

Введение в робототехнику

Вадим Жмудь¹, Ярослав Носек², Любомир Димитров³

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

²Технический университет Либерец, Либерец, Чехия

³Технический университет Софии, София, Болгария

Аннотация. Данная статья адресована студентам и аспирантам с целью ознакомления их с основными направлениями применений и принципами создания роботов. Актуальность статьи определяется отсутствием систематизированных материалов, с чем автору пришлось столкнуться при попытке написания учебного пособия по робототехнике. Поисковые системы предлагали отечественные учебники, написанные в девяностых годах прошлого века, а также разрозненные статьи, посвященные конкретным узким направлениям по проблеме в целом. Поиск преимущественно дает либо слишком старые книги, либо занимательные книги для школьников, либо практикумы для программирования, или инструкции по созданию моделей робота из наборов ЛЕГО. Такова, например, книга «Филиппов С.А. Робототехника для детей и родителей. – СПб.: Наука, 2013. 319 с.» <https://studfile.net/preview/3602333/>. Вместе с тем эта книга видится достаточно странной, поскольку странно видеть в книге, написанной для детей, относительно сложные формулы, как, например, в разделе, посвященном ПИД-регуляторам <https://studfile.net/preview/3602333/page:10/>. Этот материал изложен отнюдь не прозрачно, читать этот раздел скучно даже специалисту, поэтому едва ли такой материал подходит детям и даже их родителям (если они не являются специалистами по робототехнике). Но вместе с тем на первых страницах этого труда находим также достаточно тяжеловесные перечисления разработчиков и фирм, что иллюстрируется игрушкой из конструктора ЛЕГО. Если читатели интересуются игрушками, изображающими роботов, то, к его радости, как раз ссылки на магазины подобных игрушек наиболее часто попадают в найденных по запросу «робототехника» страницах пространства Интернет. Но это отнюдь не тот материал, на котором можно строить не только преподавание в университете, но даже первую лекцию по робототехнике на самом первом курсе университета, или хотя бы на факультативе в школе для восьмого класса. На этом основании целесообразно дать обзорную статью современного состояния для лиц в возрастной категории старше школьников, но младше пенсионеров.

Ключевые слова: роботы, андроиды, сигвеи, дроны, робототехника, MEMS

ВВЕДЕНИЕ

«Робот (чеш. robot, от robota – «подневольный труд») – автоматическое устройство, предназначенное для осуществления различного рода механических операций, которое действует по заранее заложённой программе».

Википедия, статья «Робот» [1].

Идея создания роботов, полностью идентичных по функциям человеку, привлекает умы человечества уже почти сто лет. В прагматическом понимании роботами называют любые относительно сложные механизмы, управляемые с помощью вычислительной техники, которые могут выполнять операции, более сложные, чем выполняются обычными станками, механизмами, типичными транспортными средствами.

В частности, механические манипуляторы, осуществляющие сборку сложной продукции на конвейере, могут быть отнесены к робототехнике. Также в ней относят беспилотные транспортные средства, которые способны самостоятельно ориентироваться в пространстве и на местности, определять и корректировать траекторию движения в зависимости от обстановки и перемещаться к нужной цели, выполняя поставленные задачи.

С роботами также часто связывают искусственный интеллект. В этом вопросе среди специалистов наметились некоторые разногласия. Некоторые специалисты полагают, что термин «искусственный интеллект»

ошибочно применяется к компьютерам, решающим относительно сложные задачи, но все же интеллектом как таковым не обладающим. Другие же считают, что этот термин следует применять как можно шире, включая в него практически почти все относительно сложные решающие устройства, а для человекоподобного интеллекта предлагается сохранить термин «искусственный разум».

Для исключения большинства непродуктивных дискуссий целесообразно договориться о терминологии и далее ее неукоснительно соблюдать.

На различных конкурсах для молодежи зачастую в соревнованиях роботов участвуют механические устройства, роботами не являющиеся, тогда как те устройства, которые вполне отвечают понятию робота, зачастую так не называют.

Далеко не всякое механическое устройство, пусть даже внешне похожее на человека и способное совершать действия конечностями, аналогичные действиям человека, является роботом. Для того, чтобы устройство можно было называть роботом, требуется, чтобы оно было способно анализировать хотя бы какие-то внешние сигналы, несущие информацию об окружающей среде и (или) об ориентации либо местоположении этого устройства. Также требуется, чтобы это устройство действовало согласно получаемой информации. Если все функции управления в зависимости от сигналов датчика осуществляет человек (оператор), то такое устройство, как правило, не называют

роботами, а называют манипуляторами. Однако, относительно новое направление, связанное с разработкой экзоскелетов, безусловно, относится к робототехнике. Здесь нет никакого противоречия, поскольку экзоскелеты используют датчики усилий или иные датчики, снимающие сигналы с организма пилота, эти сигналы формируют управляющие воздействия на электромеханические приводы, приводящие в движение конструкцию, а для более эффективной и точной работы практически всегда в этих устройствах имеются датчики фактического положения отдельных элементов конструкции, сигналы с которых используются для обратной связи, обеспечивающей требуемую динамическую и статическую точность управления движением. Не являются роботами всевозможные игрушки или автоматы, выполняющие последовательность движений по заданной программе абсолютно независимо от положения, ориентации, внешней ситуации. Это всего лишь заводные игрушки, даже в том случае, если они сделаны не только на основе чисто механических устройств, но и с использованием вычислительной техники. Микроконтроллер может формировать сигналы управления исключительно на основе внутренних тактовых сигналов. Специально сделаем оговорку: измерение времени не является использованием датчика окружающей реальности, управление по командам, формируемым только на основании времени, не является управлением на основании результатом измерений окружающей действительности. Разработка робота требует следующих действий: а) разработка общей идеи его функционирования; б) разработка отдельных элементов и способа их соединений; в) разработка способа приведения всех элементов и подвижных устройств в движение; г) разработка набора датчиков (сенсоров); д) разработка правил управления подвижными частями на основании сигналов от датчиков; е) реализация этих правил путем создания алгоритмов управления; ж) реализация управляющего устройства путем использования цифровой техники (как правило, микропроцессорной техники, микроконтроллеров); з) изготовление всех необходимых в соответствии с полученной концепцией элементов конструкции и электронной техники и соединение их воедино; и) разработка соответствующего программного обеспечения и отладка всего устройства в комплексе. Перечислим основные наиболее известные классы робототехнических устройств.

1. РОБОТЫ-АНДРОИДЫ

Эти роботы предназначены для как можно более точного копирования всех механических двигательных функций человека. В идеале предполагается, что такие роботы также смогут

копировать и все средства восприятия действительности, которыми обладает человек, т.е. все пять органов чувств, а также что они в будущем смогут обладать схожим интеллектом, то есть почти полностью будут идентичны человеку. На вершине этого идеалистического представления находится существо, внешне не отличимое от человека, которое обладает некоторыми функциями восприятия и (или) управления более совершенными, чем человек.



Рис. 1. Робот-андроид из публикации [2]

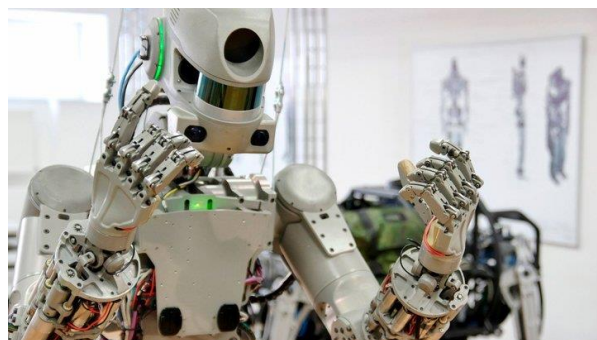


Рис. 2. Робот-андроид из публикации [3]



Рис. 3. Робот-андроид из публикации [4]



Рис. 4. Робот-андроид из публикации [5]

Примером таких андроидов является широко известный терминатор из серии фильмов режиссера Камерона. В этот класс входят также и роботы, при изготовлении которых конструкторы вовсе не стремились делать их внешне похожими на человека, а только стремились воспроизвести функциональную идентичность движений.

