборы управления в незнакомой модели машины и со временем приспосабливаются к ним – это позволяет проверить системы восприятия и адаптации робота. В-третьих, роботом-водителем может быть проще управлять, потому что, пока он сидит, не нужно поддерживать его равновесие. Всё это делает робота-водителя привлекательным объектом исследований. Его работа наглядна, проста, доступна для понимания учащихся.

Результаты, полученные для таких роботов, могут иметь научную ценность. Они применимы в других разделах робототехники: например, умение точно двигаться, обучаясь при этом, можно использовать для создания более совершенных протезов конечностей, экзоскелетов, для обучения людей путём подражания роботам. В отдалённой перспективе такие исследования помогут создать антроида, движения которого неотличимы от человеческих. Описываемые далее варианты учебного проекта можно рассматривать как попытку направить обучение школьников в этом направлении.

2. Общее описание учебного робота

Робот-водитель – антропоморфная техническая система, которая способна управлять либо обычным серийным автомобилем без внесения в органы управления конструктивных изменений, либо же моделью автомобиля. Такие роботы имеются на рынке в достаточно большом количестве, но готовые образцы имеют некоторые недостатки:

- многие системы слишком громоздки и сложны в работе из-за использования большого количества точных приборов, требующих специальных навыков для работы и настройки. Такие роботы позволяют достичь хороших результатов, но высокая сложность снижает производительность исследователей, а стоимость мешает их широкому распространению. Примеры подобных систем – роботы Reem-C[7], Romeo[8], Kojiro, роботы DarpaRoboticChallenge [9,10];

- некоторые малые роботы обеспечивают упрощённый интерфейс для программирования, имеют встроенные средства взаимодействия со средой, доступны для модификации и развития, но недостаточно точны и моделируют людей слишком грубо. Таковы, например, роботы Darwin или NaoEvolution.

При разработке учебного робота сделана попытка совместить лучшие идеи указанных подходов. При этом робот собирается из стандартизованных компонентов, но некоторые аспекты человека (в данном случае строение рук) моделируются более тщательно, чем в обычных малых роботах (применение близкого по основной идее подхода описано, например, в [11]). Итоговая система позволяет управлять специально разработанной мобильной платформой удобнее, чем полноценные модели тела человека, и при этом дости-

гать хороших результатов. При этом для полноценного обучения школьники обязательно должны самостоятельно вносить изменения в конструкцию робота при желании или необходимости; если система ограничивает такие возможности (как LegoMindstorms), это может подавлять самостоятельную творческую активность детей.

Предлагаемая модель малого антропоморфного робота состоит из стандартизованного набора деталей, позволяя моделировать движения рук живого человека при выполнении различных манипуляций предметами, типичных в бытовых условиях. Имеющийся вариант кистей рук робота может работать только с джойстиком; при необходимости кисти можно менять. Помимо обучения детей, робот применим как исследовательская платформа в таких областях, как:

- биоподобное управление сложными системами – он может манипулировать теми

же приборами, что и человек, под управлением алгоритмов, схожих с применёнными в нервной системе человека;

- исследование дополненных реальностей высших порядков – робот может руководить работой удалённой мобильной платформы, то есть выполнять ту роль, какую сейчас играет в подобных системах человек-оператор. Добавление уровня косвенности управления позволяет облегчить работу оператора при выполнении сложных команд с жёсткими требованиями к точности;

- погружение оператора в контур управления системой – целью исследований в данной области является достижение неразличимости для системы компонентов-роботов и компонентов-людей.

При разработке необходимо было обеспечить выполнение нескольких важных требований. В первую очередь, разумеется, робот должен был имитировать движения руки человека достаточно качест-



Рис. 1. Схема взаимодействия компонентов разрабатываемой системы

венно, чтобы воспроизвести движения водителя; при этом он был адаптирован для работы с рычагом и джойстиком. В дальнейшем верхние конечности робота осваивают управление рулём и замком зажигания, нижние – педалями.

Далее, робот должен был иметь возможность видеть предметы аналогично тому, как их видит водитель. Помимо видеокamеры, для этого понадобится обрабатывающий компьютер, способный выделять в видеопотоке интересные для робота объекты: препятствия на дороге, полотно трассы или её края, приборы управления (рукоятку рычага, рулевое колесо, кнопки), индикаторы состояния автомобиля. Некоторые из этих объектов надо было находить в реальном времени.

