

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ INFORMATION TECHNOLOGIES IN BIOMEDICAL SYSTEMS

УДК 004.03

У. О. Агеева, ученица средней школы, **В. Г. Агеева**, руководитель, учитель начальных классов высшей квалификационной категории, МБОУ-СОШ № 1 р. п. Степное Советского района Саратовской области,
А. Б. Барский, д-р техн. наук, проф., e-mail: arkbarsk@mail.ru,
МНИТ, Москва

Бионическое интеллектуальное протезирование конечностей и логические нейронные сети

Анализируются история протезирования и достижения в области протезирования конечностей на базе биомехатроники. Указывается на важность решения задачи непосредственного подключения протеза к мозгу. Для этого предлагается использовать сигналы, формирующиеся на усеченных нервных окончаниях. Распознавание и преобразование этих сигналов в движение протеза предлагается проводить с помощью искусственной однослойной логической сети. Рассматриваются примерный вид такой сети и функция активации нейрона. Нейронная сеть описывается матрицей следования, что обеспечивает малую трудоемкость обработки — расчета величины возбуждения нейронов, а также возможность применения встроенных сигнальных микропроцессоров в качестве нейрокомпьютеров. Эти же микропроцессоры выполняют функции усиления сигналов, настройки параметров и контроля. Значение возбуждения нейрона является параметром, определяющим усилие, с которым выполняется указываемое нейроном движение. Композиция движений, инициируемых нейронами, определяет результирующее действие. Приводится возможная компоновка протеза с учетом считывания сигналов с культи, его энергопитания и настройки параметров нейронной сети.

Ключевые слова: протезирование, биомехатроника, логическая нейронная сеть, функция активации, нейрокомпьютер, интеллектуальный протез

Введение

В 2014 г. в Саратове проводился конкурс "Межрегиональные Мартыновские чтения" [1]. К сожалению, публикация работ не проводилась. Ученица 3-го класса средней школы рабочего поселка Степное Ульяна Агеева, под руководством мамы, представила доклад "Бионические протезы". Работа заняла второе место. В ней детально изложены история и состояние вопроса, а также отражены интенсивные разработки в области интеллектуализации протезов конечностей. Наряду с использованием сигналов от живых мышц культи привлекает внимание идея использования сигналов, приходящих от головного мозга. Распознавание этих сигналов на усеченных нервных окончаниях и их преобразование в команды адекватного движения искусственных механизмов следует считать главной задачей интеллектуального протезирования. При этом сам протез реализует недостающую часть тела: он является как косметическим, так и функциональным дополнением, а не роботом, управляемым на расстоянии. В этом смысл идеального бионического протезирования, и внешне, и функционально воспроизводящего орган в натуральной форме. Сле-

дует отметить, что природа распорядилась о гармонии функционального назначения, принципов работы и внешнего вида. Вскрытием этой гармонии и занимается бионика.

Бионикой называют прикладное направление науки о применении в технических устройствах и системах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы.

Люди с давних пор мечтали о возможности восстановления утраченных конечностей подобно некоторым представителям животного мира, способным к удивительному процессу регенерации. К сожалению, во все времена это оставалось лишь мечтой, поэтому взамен утраченных органов люди пытались сделать что-либо похожее на части человеческого тела, их искусственные имитаторы. С древних времен их изготавливали из костей и рогов животных, ветвей и стволов деревьев, тканей и железа. В нынешнем веке протезы превратились в высокотехнологичные устройства, которые дают своему обладателю способности, порой превосходящие возможности обычного человека.

Ниже рассматриваются предположения о возможности применения искусственных логических нейронных сетей для реализации ограниченного

автономного управления протезом по усиленной (при необходимости) совокупности сигналов, образующихся на нервных окончаниях культи.

Протезирование в истории и история протезирования

Первое упоминание о протезировании в истории — побег из плена грека Фемистокла. Посаженный на цепь, он был вынужден отпилить себе ногу, а затем попросить знакомого плотника сделать ему протез.

