

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 007.52

Распознавание движений кисти человека при помощи обработки и классификации ЭМГ-сигналов

Е.А. Лукьянов, С.Р. Тырква, А.К. Марейчев, А.В. Шевырев

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Представлено описание обработки мультиканального электромиографического сигнала (ЭМГ-сигнала) для распознавания с использованием нейронных сетей движений кисти руки. Приведены статистические характеристики ЭМГ-сигнала и показан метод их получения. Результаты проведенного эксперимента могут быть полезны в областях протезирования верхних конечностей, разработки роботизированных устройств и интерфейсов «человек — компьютер».

Ключевые слова: обработка ЭМГ-сигналов, распознавание сигналов, управление протезом кисти

Для цитирования. Лукьянов Е.А., Тырква С.Р., Марейчев А.К., Шевырев А.В. Распознавание движений кисти человека при помощи обработки и классификации ЭМГ-сигналов. *Молодой исследователь Дона*. 2024;9(2):28–32.

Recognition of Hand Movements by Processing and Classification of EMG Signals

Andrei V. Shevyrev, Sofya R. Tyrkba, Anton K. Mareichev, Evgenii A. Lukyanov

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The paper describes the processing of multichannel EMG signal for recognition of hand movements using neural networks. Informative statistical characteristics of EMG signal are given and the method of their obtaining is described. The results of the experiment can be useful in the fields of upper limb prosthetics, the development of robotic devices and human—computer interfaces.

Keywords: EMG signal processing, signal recognition, hand prosthesis control

For citation. Lukyanov EA, Tyrkba SR, Mareichev AK, Shevyrev AV. Recognition of Hand Movements by Processing and Classification of EMG Signals. *Young Researcher of Don*. 2024;9(2):28–32.

Введение. Распознавание движений кисти руки человека является важной задачей для биомедицинской инженерии, так как оно может быть использовано для разработки протезов, роботизированных устройств, интерфейсов «человек — компьютер» и других приложений. Одним из способов получения информации о движениях кисти является обработка электромиографических сигналов, которые представляют собой электрическую активность мышц, связанных с движением. Однако ЭМГ-сигналы отличает разнообразие, им присущи зашумленность и нестабильность, все это затрудняет их анализ и классификацию. Цель данной работы — определить наиболее эффективные методы обработки и классификации ЭМГ-сигналов, которые могут извлекать релевантные признаки из сигналов и отличать различные типы движений кисти руки с высокой точностью и надежностью.

Авторами представлен собственный подход к решению задач распознавания движений кисти человека на основе ЭМГ-сигналов. Он состоит из трёх основных этапов: предварительная обработка, извлечение признаков и классификация. На примере экспериментальных данных показана эффективность применения на этапе предварительной обработки фильтров для уменьшения шума в ЭМГ-сигналах. На этапе вычисления характерных особенностей использовались статистические методы для обеспечения максимальной информативности признаков характерных для ЭМГ-сигналов, сопровождающих соответствующие движения кисти. На этапе классификации использованы методы машинного обучения. Созданные нейронные сети (их

структура) и глубокое обучение позволили реализовать качественное распознавание различных движений кисти. Пространство для распознавания было редуцировано до пяти информативных признаков, обеспечивающих решение задач распознавания при небольшом объеме вычислений. Проведенные реальные эксперименты подтвердили эффективность распознавания движений на основе ЭМГ-сигналов при малом требуемом для распознавания времени.

Основная часть. Экспериментальный стенд. В экспериментах запись ЭМГ-сигналов проводилась по четырем каналам, сигналы которых поступали на вход АЦП. В каждом канале формировался ЭМГ-сигнал, соответствующий конкретной мышце на предплечье человека. Электроды крепились на лучевом сгибателе запястья, лучевом разгибателе запястья, локтевом сгибателе запястья и локтевом разгибателе запястья [1].

Для усиления сигналов использовалась плата Olimex SHIELD-EKG-EMG, имеющая коэффициент усиления 2848 по каждому каналу. В качестве записывающего устройства использован аппаратный модуль E14-140M, передающий оцифрованные ЭМГ-сигналы в ПЭВМ по USB.