Задачи планирования маршрута, картографирования, локализации на данном этапе не ставились. Пока лишь предполагается, что робот выполняет сформированные человеком-оператором высокоуровневые команды таким способом, чтобы мобильная платформа не сталкивалась с препятствиями.

Мобильная платформа для робота YARP-3 создана специально для данной задачи. Она включает в себя сиденье робота, приборную панель с джойстиком и индикаторами, а также дальномерные сенсоры, позволяющие распознавать препятствия и сообщать о них антропоморфному роботу через индикаторы. Для повышения безопасности системы в платформу встроены механизмы рефлекторного поведения, помогающие роботу избегать столкновений. На Рис. 1 показана схема взаимодействия компонентов разработанной системы.

Как видно из схемы на Рис. 1, система в целом воспроизводит организацию естественных биологических средств управления.

3. Аппаратное обеспечение робота

Корпуса робота и мобильной платформы выполнены из алюминиевых деталей; сочленения суставов изготовлены главным образом из пластика с применением 3D-печати. В качестве приводных моторов использованы двигатели Dynamixel AX-12A.

При проектировании электронной аппаратуры система была разделена на структурные компоненты; взаимодействия между ними были заранее формализованы и документированы, что обеспечило системе модульность, а учащимся – возможность планировать свою часть разработки независимо от коллег. Антропоморфный робот отправляет свои команды органам управления посредством механического

воздействия (в данной версии – движениями джойстика). Блок управления, в состав которого входит джойстик, способен передавать по радиосвязи команды на мобильную платформу; при этом благодаря наличию модуля беспроводной связи возможна работа с разными мобильными платформами в разное время, позволяющая роботу управлять как платформой, на которой он в данный момент помещается, так и другими платформами. При этом человек, управляющий роботом, в идеале должен воспринимать данный процесс как работу в условиях дополненной реальности: его команды передаются на платформу теми методами, о которых он может и не знать, но платформа при этом действует правильно. В случае, когда робот управляет удалённой плат-

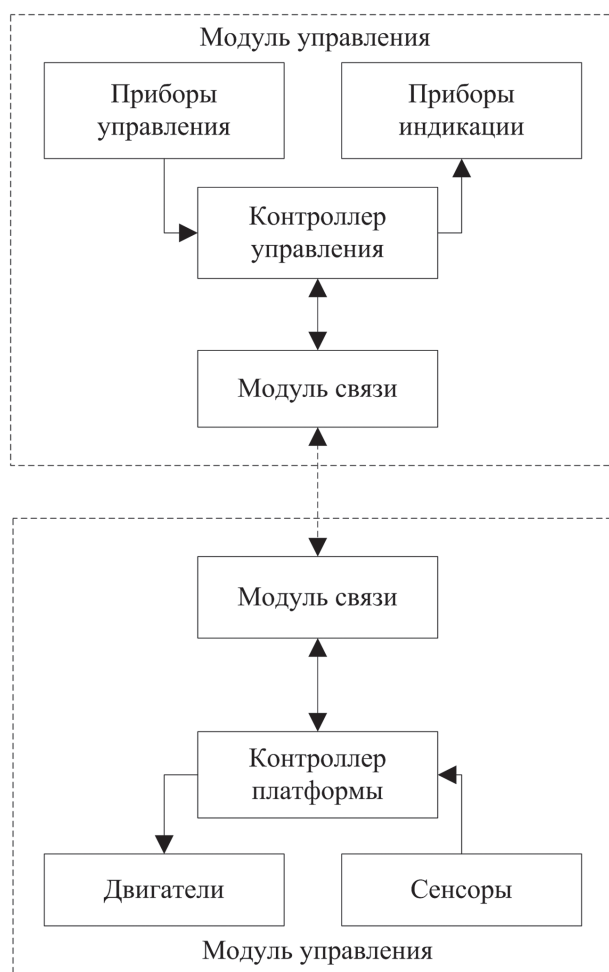


Рис. 2. Модульная структура аппаратного обеспечения мобильной платформы

формой, возникает эффект дополненной реальности второго порядка, когда робот выступает в роли оператора удалённого транспортного средства, которую обычно исполняет человек. Данные с мобильной платформы (информация о движении и окружающих препятствиях) передаётся на панель индикации, находящуюся перед роботом. Система компьютерного зрения воспринимает сигналы о препятствиях, меняя воздействие на органы управления при необходимости. Общая структура аппаратного обеспечения мобильной платформы представлена на Рис. 2.