В декабре 2006 г. археологи обнаружили в Шахри — Сухте древнейший протез глазного яблока, полусферической формы, диаметром чуть более 2,5 см (рис. 1, см. третью сторону обложки). Он выполнен из очень легкого материала, предположительно, битумной пасты. Поверхность искусственного глаза покрыта тонким слоем золота, в центре его выгравирована окружность (изображающая радужку глаза) с золотыми линиями, расходящимися в виде лучей. Женские останки, рядом с которыми обнаружен искусственный глаз, имели рост 1,82 м — намного выше, чем для средней женщины того времени.

С обеих сторон в искусственном глазу были просверлены тонкие отверстия, через которые продевалась золотая проволока, с помощью которой глаз закреплялся в глазнице. Микроскопические исследования обнаружили следы золотой проволоки, а это говорит о том, что искусственный глаз постоянно использовался. Скелет датируется периодом около 2900— 2800 гг. до н. э. По всей видимости, это самый старый из когда-либо найденных глазных протезов.

Считалось, что подобные протезы создавались начиная с V века до н. э. Большинство данных о древней офтальмологии хранилось в Александрийской библиотеке и, к сожалению, они были утрачены во время пожара. Протезы делали из крашеной глины, прикрепляли к полотну и закрепляли его над глазницей. В более позднее время для создания глазных протезов использовали золото, драгоценные камни, серебро, медь и стекло. Первые стеклянные протезы появились в Венеции. Секрет их производства тщательно хранился вплоть до конца XVIII века.

Еще одна уникальная находка из Египта — протез большого пальца ноги, обнаруженный пристегнутым к правому пальцу мумии, опознанной как Табакетенмут, дочери священника, жившей между 950 и 710 гг. до н. э. (рис. 2).

Предполагается, что Табакетенмут потеряла палец из-за гангрены, усугубленной сахарным диабетом.

Протез Табакетенмут сделан из дерева и кожи и даже снабжен специальным шарниром, придающим пальцу подвижность. Археологам известна масса примеров, когда мумиям восполняли недостающие конечности — глаза, носы, чтобы человек



Рис. 2. Большой палец Табакетенмут

мог достойно перейти в мир мертвых. Однако в случае с пальцами, уверяют ученые, можно говорить о том, что эти приспособления были предназначены для использования в этой жизни. Компьютерная модель показала, что эти протезы были в состоянии выдержать до 40 % веса человеческого тела, и сконструированы таким образом, что помогали человеку двигаться вперед. Кроме того, двум добровольцам, у которых ампутированы пальцы ног, предложили примерить точные копии древних протезов, и эти протезы прекрасно себя показали.

Существует большой палец стопы, также египетского происхождения, датируемый 300 г. до н. э. и экспонирующийся в Британском музее Лондона. Он известен как *"Большой палец Гренвилла Грестера"* (по имени человека, который приобрел его в 1881 г. для музея) и сделан из папье-маше, в составе которого был лен, животный клей и гипс. Он тоже имеет следы ношения, однако, как полагают, был косметическим.

Современное протезирование

По мере развития механики, ближе к современности, стали появляться более совершенные типы протезов, хорошо имитирующие потерянную часть тела или даже способные двигаться за счет встроенных механизмов.

В первых трех фильмах эпопеи "Звездные войны" есть множество кадров и целых сцен, сразу же вошедших в историю мирового кинематографа. Одна из таких — момент, когда Люка Скайуокера оснащают высокотехнологическим протезом руки, потерянной в ходе поединка с Дартом Вейдером (рис. 3, см. третью сторону обложки).

Протез выглядит и функционирует неотличимо от натуральной руки и даже, похоже, передает тактильные ощущения, т. е. является почти совершенным бионическим протезом. К сожалению, земной науке до тех технологий, которые применялись "давным-давно, в далекой Галактике", еще идти и

идти, хотя цель поставлена, а идеи компоновки протеза просматриваются вполне реально.