2. РОБОТЫ, ИДЕНТИЧНЫЕ ДРУГИМ ЖИВЫМ СУЩЕСТВАМ

К этой группе относятся разнообразные механические существа, движущиеся подобно любым другим живым существам в живой природе. Известны роботы, шагающие как четвероногие животные (лошади, собаки и т.п.), и как насекомые – шестиногие жуки, пауки, крабы, многоножки, и т. д.



Рис. 5. Робот-котенок из публикации [6]



Рис. 6. Робот-паук из публикации [7]

Также известны роботы, заимствующие способ передвижения у пресмыкающихся – ящериц, змей, лягушек и т. п. Известны роботы, перемещающиеся с помощью того же принципа, который используют кольчатые черви, летающие за счет маховой подъемной силы, подобно тому, как это делают птицы или летучие мыши, парящие как птицы или парящие рептилии или млекопитающие и т.п. Также сюда относятся роботы, имитирующие движения подводных животных (рыб, каракатиц, кальмаров, осьминогов, дельфинов и т. п.). Поскольку количество различных видов живых существ весьма велико, далеко не все способы их передвижения уже воплощены в виде робототехнических устройств. Некоторые формы движения весьма перспективны.



Рис. 7. Робот-лошадь из публикации [8]

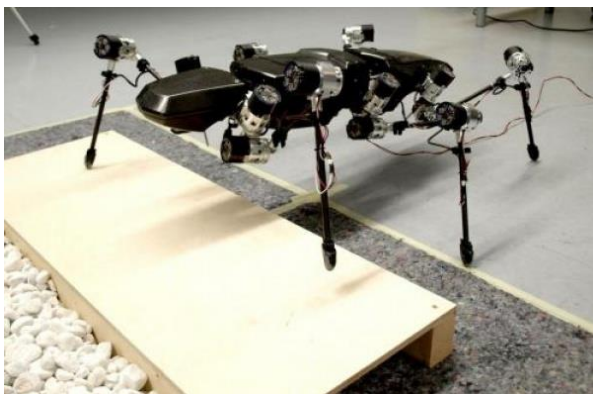


Рис. 1.8. Робот-жук из публикации [9]



Рис. 11. Робот-дрон из публикации [12]



Рис. 10. Робот-бабочка из публикации [10]

3. РОБОТЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ТЕХНОГЕННЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Сюда относятся беспилотные движущиеся устройства, использующие все возможные достижения человеческой творческой мысли. Сюда относятся беспилотные самолеты, вертолеты, дроны (например, специальные вертолеты, имеющие более двух винтов, как правило, четыре или больше, что придает им большую маневренность).



Рис. 12. Робот-дрон из публикации [13]

Также сюда относятся различные подводные и воздушные роботы, использующие гребные винты, крылья (не совершающие маховые движения), реактивную тягу, наземные устройства с колесной и гусеничной тягой и т. п. К этому виду роботов относятся балансирующие роботы,двигающиеся на двух колесах, на одном колесе и даже на шарообразной опоре, так называемые «шароботы».

4. ЭКСОСКЕЛЕТЫ

К этому классу роботов относятся внешние конструкции, надеваемые на человека для того, чтобы усилить действия его конечностей. В некоторых случаях экзоскелеты позволяют резко повысить возможности человека для выполнения специфических операций, таких, как тушение пожара, переноска больших грузов, точное манипулирование тяжелыми предметами и т. п. В других случаях экзоскелеты помогают инвалидам осуществлять такие движения, которые здоровый человек может осуществлять без их помощи.



Рис. 10. Робот на гусеничной тяге из источника [11]

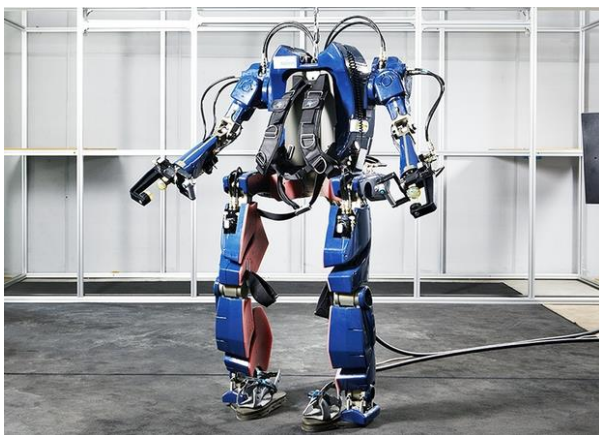


Рис. 13. Экзоскелет из источника [14]

5. ПРОТЕЗЫ КОНЕЧНОСТЕЙ И ИНЫХ ОРГАНОВ

Этот класс робототехнических устройств имеет целью восполнить утраченные функции для инвалидов. Это может быть искусственная кисть руки, или целая рука, искусственная нога или даже две ноги, встречаются также роботы, полностью заменяющие обе руки или обе ноги. Технически пока еще невозможно изготовить роботов, заменяющих человеку глаза, но существенно улучшить возможности зрения могут простые очки, которые к изделиям робототехники не относят. Также не относят к ним слуховые аппараты. Однако если будет сделана «искусственная кожа», это, по-видимому, будет очередное достижение робототехники, также как и «искусственный глаз». Сообщается, что это устройство уже может полностью заменить человеческий глаз: «Argus II – новейшая разработка американской компании *Second Sight Medical Products*. Это ни что иное как первый в мире искусственный, бионический глаз. Он поможет «вернуть» зрение даже абсолютно слепым людям. Самое главное, что в течение тестируемого периода, 1 год, у всех испытуемых были только положительные результаты. Работа над *Argus II*, как назвали его создатели, заняла у ученых один год научных исследований. Имплант был выпущен в лаборатории американской компании *Second Sight Medical Products*. Но изобретение уже снискало одобрение и у европейцев.

Устройство работает следующим образом: клетки фоторецепторов преобразуют попадающий в глаз свет в импульс, который поступает в мозг через оптический нерв. Для этого в сетчатку био-глаза были встроены 60 электродов. Были проведены клинические испытания, в которых приняли участие 30 человек в возрасте от 28 до 77 лет, все из них были абсолютно слепы. Успех каждого был строго индивидуальным, кому-то это помогло в больше степени, кому-то в меньшей. Но главное, что удалось выяснить разработчикам, – глаз действительно работает. Американцы

рассчитывают сделать свое изобретение общедоступным. «Это первый бионический глаз, который может попасть на мировой рынок. У нас уже есть счастливые пациенты, которым изобретение помогло хотя бы частично вернуть зрение. Это удивительно, но некоторые даже читают газеты», – заявил глава компании-производителя Брайан Мек. *Argus II*, в частности, призван помочь людям, страдающим пигментным ретинитом. Это редкое наследственное заболевание, при котором состояние сетчатки глаза медленно, но прогрессивно ухудшается, вызывая развитие слепоты. Только в США этим недугом страдают около 100 тыс. человек». «Мек также заявил, что *Argus II* уже доступен в ряде европейских стран по цене €73 тыс. за штуку. В США, по его словам, он, скорее всего, будет стоить дороже. Следующим шагом разработчиков станет создание более усовершенствованной версии бионического глаза, с большим количеством микро-имплантов и, как следствие, более высоким разрешением» [15].



Рис. 14. Искусственная рука из публикации [16]

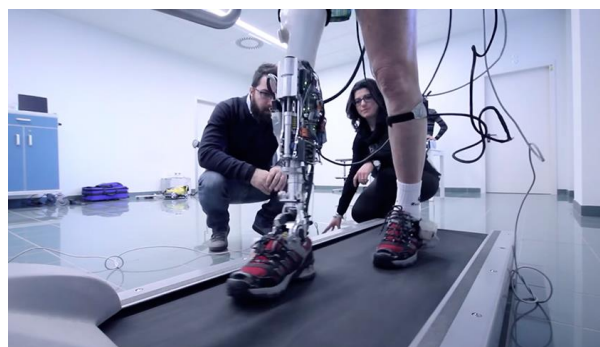


Рис. 15. Искусственная нога из публикации [17]



Рис. 16. Искусственный глаз из публикации [18]

6. РОБОТЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНО ПРЕВЫШАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Полное дублирование возможностей человека совершенно не обязательно является наилучшим решением. Известно, что человек не совершенен по многим своим физическим возможностям даже в сравнении с другими живыми существами. Наилучшим цветоощущением обладает рак-богомол, лучшей чувствительностью обладает сова, более широким углом зрения обладает паук с его восемью глазами, более полным круговым обзором, по-видимому, обладает стрекоза или муха, лучшим стереоскопическим зрением обладает рыба-молот и так далее.

