

## Адаптивная обработка сигналов ЭМГ в реальном времени и Схема приборов для надежного сбора сигналов с использованием «сухого» сигнала. ЭМГ электроды

Мухаммад Захак Джамал, Дон Хён Ли и Дон Джин Хён

Аннотация. Биосигналы предоставляют нам информацию, которая дает нам ценную информацию о естественных процессах, происходящих внутри человеческого тела. Это делает абсолютно необходимым, чтобы сигнал был свободен от шума, чтобы обеспечить достаточную оценку информации, предоставляемой биосигналами. В этой статье основное внимание уделяется аспекту обработки сигналов электромиографии. Мы предлагаем схему обработки сигнала на основе адаптивного фильтра в реальном времени для удаления шума из сигнала ЭМГ с учетом непредсказуемых характеристик и изменяющейся динамики шума, улавливаемого из окружающей среды при использовании сухих электродов ЭМГ. Кроме того, мы также предлагаем схему инструментирования, которая не только подавляет шум с помощью аналоговых фильтров и схемы управляемой правой ноги, но также обеспечивает покрытие с помощью сигнала без использования суммирующих схем, чтобы АЦП мог получить сигнал. Чтобы проверить эффективность предлагаемой схемы обработки сигналов и инструментирования, мы выполняем анализ отфильтрованного сигнала ЭМГ во временной и частотной областях с точки зрения отношения сигнал/шум, дискретного преобразования Фурье и перекрестной спектральной плотности. В конце концов, мы приходим к выводу, что предложенная схема получения сигнала обеспечивает сигнал ЭМГ, который достаточно низкий шум и может быть полезен для различных приложений ЭМГ.

Ключевые слова: биосигналы, электромиография, аппаратура, адаптивный фильтр, обработка сигнала, сухие ЭМГ-электроды

### I. ВВЕДЕНИЕ

Появление биосигналов дало нам возможность лучше понять естественные процессы человеческого организма. Обычно используемые биосигналы — это электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ) и электроэнцефалография (ЭЭГ). Эти сигналы предоставляют ценную информацию о функционировании сердца, мышц и мозга [1]. В этой статье мы сосредоточимся на поверхностной электромиографии, которая предоставляет собой метод получения сигналов ЭМГ путем размещения чувствительных материалов, называемых электродами, на коже человеческого тела [2]. Сигнал ЭМГ дает информацию об активности мышц, когда им подаются эфферентные сигналы от центральной нервной системы до отдельных мышечных волокон [3]. ЭМГ служит ценным биосигналом, поскольку она, возможно, обеспечивает наиболее естественный перевод мышечной силы в электрический сигнал [4].

С момента открытия сигналов ЭМГ она нашла широкое применение в клинических исследованиях для рекрутирования двигательных единиц, нарушений двигательных единиц, выявления неврологических заболеваний и кинезиологии. Поскольку амплитуда сигнала ЭМГ обеспечивает примерно линейную зависимость от силы, создаваемой мышцами,

человеческого тела, он использовался в качестве инструмента для человеко-машинного интерфейса [5]. Интересные примеры человеко-машинного интерфейса с использованием ЭМГ варьируются от простого управления слайдами компьютерной презентации до управления роботизированными руками с использованием оценки намерений пользователя [6]. Именно по этим причинам сигнал ЭМГ необходимо правильно фильтровать, чтобы его можно было использовать для более сложных приложений, поскольку сигнал ЭМГ подвержен загрязнению шумом [7].

Было проведено множество исследований относительно редств получения сигнала ЭМГ, и уже проведено много исследований относительно конструкции приборов для получения сигнала ЭМГ. Наиболее распространенным способом получения сигналов ЭМГ является биполярный метод, при котором для получения сигнала ЭМГ используются два электрода по дифференциальной схеме [8]. В большинстве случаев применения ЭМГ используются влажные или гелеобразные электроды ЭМГ, которые имеют низкий импеданс кожи, уменьшенное сопротивление и стабильный контакт электрода с кожей [9]. Однако влажные электроды ЭМГ имеют недостатки, связанные с ограничениями при длительном использовании, что затрудняет их применение в некоторых приложениях. Таким образом, сухие электроды ЭМГ используются для замены влажных электродов. Однако сухие ЭМГ-электроды имеют высокий импеданс кожи, большое сопротивление импеданса на аналоговом фронте и, следовательно, высокий уровень шума на выходе электрода [10]. Именно по этим причинам становится важным удалить шум, чтобы получить наиболее точную оценку сигнала ЭМГ для его сложных приложений, таких как оценка намерения отдельных пальцев, где сигнал может быть очень мал по амплитуде [11].

