

Антропоморфные биороботы и биопротезы

06, июнь 2015

Воробьев Е. И.¹, Дорофеев В. О.^{1,*},

Михеев А. В.¹

УДК: 621.757

¹Россия, Институт машиноведения им. А.А. Благодирова РАН

* sowz-1@yandex.ru

Введение

Понятие «робот» до сих пор обсуждается, хотя, как известно, слово «робот» было введено чешским писателем К. Чапеком.

В настоящее время под роботом понимается автоматическое устройство, созданное по принципу живого организма. Принципиальным является то, что робот должен содержать основные системы живого организма: исполнительное устройство – руки или систему передвижения, управляющее устройство – аналог мозга человека; сенсорную систему – аналог органов чувств человека, получающую информацию о внешней среде и приводную систему, приводящее в действие робот.

Основные системы биологических существ обладают поразительной эффективностью, поэтому одним из основных направлений развития робототехники является создание элементов конструкции и управления, приближающихся по своим принципам действия и возможностям к элементам живых существ.

Наличие в единстве всех этих систем доставляет роботу новое качество: возможность самостоятельно или с помощью человека действовать в изменяющейся внешней среде и воздействовать на эту среду, например, выполнять самостоятельно операции, обычно выполняемые человеком.

1. Биороботы

Термин **биоробот** в настоящее время применяется в различных смыслах. Иногда это понятие используется как образ некоторого фантастического существа, приближающегося к человеку по многим физическим и функциональным свойствам, эмоциям, но обладающим электронным мозгом.

Мы под биороботом будем понимать робота, похожего по внешнему виду на живых существ, использующего принцип перемещения, материалы и управление, аналогичные

живым существам. Таким образом, под это определение подходят, создаваемые в настоящее время интеллектуальные роботы: роботы-крабы, роботы-собаки, роботы-змеи, роботы-муравьи, в том числе и роботы-андроиды, приближающиеся по своим возможностям к их живым аналогам.

1.1. Антропоморфные роботы

Под антропоморфными человекоподобными роботами-андроидами будем понимать биороботы, аналогичные человеку по внешнему виду, структуре и кинематике и использующие принципы управления, аналогичные существующим у человека. В последнее время в разных странах мира ведутся интенсивные работы в этом направлении и создано много типов антропоморфных роботов с различной степенью функциональности и уровнем искусственного интеллекта.

Развитие антропоморфных роботов происходит в направлении все большего их приближения по своим функциональным возможностям и внешнему виду к человеку. Например, в Японии ведется разработка роботов, имеющих внешний вид, неотличимый от человеческого. Развивается техника имитаций эмоций и мимики лица человека. Ученые Токийского университета представили человекоподобного робота «Kobian», способный выражать эмоции: счастье, страх, удивление, грусть, гнев, отвращение.

В настоящее время созданы антропоморфные роботы, выполняющие простейшие функции няни, сиделки, полицейского, официанта, универсального солдата. Ведутся интенсивные исследования по увеличению функциональности таких систем для их использования в разных средах и операциях.

Одной из основных проблем создания антропоморфных роботов является проблема управления и оцувствления.

2. Многоуровневое управление движением антропоморфного робота

Антропоморфные роботы, создаются на основе использования принципов построения живых организмов и прежде всего человека. Создаваемые в настоящее время роботы по ряду важнейших свойств очень далеки от возможностей человека, хотя некоторые основные принципы построения системы управления живых существ уже используются. Это, прежде всего иерархичность системы управления [1]. Грубо можно выделить следующие основные уровни центральной нервной системы у человека [2].

Нижним является так называемый *тоновый* уровень. Задача этого уровня состоит в подготовке мышц к выполнению двигательного акта: выбор мышц и их усилий с учетом информации об усилиях мышц.

Второй уровень *синергий*, т.е. уровень стандартных движений, входящих как составные части в более сложные движения, использует информацию о величинах и скоростях суставных углов, о силах и направлениях давления на части тела.

Третий уровень называется уровнем *пространственного поля*. Этот уровень использует обработанную информацию нижележащих уровней, а также информацию внешних рецепторов о среде и положения человека.

Следующий уровень управления характерен почти исключительно для человека и связан с выполнением сложных действий и целей.

На основе бионического подхода может быть построена структура информационно-управляющего комплекса антропоморфного робота. При этом для каждого уровня должны задаваться формализованные цели, разрабатываться алгоритмы и системы управления для их реализации.

