

УДК 681.326:519.713

А. А. СЕРГЕЕВ-ГОРЧИНСКИЙ

**ВЫБОР МЕРЫ РАЗЛИЧИЯ ЗНАЧЕНИЙ ОБРАЗЦОВОГО И ОТФИЛЬТРОВАННОГО
БИМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ**

У статті розглянуто вибір міри відмінності результатів фільтрації спотворених біомедичних сигналів в задачі пошуку оптимальних значень параметра цифрового фільтра нижніх частот "просте ковзне середнє". Для порівняння були вибрані міри відмінності – середньоквадратична помилка, корінь середньоквадратичної помилки, середня абсолютна помилка. Виконана серія експериментів з генеруванню та фільтрації спотворених сигналів. В результаті порівняння визначена міра, для якої характерна більша кількість знайдених локальних оптимальних значень параметра цифрового фільтра за високих рівнів флуктуаційної завади.

Ключові слова: дискретний сигнал, цифровий фільтр, ковзне середнє, оптимальний параметр, міра відмінності

В статье рассмотрен выбор меры различия результатов фильтрации искажённых электрических биомедицинских сигналов в задаче поиска оптимальных значений параметра цифрового фильтра нижних частот «простое скользящее среднее». Для сравнения были выбраны меры различия – среднеквадратичная ошибка, корень среднеквадратичной ошибки, средняя абсолютная ошибка. Выполнена серия экспериментов по генерированию и фильтрации искажённых сигналов. В результате сравнения выбрана мера, для которой характерно большее количество найденных локальных оптимальных значений параметра цифрового фильтра при высоких уровнях флуктуационной помехи.

Ключевые слова: дискретный сигнал, цифровой фильтр, скользящее среднее, оптимальный параметр, мера различия

The article covers selection of a error measure for the results of filtering distorted quantized periodic signals when searching for optimum values of low band digital filter parameter represented by a "simple moving average" in a non-recursive form. The following error measures were selected for comparison – Mean Squared Error, Root Mean Squared Error, Mean Absolute Error. To perform the experiments, a program library was created for generation of periodic discrete quantized signals, and for their distortion using fluctuating interference (noise) with normal distribution, and for further filtering of the distorted signals. A series of experiments was carried out for the generation and filtering of distorted periodic signals with different noise levels. As a result, error measures were found for filtered signals with different values of the digital filter parameter. Ultimately, a measure was selected based on comparison results, representing greater number of local optimum values of the digital filter parameter at high fluctuating noise levels.

Keywords: discrete signal, digital filter, moving average, optimal parameter, error measure

Введение. В различных технических задачах требуется сравнение данных, которые в общем случае имеют различное представление. Одним из типов представления данных является представление в виде последовательности значений дискретных квантованных сигналов (временных рядов). В цифровой обработке сигналов при проектировании цифровых фильтров, осуществляющих подстройку по образцовым сигналам, требуется расчёт меры различия значений образцового и отфильтрованного временных рядов [1].

В прикладных методах анализа данных применяются численные показатели различия временных рядов, которые называются «мерами расстояния» (distance measures) [2], «мерами ошибки» (error measures) [3, 4], либо «метриками расстояния» (distance metrics) [5]. В [6, 7] выполнено сравнение трёх мер различия цифровых сигналов применительно к задаче поиска оптимальных значений параметра цифрового фильтра нижних частот (ФНЧ) «простое скользящее среднее» (ПСС) при обработке искажённых периодических сигналов различных форм. Из результатов экспериментов было установлено, что выбор меры «средняя абсолютная ошибка» (САО) увеличивает количество оптимальных значений параметра цифрового фильтра при высоки уровнях флуктуаційної помехи [7].

Чтобы проверить целесообразность применения меры САО в задаче поиска оптимальных значений параметра цифрового фильтра ПСС применительно к задаче обработки биомедицинских сигналов была создана программная библиотека для цифровой обработки сигналов. Из базы данных [8, 9] были импортированы образцовые биомедицинские сигналы различной формы и сгенерированы их модифицированные копии, полученные путём добавления к исходным сигналам случайной составляющей (помехи) и последующей фильтрации искажённых сигналов.

Создание тестовой среды. В процессе исследования была создана библиотека программных модулей для импорта и обработки дискретных квантованных биомедицинских сигналов с различными характеристиками.

