

УДК 621.396.967

В.Г. Смоляр¹, К.А. Васильев¹, С.А. Тышко², И.И. Слюсарь¹¹ Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка, Полтава² Государственное предприятие «НИИ технологий и приборостроения», Харьков

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИЕМА СИГНАЛА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЗКОПОЛОСНОЙ ПОМЕХИ

В данной статье на основе ранее предложенной имитационной модели проведено описание вычислительного эксперимента приема сигнала методом спектрального детектирования в условиях воздействия узкополосной помехи. Приведены результаты вычислительного эксперимента приема сигнала методом спектрального детектирования в условиях воздействия узкополосной помехи. Вычисления проводились как в случае воздействия немодулированной узкополосной помехи, так и в случае комплексной помехи состоящей из белого гауссовского шума (БГШ) и узкополосной помехи.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, спектральное детектирование, быстрое преобразование Фурье, импульсный сигнал, узкополосная помеха, белый гауссовский шум.

Вступление

В ранее опубликованной работе [1] авторами был предложен метод спектральной фильтрации с корреляционной демодуляцией сигнала. В публикации [2] авторами была разработана имитационная модель проведения детектирования импульсного сигнала предложенным методом. Основной задачей вышеуказанного вычислительного эксперимента ставилось определение возможностей по детектированию импульсного сигнала в условиях воздействия белого гауссовского шума (БГШ). Результаты моделирования подтвердили работоспособность метода при воздействии на информационный сигнал БГШ.

Анализ условий работы существующих телекоммуникационных систем показывает, что на информационные сигналы могут воздействовать не только помехи, подобные БГШ, но и узкополосные помехи, а также комбинации указанных помех.

Исходя из материала приведенного в [1, 2], возможно выдвинуть предположение о более высокой помехоустойчивости рассматриваемого метода по сравнению с традиционными способами детектирования.

Данная статья является продолжением описанных в [1, 2] исследований и посвящена результатам имитационного моделирования метода спектрального детектирования сигнала в условиях воздействия узкополосной помехи, а для большей достоверности эксперимента и при воздействии БГШ.

Цель статьи. На основе проведения вычислительного эксперимента подтвердить работоспособность метода спектрального детектирования сигнала в условиях воздействия как узкополосной помехи та и помехи, которая представляет собой комбинацию узкополосной помехи и БГШ.

Основная часть

Вычислительное моделирование проводилось с использованием алгоритма, подробно описанного в работе [2]. Отличительной особенностью предложенной имитационной модели по сравнению с моделью предложенной в [2] является наличие в ней генератора узкополосной помехи.

Вычислительный эксперимент проводился с использованием математического пакета Mathcad [3].

Исследования были проведены для двух вариантов узкополосной помехи:

- синусоидальная немодулированная помеха;
- узкополосный фазоманипулированный сигнал

со скоростью манипуляции в четыре раза меньшей скорости детектируемого сигнала.

На начальном этапе моделирования в пакете Mathcad формировался вектор W , содержащий комбинацию четырех видеоимпульсов, каждый из которых включал 64 отсчета, с общей длиной выборки равной 256 отсчетов и амплитудой импульсов равной 1. Пример одной из таких комбинаций (последовательность 1011) представлен на рис. 1.

Расчет значений вектора узкополосной помехи определялся выражением:

$$N_s = A_s \cdot \left(2\pi / k_{\text{krat}} \cdot k \right), \quad (1)$$

где A_s – амплитуда помехи, k_{krat} – коэффициент кратности, определяющий частоту помехи, $k = 0 \dots 255$ – номер отсчета в выборке.

Далее, посредством добавления вектора аддитивного шума N и вектора узкополосной помехи N_s , имитировался процесс передачи сигнала через среду распространения в условиях воздействия указанных видов помех:

$$U = W + N + N_s, \quad (2)$$

Вначале рассмотрим процесс и результаты имитационного моделирования при воздействии синусоидальной немодулированной помехи. Для выполнения этих условий коэффициент кратности k_{krat} выбирался равным 2^n , в нашем случае – равным 16-ти.