Существующие методы теории управления и оптимальных систем требуют адаптации и доработки в связи с большим числом управляемых степеней свободы антропоморфных роботов.

3. Биопротезы рук и ног

Под *биопротезами* рук и ног человека будем понимать протезы, управляемые от биопотенциалов или использующих принцип управления аналогичный принципу управления движением человека. Биопротезы рук и ног представляют собой протезы, управляемые от биопотенциалов мышц и сигналов мозга. К этому же виду можно отнести шагающие реабилитационные системы с интеллектуальным управлением.

Создание очувствленных многофункциональных протезов рук и ног, шагающих реабилитационных систем, приближающихся по своим возможностям к органам человека, представляет отдельную сложную задачу. В этом случае имеют место дополнительные требования по функциональности, точности, быстродействию, весу, габаритам, очувствлению и дизайну.

Таковыми задачами являются:

- создание конструкции протеза, обладающего габаритами человеческой руки, способного захватывать объекты сложной формы, манипулировать сосудами с жидкостью, выполнять тонкие бытовые и производственные операции;
- разработка алгоритмов управления и системы управления. Отметим, что человеческая рука с учетом основных движений пальцев имеет 22 степени свободы. Задача усложняется еще и тем, что управление полным протезом руки человека приходится осуществлять при ограниченном числе управляющих команд;
- разработка методов получения управляющих сигналов от биопотенциалов мышц и сигналов мозга;
- создание системы распределенного очувствления протеза типа искусственная кожа;
- создание приводов типа искусственная мышца;
- обеспечение дизайна протеза, имеющего внешний вид естественной руки человека.

4. Искусственные мышцы

Рассмотрим более подробно проблему создания привода типа «искусственная мышца».

При создании протезов рук особенно естественным является так называемый «бионический» подход, то есть создание изделий, максимально приближающихся по своим характеристикам к руке человека. В этом случае особенно привлекательным является создание приводов аналогичных естественным мышцам.

Естественная мышца имеет ряд принципиальных преимуществ перед существующими двигателями: это, прежде всего, отсутствие трущихся и изнашивающихся частей, сохранение целостности и герметичности при изменении формы, отсутствие шумов, значительно меньшая инерционность по сравнению с другими видами привода.

Основными направлениями при создании искусственных мышц являются: использование эффекта памяти формы, электроактивные полимеры, пневмомолекулы, использование гидро-лазерного эффекта.

Примеры создания действующих образцов искусственных мышц угла имеются. В частности, в лаборатории реактивного движения NASA созданы образцы искусственных мышц на основе электроактивных полимеров. Это направление развивают и другие лаборатории, где созданы также образцы искусственных мышц.

Несколько руководителей лабораторий устроили небольшой шоу-турнир по армреслингу робота с искусственными мышцами и человека-школьницы Панны Фелсон. Школьница победила робот от компании Enviromental Robots за 24 секунды, другие образцы продержались 3-4 секунды. Это говорит о том, что коммерческие образцы – дело ближайших лет.

Германская фирма Festo создала руку робота с использованием пневматических мышц, максимально копирующую руку человека, Airis Arm. Ее габариты 85x85x65 см, вес 6,3 кг. Применение данного типа руки в качестве протеза руки связано с преодолением трудностей по управлению и очувствлению.

Современные разработки искусственных мышц связаны с использованием нанотехнологий. В частности, ученые Королевского химического общества создали искусственный мускул из переплетенных нанотрубок, помещенных в электролит. При пропускании электрического тока трубки увеличиваются по толщине и сокращаются. Максимальная закрутка волокна составила 250° на один миллиметр волокна.

5. Протезы рук с управлением от биопотенциалов

Первые протезы рук, управляемые от биопотенциалов были созданы в России под руководством профессора Кобринского А.Е.

Эти идеи и конструкция развивались и совершенствовались в многочисленных работах отечественных и зарубежных ученых. Одними из наиболее функциональных

протезов кисти руки являются бионические протезы фирмы «Touch Bionics» (рис. 1), которые управляются от биопотенциалов оставшихся мышц предплечья.



Рис.1. Протез кисти руки фирмы «Touch Bionics»

Далее британская фирма «Ve bionic» создала усовершенствованную систему протеза кисти руки. В основе изобретения лежит использование так называемой миоэлектрической системы управления, дополненной возможностью более тонкой поднастройки протеза (сила сжатия пальцев, скорость реагирования устройства). Такой протез управляется посредством интерпретации сигналов, возникающих при сокращении оставшихся мышц предплечья. Сообщение с управляющим компьютером осуществляется без проводов.