Функции программных модулей следующие. «Модуль генерирования искажённого сигнала» предназначен для генерирования значений дискретных квантованных биомедицинских сигналов и шумовой составляющей (помехи).

«Модуль генерирования сигнала по отсчётам» реализует импортирование из базы данных Sleep Heart Health Study (SHHS) [9] значений образцовых дискретных квантованных биомедицинских сигналов, генерирование значений искажённых сигналов следующих форм: электрокардиограмма (ЭКГ), электроэнцефалограмма (ЭЭГ), электромиограмма (ЭМГ), электроокулограмма (ЭОГ). Программная реализация модуля включает программный метод, который предоставляет возможность настройки частоты дискретизации и длительности воспроизведения исходного неискаженного сигнала.

«Модуль генерирования шумовой составляющей» добавлен для моделирования различных условий передачи неискаженного сигнала. В модуле реализована программная процедура (программный метод) генерирования случайной составляющей искажённого сигнала с нормальным распределением и возможностью задания значений математического ожидания и среднеквадратичного отклонения.

В компоненте «Модуль оценки фильтрации» были реализованы программные методы оценки различия сигналов (меры различия): среднеквадратичная ошибка, корень среднеквадратичной ошибки, средняя абсолютная ошибка. Перечисленные программные

© А. А. Сергеев-Горчинский. 2017

методы были объединены в «Модуль оценки различия сигналов». Для дополнительной оценки значений числовых последовательностей был реализован «Модуль статистической оценки».

Созданная программная библиотека была применена для формирования искажённых сигналов и их последующей цифровой обработки. Целью выполненных экспериментов было определение меры различия, для результата применения которой характерно большее количество найденных локальных оптимальных значений параметра цифрового фильтра при высоких уровнях флуктуационной помехи.

Выбор мер различия. В процессе исследования была создана библиотека программных модулей для генерирования исходных неискажённых дискретных квантованных сигналов различной формы и их модифицированных копий, полученных путём добавления к исходным сигналам случайной составляющей (помехи) и последующей фильтрации искажённых сигналов. Для минимизации уровня шума был создан «Модуль нерекурсивной фильтрации сигнала». В модуле реализован программный метод фильтрации «простое скользящее среднее» (ПСС). В фильтре ПСС обработанное значение $y[k]$ в момент времени k определяется

выражением [10, Р. 19-20]:

$$y_{\text{отфильтр}}[k] = \frac{1}{m_1 + m_2 + 1} \times \sum_{i=-m_1}^{m_2} x_{\text{искаж}}[k-i], \quad (1)$$

где $m_1 + m_2 + 1$ – параметр цифрового фильтра m (количество искажённых значений сигнала, участвующих в расчете отфильтрованного значения для заданного момента времени k), $x_{\text{искаж}}[k-i]$ – значение искажённого сигнала в момент времени дискретизации $k-i$, $y_{\text{отфильтр}}[k]$ – сигнал на выходе фильтра в текущий момент времени k .

В [2-7] рассмотрены различные математические выражения для расчёта меры различия числовых последовательностей, которые можно разделить на следующие группы: меры расстояния, угловые меры, корреляционные меры. Из трёх упомянутых групп мер были выбраны следующие [2, 6]. Мера «среднеквадратичная ошибка» (СКО, Mean Square Error, MSE) определяется выражением [3]:

$$M_{\text{СКО}}(\{x_{\text{неискаж}}[k]\}, \{y_{\text{отфильтр}}[k]\}) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (x_{\text{неискаж}}[k] - y_{\text{отфильтр}}[k])^2, \quad (2)$$

где k – номер отсчёта, $x_{\text{неискаж}}[k]$ – значение неискажённого сигнала в момент времени дискретизации k , $y_{\text{отфильтр}}[k]$ – значение отфильтрованного сигнала в момент времени дискретизации k , N – общее количество отсчётов искажённого сигнала.

Мера «корень среднеквадратичной ошибки» (КСКО, Root Mean Square Error, RMSE) определяется выражением [5]:

$$M_{\text{КСКО}}(\{x_{\text{неискаж}}[k]\}, \{y_{\text{отфильтр}}[k]\}) = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (x_{\text{неискаж}}[k] - y_{\text{отфильтр}}[k])^2}, \quad (3)$$

где k – номер отсчёта, $x_{\text{неискаж}}[k]$ – значение неискажённого сигнала в момент времени дискретизации k , $y_{\text{отфильтр}}[k]$ – значение отфильтрованного сигнала в момент времени дискретизации k , N – общее количество отсчётов искажённого сигнала.