Решающим прорывом в сфере протезирования было появление направления, получившего название "биомехатроника". Принципиальное отличие протезов нового поколения, или "бионических" ("биоэлектрических"), от обычных заключается в их способности регистрировать электрические сигналы, вырабатываемые при сокращении мышц конечностей, к которым они крепятся, и совершать необходимые человеку движения. Функциональность таких протезов может даже превосходить возможности живых рук и ног. Некоторые из них можно дистанционно программировать на выполнение определенных манипуляций. Более того, подбираемый по желанию пациента дизайн искусственной руки или ноги может обеспечивать практически полную маскировку увечья либо привлекать всеобщее внимание к "человеку-киборгу".

Биомехатроника: практика

Посмотрите на известного бегуна (рис. 4), чемпиона параолимпийских игр, бегающего на двух ножных протезах. Он может быть феноменально быстрым. Но в конце гонки он скидывает свои протезы прочь, так как для обычной жизни они непригодны и не обеспечивают всю свободу движений в быту. Ведь человек хочет и бегать, и лазать по скалам, и плавать, и ходить... Возможно ли это делать на протезах?

Вот известный спортсмен использует биопротез, полностью заменяющий конечность от бедра до стопы (рис. 5). Он первый британец, обладатель такого протеза, и до недавнего времени только сумасшедший мог бы сказать, что он сможет свободно кататься на велосипеде, как и все обычные люди.

Однако современный, моторизированный протез не только подарил ему езду на велосипеде. Спортсмен теперь может так же успешно кататься на лыжах, ходить задом наперед и с легкостью подниматься и опускаться по лестнице — роскошь, недоступная обладателям обычных ножных протезов. Большинство протезов используют для области колена шарнирное соединение, а тут протез полностью сделан из углеродного волокна, алюминиевых сплавов и титанов, и в коленной чашечке у него спрятаны микропроцессор и четыре датчика. Датчики посылают в процессор сведения о движении тела, распределении веса и угле наклона. Это значит, что конечность может предвидеть следующее движение владельца и среагировать на него. Аналогично, если человек не двигается, а стоит в одном положении, то датчики блокируют и фиксируют позу.

Существует бионический ручной протез *i-LIMB*, особенностью которого является облегченный алюминиевый корпус и технология, позволяющая совершать более точные движения пальцами (рис. 6). Протез позволяет выполнять огромное число за-



Рис. 4. Чемпион параолимпийских игр



Рис. 5. На велосипеде



Рис. 6. Протез *i-LIMB*

даний, вплоть до завязывания шнурков или застегивания ремня.

Похожий протез в 2011 г. установили 5-летней Тилли Локи. Девочка в состоянии контролировать каждый пальчик своей новой руки. Управление кистью в бионическом протезе осуществляется с помощью специальных датчиков, которые фиксируют электрические сигналы от оставшихся мышц плеча. Бионическая рука позволяет намного лучше контролировать сжатие кисти, что позволило ребенку учиться писать и рисовать.



Рис. 7. Бионический глаз



Рис. 8. Кот Оскар



Рис. 9. Рука SmartHand

Одним из самых важных достижений бионического протезирования, скорее всего, является протез Argus II, известный еще под названием Бионический глаз. В 2007 г. такой протез установили 75-летнему пациенту (рис. 7).

В ходе 4-часовой операции мужчине имплантировали в глаз 60 мельчайших электродов и микрочип. Протез работает через обнаружение света, далее импульсы через тончайшие электроды поступают на искусственную сетчатку глаза. Получаемая картинка еще недостаточно детальна, чтобы отказаться от собаки-поводыря. Но больной уже может самостоятельно отсортировать, к примеру, белье для стирки по цвету. На молодых пациентах испытания показывают более успешные результаты. Дети могут видеть и различать буквы и цифры.

Самым последним достижением в области протезирования является разработка технологии остеоинтеграции — вживления протезов в кость. Основными преимуществами данной технологии является отсутствие риска натирания и травмирования культи, а также практически полный контроль над искусственной конечностью. В месте выхода наружу имплантируемые в кости фрагменты таких протезов покрывают специальным пористым материалом, не только имитирующим ткань, обеспечивающую соединение кости и мягких тканей, но и защищающим организм от проникновения инфекций. Пожалуй, самым знаменитым пациентом, быстро бегающим на остеоинтегрированных протезах, является кот Оскар (рис. 8), который, попав под комбайн, потерял обе задние лапы. Единственное удовольствие, которого Оскар лишился навсегда, — это способность лазать по деревьям.

