

О кепстрах собственных векторов суммы шума и его слабых переотражений

В.В. Исакевич¹, Д.В. Исакевич¹, Л.В. Грунская²

¹ Общество с ограниченной ответственностью «Собственный вектор»
600005, г. Владимир, ул. Горького, 50.

E-mail: eigenoscope@yandex.ru

² Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

E-mail: grunsk@mail.ru

Показана возможность использования анализатора собственных векторов и компонент сигнала для выявления множественных переотражений шумоподобных сигналов.

Предлагаемый подход не требует знания априорных свойств шумоподобного сигнала.

Ключевые слова: кепстр, собственный вектор, шум, отражение, гомоморфная фильтрация

On eigenvectors' cepstra of reflected noise

V.V. Isakevitch¹, D.V. Isakevitch¹, L.V. Grunskaya²

¹ Eigenvector LLC.

² Vladimir State University.

Eigenoscope is shown to be able to discern multiple reflections of noise.

Keywords: cepstr, eigenvector, noise, reflection

Айгеноскоп (анализатор собственных векторов и компонент сигналов [1]) используется для анализа базис собственных векторов ковариационных матриц, построенных с использованием наблюдений различных типов [2]. Анализаторы этого типа обладают новыми свойствами, к числу которых можно отнести сверхчувствительность и сверхизбирательность [3]. Типология спектров собственных значений и собственных векторов подробно рассмотрена ранее [4].

Покажем, как с использованием айгеноскопии можно модернизировать подходы гомоморфной фильтрации [5] и таким образом использовать свойства айгеноскопа для выявления множественных слабых переотражений шума.

В качестве исходных наблюдений для построения ковариационной матрицы могут быть использованы и спектральные оценки. Известно, что логарифмический спектр суммы исходного сигнала и его слабых переотражений содержит периодические компоненты, связанные с сачтотами, соответствующими задержкам, и комбинационные шумовые компоненты. Усреднение логарифмического спектра по ансамблю принимаемых реализаций должно приводить к «нормализации» шумовой компоненты. Если параметры задержек для всех элементов ансамбля остаются практически неизменными, то логарифмический спектр будет содержать сумму периодических компонент, медленную компоненту и «нормализованный» шум.

Пример такой реализации, построенной по ансамблю отрезков переотражённого шума, приведён на рис. 1.



Рис. 1. Средний логарифмический амплитудный спектр, построенный по ансамблю 500 реализаций белого гауссовского шума с двумя переотражениями. Первое переотражение: задержка 17 дискретов, относительный уровень 0.025. Второе переотражение: задержка 34 дискрета, относительный уровень 0.02. По оси абсцисс – номер дискрета быстрого преобразования Фурье.

Далее будем ковариационную матрицу вычислять по траекторной матрице – это позволит увеличить число наблюдений (интервалов анализа). Известно, что у ряда, содержащего гармонические (в том числе нарастающие и затухающие) составляющие, спектр собственных значений ковариационной матрицы содержит пары близких собственных значений, а соответствующие им собственные векторы имеют вид гармонических (возможно, амплитудно модулированных) [3]. Для реализаций белого гауссовского шума все собственные значения ковариационной матрицы практически одинаковы.

Для среднего логарифмического амплитудного спектра реализаций шума с слабыми переотражениями следует ожидать наличия: собственного вектора, соответствующего медленной компоненте, с наибольшим собственным значением; пар компонент с ясно выраженной периодичностью, имеющих близкие собственные значения; множество компонент – «хвост», соответствующий комбинационному шуму.

На рис. 2 приведён пример для случая кратного слабого переотражения белого шума. На уровне -51 – -49 дБ наблюдаются пары собственных значений, соответствующие периодическим компонентам. На рис. 3–4 приведены два собственных вектора, собственные значения которых лежат на указанном уровне. Кепстры (амплитуды преобразования Фурье собственных векторов), приведены на рис. 5 – 6. Они имеют явные максимумы на отсчётах, соответствующих задержкам переотражений.