Формирование аддитивного шума выполнялось с использованием встроенной функции Mathcad. Сумма векторов последовательности видеоимпульсов (рис. 1), аддитивного шума со среднеквадратическим отклонением (СКО) равным 0,1 и периодической помехи с амплитудой равной 5 показана на

рис. 2. Аналогично, как и в [2], после преобразования вектора U из временной области в частотную, с помощью процедуры дискретного преобразования Фурье (ДПФ), проводилось 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 *.prn на жестком диске. Так, на рис. 3 представлен спектр смеси сигнала и аддитивного шума, полученный с помощью процедуры ДПФ. На рис. 4 показано ДПФ смеси сигнала аддитивного шума и периодической помехи.

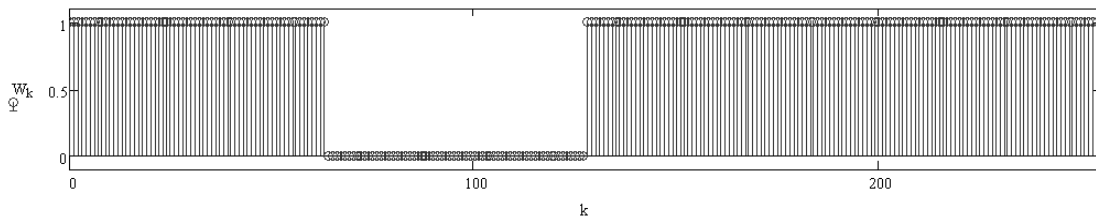


Рис. 1. Последовательность видеоимпульсов, подлежащая передаче

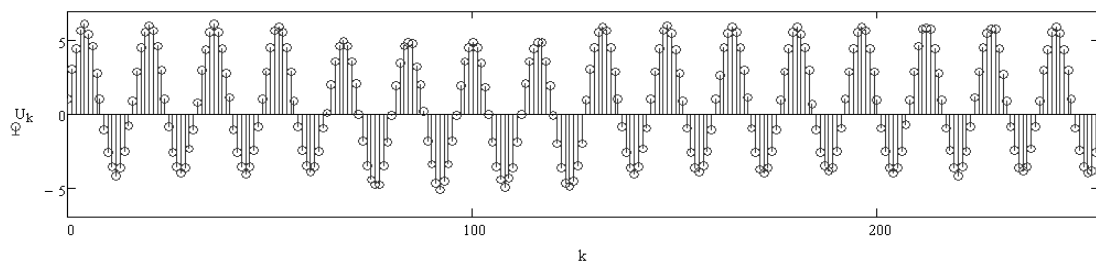


Рис. 2. Смесь информационного сигнала, аддитивного шума и периодической помехи

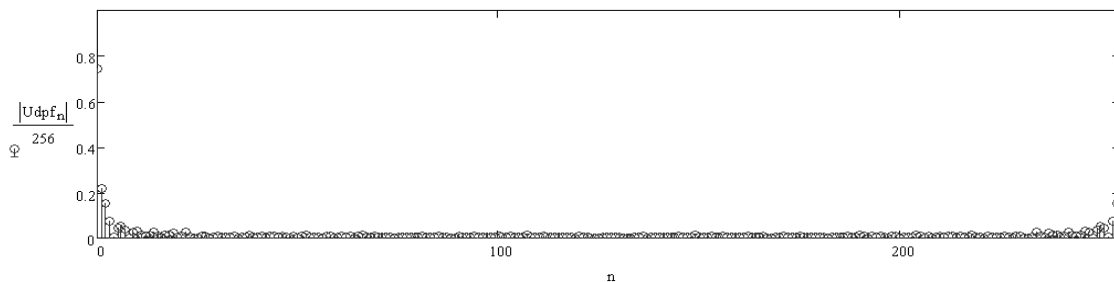


Рис. 3. Спектр информационного сигнала и аддитивного шума

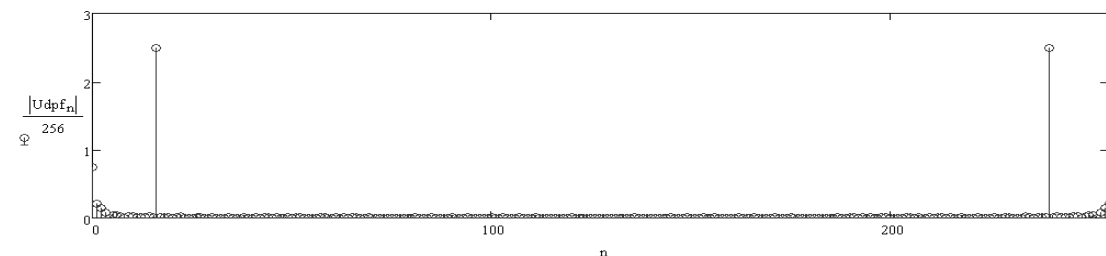


Рис. 4. Спектр информационного сигнала, аддитивного шума и периодической помехи

Восстановление исходной комбинации последовательности W проводилось путем сравнения реальной составляющей ДПФ принятого вектора смеси сигнала, шума и узкополосной помехи по методу наименьших квадратов (МНК) [4]. Листинг алго-

ритма вычисления функционала МНК представлен авторами в работе [2].

Результат выполнения алгоритма по МНК для 16-ти комбинаций представлен на рис. 5, а. 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 S_{ravRe_1} и выводом его значения показан на рис. 5, б.