Человек же видит только то, что находится в относительно небольшом угле обзора, стереоскопическое зрение достигается в еще меньшем угле и зависит от ориентации. Если поставить небольшое вертикальное препятствие вблизи переносицы, человек сможет заглянуть за это препятствие благодаря наличию двух глаз, но если препятствие будет расположено горизонтально, эта возможность исключается. Две пары техногенных глаз, находящиеся одна над другой, позволили бы получить этот эффект и в случае горизонтального препятствия, несколько подобных пар по всей окружности головы позволили бы наблюдать полную картину во всех направлениях, наличие таких устройств в вертикальном направлении (например, на специальном шлеме) позволило бы наблюдать за ситуацией наверху и в случае опасности избежать ее.

Подобные усовершенствования могут касаться и других органов чувств. Здесь можно говорить о двух направлениях развития. Во-первых, человек, выполняющий особо сложные или ответственные работы, мог бы быть снабжен дополнительной информацией, которая бы передавалась ему в той форме, в которой ему ее легче воспринять. Так, например, отсутствие глаз на затылке препятствует успешному вождению транспорта, но это восполняется наличием зеркал заднего вида, а в последних версиях эти функции еще более успешно выполняют видеокамеры заднего вида. Такие дополнительные камеры позволяют более успешно осуществлять парковку, движение задним ходом в условиях недостаточно большого пространства для манипулирования. Подобные устройства могут обеспечить лучшие функциональные возможности человека вне транспортного средства. Примером могут служить очки ночного зрения, зеркала или камеры заднего вида на шлеме и т.п.

Другое направление применения такого подхода – снабжение транспортных средств, управляемых программно без пилота, дополнительными датчиками для более полного

восприятия пространства, более полного, чем это делает пилот.

Такое избыточное по сравнению с возможностями человека восприятие пространственной картины позволяет разрабатывать беспилотные транспортные средства, которые не просто конкурировали бы по безопасности с пилотируемыми транспортными средствами, но существенно превышали бы их возможности, поскольку могли бы предвидеть опасности гораздо более эффективно, чем водитель-человек.

7. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ РОБОТОВ И ЕЕ КРИТИКА

Распространённый ресурс Википедия дает свою классификацию роботов, с которой можно частично согласиться, частично поспорить.

В частности, этот ресурс предлагает следующую классификацию «по строению: а) Андроид (человекообразный робот); б) Биоробот — человек или животное, у которого вместо мозга вставлен имплантат (процессор), всё остальное тело — органическое». Биоробот в указанной концепции в настоящее время – некая данность, взятая из фантастической литературы. Эта данность не является предметом рассмотрения данной книги. Следовательно, все остальные роботы подпадают под категорию «Андроид», что категорически неверно. Это же противоречит и последующей классификации, и именно, по функциональному назначению.

По функциональному назначению Википедия предлагает следующую классификацию: «В зависимости от функционального назначения, выделяют следующие типы роботов: Промышленный робот, Транспортный робот, Подводный робот, Бытовой робот, Боевой робот, Зооробот, Звероробот, Летящий робот, Медицинский робот, Аптечный робот, Микроробот, Наноробот, Персональный робот, Промо-робот, Педикулятор, Робот-артист, Робот-игрушка, Робот-официант, Робот-программа, Робот-хирург, Робот-экскурсовод, Социальный робот, Шаробот, Секс-робот» [1]. Эта классификация нарушает стандартные принципы любой классификации, согласно которым каждая единица классифицируемого множества должна принадлежать только одному подмножеству. В этой классификации замешаны как уже существующие роботы, так и те, которые существуют лишь в фантазии (например, персональный робот, выполняющие все функции робота-слуги наподобие персонального компьютера, который выполняет все вычислительные функции). Не понятен смысл выделения в отдельный класс аптечного робота, более широким классом мог бы быть автомат для торговли, или еще более широкий класс – автомат для управления складским хозяйством и

торговли. Такой автомат может иметь признаки робототехники, но в целом это – система манипуляторов с управлением от стационарного компьютера.

Понятие медицинского робота, по-видимому, слишком общее, в этом понятии целесообразно выделить отдельные виды, например, робот, содействующий хирургическим операциям, это совсем не то же самое, что роботизированная койка для реанимации или для тяжелого больного.

Далее в этой статье в Википедии даются некоторые примеры, которые в ряде случаев не включены в данную классификацию, например, роботы для обеспечения безопасности, роботы-учителя, роботы-ученые.

К роботам-ученым совершенно неправомерно отнесены обычные дистанционно управляемые тележки с видеокамерами всего лишь на том основании, что с их помощью были сделаны некоторые научные открытия в области строения пирамиды Хеопса. С таким же успехом к этому классу можно в таком случае отнести любое техническое средство, используемое в науке, например, электронный микроскоп или батискаф.

Выделение секс-роботов в отдельный класс, нелепо, это явно подвид роботов-игрушек, о которых также едва ли уместно широко распространяться. Робот-официант – это частный случай персонального робота, понятие зоробот включает в себя понятие звероробот, вне зависимости от того, что имеется в виду, поскольку понятие зверь включается в понятие биологического существа. Понятие боевого робота может включать в себя и летающего робота тоже, поэтому если классификация выделяет летающих роботов в отдельный класс, тогда во всех остальных классах летающий робот не должен присутствовать.

То есть если подразделять роботов по способам передвижения, тогда следует в класс летающих включить два подкласса – летающих в безвоздушном пространстве и летающих только в воздушном пространстве, а в других классах должны присутствовать неподвижные, шагающие, колесные, гусеничные, иные наземные (например, перемещающиеся по методу змеи и т.п.), роющие, плавающие (подразделяющиеся на подводные и надводные) и амфибии (т.е. двигающиеся на поверхности грунта и по поверхности воды), а также, возможно, иные, сочетающие два или больше способа передвижения. Летающие в воздушном пространстве могут также подразделяться на летающие по принципу традиционного самолета, реактивного самолета, вертолета, планера, махолета, дирижабля и просто воздушного шара, а также, возможно, летающие на иных принципах или совмещающие несколько принципов перемещения. Подводные аппараты также могут перемещаться по принципам,

копирующим движение традиционной подводной лодки с винтом, либо торпеды, либо рыбы (изгибы влево-вправо), либо морского млекопитающего (изгибы вверх-вниз), либо морской змеи (оба вида изгибов), либо морской черепахи (корпус с веслами) и т.д. Роющие роботы также могут перемещаться по самым разнообразным принципам действия, например, как дождевой червь, или как крот, или как машина, прокладывающая туннель, и так далее.

8. МЕХАТРОНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РОБОТОВ

Первые роботы собирали радиолюбители из отдельных радиодеталей, которые составляли электронные узлы. Эти узлы полностью описывались с помощью их электрической принципиальной схемы. Электрическая принципиальная схема – содержит условные изображения только электронных элементов и соединений между ними. На первых этапах это были резисторы, дроссели, конденсаторы, трансформаторы и различные лампы, далее лампы вытеснили полупроводниковые элементы – диоды, триоды (транзисторы) и более сложные элементы. Затем появились сборки из нескольких полупроводниковых элементов, далее промышленность стала выпускать микросхемы, которые содержали в себе уже целые узлы, имеющие универсальное или специализированное назначение. Когда в таких микросхемах количество элементарных радиоэлементов в них стало исчисляться не десятками или сотнями, а тысячами и десятками тысяч, их стали называть сверхбольшими интегральными сборками – СБИС. В настоящее время в одной микросхеме может заключаться полностью функционально законченный компьютер, за исключением тех элементов, которые принципиально должны быть крупногабаритными, например, экран, клавиатура и т.п. Электронная техника непрерывно совершенствуется в этом направлении, но параллельно возникло и новое направление, называемое мехатроникой.

