

УДК 621.396.967

В.Г. Смоляр<sup>1</sup>, С.А. Тышко<sup>2</sup>, И.И. Слюсарь<sup>1</sup>, К.А. Васильев<sup>1</sup><sup>1</sup> Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава<sup>2</sup> Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СИГНАЛА

В данной статье рассмотрен алгоритм реализации метода спектрального детектирования сигнала, проведено имитационное моделирование процесса обработки немодулированной импульсной последовательности в условиях воздействия белого гауссовского шума (БГШ). Установлены расчетные пределы возможности использования данного метода детектирования.

**Ключевые слова:** телекоммуникационные приложения, быстрое преобразование Фурье, импульсный (цифровой) сигнал.

### Введение

С целью повышения спектральной эффективности каналов связи в современных телекоммуникационных комплексах применяется многоуровневое кодирование. Как следствие, использование указанного критерия о наличии сигнала в условиях воздействия шумов, помех или слабого уровня приема является не всегда целесообразным. В этом случае приходится ориентироваться на специфические методы адаптации уровня порога или снижение спектральной эффективности телекоммуникационной системы в целом.

Как известно, увеличение числа параметров сигнала, которые учитываются в процессе обработки, ведет к росту вероятности принятия правильного решения. В рассматриваемом контексте одним из вариантов повышения достоверности декодирования информации является анализ спектральных составляющих обрабатываемого сигнала. В ранее опубликованной работе [1] авторами был предложен метод обработки сигналов, который предварительно получил название метода спектральной фильтрации с корреляционной демодуляцией сигнала. Дальнейшие исследования посвящены программной реализации различных вариантов предложенного метода, оценке предельных возможностей и сравнению полученных результатов с известными методами.

В данной работе предложен один из алгоритмов программной реализации указанного метода, проведено имитационное моделирование процесса обработки немодулированной импульсной последовательности в условиях воздействия белого гауссовского шума (БГШ). Определение значений последовательности принятых импульсов проводилось на основе спектрального анализа пакета из четырех импульсов по методу наименьших квадратов [2].

Поскольку на данном этапе основной целью работы была подтверждение работоспособности

метода, то на этом этапе исследований реализация спектральной фильтрации не проводилась, а метод получил рабочее название метода спектрального детектирования сигнала.

**Цель статьи** – разработка алгоритма метода спектрального детектирования сигнала и экспериментальное подтверждение его работоспособности в условиях воздействия БГШ.

### Основная часть

Данный метод находит своим алгоритмом методы непрерывного кодирования с исправлением ошибок и может с ними сочетаться. В отличие от указанных методов спектральная фильтрация не приводит к увеличению общего количества переданных символов, а выполняется за счет усложнения вычислительных операций. В дальнейшем возможно сочетание обоих методов с взаимной коррекцией результатов анализа. Примерный алгоритм для реализации и моделирования предложенного метода обработки показан на рис. 1.

процесс моделирования имеет такие этапы:

– генератор информационных импульсов генерирует информационную последовательность, к которой добавляется шум, сформированный генератором шума;

– над пакетом импульсов проводится операция дискретного преобразования Фурье (ДПФ);

– спектр сигнала сравнивается с эталонными спектрами пакетов сигналов по методу наименьших квадратов;

– та эталонная последовательность, спектр которой имеет наименьшую сумму квадратов отклонений от спектра анализируемого сигнала, считается правильно принятой.

В работе с использованием пакета Mathcad [3] было проведено имитационное моделирование процесса детектирования смеси последовательности видеопulses и БГШ по алгоритму, представлен-

ному на рис. 1. На начальном этапе моделирования формировался вектор  $W$ , содержащий комбинацию четырех видеоимпульсов из 64 отсчетов, таким образом, общая длина выборки составляла 256 отсчетов. Амплитуда импульсов равна 1. Пример одной из таких комбинаций (последовательность 1011) представлен на рис. 2.

Далее, посредством добавления вектора аддитивного шума  $N$ , имитировался процесс передачи сигнала через среду распространения:

$$U = W + N . \quad (1)$$

Формирование шума выполнялось с использованием встроенной функции Mathcad  $\mathbf{rnorm}(\cdot, \cdot)$ . Сумма векторов последовательности видеоимпульсов (рис. 2) и аддитивного шума со среднеквадратическим отклонением (СКО), равным 1, показана на рис. 3. То есть, изначально, в модели заложены условия, при которых невозможно детектирование сигнала классическими методами. Как видно из рисунка, смесь сигнала и шума выглядит как шум с некоторой постоянной составляющей (среднее значение больше 0).

