

## Об одном способе обнаружения волновых пакетов в дробно-интегрированном шуме

В.В. Исакевич<sup>1</sup>, Д.В. Исакевич<sup>1</sup>, Л.В. Грунская<sup>2</sup>, С.А. Назаров

<sup>1</sup> Общество с ограниченной ответственностью «Собственный вектор»

600005, г. Владимир, ул. Горького, 50.

E-mail: [eigenoscope@yandex.ru](mailto:eigenoscope@yandex.ru)

<sup>2</sup> Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

E-mail: [grunsk@mail.ru](mailto:grunsk@mail.ru)

*Показана возможность использования анализатора собственных векторов и компонент сигнала для выявления редких волновых пакетов ограниченной длительности в дробно-интегрированных шумах.*

*Ключевые слова: волновой пакет, собственный вектор, собственное значение, шум*

## On wave packet detection in fractionally integrated noise

V.V. Isakevitch<sup>1</sup>, D.V. Isakevitch<sup>1</sup>, L.V. Grunskaya<sup>2</sup>, S.A. Nazarov

<sup>1</sup> Eigenvector LLC.

<sup>2</sup> Vladimir State University.

*Eigenoscope is shown to be able to discern wave packet in fractionally integrated noise.*

*Keywords: eigenvector, noise, wave packet, eigenvalue*

Условия задачи выявления волнового пакета:

1. Длительность выявляемого волнового пакета точно неизвестна, но не превышает заданную величину  $L$ .

2. Пакеты редки, поэтому время оценки матрицы плотности (ковариационной матрицы) временного ряда и её спектра собственных значений может быть достаточно большим.

3. Интервалы анализа априорно неотличимы, поэтому ансамбль для построения ковариационной матрицы — траекторная матрица, а оценки матрицы плотности можно сопоставить с известными для шумов типологиями.

Для решаемой задачи первостепенное значение имеют четыре типологии [1–3] собственных векторов и спектров собственных значений:

1. Гармонический сигнал: Два больших собственных значения матрицы плотности, остальные собственные значения малы.

2. Белый гауссовский шум (БГШ): Все собственные значения матрицы плотности близки друг к другу и расположены в диапазоне -21—19 дБ.

3. Интеграл Вейля для белого гауссовского шума (ИВ БГШ): Собственные значения матрицы плотности убывают от -2 дБ до -30 дБ.

4. Первая конечная разность от ИВ БГШ: Первые десять собственных значений матрицы плотности лежат в интервале от -17.8 дБ до -18.4 дБ, остальные существенно меньше.

Первые десять собственных значений первой конечной разности волнового пакета близки к первым десяти собственным значениям из спектра собственных значений волнового пакета, но значительно отличаются от спектра собственных значений белого

гауссовского шума или первой конечной разности интеграла Вейля БГШ. Эти отличия и являются основой для построения алгоритма (способа) выявления волновых пакетов с использованием айгеноскопа [1].

На основе изложенных выше соображений проведен ключевой вычислительный эксперимент и построен демонстратор, к описанию которого мы и переходим. В ключевом эксперименте моделировалась выборка БГШ, к которой добавлялся волновой пакет с монохроматическим заполнением. Для смеси вычислялась по всей реализации матрица плотности (для интервала анализа, сопоставимого с длиной пакета) и ее спектр собственных значений. Было показано, что в условиях, когда визуально положение волнового пакета не может быть обнаружено, в спектре собственных значений матрицы плотности наблюдается значимое отличие между вторым и третьим собственными значениями.

Установлено, что в случаях, когда отличия между вторым и третьим собственными значениями не фиксировались, повторение вычислительного эксперимента с другой выборкой шума приводило к появлению значимых (более 2 дБ) отличий. Это дает возможность добавляя в выборку дополнительные некоррелированные шумы (как в методе Прони), выявлять факт наличия пакета.