Для разработки самых примитивных роботов их создателям приходилось быть не только специалистом по электронике, но и конструктором, поскольку готовой механики для них не существовало. Если робот должен самостоятельно ездить, приходилось подыскивать для него колеса (или даже изготавливать самостоятельно), также выбирать или изготавливать редуктор, двигатель, а также раму, на которой крепилась вся конструкция, и так далее. При этом механические приборы не содержали электронной части, также как электронные приборы не содержали механической части. Состыковка и согласование электрической и механической части выполнялась разработчиками, для чего они должны были обладать талантом конструктора-

проектировщика, а также требовалось создание множества стыкующих деталей.

Микро электромеханические системы, или *MEMS*, устранили эту проблему, во всяком случае, для малогабаритной робототехники.

Термин *MEMS* означает такое направление в новых технологических подходах и решениях, которое позволило резко снизить габариты механических структур, а также соединить с ними электронные схемы. Тем самым воедино соединены механические и согласованные с ними электрические устройства, которые должны работать совместно. Эта интеграция стала возможной благодаря тому, что микромеханические структуры, в значительной степени стали изготавливаться с помощью такой же или близкой технологии. В результате промышленность стала производить разнообразные устройства, которые точнее было бы назвать «системами», поскольку в них механические компоненты и электрические элементы работают совместно и решают общие задачи [19]. Таким образом, можно утверждать, что *MEMS* – это микроэлектрические и в то же время микромеханические системы.

Механические компоненты и системы ранее считались менее технологичными по сравнению с электрическими узлами. В *MEMS* этот недостаток полностью устранен, теперь не только механическая система стала соизмеримой с позиции технологичности, но эти два вида, казалось бы, несовместимых по технологии систем, теперь производятся совместно по единой общей технологии, причем, их соединение является органическим и функционально законченным решением. В публикации [19] упоминается механические реле, как некий прообраз таких систем. Этот пример скорее является примером обратным, в котором функции устройства только исключительно электрические (соединение и разъединение цепей), но выполнение этих функций обеспечивается за счет большого количества механических деталей. Эта ситуация делает тиражирование таких устройств дорогим, при этом они обладают относительно большими габаритами, недостаточно надежны. В *MEMS* все как раз наоборот: функционал этих устройств расширился и включает механические действия – датчики и исполнительные устройства в них действуют по принципам действия механических устройств. При этом производство их упростилось до уровня производства чисто электронных устройств, это технологии травления, напыления и т.п. В этих устройствах могут быть реализованы не только чисто механические элементы, но также и оптические, акустические и, вероятно, иные, наряду с традиционными электронными элементами для этого вида технологий. Например, для измерения ускорений может быть использован груз на пружинных подвесах, при изменении ускорения

движения всего устройства груз перемещается, и по этому перемещению можно судить о величине ускорения. В исполнении в виде *MEMS* и груз, и внешняя конструкция изготавливаются из одного кристалла, например, путем травления, тонкие перемишки этого кристалла выполняют функции пружинного подвеса. Положение груза может быть измерено с использованием, например, эффекта Холла, для этой цели осуществляется выбор вещества, из которого исполняется датчик, а также соответствующая измерительная схема изготавливается как неотъемлемая часть этого датчика.

В работе [19] отмечается, что большинство механических устройств обладают очень большими габаритами в сравнении с электронными приборами. Даже если механические компоненты являются более простым и созданы на основе наиболее эффективного технического решения, чаще всего их желательно заменить на электронные узлы везде, где это возможно с целью экономии пространства печатной платы и минимизации габаритных размеров. В *MEMS* приборах все, что невозможно заменить чисто электрическими устройствами, изготавливается в таком модифицированном виде, который позволяет выполнить такие узлы с использованием предельно близкой технологией производства, что обеспечивает не только меньше габариты и меньшую стоимость, но и большую точность изготовления, лучшие характеристики и их лучшую воспроизводимость. Поскольку механические компоненты модифицированы таким образом, что они становятся не только миниатюрными, но и полностью сопоставимы с производственным процессом микросхем, получается новый вид приборов, объединяющий в себе преимущества обеих технологий. На *Рис. 17* показан пример цепной и зубчатой передачи, реализованный по таким технологиям. В этом случае цепь делается не из пространственных звеньев, а из почти плоских идентичных элементов, обеспечивающих такие же свойства соединения, как и обычная цепь, но производится она не из отдельных звеньев, а сразу целиком методом напыления и травления, т.е. отдельные звенья не существуют и не изготавливаются, нет процесса сборки цепи и шестеренок, вся эта структура производится сразу в готовом и собранном виде.

Таким образом, миниатюрная *MEMS* структура производится методом физической модификации материала подложки (кремния или вещества). Затем такие структуры объединяются с микросхемой, и вся электромеханическая система помещается в корпус, который защищает ее от внешней среды и от механических повреждений. Это единое изделие представляет собой функционально законченный электромеханический узел.



Рис. 17. Зубчатая и цепная передача по технологии MEMS из публикации [19]

В этой технологии могут быть реализованы микромашиные структуры, микродатчики, микроэлектронные схемы, микроактуаторы и другие устройства. Все они чаще всего интегрированы на одном кристалле. Датчики позволяют устройствам измерять термические, механические, магнитные, электромагнитные или химические величины, которые могут быть преобразованы электрической схемой в определенный сигнал, а актуаторы обеспечивают физические изменения, в том числе очень малые и очень точные.

Рассмотрим несколько примеров MEMS устройств из публикации [19]. На Рис. 18 показана физическая структура рычажного переключателя. Здесь изображены четыре ключа, каждый из которых имеет пять контактов и ключ срабатывания по подаче напряжения. Использование нескольких контактов позволяет уменьшить сопротивление канала в открытом состоянии.

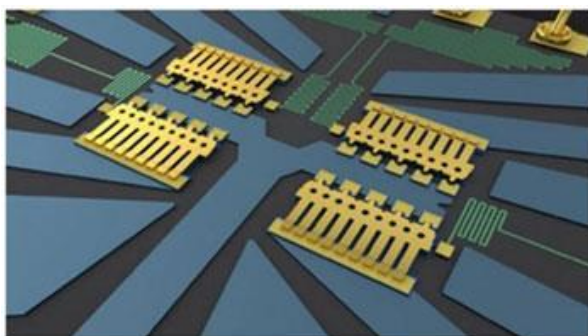


Рис. 18. Физическая структура рычажного переключателя из публикации [19]

На Рис. 19 показан MEMS ключ (справа) и драйвер управления (слева), помещенные в QFN корпус. Схема драйвера позволяет стандартному цифровому устройству, такому как микроконтроллер, эффективно контролировать ключ, поскольку он обеспечивает генерирование высоковольтного сигнала срабатывания.

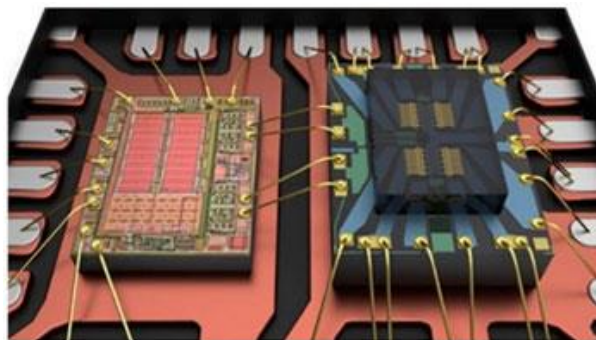


Рис. 19 MEMS ключ (справа) и драйвер управления (слева), помещенные в QFN корпус [19]

MEMS технология может быть применена в производстве самых разнообразных электронных компонент. Это дает простоту реализации или высокую производительность, доступность и низкую стоимость, малые габариты и вес, высокую надежность.

Сегодня MEMS компоненты встречаются в четырех товарных группах: аудио компоненты, датчики, ключи и генераторы сигналов.

В сфере аудио приложений используются MEMS микрофоны и MEMS динамики.