Электронное оборудование антропоморфного робота включает в себя миниатюрный компьютер RaspberryPi, устройство связи с приводными моторами USB2Dynamixel, Web-камеру, систему питания. Компонент управления реализован на базе микроконтроллера Arduino, управление в текущей версии осуществляется джойстиком (возможна поддержка других устройств по протоколам, поддерживаемым контроллером), связь с мобильным компонентом работает по радиоканалу. Сам мобильный компонент включает в себя микроконтроллер (также Arduino), плату управления двигателями колёс, ультразвуковые датчики, модуль радиосвязи. Выбор данных компонентов вызван тем, что их программирование достаточно просто и доступно для детей; многие из участников проектов уже имели опыт работы с ними.

4. Программная система управления движением антропоморфного робота

Для управления движением конечностей робота необходимо решить т. н. обратную кинематическую задачу. Она заключается в том, чтобы для заданного манипулятора най-

ти такие положения суставов, чтобы его конец переместился в указанную точку. Несмотря на простую формулировку эта задача в общем случае весьма сложна [12, глава 4]; существует множество алгоритмов её решения для манипуляторов различных типов [13,14]. В простейшем случае управление движением конечностей робота осуществляется путём выбора целевой позы из заданного набора. Поза может задавать позицию любой комбинации моторов робота. Такая система требует предварительного обучения робота позам, которые он должен принимать; при этом иногда из-за возможности столкновений между частями робота может потребоваться, чтобы переход из одной позы в другую осуществлялся через промежуточные позы. Благодаря простоте алгоритма этот метод доступен для понимания учащихся, но требует обучения робота и не так хорошо адаптируется к изменениям конструкции, как некоторые другие известные методы обратной кинематики.

Однако для более эффективной работы необходимо управлять движениями робота более точно. Иногда для этого предлагают точно копировать движения человека с помощью специальных считывающих устройств, но этот подход позволяет воспроизвести только внешние проявления работы биологической системы управления, но не её существенные качества. Основная особенность управления движениями интересующих нас в данном случае типов у человека – формирование из отдельных примеров движений, повторяемых снова и снова, цельных моторных программ, то есть воспринимаемых человеком как единое целое сложных наборов движений, производимых с учётом многочисленных дополнительных факторов. Такие моторные программы позволят роботу применить тот

же подход, что и описанный ранее, но наборы движений и поз будут не избраны произвольно, а вычислены формально из наиболее часто встречающихся движений робота.

Решение этой задачи предлагается начать с создания обучающей выборки характеристик движений робота, которые считаются для решаемых задач типичными (например, разных видов перемещений джойстика). Эта выборка может быть получена путём ручного перемещения конечностей обучаемого робота либо из решения обратной задачи кинематики для модели робота. В состав каждого движения выборки входит общее описание типа движения (исходное положение, целевое положение, описание характера движения) и набор состояний системы при этом движении, куда могут входить позиции суставов и показания датчиков. Далее из выборки необходимо выделить некоторые характерные перемещения; это предлагается делать с помощью одного из алгоритмов параметризации больших объёмов данных, например сингулярным разложением матрицы, составленной из выбранных характерных фрагментов последовательных состояний системы [15]. Если из полученных описателей данных выбрать только наиболее значимые (в рассматриваемом случае – только сингулярные векторы, соответствующие нескольким максимальным сингулярным числам), то все собранные движения можно достаточно точно описать как линейные комбинации выбранных значимых описателей.

Далее можно проводить повторное обучение системы в процессе пробных запусков, каждый раз корректируя решаемые задачи и точность сохраняемых результатов. Отбор показателей, которые целесообразно использовать при формировании движений, можно проводить по аналогии

с естественным формированием центральных моторных программ человека: «Примерно к трем годам достаточное развитие получают зрительные обратные связи, осуществляющие текущий зрительно-моторный контроль, а с 5–6 лет происходит переход к текущему контролю движений с участием проприоцептивных обратных связей. Этот механизм достигает значительного совершенства к 7–9-летнему возрасту, после чего начинается переход к формированию механизма центральных команд. К возрасту 10–11 лет повышение скорости произвольных движений обеспечивается достаточным развитием процессов предварительного программирования их пространственных и временных параметров. С этого возраста представлены оба механизма управления произвольными движениями, дальнейшее совершенствование которых продолжается вплоть до 17–19 лет.» [16, с.80]. Иначе говоря, желательно, чтобы разные параметры вводились в модель движения на разных этапах обучения модели. При указанном выборе метода обучения решается и ещё одна важная задача: новые параметры (например, показания от только что установленных датчиков) можно включить в число описателей системы, не проводя полного повторного обучения. В целом данное решение позволяет воспроизвести некоторые функциональные особенности биологических систем, хотя возможны и другие варианты решения задачи.

