

Грейтанс Модрис, Херманис Эвалдс, Аристов Владимир

**ОБРАБОТКА ЗАШУМЛЕННОГО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА  
МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ**

Исследуется влияние аддитивного нормально распределённого шума на первую главную компоненту преобразования Карунена-Лозва при обработке модельных сверхширокополосных импульсных сигналов, имитирующих дыхание человека. Приводятся результаты изменения соотношения сигнал/шум при варьировании входного соотношения от 30 дБ до - 6 дБ, влияния уровня входного шума на закон фазовой модуляции отражённого сигнала, отображаемый в первой главной компоненте.

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2012/8/9.html](http://www.gramota.net/materials/1/2012/8/9.html)

**Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.**

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2012. № 8 (63). С. 30-35. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2012/8/](http://www.gramota.net/materials/1/2012/8/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

УДК 621.396.969

**Технические науки**

*Исследуется влияние аддитивного нормально распределённого шума на первую главную компоненту преобразования Карунена-Лоэва при обработке модельных сверхширокополосных импульсных сигналов, имитирующих дыхание человека. Приводятся результаты изменения соотношения сигнал/шум при варьировании входного соотношения от 30 дБ до - 6 дБ, влияния уровня входного шума на закон фазовой модуляции отражённого сигнала, отображаемый в первой главной компоненте.*

*Ключевые слова и фразы:* биорадиолокация; преобразование Карунена-Лоэва; анализ главных компонент; сигнал/шум; фильтрация.

**Модрис Грейтанс**, д.т.н.**Эвалдс Херманис**, хабилитированный д.т.н.**Владимир Аристов**, д.т.н.*Институт электроники и вычислительной техники, г. Рига, Латвия**modris\_greitans@edi.lv; hermanis@edi.lv; vladimirs.aristovs@edi.lv*

### **ОБРАБОТКА ЗАШУМЛЕННОГО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ<sup>©</sup>**

Работа выполнена в рамках проектов *Института электроники и вычислительной техники*:  
- № 2010/0307/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/078 “High Sensitivity Super-Wide-Band Radar Technology” (LoTe), финансируемый совместно с Европейским фондом регионального развития;  
- № 2 “Innovative Signal Processing Technologies for Smart and Effective Electronic System Development” (IMIS), финансируемый Государственной программой исследований.

#### *Введение*

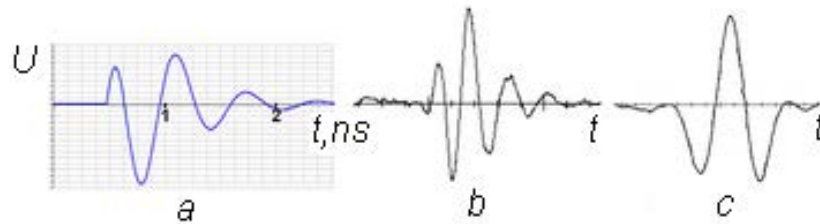
Радиолокационное зондирование подвижных живых объектов предполагает нахождение последних не только на открытой местности и на малой дальности от радиолокатора, но и за преградами, такими как стены домов или завалы железобетонных конструкций, грунта, снега и на достаточном удалении от радиолокатора. Если ещё учесть ограничения, накладываемые на уровень мощности зондирующего сигнала, то следует ожидать падения уровня полезного сигнала, отражённого от подвижных частей тела человека. В этом случае сигнал будет содержать, соизмеримые с полезной такие составляющие, как: а) отражения от неподвижных окружающих и входящих в зону облучения объектов; б) отражения от флуктуирующих окружающих и входящих в зону облучения объектов (например, от листвы); в) сигналы от близлежащих радиостанций, которые при отсутствии синхронизации с ними превращаются в эфирные шумы; г) шумы рассогласования линий приёма отражённого сигнала и линий передачи зондирующих импульсов; д) внутренние шумы приёмника. В работах [4; 5; 6; 8] на примерах обработки реальных и модельных сигналов показана возможность и целесообразность применения преобразования Карунена-Лоэва для выявления слабых амплитудных и фазовых изменений в сигнале. Однако эти исследования проводились либо при полном отсутствии шума (для модельного сигнала), либо при достаточно высоком соотношении сигнал/шум (для реального сигнала). Поэтому представляет интерес выявить влияние шума на результаты обработки. В силу того, что при надлежащем выборе центральной частоты, при котором ожидаемые перемещения органов дыхания не превышают соответствующего изменения фазы отражённого сигнала в пределах  $\Delta\varphi \leq 0,7\pi$ , практически вся информация (80%) сосредоточена на первой главной компоненте преобразования Карунена-Лоэва [6]. Поэтому особое ударение в исследовании делалось на влияние шума на поведение преобразованного сигнала на этой компоненте и на изменение кривой закона модуляции относительно таковой без шума.

