

УДК 612.172.2

МНОГОСКОРОСТНАЯ ОБРАБОТКА В ЗАДАЧАХ ФИЛЬТРАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

Михеев А.А., д.т.н., профессор кафедры биомедицинской и полупроводниковой электроники Рязанского государственного радиотехнического университета (РГРТУ)

Блинов П.А., инженер кафедры биомедицинской и полупроводниковой электроники Рязанского государственного радиотехнического университета РГРТУ

Точилина Н.С., аспирант кафедры биомедицинской и полупроводниковой электроники Рязанского государственного радиотехнического университета РГРТУ, e-mail: me@rsreu.ru.

Ключевые слова электрокардиосигнал, многоскоростная обработка, компрессия, децимация, гребенчатая фильтрация.

Введение

В настоящее время интенсивно развиваются системы автоматической обработки электрокардиосигнала (ЭКС). Достоверность постановки диагноза с помощью этих систем зависит от точности получаемых исходных кардиологических данных. Неизбежное действие на ЭКС помех, наиболее распространенные из которых дрейф изолинии и наводка от сети промышленной частоты, искажает эти данные. В связи с этим при разработке и внедрении высокоэффективных медицинских диагностических систем необходимо предусматривать и разработку средств устранения помех. Создание способов и средств, направленных на повышение качества автоматического анализа ЭКС и достоверности диагностики состояния миокарда, способствует оптимизации лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Устранение помех, присутствующих в ЭКС, можно осуществить или путем непосредственной фильтрации, или предварительным выделением аддитивной помехи и дальнейшем вычитанием ее из смеси ЭКС и помехи (рис. 1).

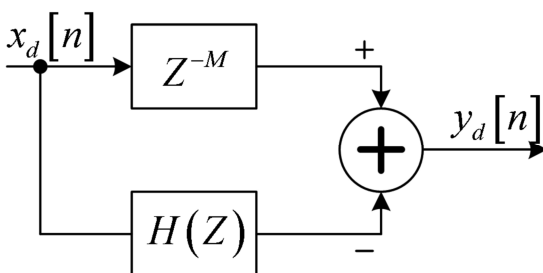


Рис. 1. Узкополосный КИХ-фильтр устранения помех ЭКС

Здесь: Z^{-M} - задержка на M отсчетов; $H(Z)$ - передаточная функция полосового фильтра.

В случае устранения дрейфа изолинии ЭКС используют фильтры верхних или нижних частот, а для устранения наводки промышленной сети - режекторные фильтры [1]. При этом возможны существенные потери информационной части спектра ЭКС. Кроме того, к не-

Рассматривается одно из эффективных решений устранения аддитивных помех в электрокардиосигнале. Предлагается использовать многоскоростную обработку электрокардиосигнала. Представлены варианты децимации частоты дискретизации электрокардиосигнала и импульсной характеристики фильтра.

достаткам подобных методов можно отнести высокий порядок фильтров при устранении низкочастотного дрейфа изолинии ЭКС, что объясняется существенным превышением (на два и более порядков) частоты дискретизации над верхней частотой выделяемой помехи.

Для снижения потерь информационных составляющих спектра ЭКС целесообразно при выделении сигналов аддитивных помех обрабатывать его отсчеты, взятые на ТР-сегменте [2, 3]. Для уменьшения объема вычислительных операций в задачах фильтрации ЭКС целесообразно прибегнуть к прореживанию его отсчетов с целью уменьшения частоты дискретизации. Прореживание отсчетов ЭКС можно отнести к подходам многоскоростной обработки сигналов [4].

Многоскоростная обработка ЭКС предполагает, что в процессе преобразования цифровых сигналов возможно использование эффектов прореживания по времени и по частоте [4], что позволяет снизить объем вычислительных операций на обработку одного отсчета ЭКС. Это приводит к более эффективной обработке ЭКС в целом, так как открывается возможность значительного уменьшения времени обработки.

Рассмотрим два возможных варианта реализации многоскоростной обработки ЭКС:

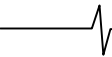
- компрессия (уменьшение) частоты дискретизации;
- децимация импульсной характеристики фильтра.