5. Программная система восприятия окружающей обстановки

Для восприятия окружения робота использована специализированная система компьютерного зрения. Робот получает данные об окружении

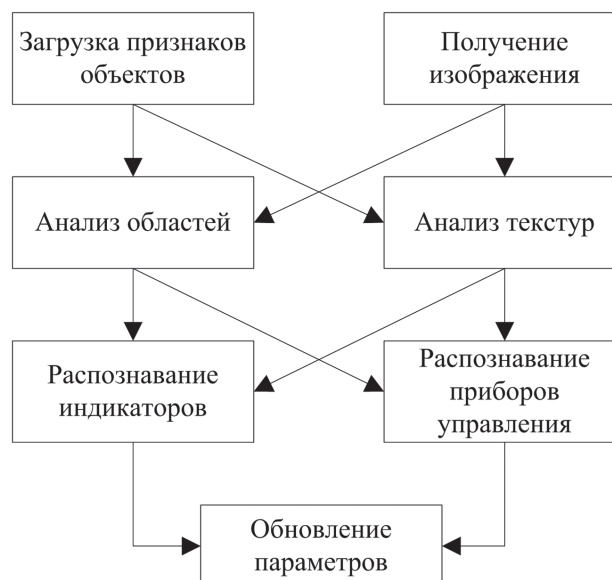


Рис. 3. Модульная структура системы восприятия

как из непосредственного наблюдения за обстановкой, так и по показаниям сенсоров мобильной платформы. Индикаторы, связанные с сенсорами, формируют приборную панель; работа робота с ней выполняется по аналогии с действиями водителя с приборной панелью. Сочетая показания приборов и непосредственные наблюдения, робот создает достаточно полную картину для успешной работы.

Система восприятия обрабатывает исходное изображение, перспективные для распознавания области. Для выявления на текущий момент используются либо тоновые (hue), либо текстурные признаки (энергетические признаки текстур Лоу [17] или их модификации [18]); конкретный вид искомым объектов задаётся составленным предварительно описанием. В наиболее простом варианте индикаторы задаются цветовыми тонами (разными для включенного и выключенного положения), а рукоятки приборов определяются текстурными признаками для облегчения работы при неоднородном меняющемся освещении.

Модульная структура данной системы представлена на Рис. 3.

Перечисленные алгоритмы реализованы на языке C++ (в том числе в его версии для микроконтроллеров Arduino). Полученная в результате разработки система пригодна как для учебного проекта, так и для проведения разнообразных научных исследований в области биоподобных технологий, например, для отладки систем восприятия на основе моделей сетчатки [19]. В дальнейшем планируется более явно воспроизвести естественную зрительную систему, например, организовав восприятие по иерархическим уровням в соответствии с моделями Марра [20] или аналогичными.

6. Результаты проектирования

Результатом проекта, выполнявшегося в образовательном центре “Сириус” в июле 2016 г., стал комплекс из робота-манипулятора, органов управления и мобильной платформы с сенсорами (Рис. 4). Стационарный манипулятор, работающий под управлением компьютера, мог отдавать команды мобильной платформе путём манипуляций с джойстиком. Программа распознавания, способная находить края дорожного полотна специаль-