В этой статье мы предлагаем метод применения адаптивного шума подавления сигналов ЭМГ с использованием внешнего источника шума, который грубо коррелирует с шумом, смешанным с сигналами ЭМГ. Мы предлагаем схему обработки сигнала, которая использует адаптивный фильтр для подавления шума из сигнала ЭМГ в реальном времени. Адаптивный фильтр автоматически регулирует вес фильтра в соответствии с меняющимся характером шума со временем [12]. Следовательно, фильтр можно использовать в режимах с высоким уровнем шума, в случаях, когда динамика шума неизвестна и когда нет уверенности в том, насколько велики помехи в линии электропередачи на частоте 50 Гц или 60 Гц. Таким образом, адаптивный фильтр обеспечивает преимущество перед обычными фильтрами с фиксированным коэффициентом, которые предназначены только для удаления из сигнала шума фиксированной частоты [13]. Адаптивный фильтр статистически подавляет шум, который загрязняет сигнал ЭМГ, используя дополнительный шумовой канал, сигнал которого коррелирует с шумом, наблюдаемым в сигнале ЭМГ. Таким образом, фильтр позволяет удалять шумовые загрязнения, которые могут распространяться в частотной области [14].

Мухаммад Захак Джамал, Дон Хён Ли и Дон Джин Хён  
в настоящее время работают в составе группы шарнирно-сочлененной робототехники, группы робототехники в Hyundai Motor Company, исследовательский центр И-ван, И-ван-Си, Кёнгидо, 16082, Республика Корея (электронная почта автора: 6830018@hyundai.com, lee.dh)@hyundai.com, meejin@hyundai.com).

Концепция адаптивного фильтра подробно изучена в современной литературе [15]. Применение адаптивного фильтра уже применялось в случае с сигналов ЭКГ и удаления шумовых артефактов из сигналов ЭКГ [16]. В этой статье мы расширяем применение адаптивного фильтра к ЭМГ, где значения шума могут быть непредсказуемыми, то есть высокими или низкими, в зависимости от окружающей среды, окружающей объект. Кроме того, мы также предлагаем ему прибор с борисигнала, в которой используется модифицированная схема управления правой ноги, чтобы не только уменьшить шум, но и обеспечить смещение сигнала, чтобы его можно было использовать с АЦП микроконтроллера.

## II. ЭЛЕКТРОДЫ

Материал сухих электродов ЭМГ, выбранных для данного исследования, — серебро. Причина, по которой был выбран материал серебра, заключается в том, что он показывает хорошие совместимость с записями ЭМГ [3]. Это также показывает лучшие значения кожного сопротивления электродов по сравнению с аналогами [3]. Был разработан аппарат для размещения трех электродных поверхностей. Два электрода использовались для получения сигнала ЭМГ в технике получения биполярного дифференциального сигнала, третий электрод использовался в качестве электрода сравнения, помещенного между двумя поверхностями. Для размещения электродов на целевой мышце, которая представляла собой глубокий сгибатель пальцев предплечья, использовались две нарукавные повязки. Референтный электрод располагался посередине сигнальных электродов. Расстояние между центрами электродов сравнения и электродов каждой стороны составляло 11 мм, а межэлектродное расстояние электродов приема сигнала — 23 мм. Длина и ширина катушки составляли 36 мм и 18 мм. Устройство, несущее электроды, показано на рис. 1.

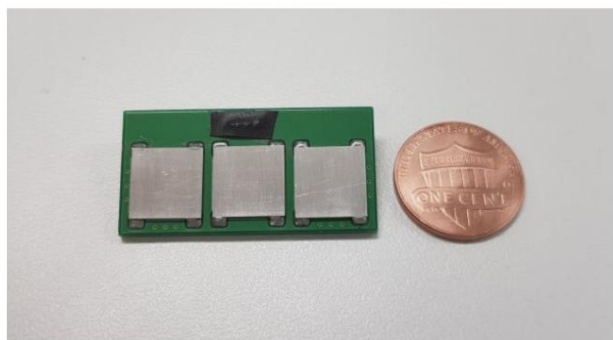


Рисунок 1. Аппарат, содержащий 99,9% серебряных электродов, используемый для обнаружения ЭМГ, по сравнению с монетой в один цент.

## III. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ

Получение сигнала ЭМГ достигается с помощью аппаратной схемы. Конструкция приборов может варьироваться в зависимости от требований проектировщика к решению инженерной задачи. Однако почти каждая схема состоит из схемы предварительного усиления, состоящей из инструментального усилителя [9]. Мы использовали метод получения биполярного сигнала, то есть для получения сигнала ЭМГ используют два электрода. Инструментальный усилитель для нашего приложения — INA333. Однако, в отличие от большинства схем, разработанная измерительная схема состоит из модифицированной управляемой правой ноги (DRL), которая приводит кожу к уровню смещения 1,65 В. Таким образом, опорный сигнал был установлен на 1,65 В, а не на 0 В. Кроме того, поскольку сигнал имел опорное напряжение 1,65 В; следовательно, электрод сравнения также находился при опорном напряжении 1,65 В [17]. Это было сделано для того, чтобы сигнал, полученный от схемы, можно было настраивать.