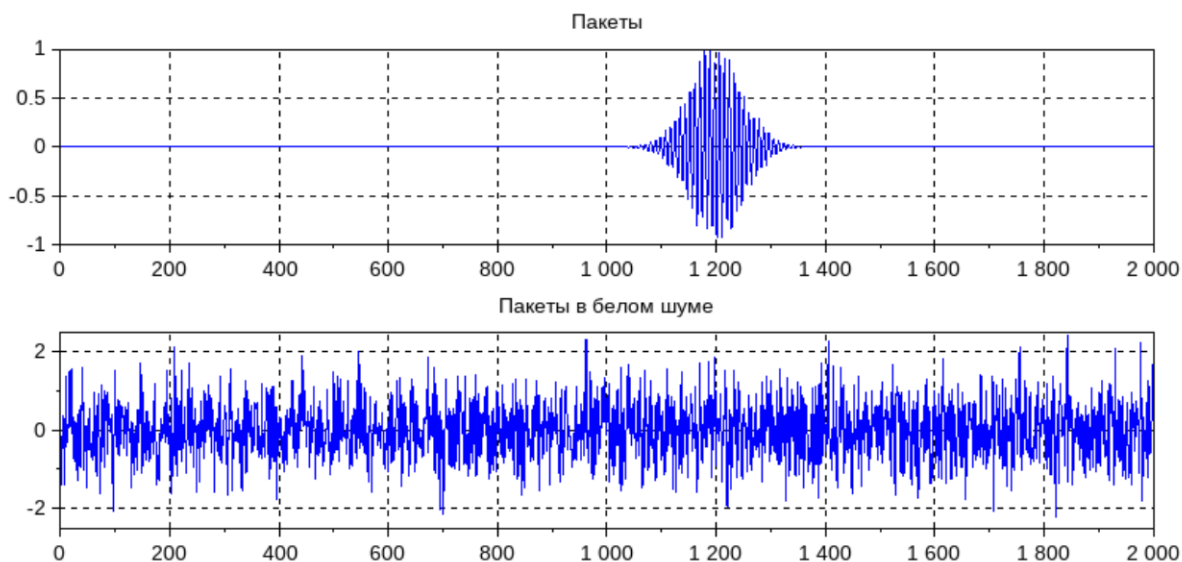
В случаях, когда стандартное отклонение белого шума не превышало 0.7 от максимальной амплитуды пакета (в этих условиях пакет визуально уже не обнаруживается), отношение второго и третьего собственных значений (далее критерий ОСЗ(2,3)), как правило, превышало 2 дБ.

При выявлении пакета в шумах сверхмедленных релаксаций (интеграл Вейля от БГШ при  $s=-0.5$ ) ОСЗ(2,3) не позволяет выявлять наличие пакета, а если работать не с самой реализацией, а с ее первой конечной разностью, то результаты аналогичны случаю с БГШ — критерий «работает».

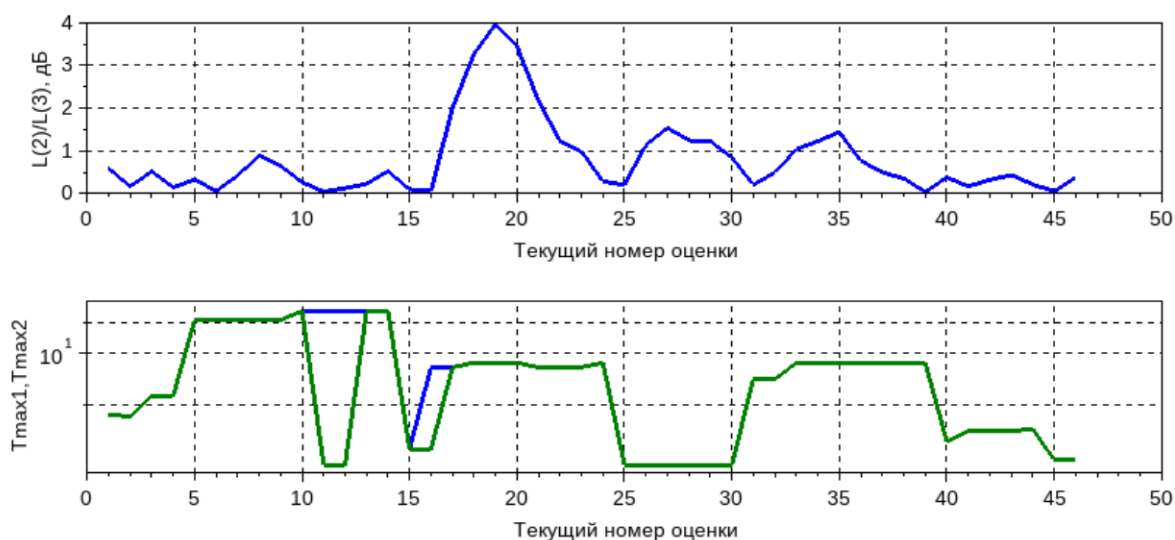
Для случаев, когда  $\text{ОСЗ}(2,3) > 2$  дБ, с использованием первых двух собственных векторов в качестве опорных сигналов квадратурной схемы удаётся восстановить огибающую пакета, а анализ амплитудных спектров этих собственных векторов позволяет оценить частоту заполнения волнового пакета.