#### *Используемые модельный и реальный сигналы*

Биорадиолокация берёт своё начало от подповерхностной радиолокации для которой разработаны разнообразные алгоритмы обработки на примерах как модельного сигнала так и для реального. Хорошо зарекомендовала себя модель отражённого сигнала, соответствующая отражению сверхширокополосного импульса от одной блестящей точки. Эта модель описывается выражением [1]:

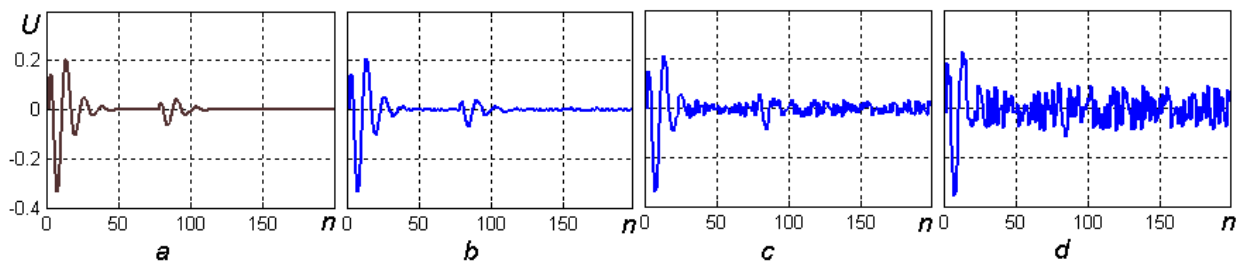
$$u(t) = A(e^{-\alpha t} - e^{-(\alpha+\beta)t})\text{Cos}(\omega_0 t) \quad (1)$$

где  $\alpha, \beta$  - постоянные соответственно нарастания и затухания огибающей радиоимпульса;  $\omega_0$  - центральная частота спектра сигнала ( $\omega_0 = 2\pi f_0$ ). Для моделирования взято:  $f_0 = 2$  GHz;  $\alpha = 3$ ;  $\beta = 5$ . Форма получаемой при этом модели сигнала хорошо согласуется с реальным сигналом, соответствующим отражению от металлической пластины (Рис. 1).

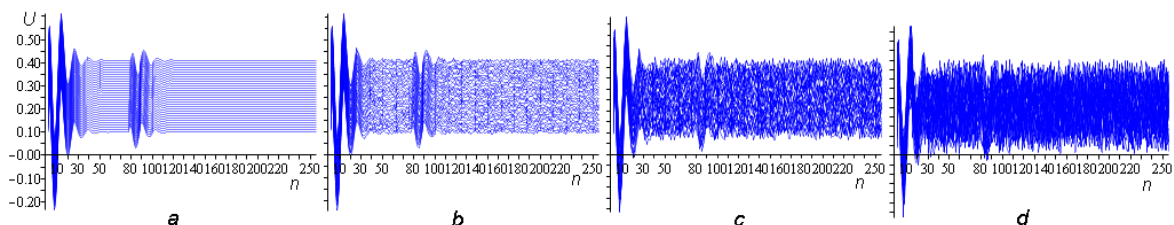


**Рис. 1.** Сигнал сверхширокополосного импульсного локатора, соответствующий: (а) модели; (b, c) отражению от металлической пластины с центральными частотами соответственно 3,5GHz и 2,5GHz