Следует отметить, что функциональные возможности этого протеза ограничены. С помощью протеза можно реализовать ограниченное число видов захвата объекта.

Другим современным протезом кисти руки является протез фирмы «Otto Bock» под названием кисть «Michelangelo» с системой «Axon-Bus». Система снабжена двумя приводами. Основной привод отвечает за хватательные движения и силу и управляет указательным и средним пальцем, второй – большим пальцем. Оба привода позволяют реализовать семь различных положений кисти. Однако, как и в других протезах, независимое движение пальцев в этих системах не реализуется.

Недостаточная функциональность существующих в настоящее время протезов рук объясняется дефицитом управляющей информации, которой недостаточно для управления независимыми движениями пальцев и ориентацией протеза. Решение этой проблемы связано с решением сложных задач вживления электродов непосредственно в периферические нервы, созданием интерфейса связи протеза непосредственно с мозгом, с разработкой системы управления и алгоритмов супервизорного управления.

При соединении нервов с электродами возникают принципиальные трудности. Нервы и электрические провода передают совершенно разные типы сигналов, поэтому преодоление этого факта представляет принципиальную трудность. Кроме того, организм воспринимает подобные им имплантаты, как чужеродные тела и запускают иммунную реакцию по рубцеванию ткани вокруг импланта, что со временем нарушает его работу.

Однако наиболее сложной задачей протезирования рук является задача создания полного протеза руки для инвалидов при вычленении плеча. В этом случае отсутствует мышца на руке, откуда обычно снимается информация и биопотенциалы для управления протезом. При полной потере руки необходимо изыскивать другие возможности и разрабатывать алгоритмы управления протезом.

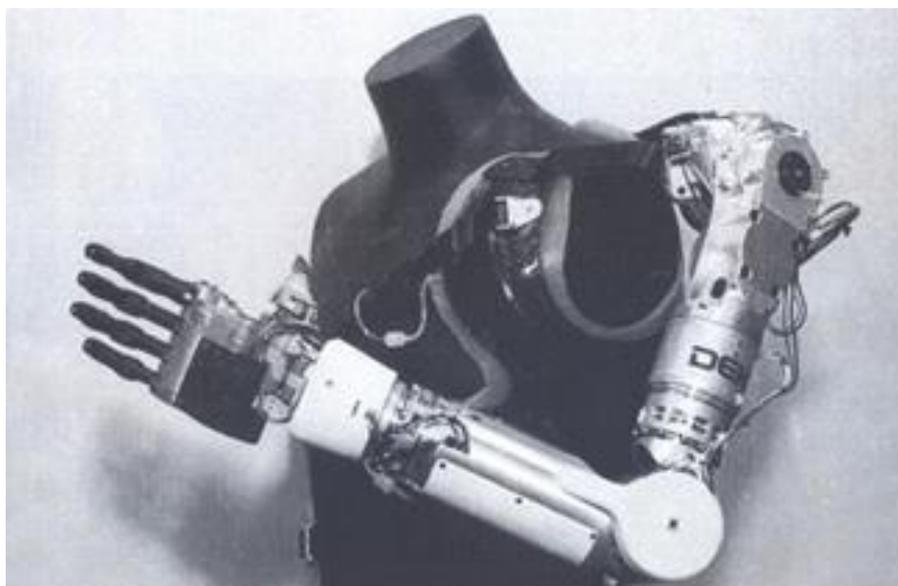


Рис. 2. Полный протез руки

Одним из наиболее крупных проектов является бионическая рука Luke Arm, разработанная группой ученых из шести стран (Швеция, Дания, Италия, Исландия, Германия, Израиль). Особенностью этого протеза является возможность ощущения прикосновения к объекту. Первая операция, позволившая пациенту чувствовать кончиками пальцев протеза, была проведена в Тель-Авивском университете в 2009 году. В настоящее время этот протез совершенствуется.

Одним из самых дорогих и многофункциональных протезов рук в настоящее время является полный протез бионической руки, разрабатываемой в лаборатории физики университета Джона Хопкинса в США совместно с другими фирмами по заказу Пентагона. В проекте используется прямое соединение протеза с нервной системой – процедура «целая переиннервация мускулов», включающая хирургическое перемещение определенных нервов к другим мускулам. Стоимость таких проектов очень высокая.