к микроконтроллеру с положительным входом питания. Кроме того, схема ДХ известна своей ролью в эффективном удалении инфранизкого шума из сигнала ЭМГ [18]. Схема также была оснащена полосовым фильтром третьего порядка.

Полоса пропускания сигнала была установлена в диапазоне от 16,3 до 613 Гц, а коэффициент усиления всей системы был установлен на уровне 2000. Схема была спроектирована для работы при напряжении питания +3,3 В.

Для правильного понимания конструкции приборов блок-схема принципиальной схемы показана на рис. 2, а схема приборов — на рис. 3.

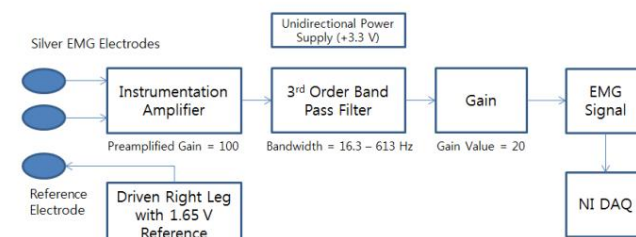


Рис. 2. Блок-схема аппаратной схемы, предназначенной для регистрации ЭМГ.

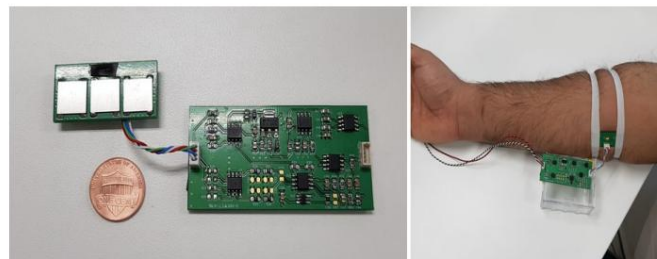


Рисунок 3. (Слева) Схема приборов, предназначенная для сбора сигналов ЭМГ. (Справа) Изображение, показывающее расположение электродов для измерений.

## IV. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА

В этом исследовании мы намерены расширить применение адаптивных фильтров к сигналу ЭМГ. Адаптивный фильтр — это рекурсивный фильтр, вес которого изменяется в зависимости от окружающей среды. Следовательно, этот фильтр можно использовать для удаления шума, который может иметь изменяющуюся динамику в частотной области, или для удаления компонентов шума, которые распространены в частотной области и смешаны с целевым сигналом [14].

Адаптивный фильтр представляет собой КИХ-фильтр, который работает по принципу аппроксимации среднеквадратической ошибки, где веса или коэффициенты фильтра действуют как признаки в задаче линейной регрессии [19]. Общее представление фильтра можно представить, как на рис. 4.

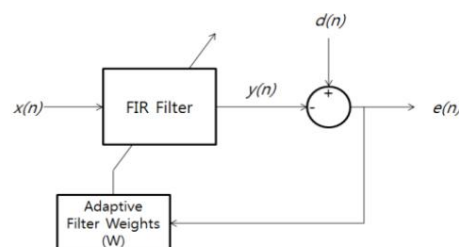


Рисунок 4. Блок-схема адаптивного фильтра.

В нашем приложении  $d(n)$  — это не обработанный сигнал ЭМГ, полученный с помощью схем приборов, описанной в предыдущем разделе. Этот сигнал может содержать элементы шума частотой 50 или 60 Гц, их гармоники или другие составляющие шума, распределенные в частотном спектре [7]. Сигнал  $x(n)$  — это сигнал, который примерно коррелирует с шумом, переносимым сигналом ЭМГ, а  $e(n)$  — это сигнал ошибки, который можно не только рассматривать как отфильтрованный сигнал ЭМГ, но он также формирует стоимость функции для оценки среднеквадратической ошибки [19]. Другими словами, адаптивный фильтр используется для поиска  $u(n)$ , который подавляет шум, переносимый сигналом  $d(n)$ , и дает отфильтрованный сигнал  $e(n)$ .  $u(n)$  можно найти, пропустив сигнал  $x(n)$  через КИХ-фильтр с адаптивными весами «W» с элементами или весами, которые можно представить, как в уравнении. (1).

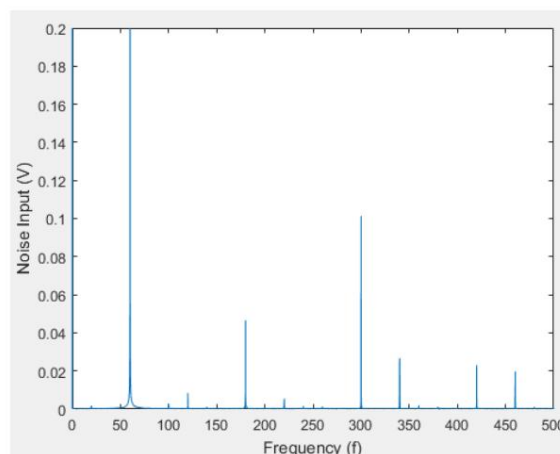


Рис. 5. Частотный спектр шумовой составляющей сигнала  $x(n)$

Сигнал  $u(n)$ , показанный на рис. 4, можно найти как:

$$u(n) = d(n) - e(n) \quad (1)$$

Следовательно, сигнал ошибки  $e(n)$  или отфильтрованный сигнал ЭМГ в нашем случае можно найти по следующему уравнению [19].