В качестве основы для модельных сигналов использовалась реализация, представляющая два импульса, отстоящих друг от друга на время, соответствующее расстоянию от приёмопередающих антенн до цели 130 см. Первый импульс - есть прямой сигнал от антенны в антенну, второй - отражённый от цели. Дыхание моделировалось изменением задержки отражённого сигнала по линейному закону в пределах от 0 до 78 ps, что соответствует перемещению грудной клетки в пределах одного сантиметра. Реализация дискретизировалась на  $n=256$  отсчётов. Для обработки формировалась матрица  $\mathbf{A}_0$ , размерностью  $(n, N)$ , где  $N$  - число реализаций в ансамбле. При выборе минимального сдвига сигнала в 2,5 ps число реализаций в ансамбле составило  $N=32$ . Таким образом,  $\mathbf{A}_0 = [a_{i,j}]$  ( $i=1,2,\dots,256; j=1,2,\dots,32$ ). Аналогичной размерности были сформированы матрицы  $\mathbf{A}_n$  нормально распределённого шума. Ансамбли зашумленного сигнала представляли матрицы  $\mathbf{A} = \mathbf{A}_0 + k\mathbf{A}_n$ , где множитель  $k$  подбирался таким образом, чтобы сформировать ансамбли реализаций со следующими соотношениями сигнал/шум (с/ш): 30 дБ, 20 дБ, 17 дБ, 10 дБ, 6 дБ, 3 дБ, 0 дБ, -6 дБ. Расчёт с/ш производился на участке наличия отражённого сигнала (35 отсчётов). Для примера на Рис. 2 представлены одиночные реализации при разных соотношениях с/ш. Для наглядного представления влияния шума на восприятие сигнала, на Рис. 3 представлены ансамбли реализация при тех же соотношениях с/ш что и для предыдущего рисунка. Рисунки представляют по 32 реализации, сдвинутые по оси  $y$  на некоторую величину  $\Delta U$ . Такое формирование рисунка даёт некое псевдообъёмное представление сигнала. А «накопление» сигнала позволяет наглядно выявить отражённый сигнал даже при соотношении с/ш равном -6 дБ, хотя по одиночной соответствующей реализации (Рис. 2d) обнаружить тот же сигнал не удаётся.



**Рис. 2.** Вид зашумленного сигнала при соотношении сигнал/шум: а -  $\infty$ ; б - 17 дБ; в - 3 дБ; д - -6 дБ



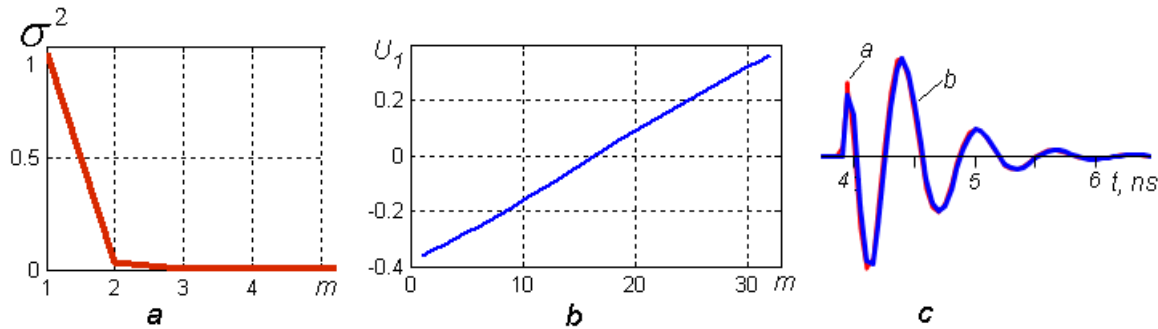
**Рис. 3.** Представление ансамблей сигнала в псевдообъёмном формате при соотношении сигнал/шум: а -  $\infty$ ; б - 17 дБ; в - 3 дБ; д - -6 дБ

#### Обработка модельного и реального сигналов с применением алгоритма главных компонент (РСА)

Обработка импульсного сверхширокополосного сигнала, представляющего как модельный, так и реальный сигналы, соответствующие отражению от грудной клетки человека при его нормальном дыхании, с применением алгоритма преобразования Карунена-Лоэва (или анализа главных компонент), хорошо представлены в работах [4-6]. Там же приведены ограничения в выборе центральной частоты в зондирующем импульсе, при котором закон фазовой модуляции отражённого сигнала можно с достаточной точностью характеризовать по анализу поведения первой главной компоненты. Применительно к рассматриваемому

