

АДАПТИВНЫЙ МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ АРТЕФАКТА МОРГАНИЯ НА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ

Черноморец А.А., Насонов А.В., Крылов А.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова,
факультет вычислительной математики и кибернетики,
лаборатория математических методов обработки изображений
<http://imaging.cs.msu.ru>

Аннотация

В работе предложен алгоритм подавления артефакта моргания на многоканальной электроэнцефалограмме, основанный на выделении функции влияния моргания. Алгоритм основан на независимом подавлении эффекта моргания в каждом из каналов электроэнцефалограммы с помощью метода частотной интерполяции сигнала, последующем вычислении усредненной функции влияния моргания и оценки её весового коэффициента в электроэнцефалограмме.

1. Введение

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) представляет собой запись биоэлектрических процессов мозга, фиксируемых при помощи электродов, расположенных на голове. ЭЭГ позволяет узнать о состоянии и деятельности мозга, о наличии и отсутствии патологических очагов и процессов. Она также незаменима для контроля за состоянием центральной нервной системы в процессе лечения, оценки действия различных медикаментозных средств. К сожалению, ЭЭГ часто бывает загрязнена внемозговыми сигналами, которые могут добавить ложную информацию в сигнал или подавить полезную информацию. Различают два вида артефактов: технические и физиологические [1].

Технические артефакты возникают вследствие внешних электрических помех, качества крепления электродов. Эти артефакты индивидуальны для каждого записывающего прибора. Примерами физиологических артефактов являются артефакты, связанные с движением глаз и век, сердечной деятельностью и мышечной активностью. В данной работе рассматривается задача подавления артефактов при моргании.

ЭЭГ представляет собой совокупность N одномерных сигналов. Одновременно с ЭЭГ записывается электроокулограмма (ЭОГ), которая регистрирует движение глаз. Влияние этих двух сигналов двунаправленное [1]: глазная деятельность может повлиять на ЭЭГ, мозговая деятельность может повлиять на ЭОГ.

Среди методов подавления эффекта размытия на ЭЭГ можно выделить два подхода:

1. Независимое подавление артефакта по каждому из каналов ЭЭГ. Простейший алгоритм состоит в вычитании отфильтрованного канала ЭОГ из ЭЭГ с определёнными весами [2], но он не всегда даёт хороший результат, т.к. в реальных ситуациях функция влияния моргания на ЭЭГ довольно сильно отличается от ЭОГ. Для выделения и удаления эффекта моргания могут применяться вейвлет-преобразование [3], разложение по эмпирическим модам [4] и другие методы. Недостаток этого подхода заключается в том, что независимая обработка каналов может привести к сильным различиям между каналами.

2. Использование нескольких каналов ЭЭГ. Так как эффект моргания проявляется независимо в каждом из каналов, то использование взаимосвязей между разными каналами может существенно повысить точность подавления эффекта моргания. Наиболее

распространёнными методами, использующими такой подход, являются методы, основанные на методе независимых компонент [5].

В данной работе предлагается алгоритм подавления артефакта моргания на многоканальной ЭЭГ, основанный на выделении функции влияния моргания. Алгоритм заключается в независимом подавлении эффекта моргания в каждом из каналов ЭЭГ с помощью метода частотной интерполяции сигнала, последующем вычислении усредненной функции влияния моргания и оценки коэффициента, с которым она присутствует в ЭЭГ.

2. Постановка задачи

Мы используем предположение, что функция влияния моргания одинакова для каждого канала ЭЭГ с точностью до коэффициента, и используем следующую модель:

$$R_k(t) = T_k(t) + \alpha_k I(t), \quad k = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где $R_k(t)$ — наблюдаемая ЭЭГ, $T_k(t)$ — чистая ЭЭГ без артефактов, α_k — коэффициент, с которым функция влияния $I(t)$ добавляется к k -му каналу ЭЭГ.

Таким образом задача сводится к нахождению функции влияния $I(t)$ и коэффициентов α_k , с которыми она присутствует в сигнале.

3. Разработанный алгоритм

Для подавления артефактов моргания на ЭЭГ был разработан алгоритм, состоящий из следующих этапов:

1. Нахождение участков данных с артефактом моргания на основе анализа ЭОГ. Т.к. ЭОГ практически не содержит примесей, нахождение таких участков производится сравнением значений функции ЭОГ и её производной с пороговыми значениями.

2. Восстановление ЭЭГ на участках данных, содержащих эффект моргания, с помощью методов, подавляющих эффект моргания независимо по каждому из каналов. На этом шаге может использоваться любой метод восстановления ЭЭГ. Мы используем упрощенный вариант частотной интерполяции сигнала [6]. Он заключается в следующей модификации коэффициентов преобразования Фурье: считается преобразование Фурье на отрезке, содержащем эффект моргания, и на соседних отрезках, не содержащих эффекта моргания. Затем амплитуды коэффициентов преобразования Фурье на отрезке, содержащем эффект моргания, интерполируются как средние значения амплитуд соответствующих коэффициентов преобразования Фурье на соседних отрезках.

3. Вычисление функции влияния на каждом из каналов $I_k(t) = R_k(t) - P_k(t)$, где $P_k(t)$ — восстановленная на предыдущем этапе ЭЭГ. Затем производится усреднение

функции влияния моргания $I(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_k(t)$. Эта функция используется для восстановления ЭЭГ в (1).