Вес фильтра обновляются на каждом этапе в соответствии с алгоритмом градиентного спуска:

« $\mu$ » называется скоростью обучения в уравнении. (4). Вектор и корреляционная матрица  $R$  задаются как:

Таким образом, при использовании адаптивного фильтра веса фильтра автоматически обновляются при каждой вычислительной итерации. [19].

Вопрос в том, как найти шумовую составляющую сигнала, который может быть коррелирован с шумом в сигнале ЭМГ. В нашем исследовании мы использовали DAQ NI USB-6212 для регистрации как шума, так и входных сигналов ЭМГ с предварительным усилением. Предварительно усиленный или предварительно отфильтрованный сигнал ЭМГ получается путем подключения описанной ранее схемы приборов к одному каналу DAQ в дифференциальном режиме. Входной шум можно получить двумя методами: поместив дополнительный ЭМГ-электрод на кожу и прикрепив его к плате с борданных, или подключив провод к борщю с открытым другим концом, который будет действовать как антенна в режиме RSE. Плавающий входной сигнал может использоваться для обоих этих методов. Мы рекомендуем использовать антенный метод, чтобы избежать размещения дополнительного электрода на коже. Используя любой из этих методов, мы можем получить поток шума, имеющий множество пиков в частотной области. Показывая результаты в этой статье, мы в основном сосредоточимся на частотном спектре сигналов времени, поскольку во временной области сложно анализировать случайные сигналы. Сигналы дискретизируются с частотой 1000 Гц. БПФ шумовой составляющей сигнала показано на рис. 5.

На рисунке выше мы видим, что шумовой сигнал имеет пики на частоте 60 Гц и свои гармоники. Таким образом, мы можем прийти к выводу, что этот сигнал можно эффективно использовать для удаления шума в сигнале ЭМГ, поскольку он коррелирует с шумом, смешанным с сигналом ЭМГ ( $d(n)$ ), когда мышца не согнута, как показано крестиком. График спектральной плотности на рис. 6.

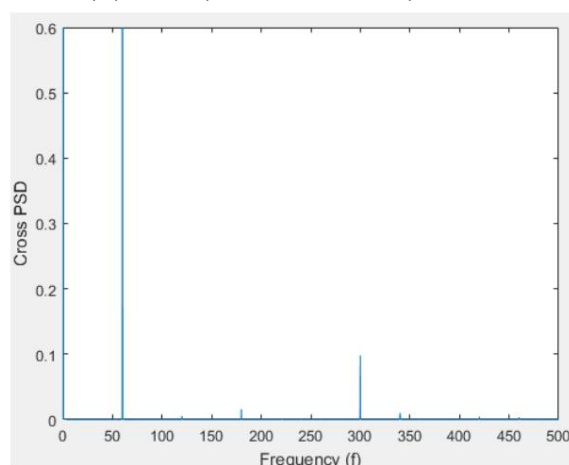


Рис. 6. Перекрестный спектр шума сигнала ЭМГ и шума рис. 5.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

Адаптивный фильтр, описанный уравнениями 1–6, был реализован с использованием программы Labview. Как только мы установили, что шум, смешанный с сигналом ЭМГ, и шум, полученный от открытого провода, который действует как антенна, коррелируют, мы приступили к разработке нашей схемы обработки сигналов, которая сосредоточена вокруг адаптивного фильтра. Обычно наблюдается значительное увеличение шума в сигнале ЭМГ, когда человеческое тело вступает в контакт с источником питания, батареей или металлической поверхностью, которая может быть подключена к источнику электромагнитного излучения. В таких случаях компоненты электромагнитного шума частотой 60 Гц и его гармоники становятся еще более значимыми [20]. Адаптивный фильтр особенно полезен при удалении такого шума, который имеет непредсказуемый характер. После надлежащего наблюдения за сигналом, полученным с помощью адаптивного фильтра, были также добавлены другие фильтры для дальнейшего удаления остатков нежелательного шума в сигнале и завершения схемы формирования сигнала. Схема цифрового формирования сигнала представлена на рис. 7.

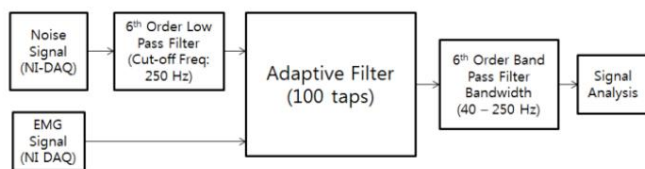


Рисунок 7. Итоговая схема фильтра сигнала ЭМГ.