Датчики – основная сфера для внедрения MEMS технологии. Сегодня на рынке представлены MEMS гироскопы, инклинометры, акселерометры, датчики потока, газа, давления и магнитного поля.

Применение MEMS технологии в электрически управляемых ключах особенно перспективно. Например, ключи типа ADGM1004 легко управляются, работают с сигналами частотой от 0 до 10 ГГц, имеют ток утечки менее 1 нА в нерабочем состоянии и обеспечивают число срабатываний от 1 млрд. раз [19].

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТ РОБОТА

Любой робот как правило, содержит следующие компоненты:

1. Механическая часть:
 - а. Корпус
 - б. Средства передвижения (колеса, гусеничная тяга, пропеллеры или иные «двигатели»)
 - в. Средства выполнения работ (захваты, ковши, щетки, режущий инструмент, сварочный инструмент и иные манипуляторы)
2. Датчики
 - а. Видеокамеры, лидары, оптронные пары и иные оптические датчики
 - б. Ультразвуковые датчики
 - в. Датчики равновесия
 - д. Датчики скорости и (или) углов поворота собственных приводов
 - е. Датчики температуры, давления, электромагнитного поля и прочие
3. Электронная управляющая часть
 - а. Усилители сигналов датчиков

- b. Средства преобразования сигналов (аналоговые)
- c. Средства преобразования аналоговых сигналов в цифровые
- d. Средства обработки цифровых сигналов
- e. Средства преобразования цифровых сигналов в аналоговые
- f. Усилители сигналов (драйверы), для управления механическими устройствами.

Все указанные компоненты развиваются различными фирмами-производителями независимо от разработчиков роботов, а также по заданию таких разработчиков. Поэтому при разработке новых роботов целесообразно ознакомиться с наиболее современными и эффективными компонентами для каждого разрабатываемого узла, и только при отсутствии готового решения целесообразна разработка и изготовление собственных элементов.

На ранних стадиях наиболее простыми деталями были колеса, двигатели постоянного и переменного тока, шаговые двигатели, зубчатые передачи (редукторы, червячные передачи) и тому подобные средства формирования и преобразования механических движений. Из этих элементов строились относительно неуклюжие механизмы, которые уже назывались роботами, поскольку энтузиазм создателей всегда опережает их фактический технический потенциал.

Если вспомнить фильм «Терминатор», где показано внутреннее устройство искусственной руки робота-андроида из фантастического будущего, то все суставы в ней сделаны на основе подшипников, поскольку создатели фильма именно так представляли себе будущие технические возможности. Это также примитивно, как представление ранних писателей фантастов, полагающих, что будущие роботы будут сделаны на радиолампах. Радиолампы ушли в далекое прошлое (за исключением немногих экзотических сфер их применения), а разумные роботы до сих пор еще не созданы. Чем ближе технология подходит к фактическому созданию наиболее эффективных роботов, тем яснее становится преимущество уже имеющихся решений в живой природе над примитивными механизмами, созданными в двадцатом веке с помощью зубчатых передач и простейших двигателей.

В настоящее время актуальнейшими задачами является создание искусственной мышцы, искусственного щупальца, присоски, и других аналогичных технических средств, заимствующих принципы формирования движения у лучших представителей живой природы. Уже прошла пора удивления способностям различных живых существ, наступила пора создания технических средств, использующих эти способности. Пристальное внимание к семенам репы породило застужку

«липучку», которая кардинально преобразила многие виды одежды и оснащения туристов, военных, пожарных, альпинистов и т.п. Изучение лап насекомых и земноводных, способных перемещаться по вертикальным стенам и даже по потолку позволило создать аналогичные перчатки, способные прикрепляться к вертикальной стене, хотя распространение их пока оставляет желать лучшего. Следует внимательней присмотреться к наиболее эффективным средствам передвижения, какими бы нетрадиционными они ни казались, и как бы ни казалось при поверхностном взгляде нецелесообразным их копирование, более детальное изучение, возможно, содержит потенциал для новых более эффективных технических решений. Особого внимания заслуживают щупальца осьминога, тело дождевого червя и змеи, подошва улитки, лапы паука, муравья, многоножки, мухи, геккона, кузнечика, кенгуру, краба, крылья стрекозы, бабочки, орла, совы, летучей мыши и т.д.

На этом основании можно сказать, что искусственная рука, имеющая в суставах крепления на основе традиционных шарниров, отошла в далекое прошлое. Человеческие суставы демонстрируют структуру, в большей степени отвечающую задачам тех видов движений, для которых они предназначены. Если ранее упрощение означало удешевление, поскольку изготовление чрезмерно сложных деталей вызывало резкое удорожание технического устройства, то с развитием разнообразнейших технологий производства, включая трехмерную печать, когда требуемые детали можно спроектировать на компьютере и просто распечатать на 3D-принтере, любые сколь угодно сложные формы сочленений уже перестали быть сложными и неоправданными. Напротив, излишнее упрощение уже не оправдывает себя. Человеческие суставы обеспечивают свободу движения в тех направлениях, в которых она требуется, и ограничение этих движений в тех направлениях, где требуется это ограничение, что является намного более эффективным, чем традиционные подшипники. Поэтому если бы авторы фильма «Терминатор» использовали современное представление о направлениях развития робототехники, искусственная рука была бы больше похожа на настоящую не только внешне (в своей искусственной оболочке), но и по внутреннему строению, то есть скелет ее был бы фактически полностью идентичен скелету человеческой руки (хотя это было бы, вероятно, менее зрелищно).

Направления развития механических средств робототехники идет параллельно по двум путям, это и усложнение, и упрощение.

С одной стороны, актуальным остается разработка манипуляторов, все более похожих на

человеческую руку и даже превышающих ее по возможностям, с другой стороны, если, например, манипулятор должен только выкручивать сгоревшие лампочки и вкручивать новые, то ему совершенно не обязательно обладать подобием человеческой руки, а достаточно иметь три надувных щупальца, которые при повышении давления стремятся обхватить предмет, а при снижении давления выпускают этот предмет. Это одновременно решает задачу ограничения давления на захватываемый предмет и содействует его сохранности, такой манипулятор не раздавит стеклянную лампочку в отличие от железной механической руки с недостаточным качеством контроля давления.

Соединение принципов телескопических конечностей, позволяющих легко удлиняться и укорачиваться с принципами гидравлики, дает относительно большие перспективы развития робототехнической руки в сравнении с рукой человека. Такая рука может спокойно удлиняться или укорачиваться в несколько раз, что, разумеется, недоступно человеку. На этом примере, а также на примере увеличения угла обзора и спектра восприятия оптических изображений видно, что при создании робота-андроида вовсе не обязательно копировать возможности человека там, где их можно легко превзойти. Но при этом пока еще остаются параметры, по которым технологии не только не могут превзойти возможности человека (или более широко – возможности биологических сенсоров), но даже не могут пока приблизиться к ним. Так технологии пока еще не позволяют создавать такие же эффективные анализаторы запахов, как, например, сенсоры мотыльков или обоняние некоторых млекопитающих. В этой сфере возможно развитие путем соединения возможностей биологических существ с механическими устройствами, хотя в этом направлении известно мало научных работ. К первой такой работе можно, по-видимому, отнести опыты Гальвани, который использовал лягушачью лапку для детектирования слабых электрических токов, поскольку в его время механических устройств с такой высокой чувствительностью еще не существовало. Из этого еще не следует, что можно использовать, например, усики мотылька для того, чтобы различать различные запахи, то есть выявлять малейшие примеси веществ в атмосфере, но такие возможности уже и не следует полностью исключать, нельзя исключать, что в этом подходе содержатся пока еще не изученные возможности.

Обратный подход, состоящий в том, что живые существа (как правило, человек), оснащаются техническими средствами, расширяющими возможности сенсорики (восприятия действительности) и кинематики (взаимодействия с действительностью) уже

развивается полным ходом. Люди получают протезы конечностей, слуховые аппараты, приборы ночного видения, речь уже ведется и об искусственном зрении и так далее. Имеется целый ряд биостимуляторов, способных обеспечить полноценную жизнь людям, которые без этих стимуляторов были бы в лучшем случае лишены многих функций, а в худшем просто не могли бы жить.