4. Вычисление коэффициентов α_k , с которыми полученная функция влияния $I(t)$ добавляется к ЭЭГ. Коэффициент влияния выбирается на основе минимизации суммарной вариации восстанавливаемого сигнала.

$$\alpha_k = \arg \min_{\alpha} \sum_{t=t_0+1}^{t_1} |(R_k(t) - \alpha I(t)) - (R_k(t-1) - \alpha I(t-1))|. \quad (2)$$

Близким по качеству результатов является подход, заключающийся в минимизации суммарного квадрата отклонений амплитуд коэффициентов преобразования Фурье на восстанавливаемом участке от соответствующих коэффициентов преобразования Фурье на соседних участках в определённом частотном диапазоне. Мы использовали диа-

пазон от 5 до 15 Гц, в котором влияние эффекта моргания проявляется наиболее сильно. В настоящее время ведется работа по построению на основе этих двух подходов комбинированного алгоритма.

5. Восстановление ЭЭГ по формуле $T_k(t) = R_k(t) - \alpha_k I(t)$.

4. Результаты

Пример работы алгоритма приведен на рис. 1.

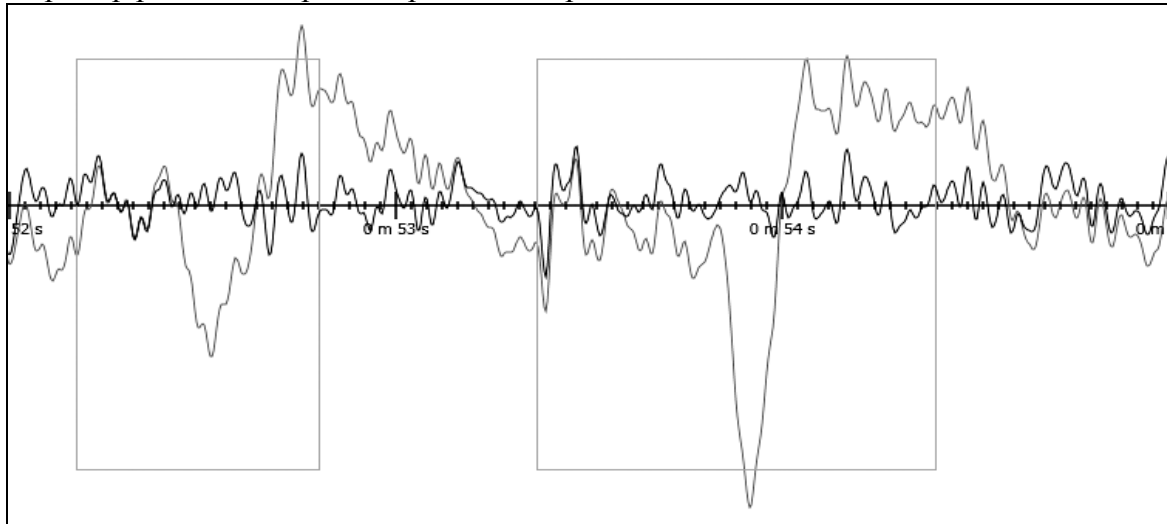


Рис. 1. Результат алгоритма подавления эффекта моргания. Светлая кривая – исходный сигнал, темная кривая – восстановленный сигнал. Прямоугольными рамками показаны участки, на которых детектировался эффект моргания. Очищенный сигнал был также отфильтрован по частоте в 3 Гц – частоты ниже этого порога в сигнале отсутствуют.

Заключение

Разработан многоканальный алгоритм подавления артефакта моргания на электроэнцефалограмме, основанный на выделении и удалении функции влияния моргания. Экспертные психофизиологические оценки показали хорошее качество результатов.

Дальнейшая работа будет включать использование метода выделения независимых компонент для повышения точности нахождения функции влияния моргания.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Литература

1. M.A. Klados, C. Papadelis, C.D. Lithari, P.D. Bamidis "The Removal Of Ocular Artifacts From EEG Signals: A Comparison of Performances For Different Methods" // Proc. 4th Eur. Conf. of the Int. Federation for Med. and Biol. Engineering, 2008, pp. 1259–1263.
2. P. He, G. Wilson, C. Russell "Removal of ocular artifacts from electro-encephalogram by adaptive filtering" // Med. and Biol. Eng. and Comp., Vol. 42, No. 3, 2004, pp. 407–412.
3. V. Krishnaveni, S. Jayaraman, S. Aravind, V. Hariharasudhan, K. Ramadoss "Automatic Identification and Removal of Ocular Artifacts from EEG using Wavelet Transform" // Journal of Applied Sciences Research, 5(7), 2009, pp. 741-745.
4. D. Looney, L. Li, T. Rutkowski, D. Mandic, A. Cichocki "Ocular Artifacts Removal from EEG Using EMD" // Advances in Cognitive Neurodynamics ICCN 2007, pp. 831–835.
5. N. Bian, B. Wang, Y. Cao, L. Zhang "Automatic Removal of Artifacts from EEG Data Using ICA and Exponential Analysis" // LNCS, Vol. 3972, 2006, pp. 719–726.
6. Saeed V. Vaseghi. Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction (Second Edition), chapter "Interpolation", Wiley, 2000, pp. 297–332.