

ИНФОРМАТИКА

doi: 10.51639/2713-0576_2022_2_1_85

УДК 681.58

ГРНТИ 81.01.07

Использование миоэлектрических сигналов в протезировании

* Заргарян Ю.А.

*Южный федеральный университет,
347928, Россия, Ростовская область, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44*

email: * yazargaryan@sfedu.ru

Миоэлектрические сигналы (МЭС) используются в различных приложениях, в частности, для идентификации намерений пользователя для потенциального управления вспомогательными устройствами для ампутантов, ортопедическими устройствами и экзоскелетами с целью расширения возможностей пользователя. МЭС также используются для оценки силы и, следовательно, крутящего момента для приведения в действие вспомогательного устройства. Применение МЭС не ограничивается вспомогательными устройствами, они также находят потенциальное применение в телеоперации роботов, тактильных устройствах, виртуальной реальности и так далее. Протез руки на основе миоэлектрического управления помогает восстановить повседневную жизнедеятельность людей с ампутированными конечностями, чтобы повысить самооценку пользователя. Все протезы рук на основе миоэлектрического управления могут не иметь схожих операций и демонстрировать различия в восприятии входного сигнала, расшифровке сигналов и приведении в действие протеза руки. Исследователи сосредоточены на улучшении функциональности протеза руки, чтобы удовлетворить требования пользователя с помощью различных рабочих функций. Миоэлектрическое управление отличается по принципу действия, чтобы учитывать различные внешние факторы. В этой статье рассматривается состояние дел в области миоэлектрических протезов руки, дается описание каждой стратегии управления.

Ключевые слова: информатизация, вспомогательное устройство, система управления, миоэлектрические сигналы

Введение

Сегодня развитие науки и техники привело к тому, что протезные устройства с многообещающими функциональными возможностями и эстетичным внешним видом находятся в исследовательской области в пользу коммерциализации. Разработка протеза руки является междисциплинарной, требующей знаний физиологии, анатомии, электротехники и электроники, механической конструкции, программного обеспечения и так далее, в зависимости от характера управления. Тем не менее, большинство исследований проводится в лаборатории, и проблема заключается в отсутствии интеграции с технологией из-за ее междисциплинарного характера и отсутствия средств. Существуют различные типы протезов рук - от протезов с питанием от тела до протезов на основе нейронного интерфейса, которые производятся и пытаются внедрить на рынке и в исследовательских целях. Выбор протеза руки основывается на требованиях пользователя[1–2].

Классификация протезов

В целом, протезные устройства могут работать от тела, пневматически или электрически. Устройства, работающие от тела, используют энергию мышц для управления кабелем через связь. Преимущества устройств с питанием от тела заключаются в том, что они имеют низкую стоимость и их ремонт обходится дешевле. Однако эти устройства не являются - косметически привлекательными, и некоторым пользователям трудно управлять ими с помощью энергии тела. Протезы с электрическим питанием, работающие от аккумулятора, нравятся большинству пользователей благодаря своему косметическому виду. Однако эти устройства стоят дорого и являются тяжелыми и дорогими в ремонте. Тем не менее, произошел значительный прорыв в работе протезов с электрическим питанием. Эти устройства с внешним питанием могут работать от давления, выключателя, тензодатчика, миоэлектрических сигналов (МЭС) и сигналов электроэнцефалограммы. Существует возможность применения гибридной стратегии управления для улучшения работы устройств. Независимо от работы устройств, как правило, протезы рук имеют механическую конструкцию крючков, искусственных рук, а также особый тип терминальных устройств, в зависимости от специфики деятельности пользователя.

Крючки - это устройства, обладающие хорошей прочностью, не требующие особого ухода, имеющие небольшой вес и хорошую способность к захвату. Крючки изготавливаются из таких металлов, как алюминий, нержавеющая сталь и титан. Алюминий имеет меньший вес и меньшую прочность, а нержавеющая сталь имеет больший вес и прочность. Титановые крючки обладают хорошей прочностью при меньшем весе. Но крючки не являются косметически привлекательными. Они используются для управления телом. Прехенсоры находятся между крючками и искусственными руками. Прехенсоры доступны на рынке с обратной связью и без нее. Как и крючки, прехенсоры не имеют косметического вида и работают от тела. Специальные типы терминальных устройств, созданные в соответствии с интересами пользователя в рекреационной или спортивной деятельности, такой как игра в гольф, восхождение на гору и т.д., также приводятся в действие телом.