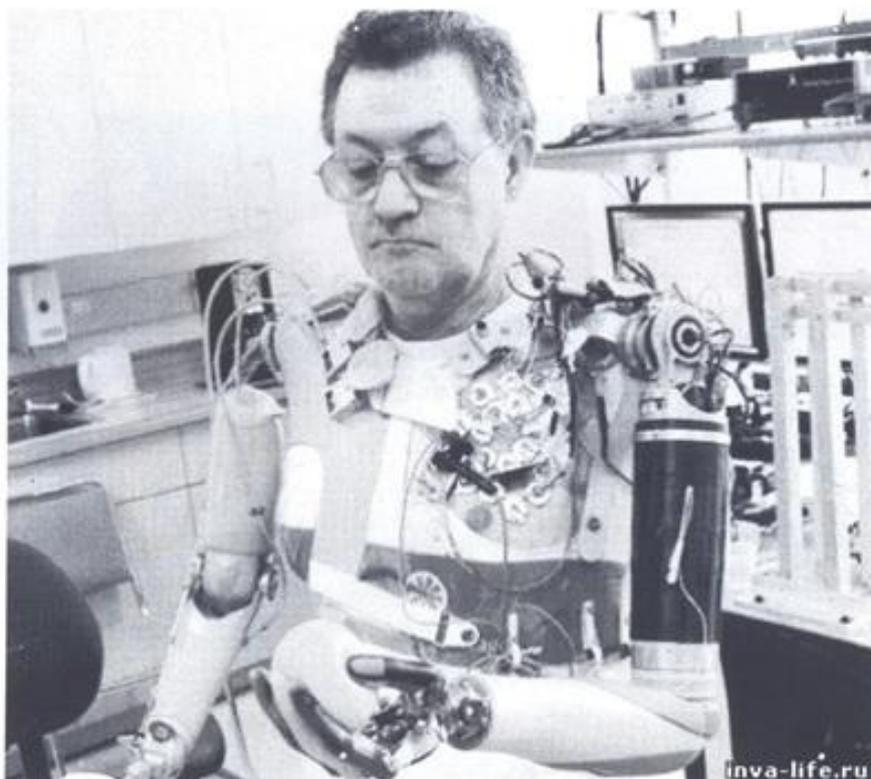


Рис. 3. Полные протезы обеих рук

6. Интеллектуальные протезы ног

Одним из совершенных протезов ноги является интеллектуальный протез фирмы «Otto Bock» С-Лед, в котором использован пневмопривод с управлением от микропроцессора (рис. 4).

Датчик давления пятьдесят раз в секунду измеряет нагрузку на протез и передает информацию в микропроцессорное устройство, управляющее сгибанием колена и щиколотки. В зависимости от вида ампутации ноги используются различные модули для построения протеза ноги. Самообучающийся коленный модуль Rheo Knee самостоятельно и непрерывно адаптируется к инвалиду и окружающей среде.

Сенсорная система измеряет нагрузку с частотой тысячи раз в секунду, использует стиль ходьбы инвалида и реагирует на изменение скорости, нагрузки и рельефа местности.

Полный протез ноги для пациентов с ампутацией ноги выше колена Symbionic Leg использует управление стопой и адаптивным коленным суставом от микропроцессора и обеспечивает автоматическую адаптацию к рельефу местности, регулируя угол наклона стопы.

Интеллектуальный электронный коленный шарнир разработан канадской компанией Ossur совместно с Массачусетским технологическим институтом. Микропроцессоры по показаниям датчиков позволяют изменять параметры ходьбы при каждом шаге.



Рис. 4. Протезная система ноги C-leg фирмы Otto Bock

7. Реабилитационные шагающие механизмы

При параличе или потере ног эффективным средством обеспечения перемещения человека в шагающем режиме является создание экзоскелетов – управляемого от биопотенциалов мышц механизма внешнего скелета (рис. 5).



Рис. 5. Реабилитационные шагающие механизмы Rewalk

Одними из первых работ по созданию протезов ног и экзоскелетов были работы М. Вукобратовича [3], под руководством которого были созданы протезы ног и экзоскелеты с различными видами приводов.

В последнее время было создано несколько новых конструкций шагающих экзоскелетов. Одной из таких конструкций является шагающий экзоскелет Rewalk.

