

ство. В большинстве своем деревообрабатывающая промышленность является экологически чистой и, что немаловажно, соответствует специфике отечественной экономики.

Деревянные элементы при должной обработке обладают повышенной прочностью, легкостью, не вызывают аллергических реакций при контакте с кожей. Кроме того, природная фактура древесины позволяет создать уникальный дизайн протеза, заметно выделяющий устройство среди аналогов современных производителей, что, в свою очередь, обеспечивает конкурентное преимущество на мировом рынке биотехнических изделий.

Литература

1. Chiba, Sanae. Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris / Sanae Chiba // *Marine Policy*. – 2018. – № 96. – P. 204–212.
2. История протезов в фотографиях // BBC News русская служба, 2012 [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: История протезов в фотографиях – BBC News Русская служба. – Дата доступа: 01.10.2022.

3. Механические свойства древесины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://novosibdom.ru>. – Дата доступа: 04.10.2022.

4. Способы улучшения свойств древесины // [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: Puuinfo. – Дата доступа: 04.10.2022.

5. Бобиков, П. Д. Изготовление художественной мебели / П. Д. Бобиков. – Москва: Высшая школа, 1978 – с. 256.

6. Обработка дерева на фрезерном станке с ЧПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: stankoff.ru. – Дата доступа: 08.10.2022.

7. Catalyst-Free Synthesis of Lignin Vitrimers with Tunable Mechanical Properties: Circular Polymers and Recoverable Adhesives / Adrian Moreno [et al.] // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. – 2021. – Vol. 13. – P. 57952–57961.

8. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material / Jianwei Song [et al.] // *Nature*. – 2018. – Vol. 554. – P. 224–228.

УДК 617.57-77+611.8

ИНВАЗИВНЫЙ ИНТЕРФЕЙС БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА

Грузд Н.А., Мониц С.Г.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Современные модели бионических протезов способны обеспечить необходимое число степеней подвижности, часть из которых приводится в движение сервоприводами.

Ключевые слова: бионические протезы, инвазивный интерфейс, методы передачи энергии.

INVASIVE BIONIC PROSTHESIS INTERFACE

Gruzd N., Monich S.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Annotation. Modern models of bionic prostheses are able to provide the required number of degrees of mobility, some of which are driven by servos.

Key words: bionic prostheses, invasive interface, energy transfer methods.

*Адрес для переписки: Мониц С.Г., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: sgmonich@bntu.by*

Современные модели бионических протезов способны обеспечить необходимое число степеней подвижности, часть из которых приводится в движение сервоприводами. Основное же ограничение на функциональность устройства накладывает двухканальный интерфейс, обусловленный методами считывания миоэлектрических импульсов мышц культи, и отсутствие обратной связи при взаимодействии с внешними объектами.

Выбор методов протезирования и последующая реабилитация во многом закладывается процедурой ампутации. При стандартной фасциопластической ампутации мышцы пересекают до кости, после чего фиксируют рубцом к опилу, обеспечивая умеренно коническую форму культи [1]. Фиксация ограничивает способность механорецепторов в каждой мышце передавать информацию в центральную нервную систему, что ли-

шает пациента возможности получения проприоцептивной обратной связи от искусственной конечности [2].

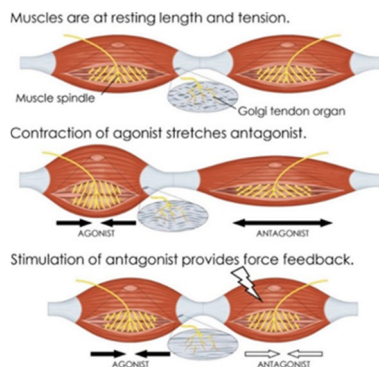


Рисунок 1 – Мионевральный интерфейс агонист-антагонист

Восстановить естественные отношения иннервируемых мышц позволяет мионевральный интерфейс агонист-антагонист (АМИ) за счет обеспечения механической связи между ними, в результате чего пассивное растяжение мышцы антагониста при сокращении агониста интерпретируется центральной нервной системой как изменение положения фантомного сустава (рис. 1).