варианту, а именно  $f_0 = 2 \text{ GHz}$ ; и максимальном перемещении цели  $\Delta l = 1 \text{ см}$ , максимальный фазовый сдвиг  $\Delta\varphi = 0,13\pi$  не превышает  $0,7\pi$ . Поэтому дальнейшие рассуждения будем вести в основном применительно к первой главной компоненте ( $m=1$ ). Обработка для каждого ансамбля сигналов производилась в следующей последовательности:

- поиск оценки ковариационной матрицы  $\mathbf{C} = 1/(N-1)\mathbf{A}\mathbf{A}^t$ , где  $\mathbf{A}^t$  - транспонированная матрица  $\mathbf{A}$ ; - применительно к матрице  $\mathbf{C}$  поиск её собственных значений  $\lambda$  и собственных векторов  $\mathbf{w}$ ;
- анализ распределения собственных значений для подтверждения того, что основная доля дисперсий координат преобразованного сигнала сосредоточена на первом собственном векторе;
- перевод исходных реализаций  $\mathbf{x}$  в проекции на первой главной компоненте  $y = \mathbf{w}_1^t \mathbf{x}$ ;
- анализ влияния шума.



**Рис. 4.** Результаты обработки эталонного ансамбля сигналов, для которых отсутствует шум: а) распределение дисперсий координат на первых пяти главных компонентах; б) поведение образа на первой главной компоненте при полном цикле смещения цели; в) исходный (а) и восстановленный по одной первой главной компоненте (б) сигналы

При обработке сигнала с аддитивной составляющей шума получаемые результаты сравнивались с теми, которые были получены при идеальных условиях, т.е. при полном отсутствии шума. На Рис. 4 представлены основные из них. Рис. 4а демонстрирует поведение приведённых к спектру ковариационной матрицы собственных значений на первых пяти главных компонентах. Эти значения являются дисперсиями разброса координат исходного сигнала в новой системе координат на соответствующих главных компонентах.

$\sigma_i^2 = \frac{\lambda_i}{Sp(\mathbf{C})}$ , где  $Sp(\mathbf{C})$  - спектр ковариационной матрицы  $\mathbf{C}$  (сумма всех собственных значений). Для выбранного малого смещения сигнала ( $\Delta\varphi = 0,13\pi$ ) основная дисперсия сосредоточена на первой главной компоненте ( $\sigma_1^2 = 0,965$ ), и она значительно превосходит дисперсию на последующей второй компоненте ( $\sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 28,3$ ). Рис. 4б показывает, что при отсутствии шума закон поведения образа на первой главной компоненте является практически линейным, т.е. повторяет закон изменения задержки сигнала. На Рис. 4в видно, что восстановленный с использованием образа лишь с первой главной компоненты сигнал практически совпадает с исходным (максимальное отклонение не превышает 20%).

Из анализа распределения дисперсий координат преобразованного сигнала на главных компонентах ранее было показано, что при отсутствии шума дисперсия на первой главной компоненте близка к единице и стремительно убывает для остальных компонент. Однако присутствие шума существенно меняет эту картину. На Рис. 5 показаны результаты расчётов распределения дисперсий на первых 10 главных компонентах. Из рисунка следует, что с ростом уровня шума: а) дисперсия на первой главной компоненте падает; б) замедляется скорость падения дисперсии для последующих главных компонент; в) дисперсия всё более равномерно распределяется между всеми главными компонентами. Эти выводы применительно к первой главной компоненте отображены на Рис. 6. Главный вывод из рисунка - на участке соотношения с/ш входного участка  $30 \text{ дБ} \div 10 \text{ дБ}$  наблюдается стремительное падение дисперсии преобразованного сигнала на первой главной компоненте со скоростью  $0,04 \text{ дБ}$ .

Аналогично быстро спадает значимость первой главной компоненты по сравнению со второй (а значит и с последующими). Напротив, на участках выше  $30 \text{ дБ}$  и ниже  $10 \text{ дБ}$  наблюдается монотонное поведение вышеуказанных характеристик, которые в приближении стремятся соответственно к значению без шумовой составляющей или к нулю.