Компрессия частоты дискретизации ЭКС

В этом случае процессу прореживания подвергается последовательность цифровых отсчетов исходного ЭКС [5, 6]. При этом частота дискретизации новой последовательности отсчетов определяется выражением [7]

$$x_d[n] = x[nM], \quad (1)$$

где $x_d[n]$ - дискретное представление ЭКС; $x[nM]$ - последовательность отсчетов, полученная за счет уменьшения частоты дискретизации; M - коэффициент прореживания.



Выражение (1) описывает компрессор частоты дискретизации [8], изображенный на рис. 2.

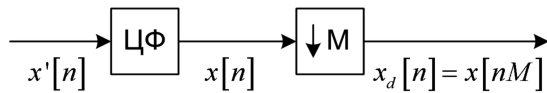


Рис. 2. Блок-схема фильтра-дециматора

Здесь: ЦФ – цифровой фильтр; $x'[n]$ и $x[n]$ – последовательности дискретных отсчетов с шагом дискретизации T на входе и выходе ЦФ.

Из уравнения (1) видно, что $x_d[n]$ совпадает с последовательностью, которая может быть получена дискретизацией непрерывного сигнала $x_c(t)$ с шагом $T' = MT$.

На рис. 3 представлена блок-схема устранения помех из ЭКС с использованием компрессора и интерполятора частоты дискретизации [4].

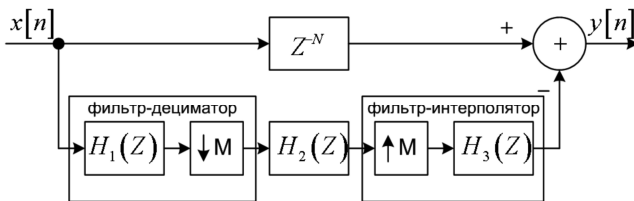


Рис. 3. Блок-схема устранения помех с использованием компрессора и интерполятора частоты дискретизации ЭКС

Здесь: Z^{-N} - общая задержка схемы; $H_1(Z)$ - передаточная функция фильтра-дециматора; $H_2(Z)$ - передаточная функция проектируемого фильтра; $H_3(Z)$ - передаточная функция фильтра-интерполятора.

С целью значительного уменьшения общего объема вычислительных операций в схеме на рис. 3 используется фильтр-дециматор с передаточной функцией $H_1(Z)$, понижающий частоту дискретизации в M раз.

Формирование желательной частотной характеристики проектируемого фильтра реализует фильтр с передаточной функцией $H_2(Z)$, работающий на пониженной в M раз частоте дискретизации. Восстановление исходной частоты дискретизации выполняет фильтр-интерполятор с передаточной функцией $H_3(Z)$, как правило, совпадающей с передаточной функцией $H_1(Z)$ фильтра-дециматора.

Другим известным способом снижения времени обработки сигналов является децимация импульсной характеристики фильтра [4, 6], участвующего в процедуре выделения дрейфа изолинии ЭКС.

Децимация импульсной характеристики фильтра

Принимая во внимание факт, что эффекту прореживания по времени всегда сопутствует один общий недостаток – наличие шума вторичной дискретизации (децимации), в начале 80-х годов была выдвинута идея использования альтернативного подхода – прорежива-

ния импульсной характеристики фильтра вместо входного сигнала [4]. Такая процедура автоматически приводит к периодичности частотной характеристики фильтра с показателем периодичности, определяемым коэффициентом децимации импульсной характеристики ν , а сам процесс преобразования сигнала при его прохождении через гребенчатый фильтр представлял собой эффект прореживания по частоте [9, 10].

В случае децимации импульсной характеристики последовательное соединение цифрового гребенчатого фильтра (ЦГФ) и последующего сглаживающего фильтра (маскирующего) фильтров (рис. 4) можно использовать для эффективной реализации одиночного двухступенчатого узкополосного КИХ-фильтра [11].