Некоторые животные на службе человека также могут быть оснащены дополнительными техническими средствами. Были сообщения о снабжении морских млекопитающих средствами борьбы с подводными лодками противника, имеются собачьи ошейники, позволяющие охотнику определять место собаки и даже отдавать ей команды, имеются средства отслеживания миграций редких животных – млекопитающих, птиц и рыб. На домашних питомцев и на диких животных устанавливают видеокамеры для отслеживания их деятельности и т.п. Одной из важнейших особенностей этого подхода состоит возможность длительного обеспечения питания этих устройств, что определяется, во-первых, относительно малым потреблением тока этими устройствами, во-вторых, прогрессом в области источников батарейного питания.

10. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Все элементы робота должны работать с высокой точностью, иначе робот не будет способен решать поставленные задачи. Обеспечение точности управления решается методами автоматического управления, которые изучает теория автоматического управления (ТАУ), которая также называется кибернетикой. Эта теория решает задачи только управления в контуре с отрицательной обратной связью (ОС), поскольку только применение такого контура позволяет обеспечить требуемую точность движений даже в том случае, когда на движущийся объект воздействуют различные внешние возмущающие факторы, вносящий свой вклад в усилия, которые ответственны за дальнейшее перемещение частей робота.

Робот можно представить как большую систему отдельных манипуляторов, суставов и иных подвижных устройств, каждое из которых должно перемещаться строго в соответствии с заложенной в них программой, причем эта программа может изменяться в реальном времени достаточно быстро.

В каждой из таких подсистем имеется предписание, которое формируется центральным процессором (аналог электронного мозга робота). Если это предписание напрямую воздействует на привод, осуществляющий движение данного элемента (сустава), то движение почти всегда будет не таким, как требуется. Даже при использовании шаговых

двигателей фактический поворот оси может отличаться от предписанного вследствие действия внешних факторов, а при использовании иных средств воздействия фактическое движение может отличаться от предписанного весьма существенно. Поэтому даже в шаговых двигателях при требовании высокой точности используется измерение фактического поворота оси, например, с использованием интерферометрической лазерной измерительной системы. Это фактическое положение оси используется для корректировки истинного положения на такую величину, чтобы фактическое и истинное положение оси совпали. В такой корректировке и состоит суть отрицательной обратной связи.

Рассмотрим гипотетический произвольный узел робота как систему автоматического управления, в которой объектом управления является вся механическая часть, заданием является команда на изменение положения подвижной части этого узла, регулятором является вся электронная часть, которая формирует силовые сигналы, подаваемые на исполнительную часть электромеханического узла (например, на обмотку электродвигателя).

Объединение объекта и регулятора такого узла в систему требует анализа их математических моделей и связей между ними. На этой базе осуществляется расчет (синтез) регулятора и его реализация [23–25].

Необходимо отличать замкнутые системы, о которых сказано выше, от соединения элементов в цепи. Замкнутую систему отличает введение обратной связи, что порождает петли в цепи прохождения сигнала [26–35]. Сигналы в цепях без петель можно рассчитывать последовательно от входа к выходу. Подключение последующих элементов не меняет предыдущих сигналов. Сигналы в цепях с петлями таким путем рассчитывать нельзя. Следует анализировать весь контур в целом.

Важнейшим необходимым свойством замкнутой системы (которое требуется обеспечить) является устойчивость, т. е. свойство пребывания в равновесном состоянии или вблизи него в отсутствие изменений сторонних воздействий. Если стороннее воздействие выводит такую систему из равновесия, она под действием внутренних сил, формируемых замкнутым контуром, возвращается обратно в исходное равновесное состояние. Разомкнутая цепь устойчива, если все ее элементы устойчивы, а наличие хотя бы одного неустойчивого элемента делает ее неустойчивой. В замкнутых петлях такой закономерности нет. Система из неустойчивых элементов может оказаться устойчивой, а система из устойчивых элементов может оказаться неустойчивой, но может все оказаться и не так, здесь не имеется прямой зависимости устойчивости системы в целом от устойчивости

составляющих ее элементов. Примером устойчивой системы из неустойчивых элементов является система с интегральным регулятором. Примером неустойчивой системы из устойчивых элементов может быть система высокого порядка (например, фильтр шестого порядка) с большим коэффициентом усиления.

В системах автоматического управления (САУ) реализуется принцип отрицательной ОС, т. е. всякое отклонение управляемой величины от желаемого значения сводится к нулю за счет того, что оно усиленное с отрицательным знаком подается в место возникновения. Коэффициент передачи петли, мысленно разорванной в произвольной точке, должен быть большой отрицательной безразмерной величиной. Этот принцип иногда называется принципом большого коэффициента.

Специально вводимые в систему регуляторы обеспечивают устойчивость и требуемые быстродействие и точность систем. Методами анализа таких систем и проектирования регуляторов занимается ТАУ. Эти задачи всегда возникают при объединении элементов в систему.

Для каждой линейной системы может быть определено одно равновесное состояние, т. е. состояние, которое система принимает в отсутствие внешних воздействий (сигналов). Мерой устойчивости служит способность системы возвращаться к этому состоянию после ее выведения из него внешним возмущающим воздействием. Если возникшее в системе отклонение является причиной движения системы в сторону увеличения этого отклонения (т. е. имеется положительная ОС), можно ожидать, что такая система не способна сохранять равновесное состояние, так как малые возмущающие воздействия вызывают значительные движения системы. Если отклонение от равновесия порождает воздействия, возвращающие систему в исходное состояние (т. е. имеется отрицательная ОС), система устойчиво пребывает в нем даже при наличии значительных внешних возмущений.

Методы проектирования регуляторов разнообразны, но наиболее эффективными в настоящее время являются методы, основанные на численной оптимизации коэффициентов [23–35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все рассмотренные задачи, возникающие при создании роботов, необходимо решать пошаговыми итерациями. На каждом этапе необходимы специальные знания и навыки в нескольких смежных специальностях. Вместе с тем усилиями фирм, выпускающих игрушки, создается ошибочное представление о том, что робот – это легко. При несомненной пользе подобных наборов для учебного процесса, следует помнить, что серьезное достижение в

робототехнике может сделать лишь такой специалист или такой коллектив, который создает что-то собственное, свое, на основе собственного представления о том, как необходимо решать каждые отдельные задачи и подзадачи. Собрать стандартного или почти стандартного робота из полностью стандартных делателей, которые специально предназначены для этой цели, это действие, которое способно привить интерес к разработке и к конструкторскому творчеству, но это не такое действие, которое определяет прогресс науки, техники и технологии. При всей высокой ценности для образовательного процесса и для популяризации, этот вид творчества остается недостаточно продуктивным, поскольку он больше напоминает развивающую детскую игру «Конструктор», нежели процесс инженерного творчества. При этом движитель (колесная или гусеничная тяга или что-то иное) выбирается из имеющегося набора, также как и датчик, двигатель, интеллектуальное устройство. Пиком отказа от творчества является предложение закатать в контроллер стандартное программное обеспечение, которое позволяет созданному роботу двигаться так, как этого хочется его «автору». В этом уже нет никакого творчества принципиально. Это просто процесс сборки уже готового изделия, ранее разработанного кем-то до вас, как сборка готовой мебели из ее заготовок, согласно инструкции, или как приготовление пищи из заранее нарезанных порционных кусков в соответствии с рецептом, который прилагается к этому набору порций.

Для получения настоящего умения разрабатывать робототехнические устройства разработчики должны взять в руки паяльник, а не просто прищелкивать одну деталь к другой, они должны сами создавать программы на основе разработанных ими алгоритмов, а не закачивать их по заданной ссылке.