Нашей главной задачей является сокращение размерности исходных реализаций, по поведению которых можно судить о наличии модуляции отражённого сигнала. Применение преобразования РСА обеспечивает это наилучшим результатом. При наличии шума сокращение размерности сопровождается дополнительно и способностью преобразования подавлять шум. Это свойство используется для фильтрации сигнала как от шумовых составляющих, так и от нежелательных составляющих, присутствующих в сигнале. Например, в

работе [3] описывается использование преобразования для очистки зашумленной речи. На примере используемых модельных сигналов был произведен анализ выигрыша отношения с/ш для выходного сигнала, восстановленного с использованием первой главной компоненты. Теоретически, при условии, что исходные реализации являются нормально распределенными случайными процессами, применение преобразования Карунена-Лоэва позволяет уменьшить дисперсию этого процесса не менее чем в  $n/m$  раз [2]. Применительно к нашей ситуации это составит 15,4 дБ. На Рис. 7 представлена зависимость выигрыша в отношении с/ш от входного соотношения с/ш. Из рисунка следует, что выигрыш остаётся практически неизменным в широком диапазоне входных соотношений с/ш и равным в среднем 10,7 дБ. Отличие от оптимального значения (15,4 дБ) можно объяснить тем, что входной модельный сигнал с шумом имеет распределение, отличное от нормального. Что является главным итогом исследования? На Рис. 8 представлены кривые отображающие закон изменения фазы (задержки) отражённого сигнала, соответствующие поведению образа на 1-й главной компоненте при наличии шума. Выводы из рисунка: 1 - наличие шума искажает закон изменения фазы, трансформируя его из прямой в ломаную линию (для данного примера); 2 - по одной точке уже нельзя судить о текущей фазе отражённого сигнала; 3 - вывод о наличии модуляции надо делать, анализируя в комплексе всю кривую; 4 - регрессия остаётся линейной (соответствующей закону модуляции без шума) вплоть до соотношения с/ш входного сигнала равного 3 дБ; 5 - при  $c/\sigma \leq 0$  визуально уже затруднительно судить о линейности регрессии - нужен машинный анализ.

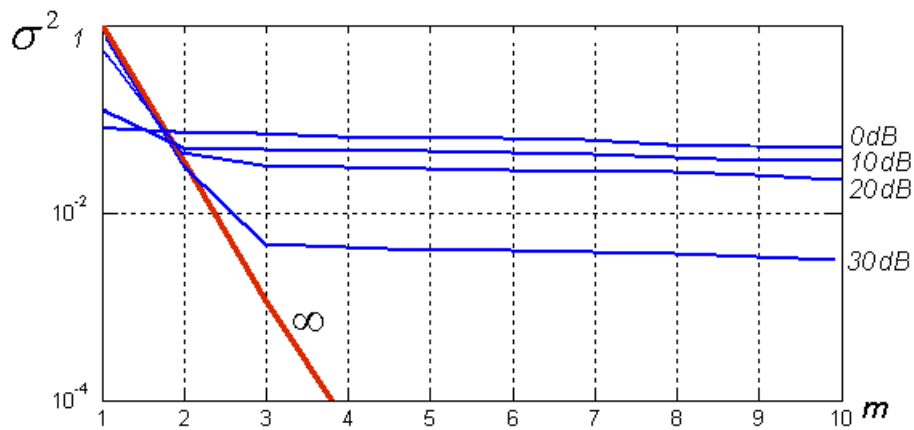


Рис. 5. Влияние соотношения с/ш входного сигнала на распределение дисперсий преобразованного сигнала на первых главных компонентах.