Адаптивный фильтр был разработан с 100 коэффициентами, весами или отводами, которые оказались достаточно точными для наших целей. Применение адаптивного фильтра [19]. Дополнительные фильтры были добавлены для дальнейшей фильтрации сигнала ЭМГ от остаточного необработанного шума адаптивного фильтра. Поскольку на частоте 300 Гц присутствовали значительные шумовые компоненты электромагнитных гармоник частотой 60 Гц, было решено, что полоса частот целевого ЭМГ-сигнала будет ограничена от 40 Гц до 250 Гц. Эта полоса пропускания изображена полосовым фильтром 6-го порядка на рис. 7. Кроме того, мы также ограничили шумовой сигнал до 250 Гц, так что только компоненты гармонического шума с частотой менее 250 Гц играют роль в удалении шума из сигнала ЭМГ. Таким образом, 6-й для фильтрации шумового сигнала был добавлен фильтр нижних частот, как показано на рис. 7.

Есть два инженерных аспекта адаптивного фильтра: выбор скорости обучения и в уравнении. 4 и выбор количества коэффициентов. Реакция адаптивного фильтра зависит от значения скорости обучения. Если скорость обучения мала, коэффициенты фильтра могут быть более точными; однако реакция фильтра может быть медленной, и наоборот. Выбор скорости обучения имеет один недостаток, поскольку это может сделать фильтр нестабильным [14]. Аналогично, выбор коэффициентов фильтра также является важным фактором. Чем выше коэффициенты фильтра, тем лучше отклик; однако большее количество коэффициентов фильтра может привести к увеличению ложности кода [15].

Таким образом, очень важно выбрать оптимально возможные параметры для приемлемого отклика адаптивного фильтра. Мы выбрали количество нажатий 100 и установили скорость обучения  $\mu = 0,005$ . Чтобы увидеть эффективность фильтра, сначала мы покажем частотную характеристику сигнала ЭМГ вместе с шумом, который с ним. На рис. 8 показано, как шум влияет на полученный сигнал ЭМГ. Поскольку ЭМГ является случайным сигналом, мы фокусируемся на наших результатах больше на частотной области, а не на временной области.

На рис. 8 мы видим, что доминирующие частоты шума расположены на частотах 60 Гц и 300 Гц, а также имеется ошибка по постоянному току. Частотный спектр результата использования адаптивного фильтра показан на рис. 9.

На рис. 9 мы видим, что шумовые компоненты в частотном спектре, показанном на рис. 8, практически удалены. Для интереса читателей отфильтрованная временная выборка сигнала ЭМГ показана на рис. 10.

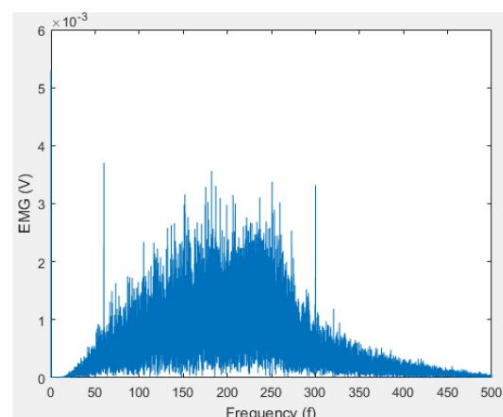


Рисунок 8. Частотный спектр сигнала ЭМГ, с смешанным шумом. Наблюдается два пика шума при 60 Гц и 300 Гц, а также ошибка постоянного тока.

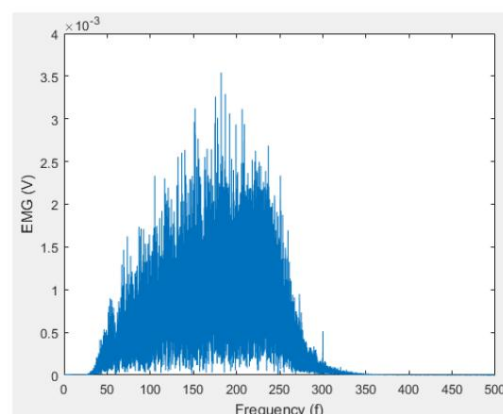


Рис. 9. Частотный спектр сигнала ЭМГ после реализации адаптивного фильтра.

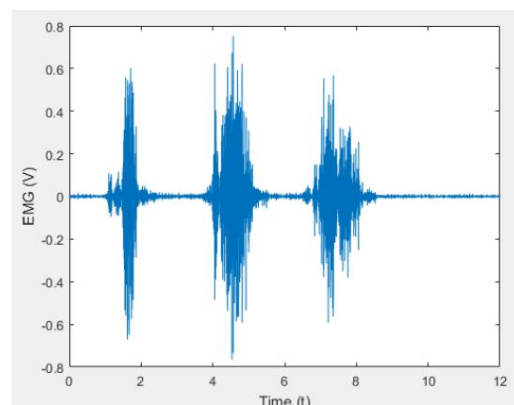


Рис. 10. Частотный спектр сигнала ЭМГ после реализации адаптивного фильтра.