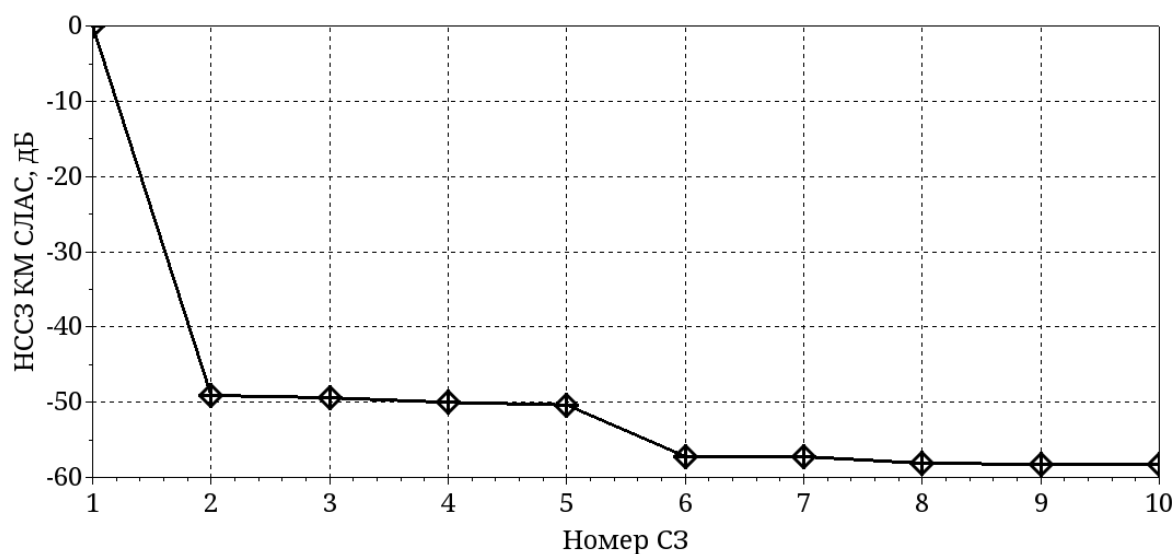


Рис.2. Нормированный (к сумме собственных значений) спектр собственных значений ковариационной матрицы, построенной на интервале анализа 300 дискретов в частотной области (для среднего логарифмического амплитудного спектра, показанного на рис.1). Показаны первые 10 собственных значений, упорядоченных по убыванию.

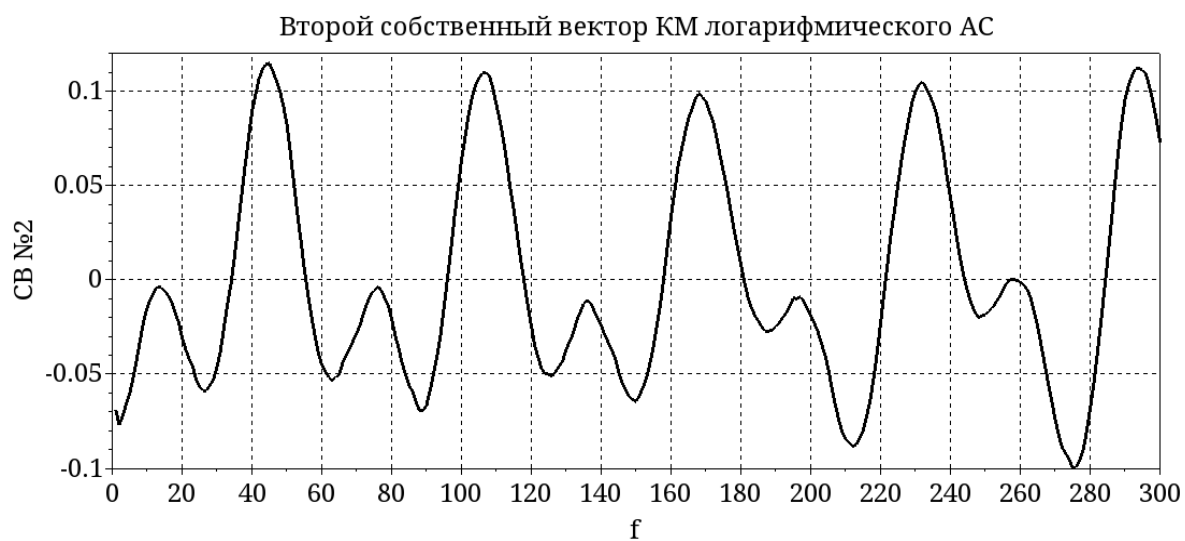


Рис.3. Второй (по убыванию собственных значений) собственный вектор ковариационной матрицы, построенной на интервале анализа 300 дискретов в частотной области (для среднего логарифмического амплитудного спектра, показанного на рис.1).



Рис.4. Четвёртый (по убыванию собственных значений) собственный вектор ковариационной матрицы, построенной на интервале анализа 300 дискретов в частотной области (для среднего логарифмического амплитудного спектра, показанного на рис.1).