Искусственные руки косметически привлекательны, но функционально уступают крючкам и прехенсорам. Эти искусственные руки могут управляться с помощью МЭС, отражая намерения пользователя. В настоящее время предпринимаются попытки управления рукой посредством восстановления функции нервов руки с помощью целевой реиннервации мышц (ЦРМ) для приведения руки в действие и через нейронный интерфейс. Современное состояние техники заключается в управлении протезом руки с помощью МЭС с различными схемами управления для интерпретации мышечных сигналов [3-5].

На рисунке 1 показаны коммерчески доступные протезы руки с питанием от тела иммиоэлектрический протез руки.

Также предпринимаются попытки контролировать суставы пальцев для улучшения ловкости рук. Была разработана рука с артикуляцией каждого пальца отдельно или одновременно, в зависимости от возможностей пользователя. Поэтому данная статья посвящена состоянию дел в области управления протезами рук с миоэлектрическим управлением, в ней подробно описаны различные стратегии управления и дана краткая информация о механической конструкции в коммерческих и исследовательских работах.

Миоэлектрический протез руки основан на электромиографических (ЭМГ) сигналах, генерируемых в скелетных мышцах, которые отражают намерение пользователя. Сигналы ЭМГ, генерируемые намерением, используются для управления протезом руки с помощью различных схем расшифровки, таких как пропорциональное управление, управление включением-выключением, конечный автомат состояния, распознавание образов и постуральное управление. Исследователи пытаются расшифровать больше информации из ЭМГ, чтобы улучшить ловкость протеза руки. С другой стороны, некоторые исследователи

пытаются использовать методы сопряжения сигналов ЭМГ для улучшения ловкости. Тем не менее, управление протезом руки зависит от способа получения сигналов, а также от расшифровки намерений по сигналам ЭМГ.

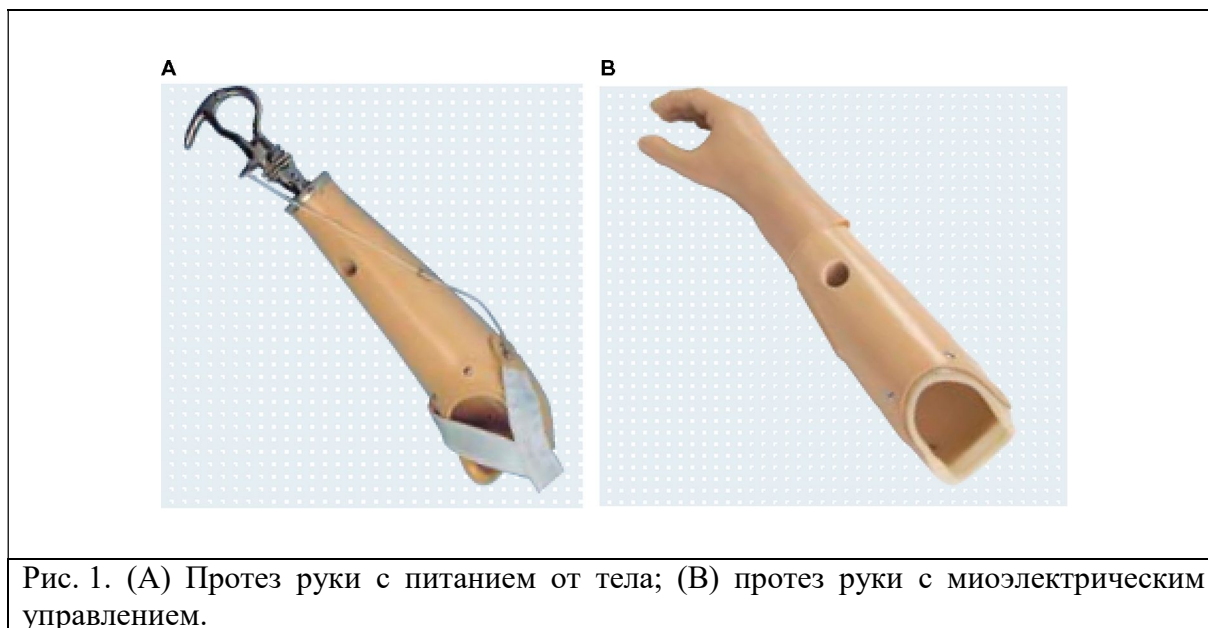


Рис. 1. (А) Протез руки с питанием от тела; (В) протез руки с миоэлектрическим управлением.