Экзоскелет Японской фирмы «Cyberdyne» HAL-5 предназначены для реабилитации инвалидов и имеет высоту 160 сантиметров и вес 15-23 килограммов. Этот костюм может работать без подзарядки до 2,5 часов.

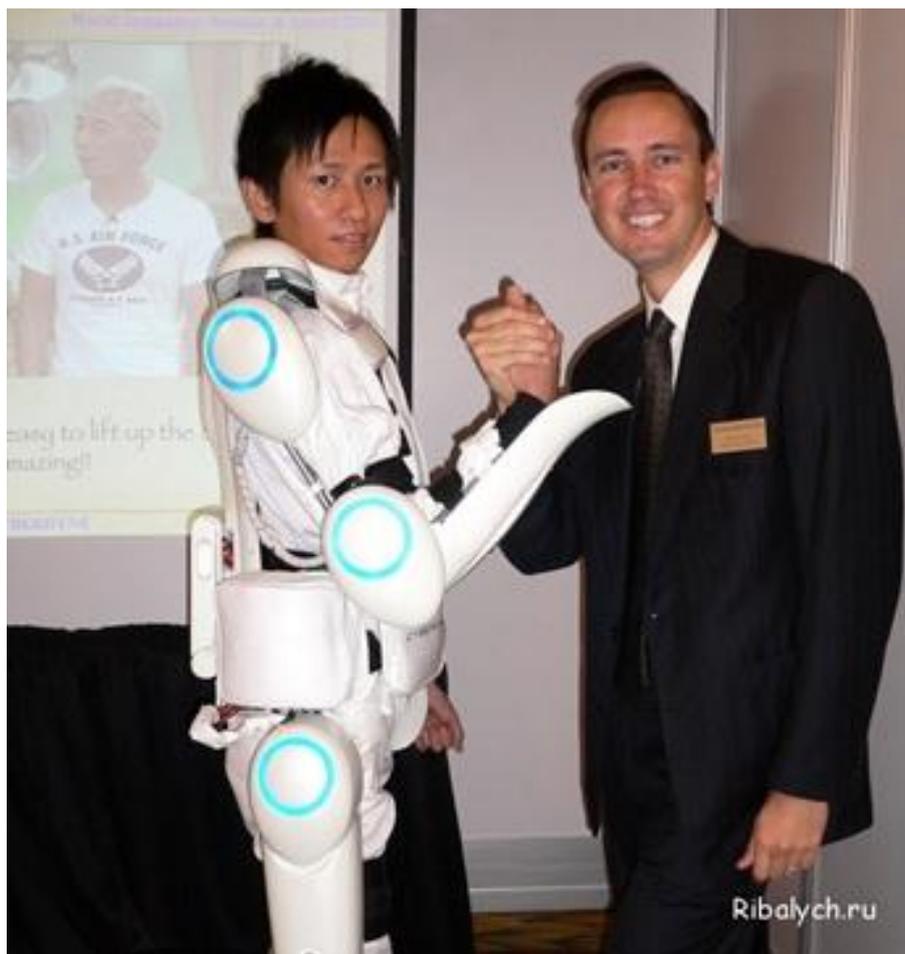


Рис. 6. Экзоскелет Японской фирмы «Cyberdyne» HAL-5

Экзоскелет улавливает импульсы, посылаемые мозгом с помощью электрических моторов, может помогать человеку делать необходимые движения, ходить, садиться и подниматься. Облегченная версия этого экзоскелета используется в нескольких домах престарелых и больницах. Использование этого устройства обходится в две тысячи долларов в месяц. Устройство как бы читает мысли человека.

Компания «Honda» создала экзоскелет (рис. 7), предназначенный для нижней части тела. Этот экзоскелет предназначен для инвалидов, которые почти не могут ходить из-за слабости мышц, болезни и людей, перенесших травму позвоночника.



Рис. 7. Экзоскелетон компании «Honda»

Альтернативным направлением, позволяющим построить многофункциональный протез руки и избежать проведения хирургических операций, является использование движений, удаленных мышц и внешних потенциалов мозга.

Ниже приводится образец протеза кисти руки с пневмоприводом (рис. 8), управляемый от движения пальцев ног и стопы, разработанный совместно ИМАШ РАН и МГУПИ, и позволяющий реализовать независимое движение пальцев протеза.