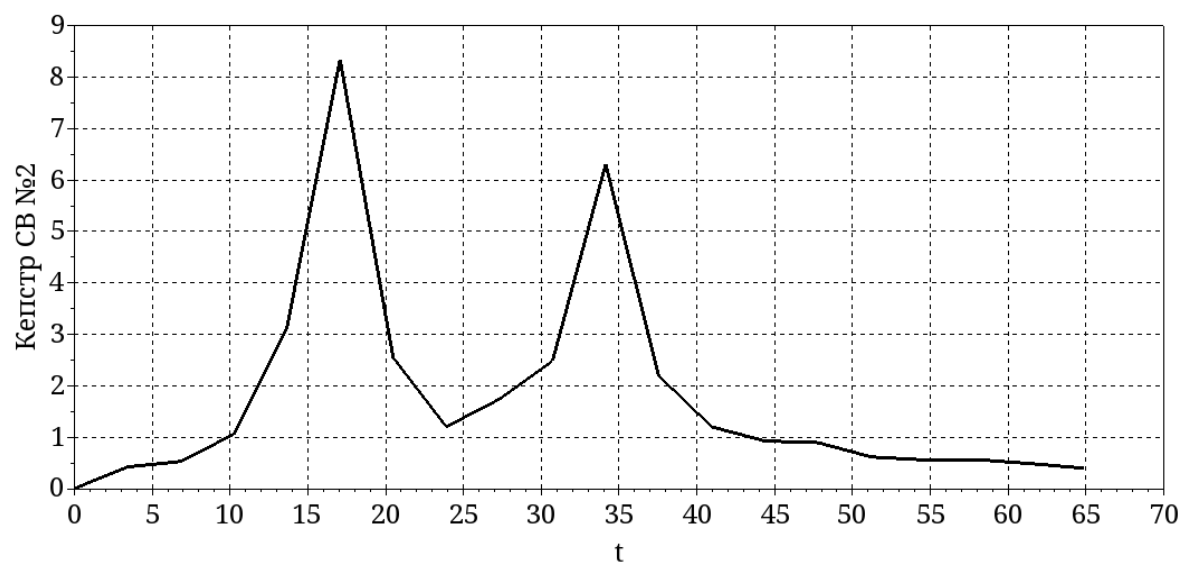


Рис.5. Кепстр второго (по убыванию собственных значений) собственного вектора ковариационной матрицы, построенной на интервале анализа 300 дискретов для среднего логарифмического амплитудного спектра, показанного на рис.1.

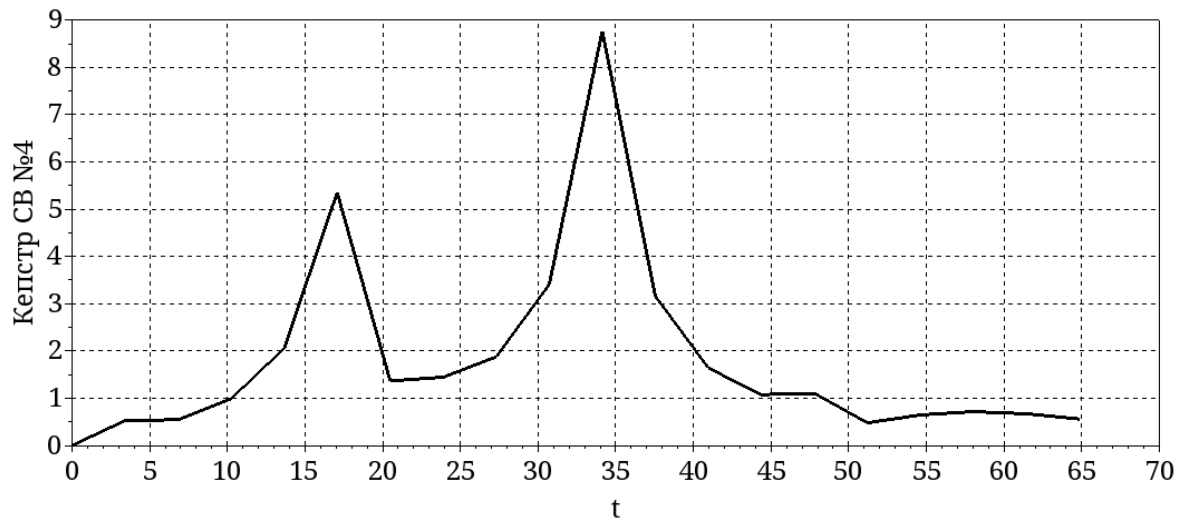


Рис.6. Кепстр четвёртого (по убыванию собственных значений) собственного вектора ковариационной матрицы, построенной на интервале анализа 300 дискретов для среднего логарифмического амплитудного спектра, показанного на рис.1.

Литература

1. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В. Анализатор собственных векторов и компонент сигнала. Патент на полезную модель №116242. Приоритет 30 сентября 2011 г.
2. Исакевич В.В., Исакевич Д.В. Мета-алгоритм айгеноскопии: возможности и перспективы. // 1-я Всероссийская конференция «Современные технологии обработки сигналов», доклады конференции. – М.: БРИС-М, 2018. С.121-125.
3. Исакевич Д.В. О рабочих характеристиках анализатора собственных векторов и компонент сигналов // Проектирование и технология электронных средств – Владимир: ВлГУ, 2022, №3. С.54-58.
4. Основы анализа собственных векторов и компонент регулярных колебаний [Электронный ресурс] / Д.В. Исакевич. – М.: Перо, 2015.
5. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов / И.С. Гоноровский. – 5-е изд. испр. и доп. – М.: Дрофа, 2006.