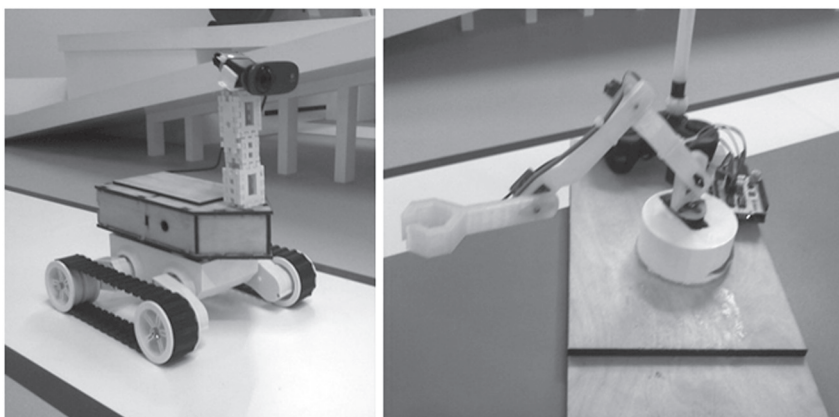


Рис. 4. Внешний вид компонентов первого варианта комплекса

но созданной трассы, позволяла роботу двигаться вдоль неё; также она позволяла распознавать дорожные знаки. Однако работа данной системы оказалась нестабильной из-за недостаточной мощности двигателей платформы и, как следствие, слабых способностей к маневрированию; кроме того, система распознавания также нуждалась в доработке.

Указанные недостатки были учтены при выполнении проекта в укороченном формате в ноябре 2016 г. Механическая часть антропоморфного робота

и платформы были подготовлены заранее, что позволило сосредоточиться на разработке программной части комплекса. Полученная система позволила антропоморфному роботу находиться на управляемой платформе, давать ей команды движения с помощью джойстика и распознавать сигналы о близких препятствиях со специальной панели. Общий вид робота показан на Рис 5.

Заключение

В целом поставленные цели проекта были достигнуты. Полученные системы способны управлять моделью автомобиля в простых условиях (присутствие разметки, чистое пространство для демонстрации). При работе в сложных условиях (движение по поворотам малых радиусов или с резкими переменаами освещения на дороге) система вела себя нестабильно; связано это с тем, что провести достаточно полный анализ слабых мест системы школьникам оказалось сложно. В целом итоги работы проектных команд следует признать удовлетворительными. Прототип требуемой системы был успешно создан, определены структура и функции

аппаратного и программного обеспечения, выявлены научные области, на которые следует обращать повышенное внимание в других школьных проектах аналогичной направленности (распознавание образов и целеполагание системы).

В дальнейшем могут быть созданы учебные проекты, продолжающие проведённые исследования, в том числе разработка методов распознавания образов, пригодных для распознавания дорожной обстановки;

- разработка моделей поведения транспорта на дорогах, позволяющих обеспечить быстрое и безопасное вождение;
- разработка совместной работы системы и внешних геоинформационных систем: различные методы SLAM, спутниковая навигация, инерциальная навигация и др.;
- разработка манипулятора, полностью пригодного для работы с реальными устройствами управления, и системы распознавания этих устройств;
- разработка новых, более компактных схемотехнических решений.

Существуют также обширные области знаний, вплотную прилегающие к исследованным в этих проектах, объединяемые под общим названием «создание биоподобных технических систем». В частности, очень перспективны для изучения и учебного проектирования исследования рефлексивных действий, структурных моделей моторных программ, обучающихся двигательных систем роботов, многоуровневое зрительное восприятие по Марру и Милнер и т.п. Работа в этих областях позволит учащимся в дальнейшем создавать системы управления роботами малоизученных сейчас типов.