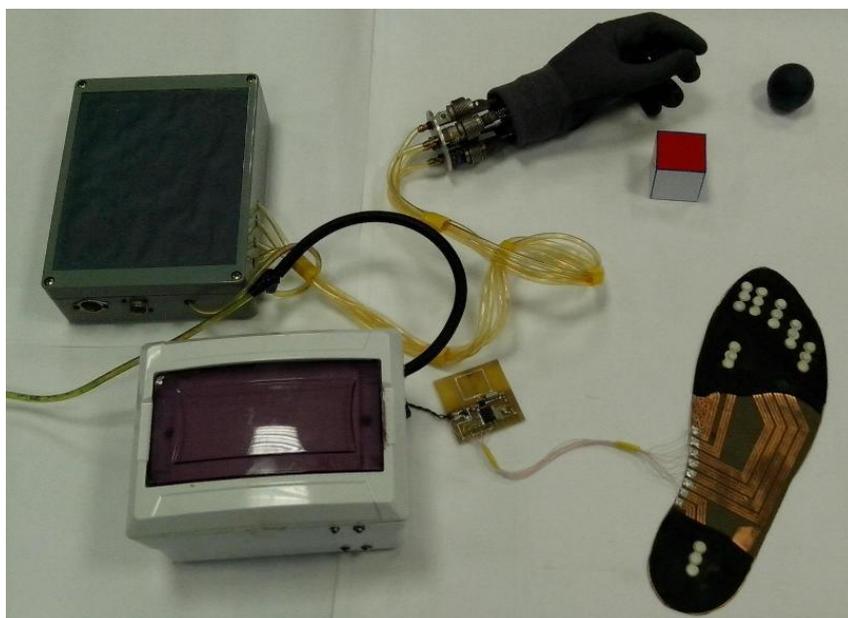


Рис. 8. Многофункциональный осязательный протез кисти руки, управляемый от пальцев ноги

Для удобства управления протезом построена дистанционная система управления от движения пальцев ног (рис. 9, 10).