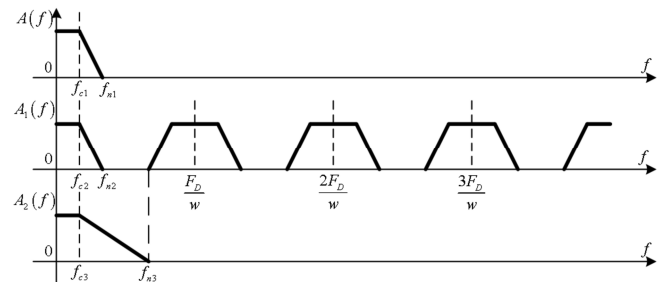


Рис. 4. Умножение амплитудно-частотных характеристик фильтров

Здесь: $A(f)$ - результирующая АЧХ фильтра; $A_1(f)$ - АЧХ фильтра с децимированной импульсной характеристикой; $A_2(f)$ - АЧХ фильтра-маски.

Пропустив ЭКС с аддитивной помехой через каскад фильтров (рис. 5), получим выделенный спектр помехи, но с меньшим временем обработки в отличие от использования классического однополосного фильтра.

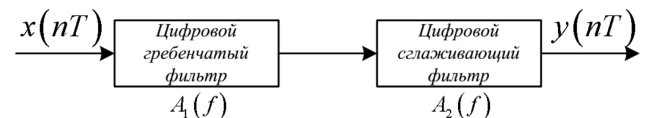


Рис. 5. Построение цифрового узкополосного двухкаскадного фильтра.

Сокращение времени обработки связано с уменьшением количества вычислительных операций за счет прореживания импульсной характеристики гребенчатого фильтра:

$$y_n = \sum_{k=0}^{\frac{G}{\nu}-1} g_k \cdot x_{n-k}, \quad (2)$$

где g_k - весовые коэффициенты импульсной характеристики базового низкочастотного фильтра [10], определяющие последовательность отличных от нуля весовых коэффициентов гребенчатого фильтра.

Подход к обработке ЭКС, основанный на децимации импульсной характеристики, можно использовать для одновременного устранения дрейфа изолинии ЭКС и наводки от сети промышленной частоты 50 Гц. Иллюстрация такого подхода представлена на рис. 6.

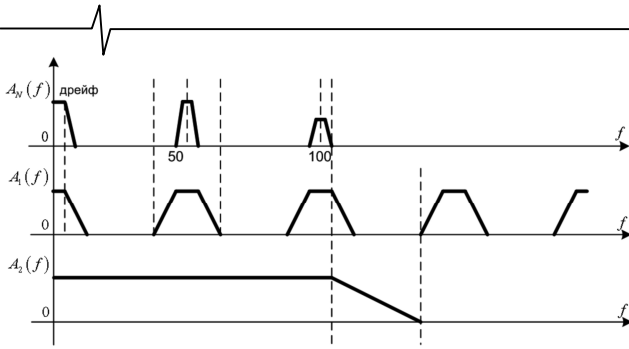


Рис. 6. Фильтрация аддитивных помех ЭКС ФНЧ с децимированной импульсной характеристикой

Здесь: $A_N(f)$ - исходный спектр аддитивной помехи.

После прохождения исходного ЭКС с аддитивной помехой через узкополосный двухкаскадный фильтр (рис. 5) выделяется аддитивная низкочастотная помеха, которая затем вычитается из исходного ЭКС, в результате чего формируется ЭКС без аддитивной помехи. При этом обеспечивается меньший объем вычислительных операций на устранение аддитивной помехи по сравнению с классическими подходами за счет прореживания импульсной характеристики таким образом, чтобы гребни амплитудно-частотной характеристики приходили на частоты устраняемой помехи.

На рис. 7 представлен пример обработки ЭКС гребенчатым фильтром.

