E-ISSN : 2181-4341
https://wordlyknowledge.uz
IMPACT FACTOR(SJIF) : 3,934

Методы управления протезами верхних конечностей. Особенности управления протезами при разных видах ампутации

Каххаров Алохон Аброрович
Кандидат технических наук доцент
Ташкентского Университета Информационных Технологий
Махмудова Шахзода Ёркиновна
Магистр Ташкентского Университета Информационных Технологий

Аннотация:Проанализированы методы управления протезами верхних конечностей. Рассмотрены особенности управления протезами на три вида ампутации (на уровне кисти и пальцев, на уровне предплечья и после вычленения предплечья, на уровне плеча и после вычленения плеча). Показано, как уровень ампутации связан с используемыми методами управления. Наиболее перспективными методами управления в протезах кисти и пальцев являются методы с расширенной обратной связью и адаптивные; на уровне предплечья и после его вычленения актуально использование нейроинтерфейсов, явления мышечных синергий и других; на уровне плеча и после его вычленения эффективны неинвазивные и интуитивные методы управления. Несмотря на многообразие достижений современных технологий задача полного восстановления всех утраченных функций верхней конечности остается актуальной. Выделен ряд нерешенных задач в области разработки систем управления протезами верхних конечностей: организация расширенной обратной связи «человек–протез», управление большим количеством степеней подвижности протеза и одновременное использование источников полезных сигналов различной природы.
Ключевые слова: Протез верхней конечности, система управления, метод управления, автоматическое управление, ЭМГ, ЭЭГ, распознавание образов, нейронная сеть, интуитивное управление, адаптивное управление.

Введение

Одними из основных методов управления протезами являются: миотонический, биоэлектрический и контактный. При биоэлектрическом используется биоэлектрический компонент мышечной активности, при миотоническом – объемное изменение мышц, при контактном – воздействие на элемент управления (например, переключатель), при комбинированном используются два или более способа управления.

Наиболее универсальным техническим решением является СУ протезом верхней конечности с внешним источником энергии, имеющим биоэлектрическое управление и обратную связь (ОС) по положению или по усилию. Управление степенями подвижности протеза в такой конструкции является поочередным из-за ограниченного числа источников управляющих сигналов.

Адаптивные методы управления. Одной из основных бытовых задач, которую выполняет кисть человеческой руки, является захват объектов различной формы и размеров. В зависимости от свойств и характеристик объекта, требуется разная сила схвата, которая при наличии здоровой конечности выбирается человеком интуитивно. Следовательно, соответствующий протез предназначен для восстановления этой функции. Большинство неадаптивных МУ, используемых в разработке протезов на уровень кисти и пальцев, не способны учитывать условия окружающей среды и изменять алгоритмы управления в соответствии с ними. Таким методом является, например, неадаптивный МУ протезом кисти с помощью ультразвукового изображения, используемый в человеко-машинном интерфейсе для управления протезом кисти, где в качестве входных сигналов управления на классификатор подаются гистограммы направленных градиентов изображений (HOG). Концепция HOG сравнивалась с традиционной концепцией ROI, используемой в построении изображений для медицинской диагностики.

E-ISSN : 2181-4341
https://wordlyknowledge.uz
IMPACT FACTOR(SJIF) : 3,934

Неадаптивным является и МУ кистью протеза, входными управляющими воздействиями которого выступают сигналы, полученные с ЭМГ-датчиков и голосовых команд управления. Метод имеет следующую особенность: оператор может генерировать несколько видов сигналов управления – ЭМГсигналов, а также голосовые команды, обрабатываемые модулем распознавания речи в системе. Голосовое управление может использоваться в случае выхода из строя СУ.

Нейроинтерфейсы. Использование нейроинтерфейсов помогает управлять увеличенным количеством степеней подвижности протеза предплечья. Эти технологии позволяют приблизиться к интуитивному методу управления, что наиболее удобно вследствие специфики управления протеза.

Например, для управления тремя степенями подвижности в МУ используется нейромашинный интерфейс (НМИ), основанный на технологии ЭМГ. Интерфейс универсален и способен постоянно прогнозировать изменение координат между пястно-фаланговым суставом и сгибанием/разгибанием запястья. В основе НМИ лежит универсальная многофункциональная мышечно-скелетная модель. Она содержит 9 различных движений, где каждая мышца была смоделирована как активатор типа Хилла.

Существует ряд исследований, связанных и с управлением протезами с большим количеством степеней подвижности. Например, метод также основан на мышечных синергиях между плечом и локтем. Он дополняет «стандартный» метод миоэлектрического управления с помощью внедрения IMUдатчика, который обеспечивает кинематическую пару между искусственным локтем и неповрежденной частью руки (взаимосвязь между угловой скоростью плеча и угловой скоростью локтя, угол которых модулируется с помощью ЭМГ) и автоматическое переключение между управлениями кистью и локтем, основанные на движениях неповрежденного плеча.

Другие методы управления протезами предплечья. Управление протезом предплечья может осуществляться с помощью определенных компенсаторных движений. Разработана СУ протезом предплечья с биоэлектрическим управлением и двумя степенями подвижности. Благодаря введению электромеханических приводов ротации и сгибания кисти снижается уровень силового воздействия на несущую и приемную гильзы посредством компенсаторного движения отведения с повышенной амплитудой и ротации плеча. Также при управлении уменьшаются энергетические затраты оператора.