Мера «средняя абсолютная ошибка» (САО, Mean Absolute Error, MAE) определяется выражением [7]:

$$M_{\text{САО}}(\{x_{\text{неискаж}}[k]\}, \{y_{\text{отфильтр}}[k]\}) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} |x_{\text{неискаж}}[k] - y_{\text{отфильтр}}[k]|, \quad (4)$$

где k – номер отсчёта, $x_{\text{неискаж}}[k]$ – значение неискажённого сигнала в момент времени дискретизации k , $y_{\text{отфильтр}}[k]$ – значение отфильтрованного сигнала в момент времени дискретизации k , N – общее количество отсчётов искажённого сигнала.

Постановка эксперимента. С помощью разработанной программной библиотеки, для оценки характеристик целевых функций сформированных из значений выбранных мер различия при различных значениях параметра цифрового фильтра, из базы данных Sleep Heart Health Study (SHHS) [9] были импортированы значения сигнала ЭКГ и сгенерирован тестовый искажённый сигнал со следующими характеристиками: продолжительность регистрации – 2 с, амплитуда сигнала – 0.5 мВ; распределение шумовой составляющей – нормальное; отношение сигнал/шум (ОСШ) – 0.1 дБ; частота дискретизации импортированного образцового сигнала – 250 Гц; частота дискретизации сгенерированного искажённого сигнала – 125 Гц.

Чтобы оценить уровень шума в сгенерированном искажённом сигнале ЭКГ было рассчитано значение отношения сигнал/шум (ОСШ), которое определяется выражением [10, С. 227-229]:

$$\text{ОСШ} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sum_{k=0}^{N-1} (x_{\text{неискаж}}[k])^2}{\sum_{k=0}^{N-1} (x_{\text{искаж}}[k] - x_{\text{неискаж}}[k])^2} \right), \quad (5)$$

где k – номер отсчёта, $x_{\text{неискаж}}[k]$ – значение неискажённого сигнала в момент времени дискретизации k , $x_{\text{искаж}}[k]$ – значение искажённого сигнала в момент времени дискретизации k , N – общее количество отсчётов искажённого сигнала.

Значение ОСШ для сгенерированного сигнала ЭКГ равно 0.1 дБ. Сгенерированный сигнал был обработан при помощи фильтра ПСС со значениями параметра m в диапазоне от 1 до 250, где m – количество искажённых значений сигнала, участвующих в расчете отфильтрованного значения для заданного момента времени k [см. выражение (1)]. Были проведены 250 сравнений и рассчитаны значения мер различия для двух временных рядов: временного ряда исходного неискажённого сигнала и 250 временных рядов отфильтрованных сигналов.

Поскольку значения мер различия могут находиться вне интервала $[0, 1]$, для приведения мер к одному диапазону значений, в их выражения было

включено деление на максимальное значение (среди всех значений для каждой меры различия) и округление до сотых долей (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что нормированные значения мер различия имеют локальные минимальные значения (экстремумы), т. е. могут быть рассмотрены в качестве целевых функций в задаче поиска оптимальных значений параметра m цифрового фильтра ПСС.

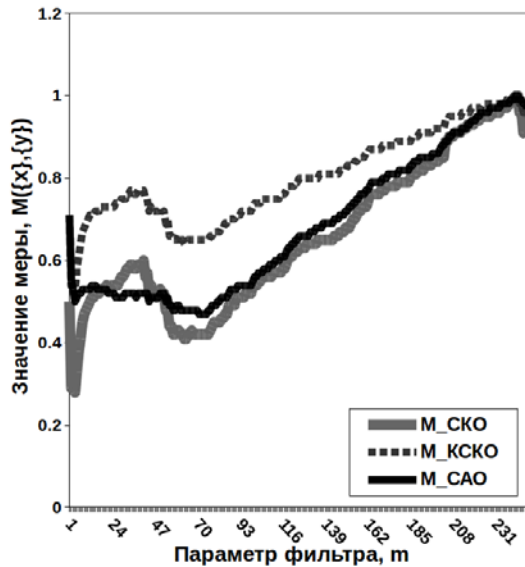


Рис. 1 – Нормированные округлённые значения мер различия для значений параметра m от 1 до 250 при $ОСШ = 0.1$ дБ

На рис. 2 изображены результаты фильтрации с двумя значениями параметра m фильтра ПСС, определёнными в соответствии с локальными экстремумами целевой функции меры СКО: $m_1 = 5$; $m_2 = 65$.