Обнаружение сигналов ЭМГ

Протез руки с питанием от тела не имитирует естественное движение руки человека. Устройства, управляемые намерением пользователя, имитируют естественные движения человека. Намерение пользователя для управления рукой может быть получено из физиологических сигналов управления, полученных с помощью датчиков. Сенсорная технология передает сигналы управления от человека в искусственную руку. Современные протезы рук включают в себя поверхностные электроды для интерфейса искусственной руки через миоэлектрические сигналы управления для человека. Поверхностные ЭМГ сигналы для управления искусственной рукой воспринимаются с поверхности кожи и являются предпочтительными из-за простоты доступа и неинвазивности процедуры. Ловкость протезной руки при поверхностной ЭМГ ниже из-за ограничений в определении мест для получения сигналов. Используя поверхностные электроды, можно определить три-четыре возможных места на культе для получения сигналов для последовательного управления. Однако сбор внутримышечных сигналов ЭМГ является инвазивным методом и требует хирургических навыков для использования имплантируемого миоэлектрического датчика. Но внутримышечные ЭМГ-сигналы обеспечивают доступ к сбору ЭМГ-сигналов из нескольких мест для обеспечения нескольких степеней управления протезом руки. Можно было бы добиться одновременного управления протезом руки с помощью внутримышечных ЭМГ-сигналов, используя имплантируемый датчик.

Хирургическая процедура ЦРМ была недавно использована для переподключения нервов к различным наборам мышц, которые могут быть измерены с поверхности для управления искусственной рукой. Использование ЦРМ эффективно для трансгумеральных ампутантов, и эта техника обеспечивает доступ к использованию намерений пользователя.

Схемы миоэлектрического управления

Сигнал ЭМГ используется в управлении протезом руки с 1948 года. Производство коммерческих протезов рук с использованием МЭС началось в 1957 году в Центральном

научно-исследовательском институте протезирования в Москве для управления шаговым двигателем. Позже он был модернизирован с помощью двигателя постоянного тока с постоянными магнитами и электромагнитных реле. Позже стратегия миоэлектрического управления была широко проанализирована, и была разработана простая схема управления включением-выключением. В этой миоэлектрической схеме управления амплитуда ЭМГ используется для декодирования информации в полученных сигналах ЭМГ для включения/выключения двигателя. Команда на приведение протеза в действие определяется путем сравнения амплитуды, рассчитанной с помощью среднеквадратичного или среднего абсолютного значения, с заданным порогом. Для преобразования информации, содержащейся в ЭМГ, было разработано множество схем управления, которые обычно классифицируются по характеру управления как последовательное управление и одновременное управление. Большинство схем управления, используемых в протезе руки пользователя, имеют последовательное управление, и в настоящее время ведутся исследования по одновременному управлению рукой. В схемах последовательного управления сигналы ЭМГ переводятся с помощью следующих схем: 1) управление включением-выключением, 2) пропорциональное управление, 3) прямое управление, 4) управление с помощью конечных автоматов состояния, 5) управление на основе распознавания образов, 6) схемы управления позой и 7) схемы регрессионного управления. Кроме того, пропорциональное управление используется в сочетании с прямым управлением, конечным автоматом состояния и управлением позой для эффективного декодирования информации от МЭС. Сигналы МЭС, полученные с поверхности кожи в этих схемах, усиливаются и предварительно обрабатываются перед аналого-цифровым преобразованием. Полученные данные ЭМГ обрабатываются для расшифровки намерений пользователя и обмена данными с контроллером двигателя, чтобы привести в действие соответствующий двигатель для достижения желаемой пользователем активности [6-8].

Обычное управление включением-выключением подходит максимум для двух степеней свободы. При управлении протезная рука управляется с постоянной скоростью по часовой стрелке и против часовой стрелки с полной остановкой. Существуют различные схемы управления для включения-выключения. Простейшее управление включением-выключением основано на пороговом значении ЭМГ для выбора направления управления рукой. При такой схеме управления рука работает с постоянной скоростью, которая не зависит от уровня сокращения. Одновременное управление движением возможно при включенных и выключенных двигателях, работающих с постоянной скоростью.

При пропорциональной схеме управления напряжение, подаваемое на двигатель, пропорционально уровню сокращения/интенсивности сигналов ЭМГ. Это позволяет быстро схватывать грубые движения, а пригодность такого управления для верхних конечностей все еще изучается. В последнее время исследователи сосредоточились на одновременном пропорциональном управлении.

Такое одновременное управление противоречит последовательным схемам управления, таким как государственная машина. Другие схемы управления используются наряду с пропорциональным управлением для улучшения ловкости в схемах миоэлектрического управления.

Прямое управление похоже на пропорциональное управление и предполагает использование независимых участков ЭМГ для достижения индивидуального управления движениями пальцев. Однако трудно добиться независимого управления рукой из-за перекрестных помех в сигналах ЭМГ. Это может быть возможно с помощью внутримышечных сигналов ЭМГ с использованием имплантируемого миоэлектрического датчика.