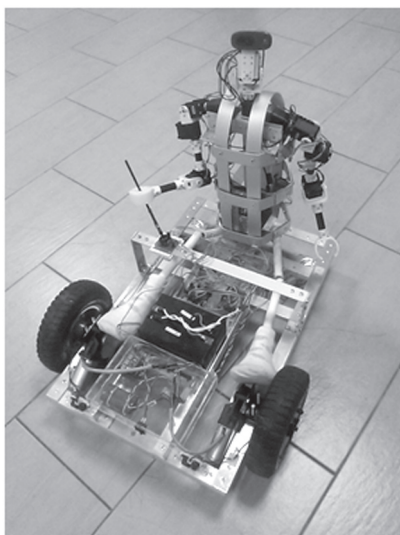


Рис 5. Внешний вид робота второго варианта комплекса

Литература

1. *Давыдова-Мартынова Е.И., Зюзюкова М.О.* Возможности современной школы: проектно-исследовательская деятельность как средство формирования ключевых компетенций. Открытое образование. 2016; (5): 61–67. DOI:10.21686/1818-4243-2016-5-61-67
2. *Thom Markham.* Project Based Learning Design and Coaching Guide: Expert Tools for Innovation and Inquiry for K-12 Educators. HeartIQ Press, San Rafael, California, 2012.
3. *Rolf Pfeifer, Max Lungarella, Fumiya Iida.* The Challenges Ahead for Bio-inspired ‘Soft’ Robotics // Communications of the ACM, November 2012, vol. 55, no. 11. DOI:10.1145/2366316.2366335
4. *Juan Rosenzweig, Michael Bartl.* A Review and Analysis of Literature on Autonomous Driving. The Making of innovation, e-journal, October 2015 // Электронный ресурс: http://www.michaelbartl.com/co-creation/wp-content/uploads/Lit-Review-AD_MoI.pdf
5. *Faieza A.A., Johari R.T., Anuar A.M., Rahman M.H.A., Johar A.* Review on Issues Related to Material Handling using Automated Guided Vehicle. Advanced Robot Automation 5: 140.2006. DOI: 10.4172/2168-9695.1000140
6. *Todd Litman.* Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute, 27 February 2017 // Электронный ресурс: www.vtpi.org/avip.pdf
7. REEM-C: робототехнические исследования // Электронный ресурс: <http://pal-robotics.com/ru/products/reem-c/>
8. Romeo robot development // Электронный ресурс: <http://projetromeo.com/en/development>
9. *Evan Ackerman and Erico Guizzo.* DARPA Robotics Challenge: Amazing Moments, Lessons Learned, and What’s Next. IEEE Spectrum, June 11, 2015. // Электронный ресурс: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/darpa-robotics-challenge-amazing-moments-lessons-learned-whats-next>
10. *C. G. Atkeson, B.P.W. Babu, N. Banerjee et al.* No falls, no resets: Reliable humanoid behavior in the DARPA robotics challenge. // IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids), 2015. DOI: 10.1109/HUMAN-ROIDS.2015.7363436
11. *Christian Smith, Henrik I. Christensen.* Robot Manipulators. Constructing a High-Performance Robot from Commercially Available Parts. // IEEE robotics & automation magazine, vol. 16, no 4, 2009. pp. 75–83 DOI: 10.1109/MRA.2009.934825
12. *J.J. Craig.* Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd Edition). Pearson/Prentice Hall, 2005. ISBN-13: 978-0201543612
13. *Andreas Aristidou, Joan Lasenby.* Inverse Kinematics: a review of existing techniques and introduction of a new fast iterative solver //

References

1. *Davydova-Martynova E.I., Zyuzukova M.O.* Vozmozhnosti sovremennoy shkoly: proektno-issledovatel’skaya deyatel’nost’ kak sredstvo formirovaniya klyuchevykh kompetentsiy. Otkrytoe obrazovanie. 2016; (5): Pp. 61–67. DOI:10.21686/1818-4243-2016-5-61-67 (in Russ.)
2. *Thom Markham.* Project Based Learning Design and Coaching Guide: Expert Tools for Innovation and Inquiry for K-12 Educators. HeartIQ Press, San Rafael, California, 2012.
3. *Rolf Pfeifer, Max Lungarella, Fumiya Iida.* The Challenges Ahead for Bio-inspired ‘Soft’ Robotics // Communications of the ACM, November 2012, vol. 55, no. 11. DOI:10.1145/2366316.2366335
4. *Juan Rosenzweig, Michael Bartl.* A Review and Analysis of Literature on Autonomous Driving. The Making of innovation, e-journal, October 2015 // [Electronic resource]. Available at: http://www.michaelbartl.com/co-creation/wp-content/uploads/Lit-Review-AD_MoI.pdf
5. *Faieza A.A., Johari R.T., Anuar A.M., Rahman M.H.A., Johar A.* Review on Issues Related to Material Handling using Automated Guided Vehicle. Advanced Robot Automation 5: 140.2006. DOI: 10.4172/2168-9695.1000140
6. *Todd Litman.* Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute, 27 February 2017 // [Electronic resource]. Available at: www.vtpi.org/avip.pdf
7. REEM-C: robototekhnicheskie issledovaniya // [Electronic resource]. Available at: <http://pal-robotics.com/ru/products/reem-c/> (in Russ.)
8. Romeo robot development // [Electronic resource]. Available at: <http://projetromeo.com/en/development>
9. *Evan Ackerman and Erico Guizzo.* DARPA Robotics Challenge: Amazing Moments, Lessons Learned, and What’s Next. IEEE Spectrum, June 11, 2015. // [Electronic resource]. Available at: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/darpa-robotics-challenge-amazing-moments-lessons-learned-whats-next>
10. *C. G. Atkeson, B.P.W. Babu, N. Banerjee et al.* No falls, no resets: Reliable humanoid behavior in the DARPA robotics challenge. // IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids), 2015. DOI: 10.1109/HUMAN-ROIDS.2015.7363436
11. *Christian Smith, Henrik I. Christensen.* Robot Manipulators. Constructing a High-Performance Robot from Commercially Available Parts. // IEEE robotics & automation magazine, vol. 16, no 4, 2009. pp. 75–83 DOI: 10.1109/MRA.2009.934825
12. *J.J. Craig.* Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd Edition). Pearson/Prentice Hall, 2005. ISBN-13: 978-0201543612
13. *Andreas Aristidou, Joan Lasenby.* Inverse Kinematics: a review of existing techniques and introduction