Получение обнадеживающих результатов (представлены на рисунках 1–3) в ключевом эксперименте позволило перейти к построению демонстратора, использующего при айгеноскопии оценку матрицы плотности, построенную с помощью экспоненциальной фильтрации парциальных ковариационных матриц.

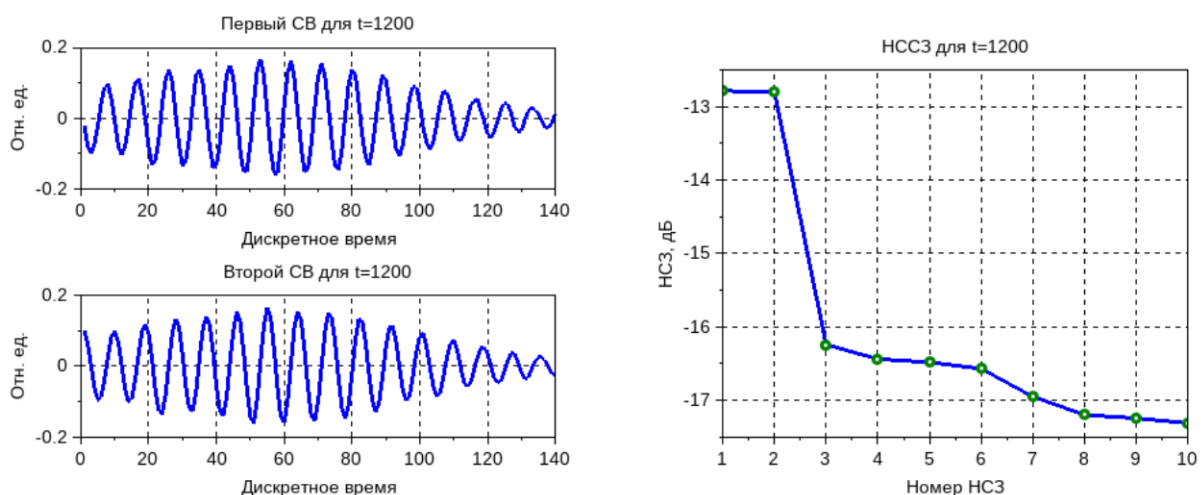
В демонстраторе использовался волновой пакет с симметричной огибающей, форма которой задавалась экспоненциальной функцией от степени времени  $\exp(-|(t/t_0)^a|)$  при  $a > 1$  (см. рисунок 1).



**Рис. 1. Верхний график — волновой пакет с гауссовой огибающей с единичной амплитудой и райсовским заполнением. Нижний график — тот же волновой пакет в белом гауссовском шуме со стандартным отклонением 1/2.**



**Рис. 2. Верхний график: по оси ординат — оценка отношения второго и третьего собственных значений (в дБ) для матрицы плотности, оцениваемой с использованием экспоненциальной фильтрации; по оси абсцисс — номер шага оценки. Нижний график: по оси ординат — оценки периодов первого и второго собственных векторов матрицы плотности, оцененные по максимумам амплитудных спектров этих собственных векторов; по оси абсцисс — номер шага оценки.**



**Рис. 3.** Слева — первый и второй собственные векторы для матрицы плотности, оцененной на 20 шаге (см. верхний график на рис.2). Справа — первые десять собственных значений спектра собственных значений этой же матрицы плотности.

### 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 2011г.
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. Основы анализа собственных векторов и компонент регулярных колебаний [Электронный ресурс] / Д.В. Исакевич. — М.: Перо, 2015.