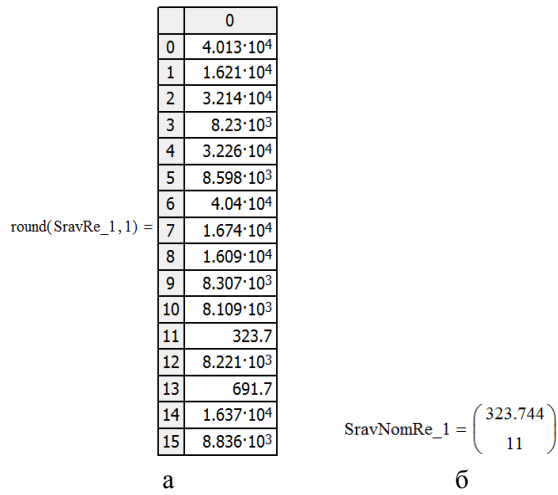


Рис. 5. Результаты выполнения алгоритма по МНК

Из анализа результатов моделирования (рис. 5) видно, что сигнал уверенно распознается на фоне узкополосной помехи, амплитуда которой в 5 раз превышает амплитуду информационного сигнала. Авторами в ходе эксперимента имитировалась помеха с амплитудой большей в десятки и даже сотни раз. При этом сигнал был уверенно распознан. Из

этого можно сделать вывод, что при применении МНК одиночный спектральный выброс независимо от его амплитуды, практически не влияет на конечный результат.

Теперь рассмотрим процесс и результаты имитационного моделирования при воздействии синусоидальной модулированной помехи. Для того чтобы получить имитацию модулированной помехи было использовано свойство ДПФ, обусловленное начальными условиями и ограничениями этой процедуры, а именно:

- наблюдение за сигналом проводится в ограниченном интервале времени;
- за пределами этого интервала времени сигнал бесконечно повторяется.

Более подробно указанные свойства описаны, например, в источнике [5].

Учитывая указанные свойства, для того чтобы получить модулированную помеху коэффициент кратности $k_{kрат}$ был взят неравным 2^n , а именно $k_{kрат} = 15,5$. Вследствие этого, функция N_s на интервале наблюдения уложилась в нецелое число периодов, что иллюстрирует рис. 6. Благодаря второму из указанных свойств ДПФ, в результате периодического повторения этой функции за пределами интервала наблюдения была получена фазоманипулированная помеха с частотой фазовых скачков в 4 раза меньшей, чем частота следования информационных импульсов. Спектр сигнала и помехи показан на рис. 7.