Следующим этапом имитационного моделирования было преобразование принятого вектора  $U$  из временной области в частотную с помощью процедуры ДПФ и последующее его сравнение с эталонными спектрами ДПФ всех возможных 16-ти комбинаций последовательностей из четырех видеоимпульсов. Эталоны ДПФ комбинаций были вычислены заранее и при проведении расчетов считывались с помощью стандартных функций Mathcad с файлов \*.rgn на жестком диске. Спектр смеси последовательности видеоимпульсов 1011 и шума показан на рис. 4.

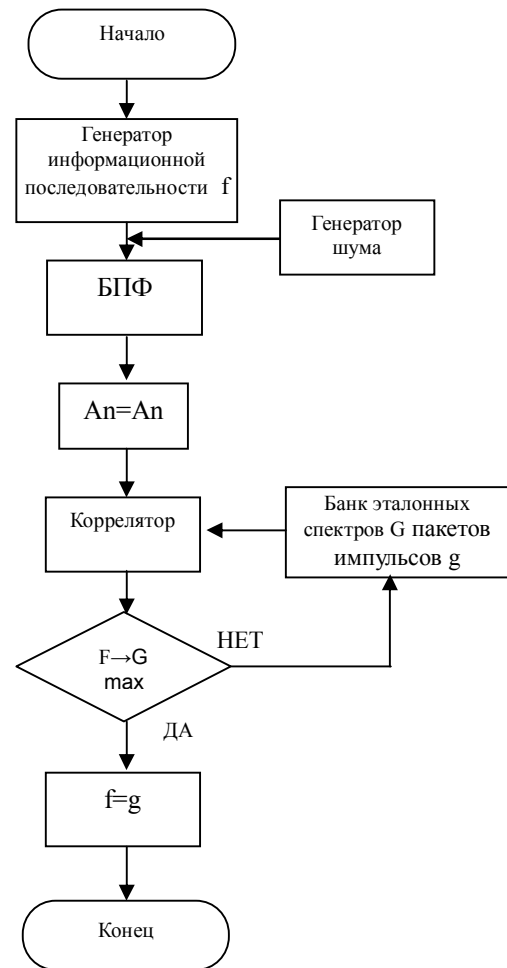


Рис. 1. Алгоритм моделирования метода спектральной фильтрации с последующей корреляционной демодуляцией сигнала