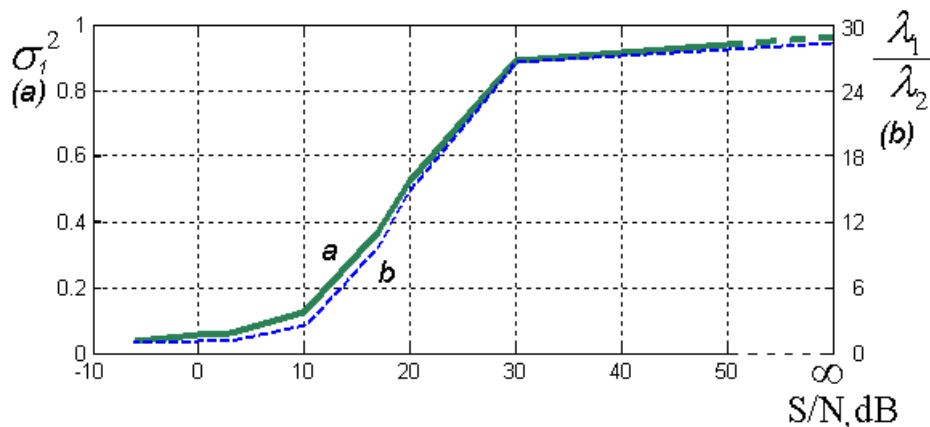


Рис. 6. Влияние соотношения с/ш входного сигнала на поведение дисперсии преобразованного сигнала на первой главной компоненте

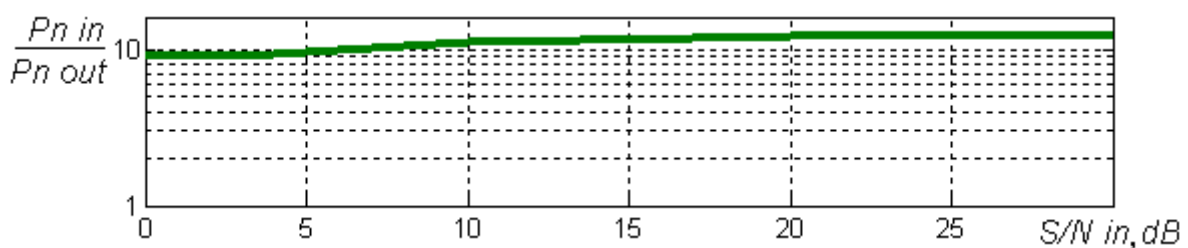
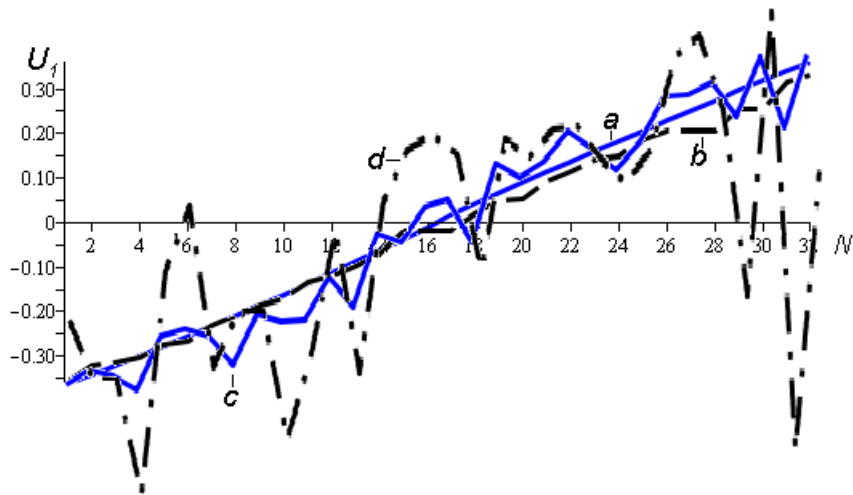
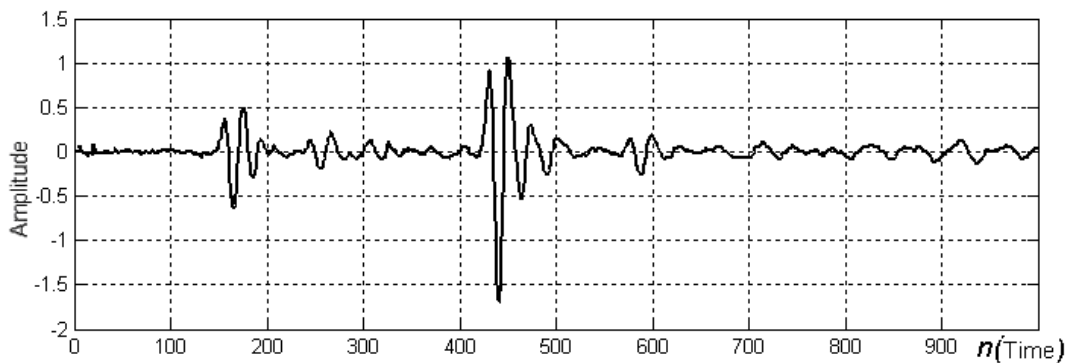