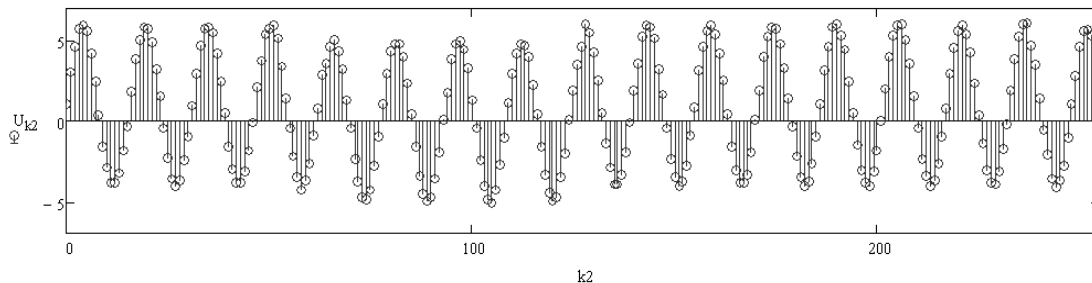


Рис. 6. Смесь информационного сигнала, аддитивного шума и периодической помехи при $k_{kрат} = 15,5$

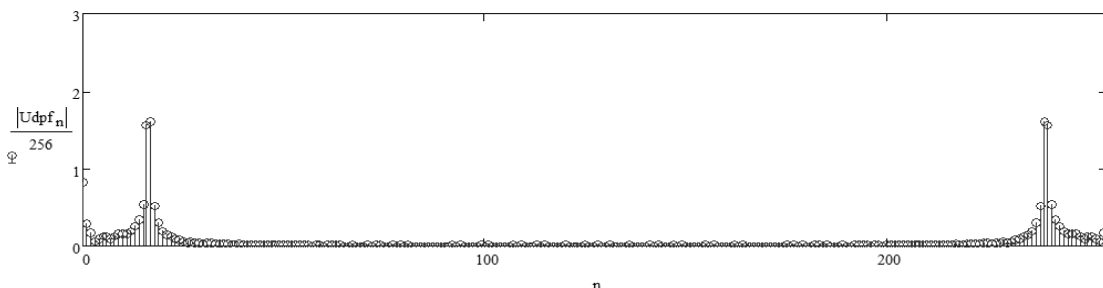


Рис. 7. Спектр информационного сигнала, аддитивного шума и фазоманипулированной помехи

Из анализа спектров, представленных на рис. 3 и рис. 7, видно, что помеха на рис. 7 приобрела дополнительные составляющие, которые исказили часть спектра полезного сигнала. На рис. 8 представлены результаты выполнения алгоритма по

МНК в случае воздействия фазоманипулированной помехи. Из анализа результатов следует:

- сигнал распознан правильно при том, что амплитуда помехи пятикратно превышала амплитуду сигнала;

	0	
0	$8.642 \cdot 10^5$	
1	$8.378 \cdot 10^5$	
2	$8.51 \cdot 10^5$	
3	$8.246 \cdot 10^5$	
4	$8.519 \cdot 10^5$	
5	$8.258 \cdot 10^5$	
6	$8.549 \cdot 10^5$	
round(SravRe_1, 1) =	7	$8.287 \cdot 10^5$
	8	$8.394 \cdot 10^5$
	9	$8.291 \cdot 10^5$
	10	$8.262 \cdot 10^5$
	11	$8.159 \cdot 10^5$
	12	$8.271 \cdot 10^5$
	13	$8.171 \cdot 10^5$
	14	$8.3 \cdot 10^5$
	15	$8.2 \cdot 10^5$

а

$$\text{SravNomRe}_1 = \left(\begin{array}{c} 8.159 \times 10^5 \\ 11 \end{array} \right)$$

б

Рис. 8. Результати виконання алгоритма по МНК в разі впливу фазоманіпульованої пошеми

– мінімум, визначаючий детектуючий сигнал (строка 11 рис. 8.а) значно більше мінімуму в тій же строці рис. 5.а, що свідчить про меншу помехостійкість методу в умовах впливу фазоманіпульованої пошеми.