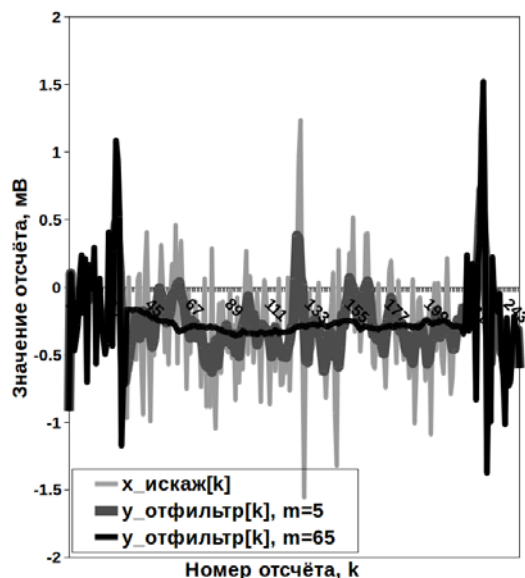


Рис. 2 – Значения отфильтрованных сигналов для заданных значений параметра m при $ОСШ = 0.1$ дБ

Из рис. 2 следует, что применение цифровой фильтрации с оптимальными значениями параметра m позволяет выделить различные частотные составля-

ющие искажённого сигнала и проанализировать их амплитудные характеристики.

Поскольку целью экспериментов было определение меры различия, для результата применения которой характерно большее количество найденных локальных оптимальных значений параметра цифрового фильтра ПСС при высоких уровнях флуктуационной помехи, были рассчитаны значения целевых функций при значениях $ОСШ$ равных -5 дБ (рис. 3) и -10 дБ (рис. 4).

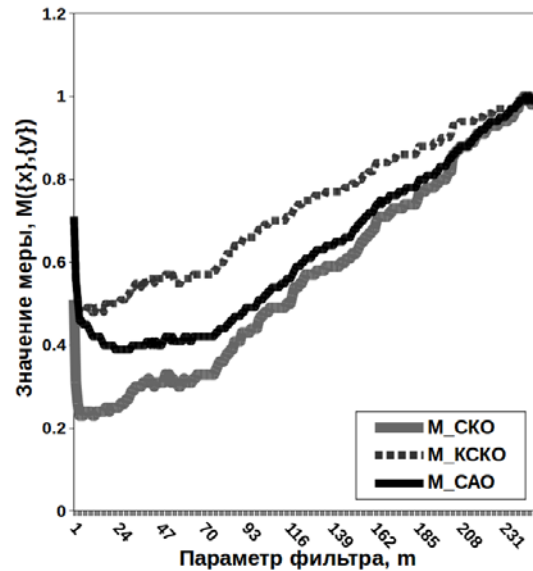


Рис. 3 – Нормированные округлённые значения мер различия для значений параметра m от 1 до 250 при $ОСШ = -5$ дБ

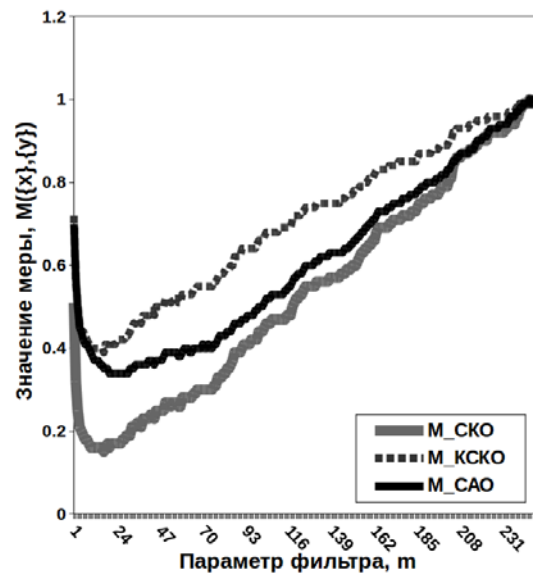


Рис. 4 – Нормированные округлённые значения мер различия для значений параметра m от 1 до 250 при $ОСШ = -10$ дБ

Из значений целевых функций изображённых на рис. 3, 4 следует, что при увеличении уровня помехи, количество локальных экстремумов уменьшается, следовательно уменьшается и количество частотных составляющих искажённого сигнала, которые можно

отфильтровать с учётом локальных оптимальных значений параметра m фильтра ПСС.