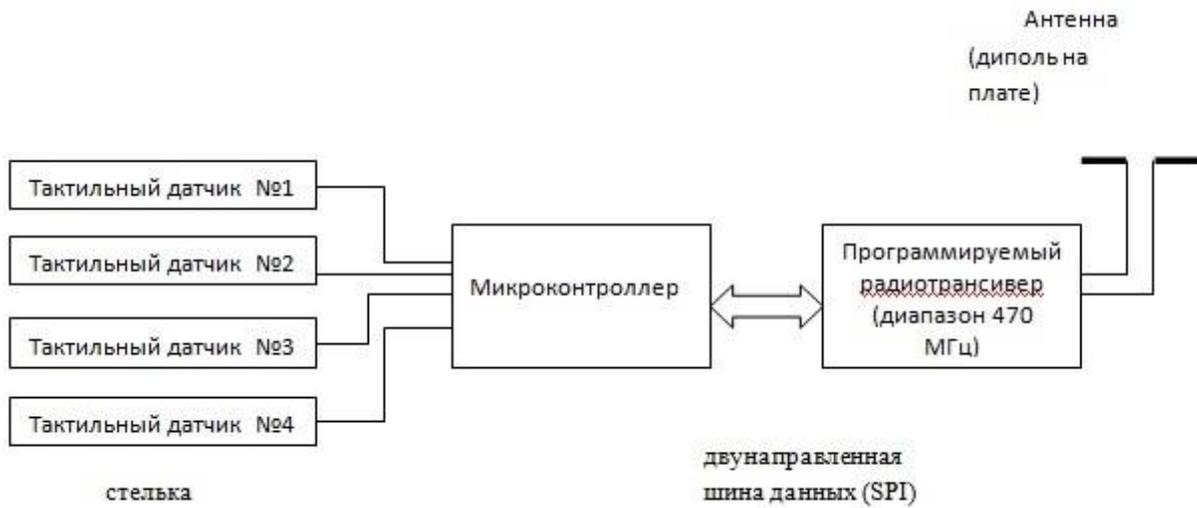


Рис. 9. Дистанционная система управления протезом кисти руки

Исполнительное устройство

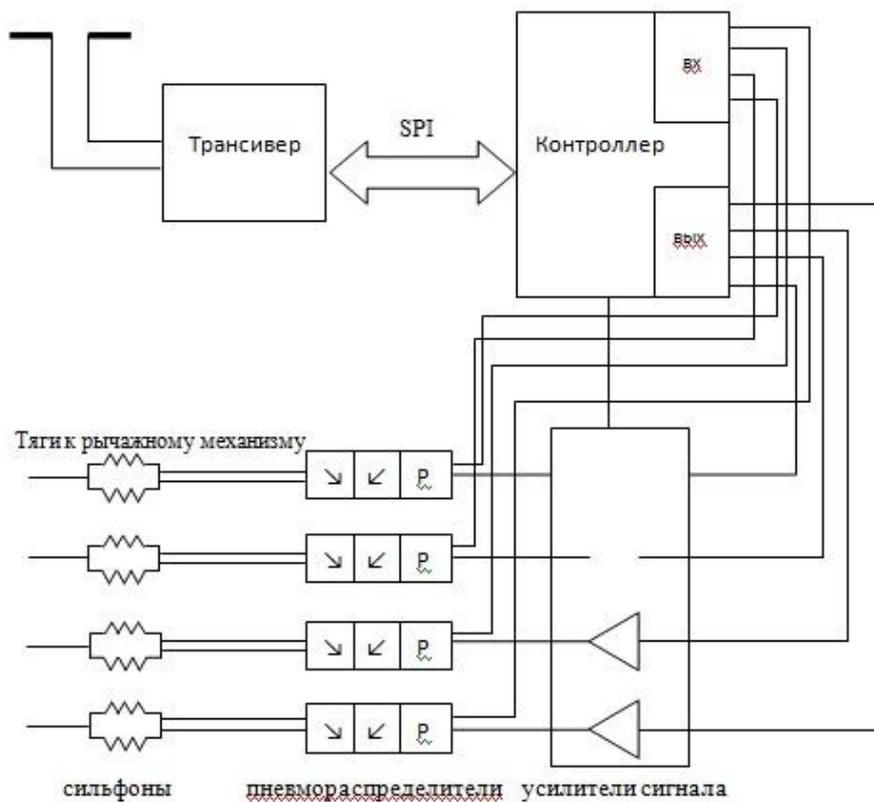


Рис. 10. Исполнительное устройство дистанционной системы управления протезом кисти руки

Реализация системы дистанционного управления представлена на рис. 11. На рис. 12 и 13 показаны отдельно микросхема и источник питания соответственно, задействованные в разрабатываемой системе дистанционного управления протезом кисти руки.