Регистрация миоэлектрических сигналов при этом осуществляется парой электромиографических сенсоров, закрепляемых неинвазивно на поверхности культи или в гильзе протеза. Каждый из датчиков выполнен на основе миниатюрной печатной платы, на которой смонтированы два гладких электрода [3]. Для чистоты считывания электроды приводятся в непосредственный контакт с кожей, что зачастую приводит к травмированию тканей, вызывая у пациента дискомфорт при использовании устройства. Кроме того, неинвазивный метод не позволяет обеспечить точное базирование датчика на теле ввиду произвольных микродвижений культи.

В качестве альтернативы ведутся разработки сетей внутримышечных беспроводных микросенсоров и микроstimуляторов, осуществляющих анализ нервно-мышечной активности и управление внешними устройствами [4]. Система состоит из внешнего блока, плавающих электродов, имплантируемых в тело, и протокола связи, обеспечивающего двунаправленный обмен данными между человеком и бионическим устройством. Контроллер верхнего уровня взаимодействует с блоками управления нижнего уровня, которые подают импульсы тока через текстильные электроды. Имплантируемые элементы имеют нитевидную форму, что позволяет их устанавливать путем инъекций без проведения хирургических вмешательств (рис. 2).

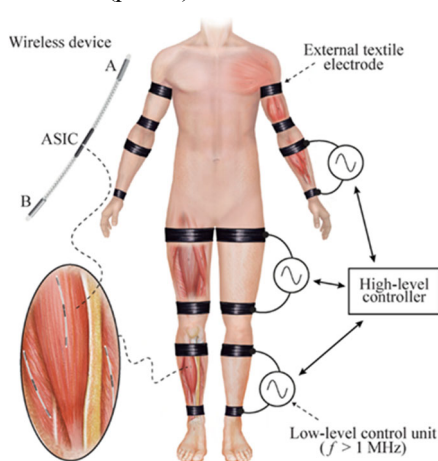


Рисунок 2 – Двунаправленная нейронная система BHNS

Компактный форм-фактор электродов достигается путем беспроводной передачи энергии (WPT).

Стандартные элементы питания имеют ограниченный срок службы и крупные габариты, что исключает их использование в качестве основных источников энергии в миниатюрных электронных имплантатах. Методы беспроводной передачи энергии в подобных системах подразделяются на индуктивные, ультразвуковые и емкостные. Тело при этом является проводником безвредных всплесков высокочастотного тока, посылаемых системой через внешние текстильные электроды, неинвазивно размещенные на теле человека.

Часть электроэнергии, получаемой имплантируемым элементом, используется для генерирования электрических импульсов, что обеспечивает обратную связь бионического протеза. Подобные системы способны передавать проприоцептивную и сенсорную информацию посредством двухфазной нейростимуляции, воздействующей на группы нервов и мышечную ткань [5]. Таким образом пациенты, утратившие тактильные ощущения, смогут получать представления о форме, размерах, температуре объекта.

Инвазивная нейростимуляция решает также другую немаловажную задачу как купирование нейропатических болей, возникающих при ампутации конечности. В процессе заживления нервных волокон может происходить разрастание ткани, в результате чего образуется неврома, раздражающая окружающие рецепторы [6]. В более тяжелых случаях возникает фантомный болевой синдром, проявляющийся в перевозбуждении нервных структур, дезорганизации естественных механизмов контроля боли и неэффективности традиционных анальгетических средств [7]. Процедура лечения заключается в размещении электродов на уровне выше источника боли, таким образом, чтобы электрический импульс, возникающий при включении системы блокировал путь для прохождения болевого сигнала [8]. В зависимости от интенсивности боли количество имплантируемых электродов может варьироваться.

Основное достоинство инвазивного считывания миоэлектрических импульсов заключается в возможности объединения функционала нескольких обособленных устройств в компактной системе нитевидных элементов. Скорость передачи сигналов при этом выше, чем у неинвазивных датчиков, и может достигать до 1 ksp/s при частоте тока 3 МГц. Кроме того, метод внутримышечной стимуляции периферической нервной системы открывает новые возможности разработки бионических протезов с двунаправленной нейронной связью, что позволит компенсировать отсутствие сомоторного восприятия у пациента и обеспечить простое интуитивное управление устройством.