Чудом биомехатроники является искусственная рука SmartHand (рис. 9).

Особенность данного протеза заключается в том, что благодаря работе четырех электродвигателей и 40 датчиков он не только имитирует движения руки человека, но и воспроизводит ощущения от прикосновения к объектам.

Одним из наиболее ярких персонажей, олицетворяющих современный этап протезирования, является родившаяся в 1976 г. американка Айми Маллинс, которой из-за врожденного заболевания в годовалом возрасте пришлось ампутировать обе ноги ниже колена. В студенческие годы девушка добилась выдающихся результатов в соревнованиях по легкой атлетике, где она принимала участие наравне со здоровыми спортсменами. Она также выходила на подиум в качестве модели и снялась в нескольких фильмах. Однако ее известность обусловлена преимущественно тем, что всех своих достижений она добивалась на красивых ножках-протезах (рис. 10).

Культовой личностью для пользователей протезов является американский альпинист, инженер-биофизик, доцент Массачусетского технологиче-



Рис. 10. Протезы Айми Маллинс

ского института Хью Герр, который является владельцем целого арсенала "ног" собственной разработки (рис. 11, см. третью сторону обложки).

В обычной жизни он пользуется протезами со спрятанными в туфлях пружинами из углеродного волокна, которые для утренних пробежек заменяет длинными карбоновыми дугами. У него есть длинные алюминиевые протезы с небольшой резиновой стопой, превращающие его в гиганта ростом 2,1 м, протезы со стопой в виде алюминиевых когтей и клиновидные протезы-ледорубы из полиэтилена.

Во всех рассмотренных выше случаях работает совершенное биоуправление: берется сигнал от мышц тела и превращается в команды для исполнительного устройства.

Новой задачей изобретателей является создание биопротеза, реагирующего на сигналы из мозга инвалидов. Это особенно важно для тех пациентов, которые полностью парализованы и не могут двигаться. Так, в 2009 г. успешно прошли испытания в Японии, во время которых ученые заставили инвалидную коляску двигаться под воздействием сигналов из мозга.

Необходимость и возможность интеллектуализации протезирования конечностей

Дальнейшее развитие интеллектуального протезирования возможно при широком внедрении информационных технологий. Поэтому следующие исследования базируются на важном *предположении о возможности считывания сигналов непосредственно с усеченных нервных окончаний культи*. Образующиеся на них сигналы, формируемые мозгом, действительно теоретически могут быть связаны с управляемым протезом. Однако на деле следует предположить нарушение управляющих связей, искажение той картины управляющих воздействий,

которая способна привести к адекватному сценарию действий протеза. Ведь не следует забывать о так называемых фантомных болях — о проблеме, возникающей, в основном, в результате травмы.

В головном мозге предусмотрена достаточная избыточность: повреждение целых областей мозга после длительных тренировок приводит к нахождению обходных путей распространения возбуждений и даже к новому формированию логических связей с помощью здоровых нейронов. В конечностях такое резервирование отсутствует. Ведь нервы, ведущие к органу тела, являются аксонами некоторых нейронов, находящихся в головном мозге. Конечности не располагают средствами автономного управления, т. е. не располагают фрагментами нейронной сети.

Таким образом, следует исходить из того, что усеченные нервные окончания обеспечивают *нечеткие* исходные *данные*, которые требуют расшифровки для адекватного реагирования протеза. Необходима интеллектуализация протеза, его следует обучить адекватному восприятию искаженных управляющих сигналов, т. е. протез должен обладать интеллектуальными средствами автономного управления.

Вместе с тем, человек в результате длительных тренировок и самообучения также должен приспособиться к управлению протезом.

Возможность применения логических нейронных сетей

В качестве средств искусственного интеллекта (ИИ) при протезировании конечностей предлагается использовать однослойные логические нейронные сети (ЛНС) [6—11].