Авторы статьи надеются, что развитие робототехнического обучения в университетах будет проходить не по пути собирания заранее разработанных и полностью запрограммированных устройств, имитирующих элементарных роботов, а именно на основе использования собственных идей, алгоритмов, собственных конструкций, с использованием элементов, выбранных по каталогу датчиков, приводов, актуаторов, а не по каталогу игровых наборов для школьников и дошкольников.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Википедия, статья «Робот» <https://ru.wikipedia.org/wiki/Робот>
- [2] https://pikabu.ru/story/robotyi_androidyi_sredi_nas_4_005246
- [3] https://tsargrad.tv/news/zanjali-ves-pedestal-rossija-proizvela-furor-na-olimpiade-po-robototekhnike-v-yengrii_225348
- [4] <https://fakty.ua/246500-na-vystavke-v-tokio-predstavlen-samyj-realisticznyj-robot-android-v-mire-foto-video>
- [5] <https://www.reuters.com/article/us-china-humanoid-robot/humanoid-robot-can-recognize-and-interact-with-people-idUSKBN0NB21V20150420>
- [6] <https://niceland.ru/technology/robota-kotenka-nybble-mozhno-kupit-za-200-dollarov/>
- [7] <https://uznay-kak.ru/sferyi-jizni/elektronnyie-resursyi/kak-sdelat-robota-pauka>
- [8] <http://roboting.ru/1944-robot-loshad-ot-boston-dynamics.html>
- [9] <http://robotteam.ru/news/adaptivnyj-robot-zhuk-ot-kompanii-citec>
- [10] https://pikabu.ru/story/novogo_robota_metafly_mozhno_sputat_s_nastoyashchim_nasekomyim_6571184
- [11] <https://topwar.ru/66991-nazemnye-roboty-ot-zabratsyvaemyh-sistem-do-bezlyudnyh-transportnyh-kolonn-chast-3.html>
- [12] http://json.tv/ict_news_read/3-d-robot-dron-iris-s-technologiey-soprovozdjenja
- [13] <https://rc-go.ru/cat/radioupravlyаемiy-robot-dron-stunt-bounce-car-2-4g-na-radio-upravlenii-happy-cow/>
- [14] <https://nplus1.ru/news/2016/05/13/Hyundai-wearable-robot>
- [15] https://pikabu.ru/story/znakomtes_yeto_argus_ii_perviy_bionicheskij_glaz_2032877
- [16] https://ugra-news.ru/article/malenkie_zhiteli_yugry_mogut_besplatno_poluchit_bionicheskij_protezh/
- [17] https://potokmedia.ru/russia_world/115435/
- [18] https://pikabu.ru/story/znakomtes_yeto_argus_ii_perviy_bionicheskij_glaz_2032877
- [19] <http://www.sensorica.ru/news/MEMS.shtml>
- [20] А.В. Ескин, В.А. Жмудь, В.Г. Трубин. Построение платформы моделирующей работу роботизированных средств на базе конструктора Lego Mindstorms NXT 2.0 в части управления электродвигателями. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 3 (1). С. 88-94: <http://nips.ru/images/stories/zjournal-AIPI/3/Paper-2013-1-13.pdf>.
- [21] А.В. Ескин, В.А. Жмудь, В.Г. Трубин. Реализация дистанционного управления по радиоканалу Bluetooth платформой, моделирующей работу роботизированных средств. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 3 (1). С. 82-87: <http://nips.ru/images/stories/zjournal-AIPI/3/Paper-2013-1-12.pdf>.
- [22] А.В. Ескин, В.А. Жмудь, В.Г. Трубин. Беспроводной удлинитель последовательного порта на базе радиоканала Bluetooth. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 2 (4). С. 42-47.: <http://www.nips.ru/images/stories/zjournal-AIPI/5/AIPI-2-2013-05.pdf>.
- [23] Zhmud V., Yadrishnikov O., Poloshchuk A., Zavorin A. Modern Key Technologies in Automatics: Structures and Numerical Optimization of Regulators. В сборнике: Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012 2012. С. 6357804.
- [24] Zhmud V., Dimitrov L., Yadrishnikov O. Calculation of Regulators for The Problems of Mechatronics by Means of The Numerical Optimization Method. В сборнике: 2014 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering APEIE 2014 Proceedings. 2014. С. 739-744.
- [25] Жмудь В.А., Ядрышников О. Численная оптимизация пид-регуляторов с использованием детектора правильности движения в целевой

- функции. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 1 (3). С. 24-29.
- [26] Воевода А.А., Жмудь В.А. Астатическое управление объектами с нестационарными матричными передаточными функциями методом приближенного обращения функциональных комплексных матриц. Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2006. № 2 (23). С. 3-8.
- [27] Жмудь В.А., Заворин А.Н. Метод проектирования энергосберегающих регуляторов для сложных объектов с частично неизвестной моделью. В сб.: Проблемы управления и моделирования в сложных системах Труды XVI Международной конференции. Институт проблем управления сложными системами, Самарский научный центр РАН. Под ред.: Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, В.А. Виттиха. 2014. С. 557-567.
- [28] Zhmud V., Vostrikov A., Semibalamut V. Feedback systems with pseudo local loops. В сборнике: Testing and Measurement: Techniques and Applications - Proceedings of the 2015 International Conference on Testing and Measurement: Techniques and Applications, TMTA 2015. С. 411-417.
- [29] Жмудь В.А., Французова Г.А., Востриков А.С. Динамика мехатронных систем. Учебное пособие. Новосибирск, 2014.
- [30] Востриков А.С., Воевода А.А., Жмудь В.А. Эффект понижения порядка системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2005. № 3 (21). С. 3-13.
- [31] Motions Separation Method for Disturbances Suppression in Laser Systems. Zhmud' V.A. Автометрия. 2002. Т. 38. № 5. С. 119-126.
- [32] The Design of The Control System for Object with Delay and Interval-Given Parameters. Zhmud V., Zavorin A. В сборнике: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. С. 7147060.
- [33] Жмудь В.А., Федоров Д.С., Ивойлов А.Ю., Трубин В.Г. Разработка системы стабилизации угла отклонения балансирующего робота. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 2 (12). С. 16-34.
- [34] Федоров Д.С., Ивойлов А.Ю., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Использование измерительной

системы при 6050 для определения угловых скоростей и линейных ускорений. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 1 (11). С. 75-80.

- [35] Жмудь В.А., Ядрышников О.Д., Заворин А.Н., Полищук А.В. Анализ метода проектирования робастного регулятора методом двойной итеративной параллельной численной оптимизации. Автоматика и программная инженерия. 2012. № 1 (1). С. 7-16.



Вадим Жмудь - заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук.

E-mail: oao_nips@bk.ru

630073, Новосибирск, просп. К.Маркса, д. 20



Д.т.н. **Ярослав Носек** - профессор факультета мехатроники, информатики и междисциплинарных исследований в Техническом университете, Либерец, Чешская Республика.

E-mail: jaroslav.nosek@tul.cz

Studentská 1402/2, 461 17 Liberec, Чехия



Любомир Димитров – профессор, доктор технических наук, Технический университет Софии, проректор по международным связям, по учебной работе и по аккредитации.

E-mail: lubomir.dimitrov@tu-sofia.bg

Бул. св. Климент Охридски, д. 8, 1756 Студентски Комплекс, София, Болгария

Статья поступила 22.11.2019 г.

Introduction to Robotics

V. Zhmud¹, J. Nosek², L. Dimitrov²

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

² Technical University Liberec, Liberec, Czech Republic

³ Technical University Sofia, Sofia, Bulgaria

Abstract. This paper is addressed to students and graduate students in order to familiarize them with the main directions of applications and the principles of creating robots. The relevance of the article is determined by the lack of systematized materials, which the author had to face when trying to write a textbook on robotics. Search engines offered domestic textbooks written in the nineties of the last century, as well as scattered articles on specific narrow areas on the problem as a whole. Search mainly gives either too old books, or entertaining books for schoolchildren, or workshops for programming, or instructions on creating robot models from LEGO sets. Such, for example, is the book “Filippov S.A. Robotics for children and parents. - St. Petersburg: Nauka, 2013.319 s. <https://studfile.net/preview/3602333/>. At the same time, this book seems rather strange, since it is strange to see relatively complex formulas in a book written for children, as, for example, in the section devoted to PID controllers <https://studfile.net/preview/3602333/page:10/>. This material is by no means transparent, it's boring even for a specialist to read this section, so this material is hardly suitable for children and even gives birth to fir trees (if they are not robotics specialists). But at the same time, on the first pages of this work we also find quite heavyweight

listings of developers and firms, as illustrated by the toy from the LEGO constructor. If readers are interested in toys depicting robots, then, to his joy, it's just the links to the stores of such toys that most often come across in the pages of the Internet space found by the query "robotics". But this is by no means the material on which not only teaching at the university can be built, but even the first lecture on robotics in the very first year of the university, or at least in the elective at the school for the eighth grade. On this basis, it is advisable to give an overview article of the current state for people in the age category older than schoolchildren, but younger than pensioners.