В случае управления с конечным автоматом состояния, позы рук предопределены как состояния, и переход между состояниями также предопределен или декодирован из входных данных подходит для фиксированного количества поз и может не подходить для многофункциональности. Кроме того, изменение состояния происходит от команды ЭМГ до

выбора желаемой позы/функции. Эти ограничения могут быть преодолены с помощью - метода распознавания образов. Многие исследователи разработали различные алгоритмы для идентификации информации из сигналов с использованием подхода распознавания образов.

Выводы

В этой статье были рассмотрены различные схемы управления миоэлектрическими устройствами, связанные с последовательным управлением и управлением в разомкнутом контуре, которые находятся в стадии исследования и не разработаны в качестве продукта. Очень важно разработать продукты на основе этих схем. Еще одной важной вехой в миоэлектрическом управлении является обеспечение хорошей способности к захвату с помощью суставов пальцев, приводимых в действие с помощью мотора, чтобы имитировать захват человеческой руки. Кроме того, замкнутый контур управления с интеграцией сенсорного двигателя является еще одной важной областью исследований, в дополнение к одновременному и пропорциональному управлению. Исследователи пытаются с помощью тактильной обратной связи замкнуть контур миоэлектрического управления. Управление в замкнутом контуре - одна из областей, требующих пристального внимания. Кроме того, в развитых странах успешно ведутся исследования по имплантируемым миоэлектрическим датчикам и ТМР. Но эти исследования должны начаться и в развивающихся странах, чтобы восполнить пробел.

В различных частях мира было проведено значительное количество исследований, и необходимо оценить жизнеспособность стратегий миоэлектрического управления с клинической точки зрения.

Список литературы

1. Протезирование верхних конечностей // Официальный сайт компании OttoBock[Электронный ресурс] URL: <http://www.ottobock.ru/prosthetics/upper-limb-prosthetics/>, режим доступа - свободный.
2. Протезы верхних конечностей // Медицина Германии URL: [Электронный ресурс] <http://medicina-germany.ru/protezy-verxnix-konechnosti/>, режим доступа - свободный.
3. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V.. Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH - 2020 // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 2085(3). P. 032057(1-7). doi:10.1088/1742-6596/1679/3/032057
4. Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю. Проектирование и моделирование объемного гидропривода. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.
5. Маныч А.С., Заргарян Е.В. Контрольно-измерительные средства для взвешивания сыпучих грузов. Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием / ред.кол.: Светличная Л.А., Чернова Т.В.; Таганрог: ЭльДирект – ИП Шкуркин Д.В. (ДиректСайнс), 2021. – 358 с., с 132-136
6. Х.С. Аламир, Е.В. Заргарян, Ю.А. Заргарян. Модель прогнозирования транспортного потока на основе нейронных сетей для предсказания трафика на дорогах. // Известия ЮФУ. Технические науки. –2021. –№ 6 (223). –С. 124-132
7. Касимов Д.В., Заргарян Ю.А. Использование регулятора в системе управления влажностным режимом. Исследование принципов работы системы управления и сбора информации для сейсморазведки полезных ископаемых. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный

федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. Т.2, стр213-218

8. Шаповалов Д. С., Заргарян Ю. А. Поиск оптимального типа позиционного трекинга при реализации vr и ar систем. Сборник трудов международной научно-практической конференции «Инженерно-техническое образование и наука» (г. Новороссийск, 21-22 апреля 2021 г.) / под общ. ред. к.ф.н. доцента И. В. Чистякова. – Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В.Г.Шухова, 2021. – 146 с, с.27-29

The use of myoelectric signals in prosthetics

Zargaryan Y. A.

Southern Federal University

344006, Russia, Rostov-on-Don, Bolshaya Sadovaya Str., 105/42

Myoelectric signals (MES) are used in various applications, in particular, to identify the user's intentions for the potential control of auxiliary devices for amputees, orthopedic devices and exoskeletons in order to enhance the user's capabilities. MES are also used to estimate the force and therefore the torque to actuate the auxiliary device. The use of MES is not limited to auxiliary devices, they also find potential applications in robot teleoperation, tactile devices, virtual reality, and so on. A prosthetic arm based on myoelectric control helps to restore the daily life of people with amputated limbs in order to increase the self-esteem of the user. All prosthetic hands based on myoelectric control may not have similar operations and demonstrate differences in the perception of the input signal, decoding of signals and actuation of the prosthetic arm. The researchers are focused on improving the functionality of the prosthetic arm to meet the user's requirements through various operational functions. Myoelectric control differs in the principle of operation in order to take into account various external factors. This article examines the state of affairs in the field of myoelectric prosthetic hands, describes each management strategy.

Keywords: informatization, auxiliary device, control system, myoelectric signals.