Адаптивный фильтр также очень эффективен в условиях высокого шума. Высокий уровень шума в сигналах ЭМГ обычно наблюдается при контакте человеческого тела с источником питания, с редкой высокими электромагнитными помехами или металлическими поверхностями, подключенными к источникам питания и т. д. Таким образом, в этих случаях шум становится трудно прогнозируемым. В этом случае особенно полезен адаптивный фильтр, поскольку он занимается статистическим удалением шума, который коррелирует с шумовым сигналом. Пример частотного спектра зашумленного сигнала ЭМГ при контакте тела с источником питания показан на рис. 11.

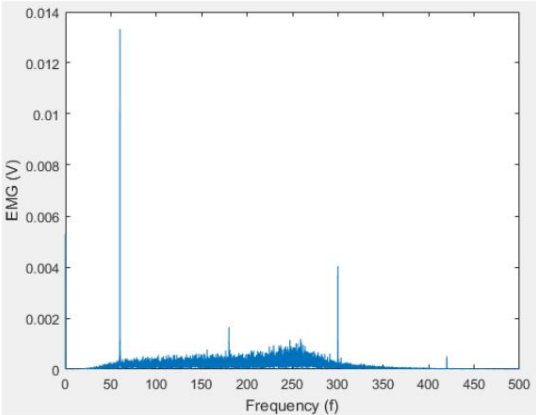


Рисунок 11. Частотный спектр зашумленного сигнала ЭМГ. Гармонические составляющие 60 Гц теперь стали более заметными, чем на рис. 8.

Шумовые компоненты сигнала ЭМГ стали заметными в частотном спектре, показанном на рис. 11. Мы также видим, что дополнительные гармонические компоненты частотой 60 Гц стали заметными на частотах 180 Гц и 420 Гц. Частотные характеристики сигнала ЭМГ после реализации адаптивного фильтра представлены на рис. 12.

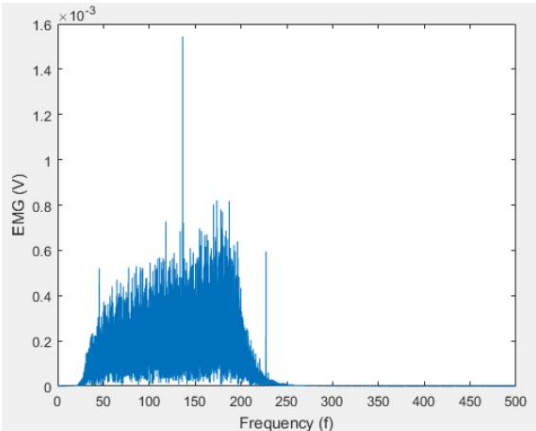


Рис. 12. Частотный спектр сигнала ЭМГ после реализации адаптивного фильтра

Если сравнить рис. 11 и рис. 12, то мы увидим, что шум в сигнале значительно удален, а полученный ЭМГ-сигнал стал чистым от примесей. Мы также наблюдаем, что основные компоненты шума на частотах 60 Гц, 180 Гц и 300 Гц были значительно удалены. Для интереса читателей отфильтрованный временной отсчет зашумленного сигнала ЭМГ показан на рис. 13.

Мы также провели сравнение отфильтрованных сигналов ЭМГ не только с нефильрованными сигналами ЭМГ, полученными от измерительной схемы, но и с обычными БИХ-фильтрами с фиксированным коэффициентом. Сравнения проводились с точки зрения отношения сигнал/шум (SNR), как показано в таблице I. Для целей сравнения мы использовали полосовой фильтр Баттерворта 6-го порядка с частотами среза 40 Гц и 250 Гц и использовали фильтр 2-го порядка. Режекторный фильтр на 60 Гц с добротностью 0,05. Сравнения с использованием отношения сигнал/шум (SNR) были рассчитаны путем усреднения пяти независимых показаний шума и сигнала ЭМГ, и сравнение показано в Таблице I.

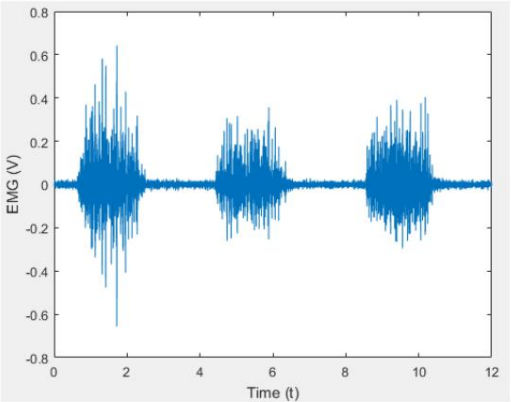


Рисунок 13. Адаптивно отфильтрованный высокочастотный сигнал ЭМГ.