Key words: robots, androids, segway, drones, robotics, MEMS.

REFERENCES

- [1] Wiki, Robot. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [2] https://pikabu.ru/story/robotyi_androidyi_sredi_nas_4005246
- [3] https://tsargrad.tv/news/zanjali-ves-pedestal-rossija-proizvela-furor-na-olimpiade-po-robototekhnike-v-vengrii_225348
- [4] <https://fakty.ua/246500-na-vystavke-v-tokio-predstavlen-samyj-realisticznyj-robot-android-v-mire-foto-video>
- [5] <https://www.reuters.com/article/us-china-humanoid-robot/humanoid-robot-can-recognize-and-interact-with-people-idUSKBN0NB21V20150420>
- [6] <https://niceland.ru/technology/robota-kotenka-nybble-mozhno-kupit-za-200-dollarov/>
- [7] <https://uznay-kak.ru/sferyi-jizni/elektronnyie-resursyi/kak-sdelat-robota-pauka>
- [8] <http://roboting.ru/1944-robot-loshad-ot-boston-dynamics.html>
- [9] <http://robotteam.ru/news/adaptivnyj-robot-zhuk-ot-kompanii-citec>
- [10] https://pikabu.ru/story/novogo_robota_metafly_mozhno_sputat_s_nastoyashchim_nasekomyim_6571184
- [11] <https://topwar.ru/66991-nazemnye-roboty-ot-zabasyvaemyh-sistem-do-bezlyudnyh-transportnyh-kolonn-chast-3.html>
- [12] http://json.tv/ict_news_read/3-d-robot-dron-iris-s-tehnologiy-soprovozhdeniya
- [13] <https://rc-go.ru/cat/radioupravlyaemiy-robot-dron-stunt-bounce-car-2-4g-na-radio-upravlenii-happy-cow/>
- [14] <https://nplus1.ru/news/2016/05/13/Hyundai-wearable-robot>
- [15] https://pikabu.ru/story/znakomtes_veto_argus_ii_pervyy_bionicheskij_glaz_2032877
- [16] https://ugra-news.ru/article/malenkie_zhiteli_yugry_mogut_besplatno_poluchit_bionicheskij_protez/
- [17] https://potokmedia.ru/russia_world/115435/
- [18] https://pikabu.ru/story/znakomtes_veto_argus_ii_pervyy_bionicheskij_glaz_2032877
- [19] <http://www.sensorica.ru/news/MEMS.shtml>
- [20] A.V. Yeskin, V.A. Zhmud', V.G. Trubin. Postroyeniye platformy modeliruyushchey rabotu robotizirovannykh sredstv na baze konstruktora Lego Mindstorms NXT 2.0 v chasti upravleniya elektrodvigatelyami. Avtomatika i programmnyaya inzheneriya. 2013. № 3 (1). С. 88-94: <http://nips.ru/images/stories/zhjournal-AIPI/3/Paper-2013-1-13.pdf>.
- [21] A.V. Yeskin, V.A. Zhmud', V.G. Trubin. Realizatsiya distantsionnogo upravleniya po radiokanaluu Bluetooth platformoy, modeliruyushchey rabotu robotizirovannykh sredstv. Avtomatika i programmnyaya inzheneriya. 2013. № 3 (1). С. 82-87: <http://nips.ru/images/stories/zhjournal-AIPI/3/Paper-2013-1-12.pdf>.
- [22] A.V. Yeskin, V.A. Zhmud', V.G. Trubin. Besprovodnoy udlnitel' posledovatel'nogo porta na baze radiokanala Bluetooth. Avtomatika i programmnyaya inzheneriya. 2013. № 2 (4). С. 42-47.: <http://www.nips.ru/images/stories/zhjournal-AIPI/5/AIPI-2-2013-05.pdf>.
- [23] Zhmud V., Yadrishnikov O., Poloshchuk A., Zavorin A. Modern Key Technologies in Automatics: Structures and Numerical Optimization of Regulators. В сборнике: Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012 2012. P. 6357804.
- [24] Zhmud V., Dimitrov L., Yadrishnikov O. Calculation of Regulators for The Problems of Mechatronics by Means of The Numerical Optimization Method. В сборнике: 2014 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering APEIE 2014 Proceedings. 2014. С. 739-744.
- [25] Zhmud VA, Yadrishnikov O. Numerical optimization of pid controllers using the detector of the correctness of motion in the target function. Automation and software engineering. 2013. No. 1 (3). S. 24-29.
- [26] Voivode A.A., Zhmud V.A. Astatic control of objects with non-stationary matrix transfer functions by the method of approximate inversion of functional complex matrices. Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University. 2006.No 2 (23). S. 3-8.
- [27] Zhmud V.A., Zavorin A.N. A method for designing energy-saving controllers for complex objects with a partially unknown model. In: Problems of Control and Modeling in Complex Systems Proceedings of the XVI International Conference. Institute for Management of Complex Systems, Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Edited by: E.A. Fedosova, N.A. Kuznetsova, V.A. Wittich. 2014.S. 557-567.
- [28] Zhmud V., Vostrikov A., Semibalamut V. Feedback systems with pseudo local loops. В сборнике: Testing and Measurement: Techniques and Applications - Proceedings of the 2015 International Conference on Testing and Measurement: Techniques and Applications, TMTA 2015 2015. С. 411-417.
- [29] Zhmud V.A., Frantsuzova G.A., Vostrikov A.S. Dynamics of mechatronic systems. Tutorial. Novosibirsk, 2014.
- [30] Vostrikov A.S., Voevoda A.A., Zhmud V.A. The effect of reducing the order of the system when controlled by the method of separation of movements. Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University. 2005.No 3 (21). S. 3-13.
- [31] Motions Separation Method for Disturbances Suppression in Laser Systems. Zhmud' V.A. Автометрия. 2002. Т. 38. № 5. С. 119-126.
- [32] The Design of The Control System for Object with Delay and Interval-Given Parameters. Zhmud V., Zavorin A. В сборнике: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. С. 7147060.
- [33] Zhmud V.A., Fedorov D.S., Ivoylov A.Yu., Trubin V.G. Development of a system for stabilizing the angle of deviation of a balancing robot. Automation

and software engineering. 2015. No. 2 (12). S. 16-34.

- [34] Fedorov D.S., Ivoylov A.Yu., Zhmud V.A., Trubin V.G. Using the mpu 6050 measuring system to determine angular velocities and linear accelerations. Automation and software engineering. 2015. No. 1 (11). S. 75-80.
- [35] Zhmud V.A., Yadryshnikov O.D., Zavorin A.N., Polishchuk A.V. Analysis of the robust controller design method by the method of double iterative parallel numerical optimization. Automation and software engineering. 2012. No. 1 (1). S. 7-16.



Vadim Zhmud – Head of the Department of Automation in NSTU, Professor, Doctor of Technical Sciences.
E-mail: oao_nips@bk.ru

630073, Novosibirsk,
str. Prosp. K. Marksa, h. 20



Dr. of Techn. Sci. **Jaroslav Nosek** – Professor of Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary Studies in Technical University, Liberec, Czech Republic.

E-mail: jaroslav.nosek@tul.cz

Studentská 1402/2, 461 17
Liberec, Czech Republic



Dr. of Techn. Sci. **Lubomir Dimitrov**.

Didactic title: Full Professor.

Affiliation: Technical University of Sofia, Faculty of Mechanical Engineering, Bulgaria

Scientific Fields: Mechatronics, Adaptive and optimal control, Intelligent diagnostic and control systems, MEMS.

E-mail: lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg

The paper has been received on 22/11/2019.