Напомним, что нейрон, или нейроподобный элемент, независимо от технологии воплощения, является *прибором*, выполняющим пороговую функцию активации вида

$$V = \begin{cases} \frac{\sum_i^K \omega_i V_i}{\sum_i^K \omega_i}, & \text{если это значение не ниже } h; \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь V — значение возбуждения нейрона; V_i — значение возбуждения рецептора, связанного с данным нейроном, и пришедшее на его i -й вход; ω_i — вес i -й связи (i -го входа); K — число связей (входов) нейрона; h — порог (выбирается экспериментально для устранения излишней "нервозности").

Нейроны, как и вся ЛНС, могут быть реализованы как аппаратно, так и программно. Второй вариант предпочтителен, так как может базироваться на применении встроенного нейрокомпьютера, роль которого может выполнять любой достаточно миниатюрный сигнальный микропроцессор, используемый в бытовой технике. Кроме того, программная реализация нейросети позволяет без ог-

раничений осуществлять переобучение, развитие, оперативный экспериментальный и индивидуальный подбор связей и других параметров.

При программном исполнении нейрону соответствует стандартная процедура, выполняющая функцию (1), а связи нейронов с рецепторами отражаются в рассмотренной ниже матрице следования, что способствует малой сложности и высокой скорости расчетов значений возбуждения нейронов.

На рис. 12 представлен примерный вид ЛНС для протеза кисти руки.

На рецепторный слой ЛНС должны подаваться сигналы с сохранившихся "живых" нервных окончаний культи. При необходимости эти сигналы должны быть усилены (вряд ли ослаблены). Веса $\{\omega\}$, соответствующие степени участия каждого нерва в совершении конкретного движения, определяются экспериментально. При этом нулевое значение связи указывает на разрыв испытываемой связи рецептора с нейроном. (На рисунке веса не распределены по стрелкам, а выделены в одно, не индексируемое, множество.)

Связи рецепторов с нейронами на рисунке показаны условно. Они выбираются во многом индивидуально в соответствии с влиянием возбуждения рецептора на требуемую реакцию, например, как частично показано на рисунке. Так строится обученная ЛНС.

Одновременное использование одним нейроном значений возбуждения нескольких рецепторов позволяет осуществлять результирующий комплекс движений подобно "живому" управлению. В то же время должна быть предусмотрена возможность "комплексного" приказа: "захват карандаша", "захват молотка" и др.