Протез предплечья может быть установлен в определенное положение с помощью графического интерфейса, содержащего модуль с жидкокристаллическим дисплеем (LCD-модуль) и встроенными командами управления. В разработке библиотека жестов, доступ к которой осуществляется через графический интерфейс «человек–протез». В качестве входных используются ЭМГ-сигналы, с помощью которых активируется исполнительное устройство.

С помощью умного LCD-модуля оператор может выбирать запрограммированное движение путем нажатия кнопок на кисти протеза. С помощью движений нижних конечностей также возможно управлять протезом верхней конечности, если задающими сигналами управления являются данные о положении стопы и голени. МУ позволяет управлять протезом с четырьмя степенями подвижности. В качестве входных сигналов используются сигналы, полученные путем накожной ЭМГ-регистрации биопотенциалов при активности мышц голени и стопы, которые котируются соответственно степеням подвижности локтя, запястья и кисти руки. С помощью LDA-алгоритма (linear discriminant analysis) классифицированы данные о работе мышц ступни, на основе этих данных выполняется непосредственное управление.

В управлении протезами предплечья возможно использование технологий дополненной реальности (Augmented Reality, AR), которые помогают оператору научиться пользоваться протезом (рис.1). Для управления всей системой оператор носит наголовный

E-ISSN : 2181-4341
https://wordlyknowledge.uz
IMPACT FACTOR(SJIF) : 3,934

дисплей (HMD) с камерой. Виртуальный протез выполняет схват виртуальных объектов, положение которых определяется с помощью технологий распознавания изображений и координатных преобразований. Преобразование выполняется с целью «отрисовки» виртуальных объектов в любом положении, которое определяется по положению AR-маркеров.



Рис.1. Блок-схема системы управления с большим числом степеней подвижности протеза

К самообучающимся относятся СУ, основанные на методах автоматической классификации или на методах обучения на примерах. В процессе обучения проводится автоматическое построение обобщающих правил или функций, которые описывают принадлежность ситуаций к определенным классам. Впоследствии система пользуется этими правилами при интерпретации незнакомых ситуаций. Из обобщающих правил и функций формируется база знаний, которая периодически корректируется по мере накопления информации об анализируемых ситуациях. СУ протезами предплечья с самообучением способны решать задачи, в которых заранее неизвестно развитие ситуации и зависимости между входными и выходными данными. Несмотря на широкое использование управления с алгоритмами самообучения, управление протезами может осуществляться и без обучения.

К МУ без обучения можно отнести: управление локтем, запястьем и схватом кисти протеза осуществляется с помощью пяти голосовых команд управления. СУ распознает команды управления, при этом учитывается тембр голоса в разных шумовых условиях.

Наиболее перспективными для разработки протезов кисти и пальцев являются метод с расширенной обратной связью и адаптивные методы – из-за их способности активно реагировать на изменения воздействий окружающей среды и объекта управления. Для протезов предплечья актуальна разработка системы с большим количеством степеней подвижности за счет использования нейроинтерфейсов и мышечных синергий. Для протезов плеча наиболее перспективны интуитивные и неинвазивные методы, так как они наиболее приближены к «естественному» управлению конечностью. Использование инвазивных методов не всегда возможно.

Несмотря на существенный прогресс в разработке систем управления протезами существует ряд актуальных задач, таких как организация расширенной обратной связи,

E-ISSN : 2181-4341
https://wordlyknowledge.uz
IMPACT FACTOR(SJIF) : 3,934

управление большим количеством степеней подвижности протеза и одновременное использование источников полезных сигналов различной природы происхождения.

Литература:

1. Курдыбайло С.Ф., Замилацкий Ю.И., Андриевская А.О., Буров Г.Н., Антипов А.В., Чекушина Г.В., Петров В.Г. Конструкции протезов верхних конечностей. Учебное пособие (исторический очерк). СПб: Нимфа, 2009. 458 с.

2. Киракозов Л.Р., Монахова М.И. Исследование рынка высокофункциональных электромеханических кистей для протезов верхних конечностей с биоэлектрическим управлением // Вестник всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. 2014. № 4 (58). С. 23–26. 3. Буров Г.Н., Большаков В.А., Большакова М.А. Принципы создания современных реабилитационных устройств в протезировании верхних конечностей // Вестник всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. 2017. № 1 (63). С. 9–13.

4. Большаков В.А., Буров Г.Н. К вопросу формирования системы управления протезом при ампутационных дефектах в пределах предплечья // Вестник всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. 2014. № 4 (58). С. 31–33.

5. Буров Г.Н. Анализ систем управления протезами верхних конечностей / Руководство по протезированию и ортезированию / под ред. М.А. Дымочки, А.И. Суховерховой, Б.Г. Спивака. 3-е изд. Т. 2. М., 2016. С. 106–116.

6. Кужекин А.П., Морейнис И.Ш., Якобсон Я.С. и др. Конструкции протезно-ортопедических изделий. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 240 с.

WORDLY
KNOWLEDGE