Рис. 7. Подавление шума при использовании преобразования главных компонент

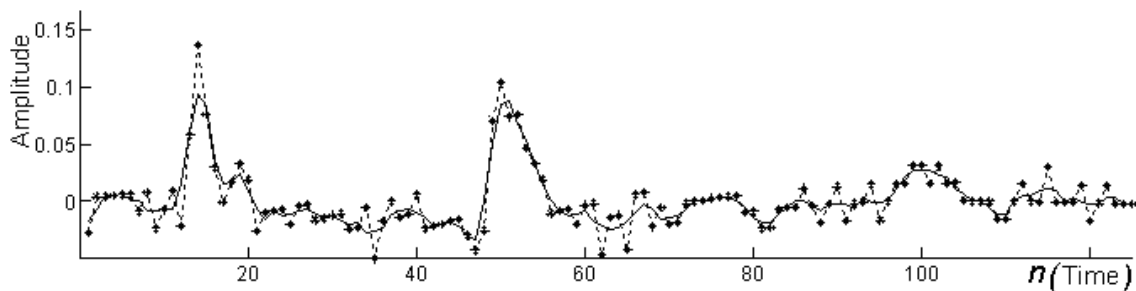


**Рис. 8.** Влияние аддитивного шума на линейный закон изменения фазы сигнала при соотношении соотношения с/ш входного сигнала: а) без шума; б) 20 dB; в) 10 dB; г) 0 dB

Как показали исследования, в большинстве случаев собственное значение  $\lambda$  с ростом номера главной компоненты стремительно приближается к нулю, поэтому с точки зрения устойчивости вычислений, важной становится задача выбора алгоритма вычисления  $\lambda$  и  $w$ . Наиболее устойчивым оказался связанный с сингулярным разложением (SVD) [7]. При исследовании этот метод был использован для подавления шумовой составляющей одиночного реального сигнала, представленного на Рис. 9 (а не такого в ансамбле, как было показано выше). Суть метода заключается в способе формирования матрицы  $A$ , а именно: матрица строится из 3 векторов, причём средний - исследуемый оригинальный сигнал, первый - оригинальный сигнал сдвинут вправо на 1 дискретный шаг, третий - оригинальный сигнал сдвинут влево на 1 дискретный шаг. Далее эта матрица подвергается преобразованию SVD, результатом которого являются найденные значения  $\lambda$  и  $w$ . Из образа на первой главной компоненте восстанавливается исходный сигнал, который снова запускается в процедуру формирования матрицы  $A$ . Число итераций в цикле зависит от поставленной задачи. Дело в том, что вышеописанная процедура приводит не только к подавлению шума, но и к разрушению полезного сигнала. Оптимальным выбрано 10 итераций.

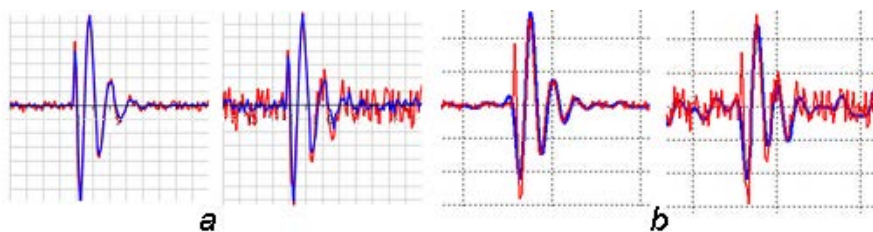


**Рис. 9.** Сверхширокополосный импульсный сигнал на выходе стробоскопического преобразователя с аддитивной составляющей шума



**Рис. 10.** Фрагмент сигнала, представленного на Рис. 9, прошедшего фильтрацию методом сингулярного разложения. Пунктирная кривая - сигнал на входе фильтра. Сплошная кривая - сигнал на выходе фильтра

Как следует из Рис. 10, шумовые компоненты сигнала сильно подавляются. Для сравнения, на Рис. 11 представлен один и тот же сигнал при соотношениях с/ш 30 дБ и 17 дБ: а) обратно восстановленный на первой главной компоненте при анализе ансамбля из 32 реализаций; б) одиночный, прошедший фильтрацию методом сингулярного разложения.