Чтобы оценить наличие закономерности уменьшения количества локальных экстремумов целевых функций при увеличении уровня помехи в искажённом сигнале, проведена серия экспериментов по расчёту количества локальных оптимальных значений параметра m для мер различия при заданных значениях $ОСШ_{искаж}$ от -10 дБ до +10 дБ (рис. 5).

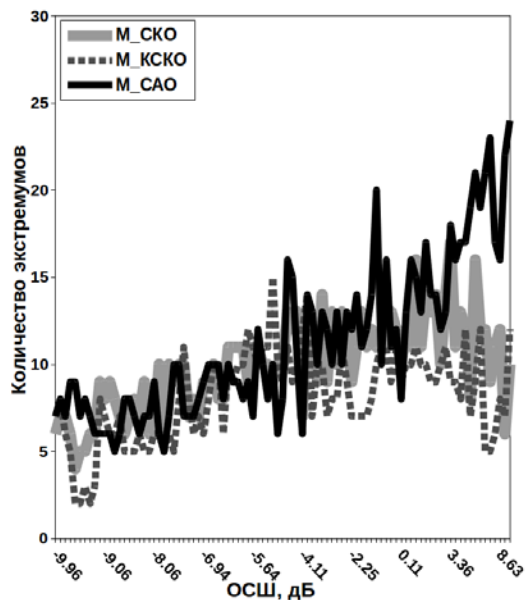


Рис. 5 – Количество экстремумов целевых функций мер различия при заданных $ОСШ$

Из результатов экспериментов, изображённых на рис. 5 следует, что для всех мер существует закономерность уменьшения количества локальных экстремумов при увеличении уровня помехи.

Сравнение мер различия. Поскольку необходимо выбрать меру, для результата применения которой характерно большее количество найденных локальных оптимальных значений параметра цифрового фильтра ПСС, выполнена серия экспериментов по расчёту значений среднего суммарного количества локальных экстремумов, которое определяется выражением:

$$\bar{M}(ОСШ[k]) = \frac{\sum_{i=0}^k M(ОСШ[i])}{k+1}, \quad (6)$$

где i – порядковый номер $ОСШ$ из заданного диапазона, k – фиксированный порядковый номер $ОСШ$, $ОСШ[i]$ – значение $ОСШ$ ($ОСШ[0] = -10$ дБ), $M(ОСШ[i])$ – количество локальных экстремумов при заданном значении $ОСШ$.

Для оценки значений количества локальных оптимальных значений параметра m цифрового фильтра ПСС для различных типов биомедицинских сигналов, была проведена серия экспериментов по расчёту значений среднего суммарного количества экстремумов при $ОСШ$ от -10.0 дБ до +10.0 дБ (рис. 7–9).

На рис. 6 изображены результаты серии экспериментов по расчёту значений среднего суммарного количества экстремумов для сигнала ЭКГ.

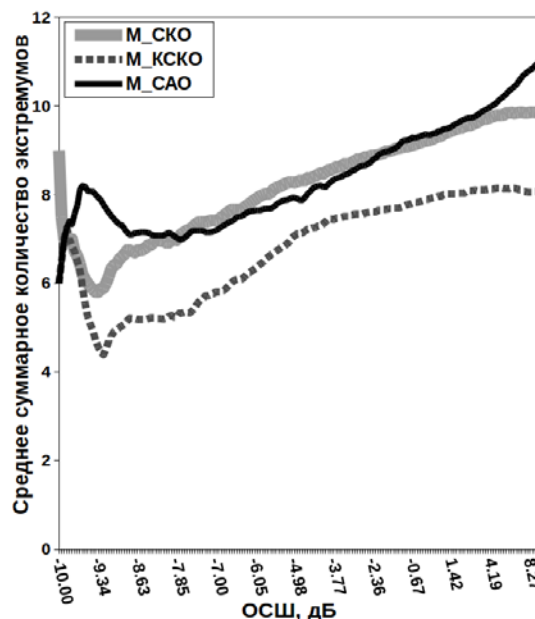


Рис. 6 – Среднее суммарное количество локальных экстремумов при заданных $ОСШ$ для сигнала ЭКГ

Из результатов экспериментов, изображённых на рисунке 6 следует, что для сигнала ЭКГ при $ОСШ$ от -7.0 дБ до +3.0 дБ в значениях целевых функций мер СКО и CAO найдены схожие количества локальных экстремумов.