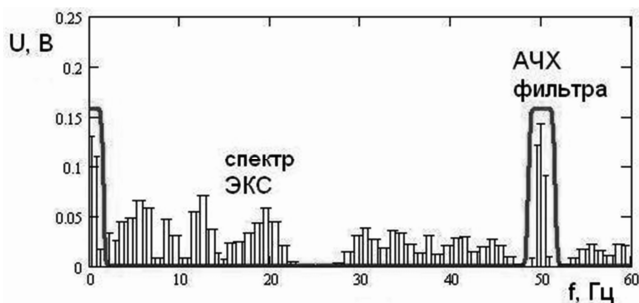


Рис. 7. Устранение аддитивных помех (дрейф изолинии и наводки промышленной сети)

На основе рассмотренного подхода с использованием многоскоростной обработки электрокардиосигнала можно разработать эффективный алгоритм выделения типовых аддитивных помех из ЭКС, с целью их последующей компенсации, при существенном уменьшении вычислительных затрат.

Заключение

Использование многоскоростной обработки в задачах фильтрации электрокардиосигнала позволяет синтезировать простые многокаскадные структуры фильтров, обеспечивающих выделение действующих на ЭКС аддитивных помех с меньшим объемом вычислительных операций.

Литература

1. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход: учеб. пособие для вузов: пер. с англ. / Р.М. Рангайян; под ред. А.П. Немирко. - М.: Физматлит: Мед. Книга, 2007. - 297 с.

2. Патент РФ № РФ 2428107, МКИ7 А61 В 5/04. В5/0402 Способ устранения дрейфа изоэлек-трической линии электрокардиосигнала и устройство для его осуществления/ О.В. Мельник, А.А. Михеев, Н.С. Штрунова// Изобретения. Полезные модели. 2011, №25. Оpubл. 10.07.2011.

3. Патент РФ 2436502, МКИ7 А61 В 5/04. В5/0402 Способ подавления влияния аддитивной помехи на электрокардиосигнал и устройство для его осуществления/ О.В. Мельник, А.А. Михеев, Н.С. Штрунова// Изобретения. Полезные модели. 2011, №35. Оpubл. 20.12.2011.

4. Витязев В.В. Цифровая частотная селекция сигналов. - М.: Радио и связь, 1993. - 240 с.

5. Блинов П.А. Метод выделения аддитивной помехи на основе децимации частоты дискретизации // Материалы IV Международной научной конференции молодых ученых-медиков. 25-26 февраля 2010 года. Том I. / Под ред. В.А. Лазаренко - Курск: ГОУ ВПО КГМУ Росздрава, 2010. - С.127-128.

6. Блинов П.А. Многоскоростная обработка электрокардиосигнала с целью выделения дрейфа изолинии // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы 2009: Тез. докл. науч.-техн. конф. [Текст]: сборник материалов междунар. науч.-техн. конф. / Ряз. гос. радиотех. ун-т. - Рязань, 2009. - С.424-427.

7. Оппенгейм А., Шаффер Р. Цифровая обработка сигналов. Издание 2-е, исправленное: Пер. с англ. - М.: «Техносфера», 2009. - 856 с.

8. Crochiere R.E., Rabiner L.R. Multirate digital signal processing, Prentice Hall, Englewood Cliffs. NJ, 1983 - 411 p.

9. Витязев В.В., Витязев С.В., Зайцев А.А. Многоскоростная обработка сигналов: ретроспектива и современное состояние (часть 1) // Цифровая обработка сигналов. 2008. № 1. С. 12-21.

10. Витязев В.В., Витязев С.В., Зайцев А.А. Многоскоростная обработка сигналов: ретроспектива и современное состояние (часть 2) // Цифровая обработка сигналов. 2008. № 3. С. 2 - 9.

11. Блинов П.А. Эффективный двухкаскадный фильтр для выделения дрейфа электрокардиосигнала // Приоритетные направления развития науки и технологий: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. ТООХО им. Д.И. Менделеева, - Тула, 2010. - С.140-142.

THE MULTIRATE ELECTROCARDIOSIGNAL PROCESSING

Mihev A.A., Blinov P.A., Tochilina N.S.

One of the most effective methods for elimination of additive interferences is considered. It is proposed to use multirate electrocardiosignal processing. Variants for decimation of discretization electrocardiosignal frequency and impulse filter characteristic are considered.