Следует учитывать, что миоэлектрический интерфейс не обладает высокой точностью считывания сигналов, поэтому данный метод необходимо

дополнять устройствами, способными фиксировать мелкие сокращения кожи, давление в сосудах и т.д., позволяя системе регистрировать полную картину изменений в теле и проектировать комплексные движения утраченной конечности на основе алгоритмов машинного обучения.

Литература

1. Сонголов, Г. И. Ампутации и экзартикуляции: учебное пособие / Г. И. Сонголов, О. П. Галеева. – Иркутск: ИГМУ, 2013. – с. 60.

2. The Ewing Amputation: The First Human Implementation of the Agonist-Antagonist Myoneural Interface / Hugh Herr [и др.] // *Plast Reconstr Surg Glob Open*. – 2018. – № 6 (11).

3. Грузд, Н. А. Электромиографический сенсор и его применение в области протезирования конечностей / Н. А. Грузд, Ю. В. Суходолов // Новые направления развития приборостроения : материалы 15-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 20–22 апреля 2022 г. / Белорусский национальный технический университет ;

редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 11–12.

4. Floating EMG sensors and stimulators wirelessly powered and operated by volume conduction for networked neuroprosthetics / Laura Becerra-Fajardo [и др.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. – 2022. – Vol. 19, № 57.

5. Synthetic nervous system: neuromuscular feedback mechanism [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://everettlawson.com/synthetic-nervous-system-2/>. – Дата доступа: 14.09.2022.

6. Фантомные боли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://motorica.org/prosthetics/adults/tpost/1mbkj0fme-fantomnie-boli>. – Дата доступа: 13.09.2022.

7. Способ профилактики фантомного болевого синдрома при ампутации конечности по онкологическим показаниям / Н. А. Осипова [и др.] // *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. – 2013. – № 3. – С. 51 – 55.

8. Фантомная боль, роль и место различных методов лечения фантомно-болевого синдрома / А. Т. Давыдов [и др.] // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. – 2014. – №12. – С. 35–58.

УДК 51

РЕАЛИЗАЦИЯ МАТРИЧНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ИНЖЕНЕРИИ

Гундина М.А., Юхновская О.В., Каменко Д.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В данной статье рассматривается реализация некоторых статистических алгоритмов выявления аномальных значений выборки, реализованных в компьютерной системе Wolfram Mathematica. Описываются различные подходы к процессу выявления аномалии выборки и специфика их использования. Обнаружение аномалий относится к поиску непредвиденных значений в потоках данных.

Ключевые слова: аномальное значение, выборка, компьютерная система Wolfram Mathematica.

IMPLEMENTATION OF MATRIX METHOD OF DETERMINING ANOMALIES IN ENGINEERING

Hundzina M., Yuhnovskaya O., Kamenka D.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. This article discusses the implementation of some statistical algorithms for detecting anomalous sample values, implemented in a computer system Wolfram Mathematica. Various approaches to the process of anomaly detection and the specifics of their use are described. Anomaly detection refers to finding unexpected values in data streams.

Key words: anomalous value, sample, computer system.

*Адрес для переписки: Гундина М.А., пр. Независимости, 65, Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: hundzina@bntu.by*

При автоматическом сборе показаний прибора необходимо автоматическое определение значений, которые сильно отличаются от всей совокупности исследуемых данных. Сейчас в современных компьютерных пакетах инженерных расчетов появилась возможность реализовать алгоритмы обнаружения аномальных значений выборки. Часто это осуществляется с помощью поиска и анализа закономерностей исходных эмпирических данных. Например, в компьютерной системе Wolfram Mathematica используется функция Find-

Formula. Она позволяет найти аппроксимирующую функцию, которая достаточно хорошо описывает исходный набор данных.

Исходные данные могут быть различной природы. Известно, что случайная величина погрешности измерения прибора является нормально распределенной величиной. Однако предположение о нормальном распределении выборки может и не выполняться. На данный момент существует множество подходов для определения аномалий и подходов к автоматизации процесса их выявления.