На рис. 7 изображены результаты экспериментов по расчёту значений среднего суммарного количества экстремумов для сигнала ЭЭГ.

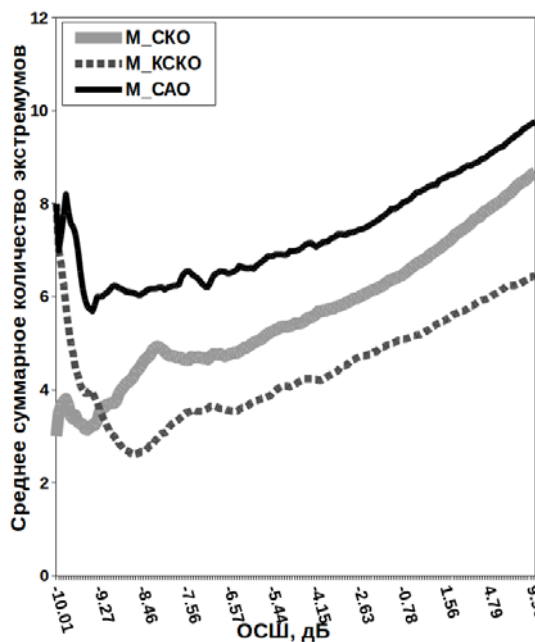


Рис. 7 – Среднее суммарное количество локальных экстремумов при заданных $ОСШ$ для сигнала ЭЭГ

На рис. 8 изображены результаты экспериментов для сигнала ЭМГ.

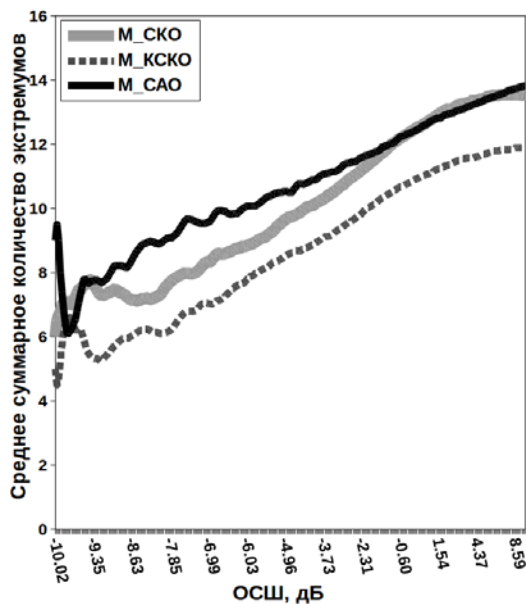


Рис. 8 – Среднее суммарное количество локальных экстремумов при заданных ОСШ для сигнала ЭМГ

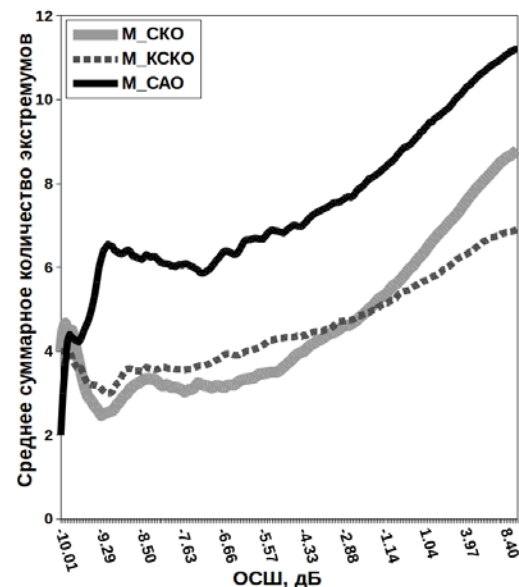


Рис. 9 – Среднее суммарное количество локальных экстремумов при заданных ОСШ для сигнала ЭОГ

На рис. 9 изображены результаты экспериментов для сигнала ЭОГ.

Из результатов проведенных экспериментов, изображённых на рис. 9 следует, что при ОСШ от -10.0 дБ до +10.0 дБ для сигнала ЭОГ в значениях целевых функций мер СКО и КСКО количество локальных экстремумов является схожим, также как для мер СКО и САО в эксперименте с сигналом ЭМГ (рис. 6).