Ураховуючи, що в реальній житті немодульована синусоїдальна пошема зустрічається досить рідко, а її частота і кількість цілих періодів в вибірці будуть випадковими, то на практиці більшості випадків буде вирішено завдання виділення сигналу на фоні модульованої пошеми. Однак в деяких випадках, коли в ролі пошеми будуть виступати наводки електричної мережі, то, використовуючи методи адаптації, можна розраховувати на такі результати, як при впливі немодульованої пошеми.

Висновки

Таким чином, в роботі проведено імітаційне моделювання методу спектрального детек-

тування сигналу в умовах впливу вузькополосної пошеми, а також при впливі БГШ з порівняно невеликим значенням СКО. Результати моделювання свідчать про придатність запропонованого методу. Слід зауважити, що при моделюванні не використовувалися додаткові методи обробки сигналів.

В подальшому, дослідження будуть направлені на визначення якісних показників помехостійкості запропонованого методу, порівняння його з класичними методами детектування, а також на розробку додаткових методів обробки сигналів.

Список літератури

1. Смоляр В.Г. Спектральна фільтрація з кореляційною демодуляцією сигналу. / В.Г. Смоляр, С.А. Тишко, І.І. Слюсар // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління, 2011. – Вип. 1(21). – С. 268-271.
2. Смоляр В.Г. Експериментальне підтвердження придатності методу спектрального детектування сигналу. / В.Г. Смоляр, С.А. Тишко, І.І. Слюсар, К.А. Васильєв // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, – 2013. – Вип. 6 (83). – С. 166-168.
3. Офіційний сайт MathCad [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mathcad.com>.
4. Венцель Е. С. Теорія ймовірностей / Е.С. Венцель. – М.: Наука. Головна редакція фізико-математическої літератури, 1969. – С. 576 с.
5. Финк Л.М. Сигналы. Помехи. Ошибки... Заметки о некоторых неожиданностях, парадоксах и заблуждениях в теории связи / Л.М. Финк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.

Поступила в редколлегию 2.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.И. Слюсар, Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, Киев.

ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПРИЙОМУ СИГНАЛУ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТУВАННЯ В УМОВАХ ВПЛИВУ ВУЗЬКОСМУГОВОЇ ПЕРЕШКОДИ

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

У даній статті на основі раніше запропонованої імітаційної моделі проведено опис обчислювального експерименту прийому сигналу методом спектрального детектування в умовах впливу вузькосмугової перешкоди. Приведені результати обчислювального експерименту прийому сигналу методом спектрального детектування в умовах впливу вузькосмугової перешкоди. Обчислення проводились як у випадку впливу немодульованої вузькосмугової перешкоди, так і у випадку комплексної перешкоди, що складалася з білого гаусівського шуму (БГШ) та вузькосмугової перешкоди.

Ключові слова: цифрова обробка сигналів, спектральне детектування, швидке перетворення Фур'є, імпульсний сигнал, вузькосмугова перешкода, білий гаусівський шум.

COMPUTING EXPERIMENT OF RECEPTION OF A SIGNAL BY A METHOD OF SPECTRAL DETECTION IN CONDITIONS OF A NARROW-BAND INTERFERENCE

V.G. Smolyar, K.A. Vasilyev, S.A. Tyshko, I.I. Slyusar.

This article on a basis before the offered imitating model the description of computing experiment of reception of a signal by a method of spectral detection in conditions of a narrow-band interference is carried out. Results of computing experiment of reception of a signal by a method of spectral detecting in conditions of a narrow-band interference are resulted. Computing was carried out both in case of affecting of not modulated narrow-band interference, and in case of a complex interference consisting of white gaussian noise (WGN) and a narrow-band interference.

Keywords: digital signal processing, spectral detection, fast Fourier transform, impulse signal, narrow-band interference, white gaussian noise.