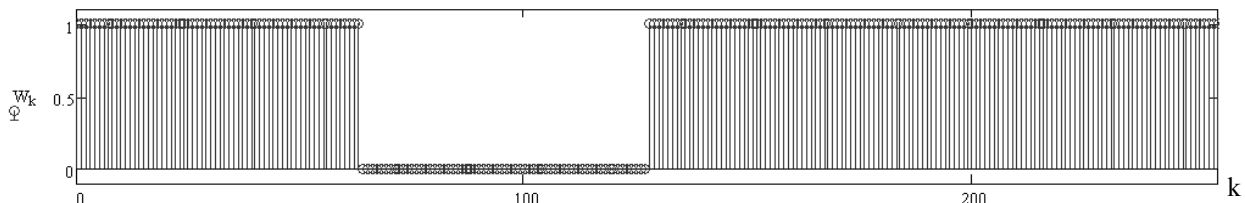


Рис. 2. Последовательность видеоимпульсов, подлежащая передаче

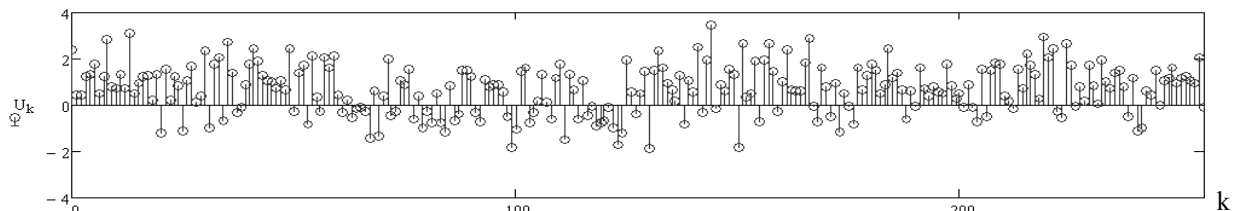


Рис. 3. Смесь полезного информационного сигнала с аддитивным шумом

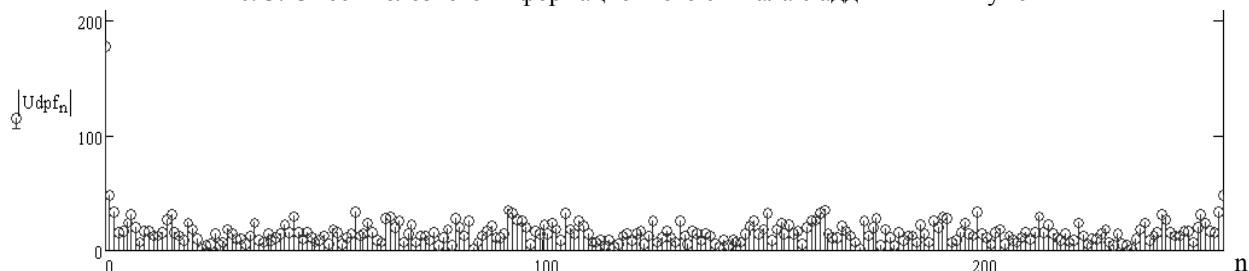


Рис. 4. Спектр ДПФ принятого сигнала

Восстановление переданной последовательности проводилось путем сравнения реальной составляющей ДПФ принятого вектора смеси сигнала и

шума по методу наименьших квадратов (МНК) [2]. Листинг алгоритма вычисления функционала МНК представлен на рис. 5.

```

SravRe_1 := for i ∈ 0..15
              TmpSr_i ← ∑_{k=0}^{TT-1} (Re(Udpf_k) - Re(Matrix_Etalon1_{k,i}))^2
              TmpSr
  
```

Рис. 5. Листинг алгоритма вычисления функционала МНК

Результат выполнения алгоритма по МНК для 16-ти комбинаций представлен на рис. 6.

	0
0	$7.833 \cdot 10^4$
1	$5.355 \cdot 10^4$
2	$6.79 \cdot 10^4$
3	$4.312 \cdot 10^4$
4	$6.896 \cdot 10^4$
5	$4.444 \cdot 10^4$
6	$7.466 \cdot 10^4$
7	$5.014 \cdot 10^4$
8	$5.305 \cdot 10^4$
9	$4.44 \cdot 10^4$
10	$4.262 \cdot 10^4$
11	$3.397 \cdot 10^4$
12	$4.368 \cdot 10^4$
13	$3.529 \cdot 10^4$
14	$4.938 \cdot 10^4$
15	$4.099 \cdot 10^4$

round(SravRe\_1, 1) =

Рис. 6. Результаты выполнения алгоритма по МНК

Как видно из рисунка, минимальное значение функционала МНК соответствует комбинации №11, что соответствует принятому сигналу 1011 в двоичной последовательности. Результат выполнения дополнительного алгоритма по определению номера с минимальным значением функционала в векторе SravRe\_1 и выводом его значения показан на рис. 7.

## Выводы

Таким образом, в работе предложен алгоритм метода спектрального детектирования сигнала, на

$$\text{SravNomRe}_1 = \begin{pmatrix} 3.397 \times 10^4 \\ 11 \end{pmatrix}$$

Рис. 7. Результаты выполнения алгоритма поиска номера сигнала

основе которого проведено имитационное моделирование процесса обработки сигнала. Результаты моделирования свидетельствуют о работоспособности предложенного метода, при соотношении сигнал/шум равном 1. Следует заметить, что при моделировании не использовались дополнительные методы фильтрации.

В дальнейшем исследовании будут направлены на определение качественных показателей помехоустойчивости предложенного метода, сравнение его с классическими методами детектирования, а также разработку дополнительных методов фильтрации.

## Список литературы

1. Смоляр В.Г. Спектральная фильтрация с корреляционной демодуляцией сигнала / В.Г. Смоляр, С.А. Тишко, И.И. Слюсарь // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління», 2011. – Вип. 1(21). – С. 268-271.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука: Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 576 с.
3. Официальный сайт MathCad [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.mathcad.com>.

Поступила в редакцию 11.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Слюсарь, Центральный НИИ ВВТ Вооруженных Сил Украины, Киев.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МЕТОДУ СПЕКТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТУВАННЯ СИГНАЛУ

В.Г. Смоляр, С.О. Тишко, І.І. Слюсар, К.О. Васильєв

У даній статті розглянуто алгоритм реалізації методу спектрального детектування сигналу, проведено імітаційне моделювання процесу обробки немодульованою імпульсною послідовністю в умовах впливу білого гаусівського шуму (БГШ). Встановлено розрахункові приділи можливості використання даного методу детектування.

**Ключові слова:** телекомунікаційні застосування, швидке перетворення Фур'є, імпульсний (цифровий) сигнал.

## EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF USE METHOD OF SPECTRAL SIGNAL DETECTION

V.G. Smolar, S.A. Tyshko, I.I. Slusar, K.A. Vasilev

In this paper the algorithm of the method of spectral signal detection, conducted simulation processing unmodulated pulse sequences under conditions of white noise Gause (BGSH). Set design chapels possibility of using this method of detection.

**Keywords:** telecommunication applications, rapid transformation of Fur'e, impulsive (digital) signal.