Электронный ресурс: <http://www.andreasristidou.com/publications/CUEDF-INFENG,%20TR-632.pdf>

14. Yuquan Wang, Christian Smith, Yiannis Karayiannidis, and Petter Ögren. Whole Body Control of a Dual-Arm Mobile Robot Using a Virtual Kinematic Chain // International Journal of Humanoid Robotics, vol. 13, no. 01, 2016.

15. M.Wall, A.Rechtsteiner, L.Rocha. Singular value decomposition and principal component analysis // in book: A Practical Approach to Microarray Data Analysis (D.P. Berrar, W. Dubitzky, M. Granzow, eds.). Kluwer: Norwell, MA, 2003. Pp. 91–109.

16. Физиология человека: Учебник для вузов физ. культуры и факультетов физ. воспитания педагогических вузов / Под общ.ред. В.И. Тхоревского. — М.: Физкультура, образование и наука, 2001.

17. Linda G. Shapiro and George C. Stockman. Computer Vision, Upper Saddle River: Prentice–Hall, 2001.

18. Ömer Faruk Ertuğrul. Adaptive texture energy measure method. International Journal of Intelligent Information System, 2014, no 3(2), pp. 13–18.

19. Herault Jeanny. Vision: Images, Signals and Neural Networks-Models of Neural Processing in Visual Perception. WorldScientific, 2010.

20. Marr Д. Зрение: Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. — М., «Радио и связь», 1987.

of a new fast iterative solver // [Electronic resource]. Available at: <http://www.andreasristidou.com/publications/CUEDF-INFENG,%20TR-632.pdf>

14. Yuquan Wang, Christian Smith, Yiannis Karayiannidis, and Petter Ögren. Whole Body Control of a Dual-Arm Mobile Robot Using a Virtual Kinematic Chain // International Journal of Humanoid Robotics, vol. 13, no. 01, 2016.

15. M.Wall, A.Rechtsteiner, L.Rocha. Singular value decomposition and principal component analysis // in book: A Practical Approach to Microarray Data Analysis (D.P. Berrar, W. Dubitzky, M. Granzow, eds.). Kluwer: Norwell, MA, 2003. Pp. 91–109.

16. Fiziologiya cheloveka: Uchebnik dlya vuzov fiz. kul'tury i fakul'tetov fiz. vospitaniya pedagogicheskikh vuzov / Pod obshch.red. V.I. Tkhorevskogo. — М.: Fizkul'tura, obrazovanie i nauka, 2001. (in Russ.)

17. Linda G. Shapiro and George C. Stockman. Computer Vision, Upper Saddle River: Prentice–Hall, 2001.

18. Ömer Faruk Ertuğrul. Adaptive texture energy measure method. International Journal of Intelligent Information System, 2014, no 3(2), Pp. 13–18.

19. Herault Jeanny. Vision: Images, Signals and Neural Networks-Models of Neural Processing in Visual Perception. WorldScientific, 2010.

20. Marr D. Zrenie: Informatsionnyy podkhod k izucheniyu predstavleniya i obrabotki zritel'nykh obrazov. — М., «Radio i svyaz'», 1987. (in Russ.)

Сведения об авторе

Петр Сергеевич Сорокоумов

Инженер-исследователь

Национальный исследовательский центр

«Курчатовский институт», Москва, Россия

Эл. почта: petr.sorokoumov@gmail.com

Information about the author

Petr S. Sorokoumov

Engineer-researcher

National Research Center “Kurchatov Institute”,

Moscow, Russia

E-mail: petr.sorokoumov@gmail.com