Для сигналов ЭЭГ, ЭМГ и ЭОГ количество локальных экстремумов целевой функции меры САО превышает количество экстремумов для мер СКО и КСКО в интервале значений ОСШ от -9.0 дБ до +3.0 дБ (рис. 7–9), вследствие чего можно сделать вывод о том, что для результата применения меры «средняя абсолютная ошибка» характерно большее количество найденных локальных оптимальных значений параметра цифрового фильтра ПСС при высоких уровнях флуктуационной помехи.

Список литературы:

1. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Б. Сергиенко. – 3-е изд. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 593–595.
2. Cha, S.-H. Comprehensive Survey on Distance/Similarity Measures between Probability Density Functions [Text] / S.-H. Cha // International journal of mathematical models and methods in applied sciences. – 2007. – Vol. 1, Issue 4. – P. 300–307.
3. Willmott, C. J. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance [Text] / C. J. Willmott, K. Matsuura // Climate Research. – 2005. – Vol. 30. – P. 79–82. doi: [10.3354/cr030079](https://doi.org/10.3354/cr030079)
4. Willmott, C. J. On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators [Text] / C. J. Willmott, K. Matsuura // International Journal of Geographical Information Science. – 2006. – Vol. 20, No. 1. – P. 89–102. doi:10.1080/13658810500286976
5. Chai, T. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature [Text] / T. Chai, R. R. Draxler // Geoscientific Model Development. – 2014. – Vol. 7, Issue 3. – P. 1274–1250. doi: [10.5194/gmd-7-1247-2014](https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014)
6. Serheiev-Horchynskiy, O. Selection of error measure for reference and filtered periodic signals at high levels of fluctuating noise [Text] / O. Serheiev-Horchynskiy // Summer InfoCom 2017: Conference Proceedings. – Kyiv, 2017. – P. 100–103.
7. Сергеев-Горчинский, А. А. Выбор меры различия образцового и отфильтрованного периодических сигналов в задаче поиска оптимальных значений параметра цифрового фильтра при высоких уровнях флуктуационного шума [Текст] / А. А. Сергеев-Горчинский // Вимірвальна та Обчислювальна Техніка в Технологічних Процесах. – 2017. – Т. 58, № 2. – С. 123–130.
8. Goldberger, A. L. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals [Text] / A. L. Goldberger, L. A. N. Amaral, L. Glass, J. M. Hausdorff, P. C. Ivanov, R. G. Mark et. al. // Circulation. – 2000. – Vol. 101, Issue 23. – P. e215–e220. doi: [10.1161/01.cir.101.23.e215](https://doi.org/10.1161/01.cir.101.23.e215)
9. Lind, B. K. Recruitment of Healthy Adults into a Study of Overnight Sleep Monitoring in the Home: Experience of the Sleep Heart Health Study [Text] / B. K. Lind, J. L. Goodwin, J. G. Hill, T. Ali, S. Redline, S. F. Quan // Sleep and Breathing. – 2003. – No. 7 (1). – P. 13–24. doi: 10.1007/s11325-003-0013-z
10. Oppenheim, A. V. Discrete-Time Signal Processing [Text] / A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer. – 3-rd ed. – London, 2010. – 1055 p.

Bibliography (transliterated):

1. Sergienko, A. B. (2011). Cifrovaya obrabotka signalov. Sankt-Peterburg, 593–595.
2. Cha, S.-H. (2007). Comprehensive Survey on Distance/Similarity Measures between Probability Density Functions. International journal of mathematical models and methods in applied sciences, 1 (4), 300–307.
3. Willmott, C., Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. Climate Research, 30, 79–82. doi: [10.3354/cr030079](https://doi.org/10.3354/cr030079)
4. Willmott, C. J., Matsuura, K. (2006). On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators. International Journal of Geographical Information Science, 20(1), 89–102. doi:10.1080/13658810500286976
5. Chai, T., Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. Geoscientific Model Development, 7 (3), 1247–1250. doi: [10.5194/gmd-7-1247-2014](https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014)
6. Serheiev-Horchynskiy, O. (2017). Selection of error measure for reference and filtered periodic signals at high levels of fluctuating noise. Summer InfoCom 2017: Conference Proceedings. Kyiv, 100–103.
7. Serheiev-Horchynskiy, O. O. (2017). Selection of error measure for reference and filtered periodic signals in the problem of searching for