Таблица 1. Сравнение предложенной схемы фильтрации сигнала с не обработанным сигналом ЭМГ и обычным БИХ-фильтрованным сигналом

Шум Условия в ЭМГ Сигнал	В цифровом формате Не обработанный ЭМГ-сигнал Отношение сигнал/шум (дБ)	Обычный БИХ Отфильтровано ЭМГ-сигнал Отношение сигнал/шум (дБ)	Отфильтрованный сигнал с использованием предложенной Схемы Отношение сигнал/шум (дБ)
Обычный	25,1	28,8	37,6
Высокий	5,8	24,4	25,1

Из таблицы 1 видно, что адаптивный фильтр обеспечивает лучшую фильтрацию по сравнению с сигналом ЭМГ, полученным непосредственно из измерительной схемы. Кроме того, адаптивный фильтр имеет дополнительное преимущество: он фильтрует сигнал ЭМГ с минимальной потерей информации, что делает его полезным при применении к сигналу ЭМГ.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ДАЛЬНЕЙШАЯ РАБОТА

Мы показали, как реализовать адаптивный фильтр, и показали, насколько он может быть полезным методом удаления шума из сигнала ЭМГ. Мы реализовали адаптивный фильтр в режиме реального времени и протестировали его действие в обычных условиях и в условиях повышенного шума. В обоих этих условиях мы обнаружили, что схема обработки сигналов на основе адаптивного фильтра на самом деле очень эффективна для подавления шума в сигнале ЭМГ. Для нашего исследования мы спроектировали и разработали схему приборов для получения предварительного или предварительного отфильтрованного сигнала ЭМГ. Затем мы разработали полную схему фильтрации сигналов на основе адаптивного фильтра с использованием Labview и наблюдали за работой адаптивного фильтра в режиме реального времени. Затем мы сфотографировали результаты и проверили их с точки зрения соотношения сигнал/шум.

Адаптивный фильтр может быть особенно полезен в приложениях с биологическими сигналами. Сигнал ЭМГ находит одно из наиболее обширных применений для оценки намерений человека в человеко-машинных интерфейсах [21]. Поскольку этот сигнал настолько чувствителен к шуму, становится чрезвычайно важным внедрить инновационные средства для фильтрации сигнала.

Существенными преимуществами адаптивного фильтра являются то, что он автоматически обнаруживает компоненты шума и удаляет их из сигнала, поскольку вес фильтра адаптируется к изменениям в динамике шума, например, к шуму постоянного тока, помехам в линии электропередачи (50 Гц или 60 Гц) и белому шуму (непредсказуемому шуму), шум, распространяющийся в

час тотный спектр) [14]. Следовательно, эту систему можно легко использовать в средах с высоким уровнем шума, в случаях, когда динамика шума неизвестна и когда дана уверенность в том, находясь ли помехи в линии электропередачи на частоте 50 Гц или 60 Гц. Это общее преимущество фильтра, поскольку целевые частоты специально определены в фильтрах с фиксированными коэффициентами, например фильтры Баттерворта. Поэтому его настоятельно рекомендуется использовать в сложных приложениях ЭМГ, например, в многоканальном физиологическом анализе мышц и в устройствах оценки намерения НМИ.

Наша цель реализации схем фильтрации — применить ее в роботизированных человеко-машинных интерфейсах, где человек с параличом нижних конечностей или ампутированной верхней конечностью может легко управлять роботизированным расширением с помощью сигнала ЭМГ для выполнения сложных задач, например, перемещения отдельных пальцев роботизированной руки [22]. Тем не менее, мы по-прежнему считаем, что есть много возможностей для улучшения, поскольку применение адаптивного фильтра становится немного сложнее при получении многоканального сигнала для конкретных задач. Еще одна область перспективных исследований — найти оптимальное количество функций или коэффициентов для фильтра, а также найти оптимальное значение скорости обучения или μ.

Выбор этих инженерных параметров необходим для надежного применения конструкции на основе адаптивного фильтра.

Наша цель — сделать сигнал ЭМГ более надежным, чтобы его можно было использовать в различных приложениях. С ростом применения биосигналов в интересных и сложных областях становится все более важным найти полезные способы сделать сигнал более полезным в его приложениях. Приложения в сложных человеко-машинных интерфейсах создают серьезные проблемы при борьбе с биосигналами.

Поэтому обработка биосигнала в реальном времени должна выполняться соответствующим образом, чтобы алгоритмы управления и машинный интерфейс работали правильно. Мы решили эти проблемы в основе наших исследований лежит разработка практических методов анимации получения сигналов ЭМГ для различных приложений.