Сбор ЭМГ сигналов. От выбора местоположения электрода зависит конечная амплитуда ЭМГ-сигнала при движении кисти руки, то есть необходимо найти участок мышцы с наибольшей амплитудой сигнала. Для этого электрод перемещался вдоль мышцы, во время этого регистрировался ЭМГ-сигнал и определялся участок с наибольшей амплитудой. Данная процедура проведена для всех четырех мышц предплечья, пример расположения точек показан на рис. 1.



Рис. 1. Поиск активного участка мышц

После фиксации электроды подключались к аппаратному модулю усиления и АЦП-преобразования. При помощи собранного экспериментального стенда записаны тестовые ЭМГ-сигналы, но для сокращения времени исследования была взята готовая база данных с оцифрованными ЭМГ-сигналами, снятыми с мышц кисти руки [2].

Во время записи сигналов выполнялись 10 различных движений кистью, последовательность которых указана на рис. 2: это сгибание и разгибание кисти, повороты кисти влево и вправо, сжатие кулака, абдукция (растопыривание) и аддукция (смыкание) пальцев, а также повороты кисти по часовой стрелке и против часовой стрелки.



Рис. 2. Движения кисти

Каждое из движений выполнялось медленно, на протяжении шести секунд, между движениями осуществлялся перерыв около четырех секунд, когда кисть находилась в состоянии покоя.

Обработка данных. Общее время записи ЭМГ-сигнала в ходе эксперимента составило 640 секунд. Частота дискретизации сигналов — 2000 Гц, что достаточно для оцифровки ЭМГ-сигналов и их дальнейшей обработки [3], а также для решения поставленных задач. Записанный сигнал был отфильтрован от внешних шумов для повышения его качества, для этой задачи был использован конструктор фильтров Filter Designer внутри программного обеспечения Matlab.

Для удаления высокочастотных шумов был спроектирован и использован полосовой фильтр Баттерворта с бесконечной импульсной характеристикой, данные рассчитанного фильтра и его амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) представлены на рис. 3.

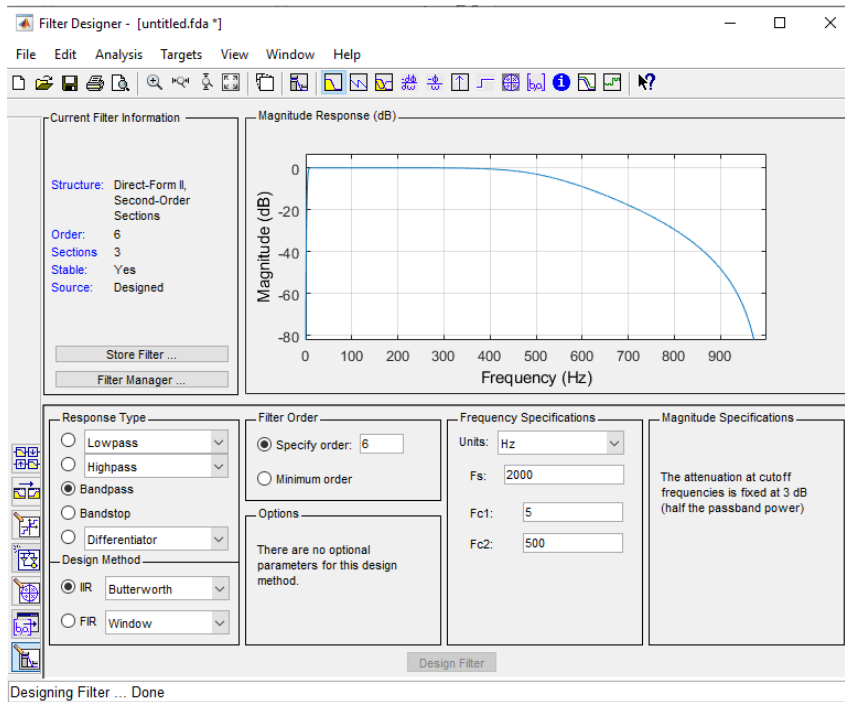


Рис. 3. Характеристики полосового фильтра

Также необходимо было избавиться от шумов сети питания в 50 Гц. Для удаления этого шума использован полотно-заграждающий фильтр, представленный на рис. 4.