Рис. 11. Реализация системы дистанционного управления протезом кисти руки

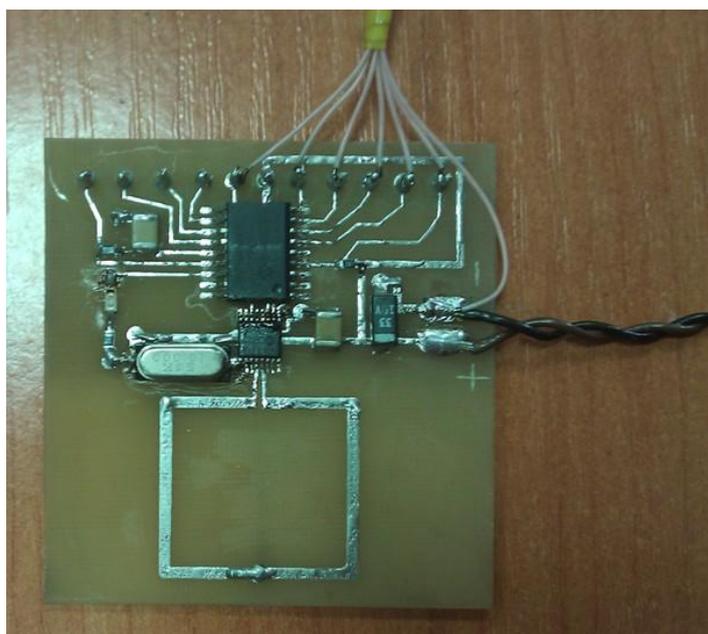


Рис. 12. Микросхема

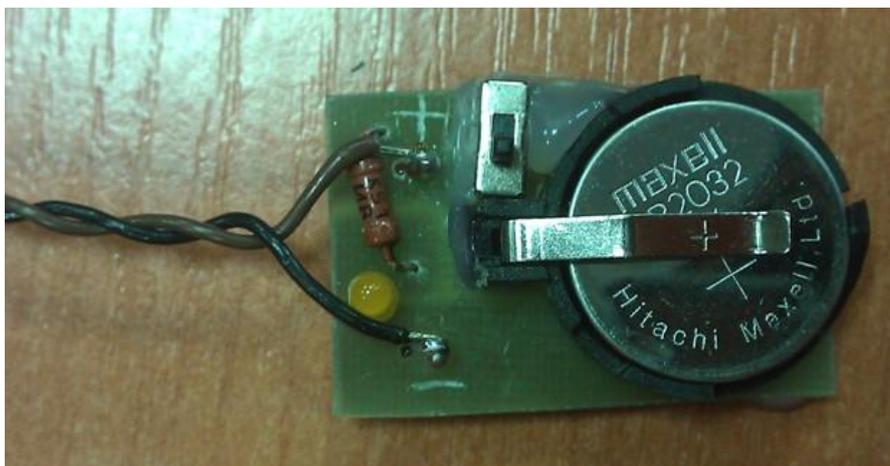


Рис. 13. Источник питания

8. Алгоритм работы дистанционного устройства управления

В памяти контроллеров управляющего устройств записаны частоты 100 радиоканалов и уникальный номер для идентификации.

1. Включение управляющего и исполнительного устройств.
2. Управляющее устройство сканирует рабочий диапазон на наличие помех и выбирает канал для передачи.
3. Управляющее устройство посылает команду исполнительному устройству перейти на выбранный канал и включить выходные усилители.
4. Исполнительное устройство отправляет подтверждение приема.
5. Управляющее устройство при приеме подтверждающего сигнала включает индикатор готовности к работе и начинает считывать состояние датчиков.
6. При получении сигнала с датчика на стельке управляющее устройство посылает кодовый сигнал.
7. Исполнительное устройство принимает сигнал и включает соответствующий пневмораспределитель, а также посылает подтверждение приемника.
8. Исполнительное устройство считывает состояние пневмораспределителей и посылает подтверждение срабатывания привода. Если привод не сработал, то он отключается и посылается сигнал ошибки.
9. Если сигнал подтверждения от исполнительного устройства не принят через заданное время, управляющее устройство меняет номер канала и подтверждает передачу.

Заключение

Создание антропоморфных (человекоподобных) роботов и протезов для реабилитации инвалидов по движению представляет отдельную сложную проблему, связанную с решением следующих основных задач.

Таковыми задачами являются разработка: многоподвижных механизмов с последовательно-параллельной структурой и гибкими связями; системы распределённого осязания типа «искусственная кожа»; интеллектуальной системы управления и алгоритмов управления от биоэлектрических потенциалов и сигналов мозга; приводов типа «искусственная мышца»; новых биоматериалов и дизайна.

Список литературы

1. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиология активности. М.: Медицина. 1966. 219 с.
2. Попов Е. П., Верещагин А. Ф. Зенкевич С. Л. Манипуляционные роботы. Динамика и алгоритмы. М.: Наука. 1978. 398 с.
3. Вукобратович М. Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. М.: Изд-во «Мир». 1976. 540 с.
4. Кулаков Ф.М. Супервизорное управление манипуляционными роботами. М.: Наука. 1980. 448 с.
5. Воробьев Е.И., Чижиков В.И., Михеев А. В. Разработка моделей и алгоритмов управления подвижными элементами пневматического протеза кисти руки. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 10. С. 21-28.
6. Корнев Г.В. Целенаправленная механика управляемых манипуляторов. М.: Наука. 1979. 448 с.
7. Гурфинкель В.С., Малкин В.Б., Цетлин М.Л., Шнейдер А.Е. Биоэлектрическое управление. М.: Наука. 1972. 245 с.
8. Кулешов В.С., Лакота Н.А., Андрюнин В.В. и др. Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы. / Под общей редакцией Е.П. Попова. (Серия: Автоматические манипуляторы и робототехнические системы.) М.: Машиностроение. 1986. 328 с.
9. Сафин Д.Р., Пильщиков И.С., Мигранова Р.М., Ураксеев М.А. Современные системы управления протезами. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – М.: Техносфера. 2009. №4. С. 60-68.
10. Воробьев Е. И., Скворчевский А.К., Сергеев А.М. Построение алгоритма управления антропоморфного робота как обратной задачи динамики. // Качество и жизнь. Сборник. М.: АКО "Издательство РДК-Пресс". 2010. № 4. С. 98-101.