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ

Исследование проводилось в лаборатории Articulated Robotics Group в составе группы робототехники Hyundai Motor Company. Автор глубоко признателен членам группы шарнирной робототехники, которые были для него постоянным источником поддержки. Автор также благодарен команде робототехники Hyundai Motors за предоставление средств, необходимых для проведения этого исследования. Кроме того, особая благодарность всем коллегам, которые с помощью своих обязанностей помогли в этом исследовании.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Попович, Деян Б. и Томас Синкьяер. Контроль передвижения инвалидов: контроль за реабилитационными технологиями. Спрингер, 2000.

[2] Басмаджян, Джон В. «Мышцы живы. Их функции выявлены с помощью электромиографии». Академическая медицина 37.8 (1962): 802.

[3] Джамал, Мухаммад Захак и Кен Су Ким. «Точно обработанная зубчатая поверхность серебряного электрода для улучшения приема сигналов ЭМГ». Симпозиум IEEE по применению датчиков (SAS) 2018 года. ИИЭР, 2018.

[4] Де Лука, Карло Дж. «Использование поверхности электродной электромиографии в биомеханике». Журнал прикладной биомеханики 13.2 (1997): 135-163.

[5] Де Лука, Карло Дж. «Физиология и математика микроскопических сигналов». Транзакции IEEE по биомедицинской инженерии 6 (1979): 313-325.

[6] Клемент, RGE, Кейт Э. Баглер и Кристофер В. Оливер. «Бионические протезы рук: обзор современных технологий и будущих устремлений». Хирург 9.6 (2011): 336-340.

[7] Де Лука, Карло Дж. и др. «Фильтрация поверхности многосигналов ЭМГ: артефакт движения и фоновое шумовое загрязнение». Журнал биомеханики 43.8 (2010): 1573-1579.

[8] Мерлетти, Роберто, Альберто Боттери и У. Бароне. «Обнаружение и обработка поверхностных сигналов ЭМГ». Поверхностная электромиография: физиология, техника и приложения. IEEE Press-John Wiley & Sons, Inc., 2016.

[9] Джамал, Мухаммад Захак. «Сбор сигналов с использованием поверхности электродной ЭМГ и изображения скелетной структуры для роботизированных протезов». Вычислительный интеллект в анализе электромиографии - взгляд на текущие приложения и будущие задачи. Интех Опен, 2012.

[10] Чи, Юмай, Цзы-Пинг Юнг и Герт Каувербергс. «Сухие контактные и бесконтактные биопотенциальные электроды: Методический обзор». Обзоры IEEE в области биомедицинской инженерии 3 (2010): 106-119.

[11] Лафьер, Таскаль, Эдвард Д. Лемэр и Адриан Д.К. Чан. «Поверхностные электромиографические сигналы с использованием сухих электродов». Транзакции IEEE по приборостроению измерения 60.10 (2011): 3259-3268.

[12] Фейнтух, Пол Л. «Адаптивный рекурсивный фильтр LMS». Труды IEEE 64.11 (1976): 1622-1624.

[13] Литвин, Луис. «Цифровые фильтры FIR и IIR». Потенциалы IEEE 19.4 (2000 г.): 28-31.

[14] Уидроу, Бернард и др. «Стационные и нестационарные характеристики обучения адаптивного фильтра LMS». Аспекты обработки сигналов. Спрингер, Дордрехт, 1977. 355-393.

[15] Такор, Нитиш В. и ЮС. Чжу. «Применение адаптивной фильтрации для анализа ЭКГ: шумоподавление и обнаружение аритмии». Сделка IEEE по биомедицинской инженерии 38.8 (1991): 785-794.

[16] Гамильтон, Патрик С. «Сравнение адаптивных и неадаптивных фильтров для уменьшения помех от линии электропередачи в ЭКГ». Транзакции IEEE по биомедицинской инженерии 43.1 (1996): 105-109.

[17] Ли, Ханджин, Кихун Ким и Сан Рок О. «Разработка носимой и сухой электродной системы гЭМГ для декодирования конфигураций рук человека». Международная конференция IEEE/RSJ 2012 по интеллектуальным роботам и системам. ИИЭР, 2012.

[18] Уинтер, Брайан Б. и Джон Г. Вебстер. «Цех ведомой правой ноги» дизайн». IEEE Transactions on Biomedical Engineering 1 (1983): 62-66.

[19] Дуглас, Скотт К. «Введение в адаптивные фильтры». Справочник по цифровой обработке сигналов (1999): 7-12.

[20] Хьюгенс, А. Пепер и К. А. Гримбергс. «Исследование происхождения шума поверхности электродов». Медицинская и биологическая инженерия и вычисления 40.3 (2002): 332-338.

[21] Хаконен, Мария, Харри Питтулайнен и Арто Висала. «Текущее состояние цифровой обработки сигналов в микроскопических интерфейсах и связанных с ними приложениях». Биомедицинская обработка сигналов и контроль 18 (2015): 334-359.

[22] Ко, Хун Кен и др. «Экзоскелет, поддерживающий поясницу, с уникальным приводным механизмом для предотвращения травм спины». Робототехника и автономные системы 107 (2018): 1-9.