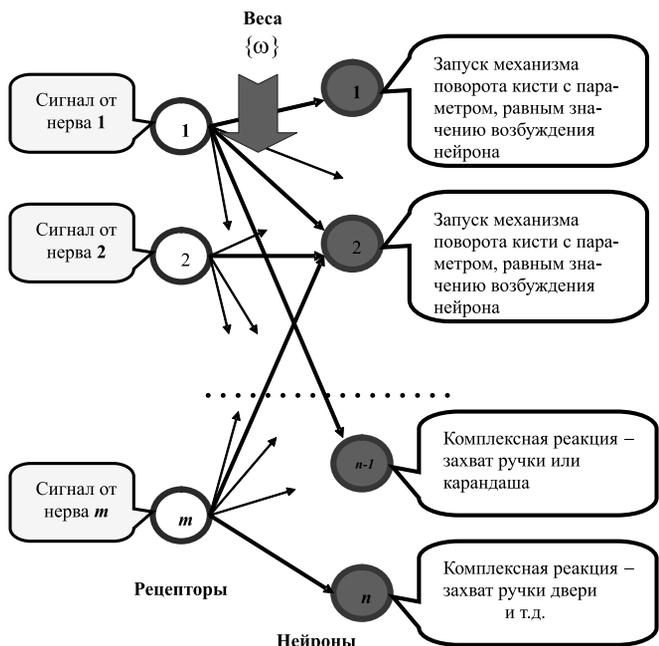


Рис. 12. Примерный вид логической нейронной сети для протеза кисти руки

Напомним, что в "живой" нейронной сети — мозге — функция активации, подобная математической модели (1), реализуется биохимически на основе примерно 240 химических реакций. Веса связей реализуются с помощью *синапсов*, по сути представляющих собой переменные сопротивления. Синапсы на стыках разделяют ветви аксонов (здесь — выходы нейронов-рецепторов, возбуждаемых извне) и дендриты (входы) нейронов, принимающих возбуждение соответствующих рецепторов. Их значение устанавливается в результате обучения для направленного прохождения сигналов в сети. Поэтому связи между нейронами называются *синаптическими*. В результате обучения, вследствие направленного распространения сигналов на основе попутной "подкрутки" синапсов, образуются связи-отношения вида "посылка — следствие", "если — то". Эти отношения являются основой мышления человека, реализуя жизненные функции ассоциативной памяти, логического вывода, распознавания, принятия решений и управления движением органов.

Необходимо помнить, что функционирование человека и его мозга, как и всякой системы автоматического управления, тактируется. Импульсы-сигналы, например, для сокращения мышцы вырабатываются в каждом такте (уставшая мышца дрожит). Это и позволяет динамически, во времени, менять поведение.

Для микропрограммного выполнения достаточно несложных расчетов матрица следования ЛНС исчерпывающим образом представляется таблицей. В приведенной таблице отражены связи на рис. 1.

Возбуждение каждого нейрона (значение функции активации (1)) находится в результате скалярного умножения строки возбуждения рецепторов на строку, определяющую соответствующее (этому нейрону) движение. Результат делится на сумму весов в данной строке и корректируется при сравнении с порогом.

Значение возбуждения нейрона является значением параметра, определяющего силу или интенсивность выполнения соответствующего движения в совокупности или одновременно с другими движениями протеза, т. е. "физический смысл" каждого параметра заключается в коэффициенте усилия, с которым действует данное движение. Ведь каждое сложное, составное движение определяется сово-

Матрица следования однослойной логической нейронной сети

Рецепторы	1	2	...	m
Значения возбуждения рецепторов нервами	V_1	V_2	...	V_m
Движение 1	$\omega_{(1 \rightarrow 1)}$	$\omega_{(2 \rightarrow 1)}$		
Движение 2	$\omega_{(1 \rightarrow 2)}$	$\omega_{(2 \rightarrow 2)}$		$\omega_{(m \rightarrow 2)}$
...				
Движение n				$\omega_{(m \rightarrow n)}$

купностью сигналов на сокращение определенных мышц с разной силой. В случае протеза — на усилия определенных тяг, пропорциональные уровню сигнала. По множеству усилий отдельных решений складывается составное движение как результат композиции принимаемых решений.

Таким образом, осуществляется целевое, сложное и составное движения на основе множества сигналов. Адекватность движений регулируется экспериментальным подбором связей ω . Здесь кроется искусство алгоритмиста-программиста, призванного заниматься столь благородным делом.

Возможная компоновка интеллектуального протеза

Возможная компоновка интеллектуального протеза кисти руки показана на рис. 13 (сравните с рис. 3). На этом этапе не рассматривается возможность обратной связи, т. е. передачи в мозг дактильных сигналов. Поэтому основными элементами управления являются: датчик сигналов нервных окончаний, нейрокомпьютер, блок питания и дисплей, используемый для настройки и контроля работы протеза. Предполагается, что кристалл микропроцессора обладает достаточным объемом сверхоперативной памяти, необходимой для микропрограммирования. Работа с дисплеем может осуществляться с помощью "мышки". Механическая часть протеза комплексно обрабатывает команды нейронной сети, поступившие в такте управления в соответствии со значением их параметров.

Существуют сигнальные микропроцессорные вычислительные системы, где на одном кристалле выполнены несколько параллельно работающих процессоров. Там же расположена и сверхоперативная память достаточного объема. Тогда обработка логической нейронной сети может распараллеливаться подобно работе мозга, что резко увеличивает ее быстродействие.