- optimum values of digital filter parameters at high levels of fluctuating noise. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, 58 (2), 123–130.
8. Goldberger, A. L., Amaral, L. A. N., Glass, L., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Mark, R. G. et. al. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation*, 101 (23), e215–e220. doi: [10.1161/01.cir.101.23.e215](https://doi.org/10.1161/01.cir.101.23.e215)
 9. Lind, B. K., Goodwin, J. L., Hill, J. G., Ali, T., Redline, S., & Quan, S. F. (2003). Recruitment of Healthy Adults into a Study of Overnight Sleep Monitoring in the Home: Experience of the Sleep Heart Health Study. *Sleep and Breathing*, 7(1), 13–24. doi:10.1007/s11325-003-0013-z
 10. Oppenheim, A. V., Schaffer, R. W. (2010). *Discrete-Time Signal Processing*. London, 1055.

Поступила (received) 21.07.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вибір міри відмінності значень зразкового та відфільтрованого біомедичних сигналів / Сергеев-Горчинський О. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.37–42. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Выбор меры различия значений образцового и отфильтрованного биомедицинских сигналов / Сергеев-Горчинский А. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.37–42. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Selection of Error Measure for Reference and Filtered Biomedical Signals Values / Serheiev-Horchynskyi O. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242). – P.37–42. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сергеев-Горчинський Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, асистент кафедри системного проектування; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: alexey.sergeev@ymail.com

Сергеев-Горчинский Алексей Александрович – кандидат технических наук, Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского, ассистент кафедры системного проектирования; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e-mail: alexey.sergeev@ymail.com

Serheiev-Horchynskyi Oleksii – PhD, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, an Assitant Teacher in the Department of System Design; 37, Peremohy ave., Kiev, Ukraine, 03056; e-mail: alexey.sergeev@ymail.com

УДК 004.9

О. Ю. СЕРДЮК

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВЕРИФІКАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРІОДИЧНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ВИЯВЛЕННЯ ПРОГНОСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЕРИФІКОВАНИХ ПОКАЗНИКІВ

В роботі представлено інформаційну технологію верифікації показників оптимізації простих операцій та її реалізацію у програмному продукті EF Expert. Для вирішення поставленого завдання створено шість обмежених класів простих моделей операцій, кожен з яких призначений для виявлення певної властивості показника оцінювання. Реалізовано процедуру верифікації показників оцінювання, структура яких відповідає формальним ознакам простої моделі операції. У результаті дослідження виявлено додаткову формальну ознаку оціночного показника, що забезпечує його прогностичні властивості.

Ключові слова: методи верифікації показників, прогностичні властивості показника, критерій оптимізації, інформаційна технологія.

В работе представлена информационная технология верификации показателей оптимизации простых операций и ее реализация в программном продукте EF Expert. Для решения поставленной задачи создано шесть ограниченных классов простых моделей операций, каждый из которых предназначен для выявления определенного свойства оценочного показателя. Реализована процедура верификации оценочных показателей, структура которых соответствует формальным признакам простой модели операции. В результате исследования выявлен дополнительный формальный признак оценочного показателя, который обеспечивает его прогностические свойства.

Ключевые слова: методы верификации показателей, прогностические свойства показателя, критерий оптимизации, информационная технология.

The article deals with issues related to the development of information technology and software for the verification of assessment indicators of general simple models of operations of controlled systems and the study of signs of presence of verified indicator prognostic properties. The result of the study is: creation of limited classes of simple operations general models, each of which characterizes the presence of certain property of assessment indicator; development of information technology and software product for the indicators verification; selection of assessment indicators, structure of which corresponds to the parameters of the general simple operation model; implementation of the procedure for their verification; conducting research on the availability of prognostic features in the assessment indicator in order to identify such formal signs that they are valid.

As scientific novelty, for the first time formulated and solved the task of operational verification of the assessment indicator for the possibility of using it as optimizing criterion for operations of controlled systems. The practical significance of the developed technology implemented in the software product is that the use of the indicator, which has passed all the verification procedures, contributes to the maximum harmonization of executive systems functioning of enterprise for purpose of its owner and to achieve maximum economic effect.

Keywords: indicators` verification methods, prognostic properties of indicator, optimization criterion, information technology.

© О. Ю. Сердюк. 2017