СЕКЦИЯ IV
РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И СВЯЗЬ

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ ЭМГ-СИГНАЛОВ В ПРОТЕЗИРОВАНИИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Я. В. Долгов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Российская Федерация

Научный руководитель Д. Е. Судаков

Рассмотрена проблема ограниченной функциональности современных бионических протезов кисти. Несмотря на то, что миоэлектрические протезы (управляемые мышечными сигналами) стали стандартом в протезировании, они по-прежнему предлагают пользователю лишь базовый набор движений (сжать/разжать), что не позволяет полноценно заменить утраченную конечность. Ключевая идея материала заключается в том, что качественный скачок в этой области возможен благодаря интеграции искусственного интеллекта, а именно – глубоких нейронных сетей. Объяснено, как многоканальные ЭМГ-датчики в паре с обученными нейросетями способны распознавать сложные паттерны мышечной активности. Это позволяет «декодировать» тонкие двигательные намерения человека, такие как отдельные жесты или положение пальцев, а не просто силу сжатия. В итоге использование машинного обучения превращает протез из простого инструмента в более естественное продолжение тела, повышая автономность и качество жизни пациентов. Также в тексте обозначены векторы дальнейших исследований: адаптация алгоритмов для работы на компактных и энергоэффективных процессорах и совершенствование методов сбора биометрических данных.

Ключевые слова: бионическое протезирование, электромиография, нейронные сети, машинное обучение, распознавание паттернов, качество жизни.

Отсутствие кисти, будь то приобретенное в результате травмы или врожденная особенность, значительно осложняет выполнение ежедневных задач и напрямую влияет на степень независимости человека, ухудшая общее качество его жизни. Сегодня в качестве стандартного подхода к функциональному замещению утраченной конечности выступают активные протезы бионического типа, принцип действия которых основан на считывании миоэлектрических сигналов (электромиография – ЭМГ) с сохранившихся мышц предплечья [1]. При всей своей распространенности такие системы обладают рядом серьезных недостатков: невысокая эксплуатационная надежность механики, необходимость регулярной подзарядки аккумуляторов и, что самое существенное, минимальный арсенал доступных движений – в большинстве случаев это лишь возможность сжать или разжать захват. Подобная ограниченность превращает протез в приспособление для простейших действий, но никак не в равноценную замену утраченной руки.

В то время как вопросы автономности питания и механической прочности могут быть со временем решены благодаря совершенствованию компонентной базы (аккумуляторов, двигателей и конструкционных материалов), задача обеспечения интуитивно понятного и точного позиционирования остается открытой. Классические алгоритмы управления, которые устанавливают прямую зависимость между амплитудой мышечного сигнала и усилием или скоростью сжатия, не способны интерпретировать сложные двигательные замыслы человека, задействующие тонкую координацию нескольких пальцев и кистевых суставов [2].

Перспективным способом обойти это ограничение видится внедрение технологий искусственного интеллекта, в особенности – методов глубокого обучения и машинного анализа данных, непосредственно в контур управления протезом. Возможность для этого открывает прогресс в области микроэлектроники, благодаря которому стали доступны компактные носимые многоканальные ЭМГ-датчики высокого разрешения. Подобные устройства позволяют регистрировать объемный спектр сигналов с мышечных групп культи.

Нейросетевые алгоритмы, прошедшие обучение на больших массивах электромиографических данных, учатся выделять характерные пространственно-временные закономерности мышечной активности. Эти паттерны соответствуют не только простейшим, но и более дифференцированным двигательным командам – например, намерению вытянуть указательный палец, выполнить щипковый захват, развести пальцы в стороны или совершить вращение запястья [2]. В процессе настройки под конкретного пользователя алгоритм формирует индивидуализированную и способную к адаптации модель управления.

Использование нейросетей и алгоритмов машинного обучения в управлении бионическими протезами знаменует переход от упрощенного силового контроля к интеллектуальному распознаванию двигательных намерений. Такой подход позволяет устранить главный минус существующих решений – жесткую ограниченность набора движений. Реализация этой концепции открывает путь к созданию протезов следующего поколения, которые воспринимаются не как чужеродный инструмент, а как органичное продолжение тела. Это значительно расширяет функциональные возможности человека, повышает его самостоятельность и в итоге – улучшает качество жизни. Приоритетными направлениями исследований являются совершенствование нейросетевых архитектур для их эффективной работы на бортовых маломощных процессорах, а также развитие методик сбора и искусственного обогащения обучающих выборок ЭМГ-сигналов, в том числе с использованием перспективных методов оценки биомеханических параметров [3].

Литература

1. Micera, S. Control of hand prostheses using peripheral information / S. Micera, J. Carpaneto, S. Raspopovic // IEEE Reviews in Biomedical Engineering. – 2010. – Vol. 3. – P. 48–68.
2. Яцун, С. Ф. Разработка системы управления кистевого протеза с тактильной обратной связью / С. Ф. Яцун, А. В. Мальчиков, А. Н. Рукавицын // Медицинская техника. – 2024. – № 1. – С. 7–9.
3. Method of Topological Skeletonization for Evaluation of Effectiveness of Medical Rehabilitation Based on Upper Limb Exoskeletons / A. Obukhov, A. Potlov, M. Krasnyanskiy [et all.] // Technologies. – 2025. – N 13. – P. 516. – DOI 10.3390/technologies13110516