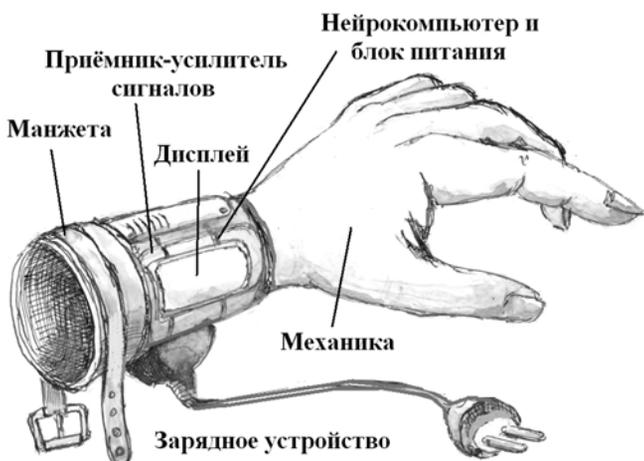


Рис. 13. Возможная компоновка интеллектуального протеза кисти руки

Заключение

Протезы, которые раньше лишь скрывали внешние дефекты, постепенно становятся биомеханическими, реально помогают людям с ограниченными возможностями не только вести обычный образ жизни, но и заниматься спортом. И это в полной мере доказали спортсмены всего мира, участвовавшие в Паралимпийских играх 2014 г.

Успешно решается и задача подключения искусственной конечности непосредственно к мозгу. Ведь команда рождается в мозге, подключить протез к этой команде — это быстрее и естественнее.

Однако не только травмы и болезни приводят к необходимости протезирования. Наш организм стареет, выходят из строя те или иные органы. Многие люди носят протезы органов движения, однако на очереди протезы внутренних органов — печени, сердца. Необходимо научиться непосредственно подключать мозг к управлению протезами разных органов тела.

"Мы уже давно вступили в эпоху антропотехнологических преобразований человека, — считает доктор философских наук Давид Дубровский, главный научный сотрудник Института философии РАН. — Сегодня мы можем протезировать почти все — конечности, внутренние органы. Но где граница? Теоретически можно заменить всего человека. Но человек — это самоорганизующаяся система. Главная задача — это создание самоорганизующейся системы на небиологическом субстрате". Движение "Россия 2045" заявила о таком суперпроекте, где речь идет о создании искусственного человеческого тела и о переносе сознания и психики человека, т. е. собственного "Я", на небиологический субстрат.

Список литературы

1. Агеева У. О. Бионические протезы // Межрегиональные VI Мартыновские чтения. Секция "В мире физико-математических наук". Саратов, 2014. URL: <http://www.openclass.ru/node/4677> 64.
2. Бернштейн Н. А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947. 254 с.
3. Донской Е. Д. Н. А. Бернштейн и история отечественной биомеханики // Теория и практика физической культуры. 1996. № 11. С. 4—9. URL: <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk>
4. Клиническая биомеханика. Под ред. В. И. Филатова. Л.: Медицина, 1980. 200 с.
5. Александр Р. Биомеханика. М.: Мир, 1970, 341 с.
6. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. М.: Финансы и статистика. 2006. 175 с.
7. Барский А. Б. Нейронные сети логического вывода. Курс лекций. Saarbücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 400 с.
8. Барский А. Б., Дмитриев А. А., Барская О. А. Медицинские информационно-справочные системы на логических нейронных сетях // Информационные технологии. Приложение. 2010. № 1. 32 с.
9. Барский А. Б., Милютин Л. Б., Тимофеев А. Е. Реагирующие объекты для систем интеллектуального отображения // Информационные технологии. 2007. № 2. С. 2—11.
10. Вахромцев Е. М. Применение методов "живого" моделирования для производственного мониторинга // Информационные технологии. 2010. № 7. С. 10—15.
11. Барский А. Б. "Живое" моделирование и объемная экранизация // Информационные технологии. 2015. № 11. С. 863—870.