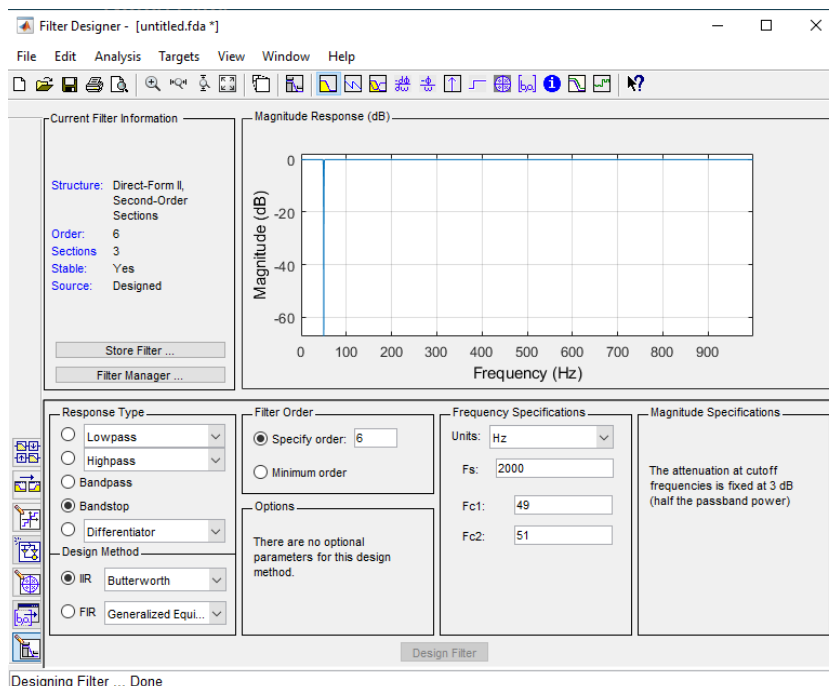


Рис. 4. Полотно-заграждающий фильтр

Весь записанный сигнал был разделен при помощи таймкодов, обозначающих начало или конец движения. Отфильтрованные и разделённые ЭМГ-сигналы имеют вид, представленный на рис. 5.

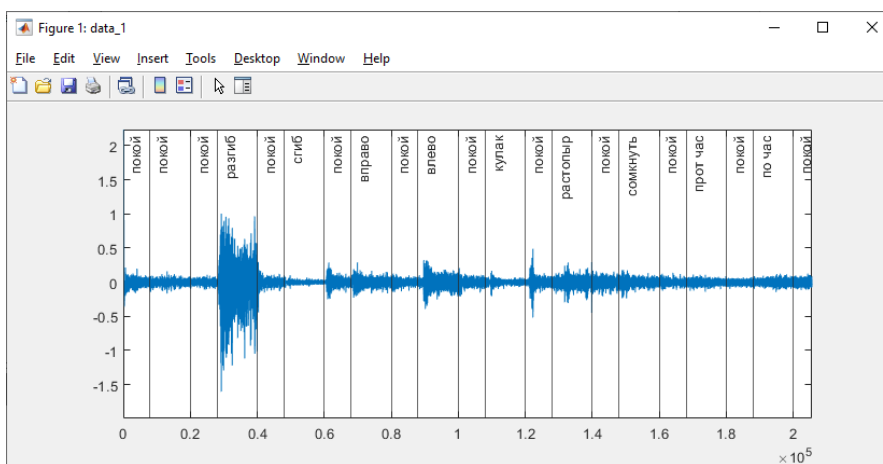


Рис. 5. ЭМГ-сигнал на канале 1

Массив ЭМГ-сигнала был разделён по жестам, для каждого из которых найдены изменения значений дисперсии, квадратного интеграла, временного момента, отклонений и коэффициентов вариации. Для этих целей была использована библиотека для обработки ЭМГ-сигналов EMG-Feature-Extraction-Toolbox [4].

