Сведения о ходе выполнения ПНИЭР

по этапу № 1

Номер Соглашения Электронного бюджета: ЭБ 075-15-2019-1285, Внутренний номер соглашения 14.577.21.0290

Тема: «Разработка отечественной линейки роботизированных бионических протезов верхних конечностей, предусматривающей варианты исполнения с учетом различных степеней ампутации руки, с использованием миоэлектрического интеллектуального управления захватом и обеспечением уровня функциональности, близкого к здоровой руке человека»

Ключевые слова: бионический протез руки, бионический протез предплечья, бионический протез кисти, протез предплечья с внешним источником энергии, система управления протезами верхних конечностей, палец бионического протеза, многоканальная электромиография, многоканальный нейроинтерфейс

1. Основные результаты 1 этапа

1) Этап 1 (Выбор направлений исследования и теоретические исследования) является базовым этапом проекта. На Этапе 1 работ по проекту, в соответствии с логикой научного исследования, Техническим заданием и План-графиком, исполнителем получены результаты в следующих основных областях:

а) Разработка принципов построения бионических протезов верхних конечностей для протезирования пациентов с частичными ампутациями кисти и предплечья

В ходе исследования вариантов реализации редукторов сервоприводов пальцев был реализован циклоидальный микроредуктор, компактные размеры которого позволили встроить его внутрь корпуса фаланги пальца, а также разместить цифровой 14-битный датчик Холла (угла) внутри пальца. Такой подход является перспективным с точки зрения принципов построения универсального модуля пальца бионического протеза, который может быть использован как в протезе предплечья, так и в протезе кисти для пациентов с частичной ампутацией пальцев.

В большинстве известных бионических протезов (BeBionic, Michelangelo и т.д.) используются доступные на рынке мотор-редукторы большого размера, что ограничивает их локализацию непосредственно внутри ладони. В то время как разработанный палец бионического протеза представляет собой законченный модуль – одноосевой робот, освобождая место в ладонной части протеза. Было принято решение освободившееся место использовать для размещения дополнительных приводов – отвечающих за отведение большого пальца в сторону и вращение кисти вокруг оси (модуль ротатора). Неочевидное преимущество для пациента заключается в том, что независимо от степени ампутации каждому пациенту показано наличие модуля ротатора, в то время как в импортных протезах модуль ротации встраивается непосредственно внутри культеприемной гильзы и требует до 80мм свободного места. Важность наличия ротации кисти очевидна. Например, это позволяет выполнять сложные движения при употреблении и приготовлении пищи.

б) Разработка алгоритмов управления бионическими протезами верхних конечностей

В силу невозможности формирования пропорциональных сигналов управления в количестве, соответствующим числу управляемых степеней свободы, т.к. для надёжного детектирования одного канала и защиты от ложных срабатываний необходимо использование двух мышц антагонистов, пользователь не может управлять каждым пальцем одновременно. Потому использован подход на основе заранее заданных паттернов движения как сложносочетанных траекторий сжатия в виде набора нескольких жестов. Таким образом, сжатие пальцев протеза осуществляется по запрограммированным траекториям. Однако, системы управления сервоприводами работают независимо, но с взаимной синхронизацией движения с контролем усилия на предмете. Это позволяет обхватывать объект независимо всеми пятью пальцами.

Система управления сервоприводами осуществляет:

а) Управление направлением вращения выходным валом

б) Плавность движения с равномерным ускорением в начале движения и торможением в конце движения.

в) Позиционирование шарниров протеза с точностью в 0,044 градуса

г) Угловую скорость движения поворотных звеньев до 100 градусов/сек.

в) Разработка принципов формирования обратной связи пользователю бионического протеза

Исследованы подходы по воздействию на кожные покровы пользователя при помощи электрического тока и механического воздействия. С точки зрения безопасности и защиты от электрического удара наиболее эффективным и в то же время более информативным является воздействие при помощи двух вибромоторов, размещаемых диаметрально противоположно внутри культеприемной гильзы, оказывая аналог стереоэффекта. Интенсивность вибрации каждого и мотора и их комбинация пропорционально развиваемому усилию сжатия протеза позволяет не только ощущать силу сжатия, но и представляет собой удобный тактильный интерфейс оповещения пользователя о статусе работы протеза.

г) Разработка методов и программного обеспечения регистрации обработки биопотенциалов (электромиограммы) для управления протезом

Использован подход с реализацией многоканальной (до восьми каналов) системы регистрации потенциалов, размещаемой вокруг культи пациента. Как правило, в современных протезах применяется лишь два электрода с простейшей системой детектирования мышечной активности на основе пороговой обработки.

Использована интеллектуальная система обработки на основе комбинации спектрального анализа сигналов и нейросетевой обработки для распознавания паттернов двигательной активности

Разработанные активные цифровые электроды обеспечивают защиту от внешних помех и наводок электросетей, в том числе, это может позволить надёжно управлять протезом и защититься от ложных срабатываний при нахождении в общественном электротранспорте (метро, электричка, трамвай, троллейбус), т.к. производители современных протезов не рекомендуют их включать в таких видах транспорта.

д) Разработан и изготовлен модуль регистрации биопотенциалов

Реализовано дифференциальное усиление входных сигналов от кожных электродов с уровнем подавления синфазных помех до 140дБ, активная фильтрация сетевых наводок 50Гц на 50дБ, активного фильтра верхних (для удаления артефактов, вызванных движением руки и сердцебиением пользователя) и активного фильтра нижних частот для устранения высокочастотных помех. Особенностью модуля является отсутствие преобразования сигнала по модулю, свойственное электродам, используемым во всех представленных на рынке протезах. Как правило, сигнал преобразуется по модулю и подвергается предварительной фильтрации, так, что исходная форма сигнала претерпевает необратимые изменения. Это, с одной стороны, позволяет упростить детектирование сигнала за счёт простой настройки порога срабатывания, однако, делает невозможным распознавание и выделение паттернов двигательной активности. К тому же нет необходимости в электропитании -5В и +5В. В разработанном модуле реализован традиционный в предварительной обработке сигналов подход, целью которого является максимальное сохранение исходной формы сигналов без деформации, при значительном снижении уровня помех. На выходе модуля получается сигнал с ярко выраженным нулевым уровнем, в то время как у используемых в протезировании электродах нулевой уровень является случайной величиной в ввиду асимметричности исходного сигнала в положительной и отрицательной области.

е) Разработан ряд конструктивно-компоновочных и программно-аппаратных решений: датчик электромиограммы, модуль многоканальной обработки биопотенциалов – несущая плата, к которой подключается до 8 модулей датчика, плата модуля управления бионическим протезом, экспериментальный образец бионического протеза предплечья с 5-тью пальцами с независимыми приводами, культеприемная гильза для установки протеза предплечья, механический узел сопряжения бионического модуля кисти и культеприёмной гильзы, программное обеспечение модуля многоканальной обработки биопотенциалов и модуля управления бионическим протезом.