U. O. Ageeva, Pupil, V. G. Ageeya, Teacher, School № 1 Saratov Region,
A. B. Barskiy, Professor, e-mail: arkbarsk@mail.ru,
Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)

Bionic Intelligence Limbs Prosthetic and Logical Neural Networks

Analyzes the history of prosthetics and advances in prosthetic of limbs based on the bio-mechatronics. It emphasizes the importance of solving the problem of the direct connection of the prosthesis to the brain. For this proposed use signals formed on the truncated nerve endings. Recognition and conversion of these signals into movement of the prosthesis is offered to make with the help of an artificial single-layer logical network. We consider the approximate form of a network and the activation function of the neuron. A neural network is described by the following matrix, which provides a low complexity of processing — calculation of the value of the excitation of neurons, as well as the ability to use built-in signal processors as neurocomputers. These micro-processors serve as signal amplification, and control settings. The value of the excitation of the neuron is a parameter that determines the amount of force with which the movement is performed, at which the neuron indicates. The composition of movements triggered neurons determines the resulting effect. The possible layout of the prosthesis considering reading signals from the stump, its power supply and configuration of the neural network.

Keywords: prosthetics, bio-mechatronics, logical neural network, activation function, neurocomputer, intelligent prosthesis

References

1. Ageeva U. O. Bionicheskie protezy, *Mezhregional'nye VI Martynovskie chteniya. Sekcija "V mire fiziko-matematicheskikh nauk"*. Saratov, 2014. URL: <http://www.openclass.ru/node/467764>
2. Bernshtejn N. A. *O postroenii dvizhenij*. Moscow: Medgiz, 1947. 254 p.
3. Donskoj E. D. N. A. Bernshtejn i istorija otechestvennoj biomehaniki, *Teorija i praktika fizicheskoj kul'tury*, 1996, no. 11, pp. 4—9. URL: <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk>
4. *Klinicheskaja biomehanika*. Pod red. V. I. Filatova. Leningrad: Medicina, 1980. 200 p.
5. Aleksander R. *Biomehanika*. Moscow: MTR 1970. 341 p.
6. Barskiy A. B. *Nejronnye seti: Paspoznavanie, upravlenie, priinyatie reshenij*. Moscow: Finansy i statistika. 2006. 175 p.
7. Barskiy A. B. *Nejronnye seti logicheskogo vyvoda*. Kurs lekcij. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 400 p.
8. Barskiy A. B., Dmitriev A. A., Barskaya O. A. Medicinskie informacionno-spravochnye sistemy na logicheskikh nejronnyh setyah, *Informacionnye tehnologii. Prilozhenie*, 2010, no. 1, 32 p.
9. Barskiy A. B., Miljutin L. B., Timofeev A. E. Reagirujushhie ob'ekty dlja sistem intellektual'nogo otobrazhenija, *Informacionnye tehnologii*, 2007, no. 2, pp. 2—11.
10. Vahromcev E. M. Primenenie metodov "zhivogo" modelirovanija dlja proizvodstvennogo monitoringa, *Informacionnye tehnologii*, 2010, no. 7, pp. 10—15.
11. Barskiy A. B. "Zhivoe" modelirovanie i ob'yomnaja ekranizacija, *Informacionnye tehnologii*. 2015, no. 11, pp. 863—870.

УДК 004.891.3

А. Е. Прасолова, канд. техн. наук, зав. каф., e-mail: prasolova@bsu.edu.ru
Старооскольский филиал Белгородского государственного национального
исследовательского университета, г. Старый Оскол, Белгородская область, Россия

Коллективный нейросетевой алгоритм диагностики инфаркта миокарда

Приведено описание нейросетевой системы диагностики инфаркта миокарда. Описано применение нейронной сети Хемминга, РБФ-сети, самоорганизующихся карт Кохонена, а также коллективного нейросетевого алгоритма в диагностике инфаркта миокарда при использовании лишь данных ЭКГ. Представлены результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: нейронная сеть, диагностика инфаркта миокарда, коллективный нейросетевой алгоритм, сеть Хемминга, сеть Кохонена, РБФ-сеть

Введение

Заболевания сердечно-сосудистой системы, в том числе инфаркт миокарда различной локализации, в настоящее время являются самыми распространенными в мире. По данным статистических исследований, инфаркт миокарда возникает у каждой

двадцать пятой женщины и у каждого десятого мужчины. Заболеваемость инфарктом миокарда составляет 36,3 случаев на каждую 1000 человек. Тем не менее до сих пор не существует точных методов диагностики. На электрокардиограмме не всегда содержатся явные признаки инфаркта мио-