Пример обработанного ЭМГ-сигнала при разгибе кисти приведён на рис. 6.

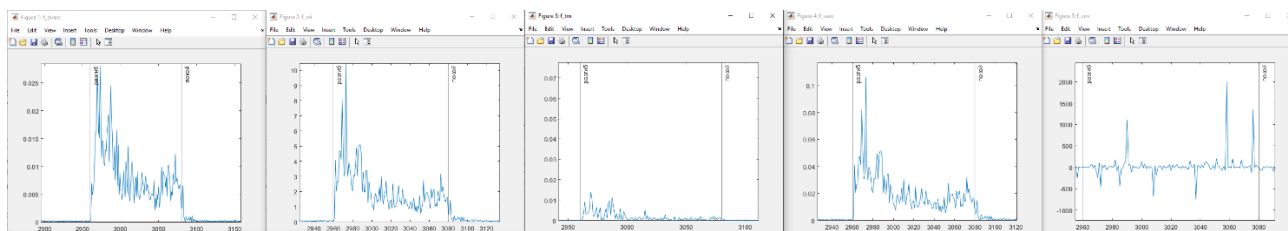


Рис. 6. Значения статистических признаков при разгибе кисти на канале 1

Все полученные обработанные сегменты жестов со всех каналов были объединены в один файл с расширением .csv, и проведено тестирование различных методов линейного классифицирования, таких как KNN, SVM, метод случайных деревьев и нейросети.

Лучший результат распознавания показал классификатор на основе нейросети с тремя скрытыми слоями, каждый из которых состоит из 30 нейронов с функцией ReLu. Данная нейросеть показала 75,7-процентную точность распознавания жестов и быстродействие в 50 мс.

Заключение. Распознавание жестов при помощи ЭМ-сигналов является важным и актуальным процессом, который находит широкое применение в области биомедицинской инженерии. Однако существуют сложности и ограничения, связанные с качеством и точностью распознавания. В данной работе рассмотрен статистический подход к решению этой задачи и показано, что выбранный метод достигает уровня распознавания в 75,7 %, это является хорошим результатом, по сравнению с другими существующими методами. Однако есть еще потенциал для дальнейшего улучшения и оптимизации данного метода, например, путем использования более сложных и глубоких нейронных сетей, увеличения объема и повышения качества обучающих данных.

Список литературы

1. Манулик В.А., Синельникова Н.В. *Краткая анатомия мышц туловища и конечностей*. Учебное пособие. Минск: БГМУ; 2017. 21 с.
2. Mehmet Akif Ozdemir, Deniz Hande Kisa, Onan Guren, Aydin Akan. Dataset for multi-channel surface electromyography (sEMG) signals of hand gestures *Data in Brief*. 2022;41:107921. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.107921>
3. Beniczky S., Schomer D.L. Electroencephalography: basic biophysical and technological aspects important for clinical applications. *Epileptic Disorders*. 2020;22(6):697-715. <https://doi.org/10.1684/epd.2020.1217>
4. *Jx-EMGT: Electromyography (EMG) Feature Extraction Toolbox*. URL: <https://github.com/JingweiToo/EMG-Feature-Extraction-Toolbox> (дата обращения: 05.09.2023)

Об авторах:

Евгений Анатольевич Лукьянов, кандидат технических наук, доцент кафедры робототехники и мехатроники Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), lukevgan@gmail.com

Софья Романовна Тыркба, магистрант кафедры робототехники и мехатроники Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), soheeseo20@gmail.com

Антон Константинович Марейчев, магистрант кафедры робототехники и мехатроники Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), teres-oxana.mareichev@yandex.ru

Андрей Вадимович Шевырев, магистрант кафедры робототехники и мехатроники Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), antrei2015@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Evgenii A. Lukyanov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), lukevgan@gmail.com

Sofya R. Tyrkba, Master's degree student of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), soheeseo20@gmail.com

Anton K. Mareichev, Master's degree student of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), teres-oxana.mareichev@yandex.ru

Andrei V. Shevyrev, Master's degree student of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), antrei2015@gmail.com

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.