**Рис. 11.** Восстановленный по первой главной компоненте сигнал при наличии входного шума с соотношением с/ш 30 дБ и 17 дБ: а) при обработке ансамбля сигналов; б) одиночного сигнала методом сингулярного разложения (серым цветом - входной сигнал, чёрным - выходной)

Как следует из анализа сигналов, фильтрация одиночного сигнала методом сингулярного разложения позволяет эффективнее подавить шумы, но в отличие от обработки ансамбля сигналов вносит значительные искажения в форму сигнала (на рисунке положительный полупериод входного сигнала выродился в незначительный всплеск).

#### Заключение

1) Метод главных компонент применительно к обработке *UWB* импульсного сигнала, имитирующего дыхание человека, устойчив к воздействию аддитивного шума на первую главную компоненту.

2) Регрессия ломаной линии, соответствующей линейному закону модуляции фазы отражённого сигнала, остаётся линейной вплоть до соотношения с/ш = 3 дБ.

3) Наряду с главным преимуществом метода главных компонент - сокращать размерность информации - возможна фильтрация сигнала, в частности, с использованием устойчивого алгоритма сингулярного разложения при не критичном отношении к искажению полезного сигнала.

#### Список литературы

1. **Вопросы подповерхностной радиолокации** / под ред. А. Ю. Гринёва. М.: Радиотехника, 2005.
2. **Неймарк Ю. И., Баталова З. С. и др.** Распознавание образов и медицинская диагностика. М.: Наука, 1972.
3. **Chen Jacob Benesty, Yiteng (Arden) Huang.** Study of the Noise-Reduction Problem in the Karhunen-Loeve Expansion Domain // *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*. 2009. Vol. 17. № 4.
4. **Greitans M., Aristov V.** Conservation of the Phase Modulation Law of *UWB* Pulse in the First Principal Component // *Automatic Control and Computer Sciences*. 2012. № 4.
5. **Greitans M., Aristov V.** Retrieval Information from the *UWB* Pulse Signal Using the Karhunen-Loeve Transformation // 11<sup>th</sup> International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science". Lviv - Slavske, 2012.
6. **Greitans M., Aristov V., Laimina T.** Application of the Karhunen-Loeve Transformation in Bio-Radiolocation. Breath Simulation // *Automatic Control and Computer Sciences*. 2012. № 1. P. 28-36.
7. **Marcos Cristiano Agulhari, Ivanil Sebastião Bonatti.** Analysis of the Compression Method "ECG Data Compression Using Truncated Singular Values Decomposition". URL: [http://www.dt.fee.unicamp.br/~ivanil/adaptive\\_svd\\_encoder\\_analise\\_metodo\\_wei.pdf](http://www.dt.fee.unicamp.br/~ivanil/adaptive_svd_encoder_analise_metodo_wei.pdf)
8. **Sukhvinder Singh, Qilian Liang, Dechang Chen, Li Sheng.** Sense through Wall Human Detection Using *UWB* Radar // *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2011. Vol. 2011.

УДК 792.8

#### Искусствоведение

*Статья касается проблемы влияния балетного театра на рождавшийся в начале XX века кинематограф. Автор подчеркивает найденные им параллели между искусством балета и фильмом «Умиравший лебедь» (1916), проявляющиеся в символизме имен персонажей, в особенностях их образов, в аналогиях сюжетов фильма и романтических балетов, в использовании в фильме большого фрагмента указанной хореографической миниатюры в исполнении Веры Каралли.*

*Ключевые слова и фразы:* кинематограф; балет; взаимное влияние; танцовщица; «Умиравший лебедь»; «Жизель»; жизнь и смерть.

**Анна Петровна Груцынова**, к. искусствоведения, доцент  
Кафедра междисциплинарных специализаций музыковедов  
Московская государственная консерватория им. П. И. Чайковского  
[anna\\_gru@mail.ru](mailto:anna_gru@mail.ru)

#### «УМИРАЮЩИЙ ЛЕБЕДЬ»: МЕЖДУ БАЛЕТОМ И КИНЕМАТОГРАФОМ<sup>©</sup>

Балет как искусство на протяжении всех столетий своего развития постоянно корреспондировал с иными видами искусства.