

УДК 621.396.967

В.Г. Смоляр¹, К.О. Васильєв¹, І.І. Слюсарь¹, С.О. Тишко²¹ Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.² Державне підприємство «НДІ технологій та приладобудування», Харків

РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТУВАННЯ В УМОВАХ ВПЛИВУ АДИТИВНИХ ЗАВАД

В даній статті на основі імітаційної моделі, що була запропонована раніше, проведено статистичне моделювання процесу спектрального детектування сигналів в умовах впливу білого гаусівського шуму. Процес моделювання складався з двох етапів. На першому етапі було проаналізовано імовірність помилки детектування в залежності від бітової комбінації пакету. В результаті було виявлено пари комбінацій пакетів, для яких імовірність помилки практично однакова. На заключному етапі досліджень було проведено оцінку імовірності помилки детектування при різних значеннях відношення сигнал/шум.

Ключові слова: спектральне детектування, завадостійкість, імовірність помилки пакету, цифрова обробка сигналів, дискретне перетворення Фур'є, білий гаусівський шум.

Вступ

В роботах, що були опубліковані раніше [1 – 4] авторами запропонований метод спектрального детектування сигналів, викладені результати моделювання процесу детектування сигналів з використанням зазначеного методу в умовах впливу як білого гаусівського шуму (БГШ), так і немодульованої вузькосмугової завади.

Результати моделювання підтвердили працездатність запропонованого методу.

В роботах [2, 3] авторами було зроблено припущення про більш високу завадостійкість запропонованого методу в порівнянні з традиційними способами детектування. Одним з напрямків подальших досліджень було визначено необхідність проведення статистичного моделювання для оцінки завадостійкості запропонованого методу.

Дана стаття є продовженням описаних у [1-4] досліджень и присвячена результатам статистичного моделювання методу спектрального детектування сигналів в умовах впливу БГШ.

Метою статті є оцінка завадостійкості методу спектрального детектування сигналів в умовах впливу БГШ шляхом імітаційного моделювання.

Основна частина

Вычислительное моделирование проводилось с использованием алгоритма, подробно описанного в работе [2]. Відмінною особливістю в порівнянні з імітаційною моделлю, що була використана в [2], є реалізований механізм статистичного моделювання, який полягає у багаторазовій передачі фіксованого пакету даних.

Статистичне моделювання проводилося з використанням математичного пакету Mathcad [5].

Як і в роботі [2] першим кроком процесу моделювання було формування вектору W , який містить в собі біти фіксованого пакету даних. Пакет містить в собі чотири біти, загальна довжина пакету становить 256 відліків (по 64 на кожний біт).

Імітація проходження сигналів через середовище розповсюдження проводилася шляхом додавання вектору адитивного шуму. Для формування вектору шуму використовувалися стандартні функції Mathcad.

Довжина вектору шуму обиралася рівною добутку кількості відліків у пакеті на число реалізацій передачі-прийому сигналів. Сформовані вектори шуму (для 1000 та 10000 реалізацій) були записані у файл на жорсткому диску і при проведенні експериментів зчитувалися з даного файлу. Завдяки цьому при проведенні досліджень в межах одного експерименту використовувався один і той же вектор шуму (а не заново сформований стандартною функцією Mathcad).

Тестовий пакет передавався задане число разів. Детектування сигналу відбувалося згідно алгоритму описаного у [2]. При цьому підраховувалася кількість пакетів, що були детектовані з помилкою і визначалася імовірність помилкового детектування пакету в цілому.

Першим етапом досліджень була оцінка імовірності помилкового прийому всіх можливих комбінацій інформаційних пакетів.

Це дослідження проводилося за наступних умов:

- відношення сигнал/шум (с/ш) рівне 1;
- кількість реалізацій $R = 1000$.

Таке відносно високе відношення сигнал/шум для даного етапу дослідження було обране за результатами попередніх досліджень з метою забезпе-

чення гарантовано-достатньої наявності помилок в різних пакетах.

Результати моделювання наведені в табл. 1. Графічне представлення результатів даного експерименту приведено на рис. 1. З аналізу результатів експерименту (табл. 1 та рис. 1) видно що: для різних комбінацій бітів пакету імовірність помилки відрізняється на порядки; присутні пари комбінацій пакетів для яких імовірність помилки практично однакова.

Присутність таких ефектів обумовлена властивостями дискретного перетворення Фур'є, про окремі моменти якого було згадано в [1, 6, 7]. Детальний аналіз вказаних ефектів буде проведено в подальших дослідженнях.

Наступним етапом було проведення дослідження залежності імовірності помилки детектування пакетів при різних значеннях с/ш. В якості тестового пакету була обрана комбінація за номером 3, оскільки при передачі пари 3 та 12 в попередньому експерименті (табл. 1) було отримано найгірший результат. Експеримент, для більшої достовірності, проводився для десяти тисяч реалізацій.

В табл. 2 представлені значення імовірності помилки детектування пакету при відношенні с/ш від 0,833 до 10. На рис. 2 показаний графік цієї залежності. З аналізу графіку (рис. 2) видно, що імовірність помилки детектування для найгіршого пакету нижча, ніж імовірність помилки прийому сигналів відомих систем зв'язку [7].

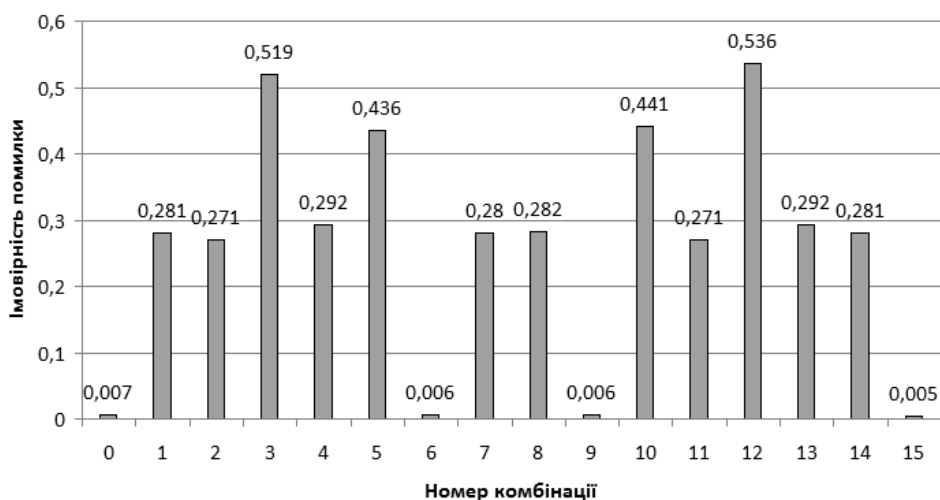


Рис. 1. Залежність імовірності помилки від номеру пакету (комбінації бітів)

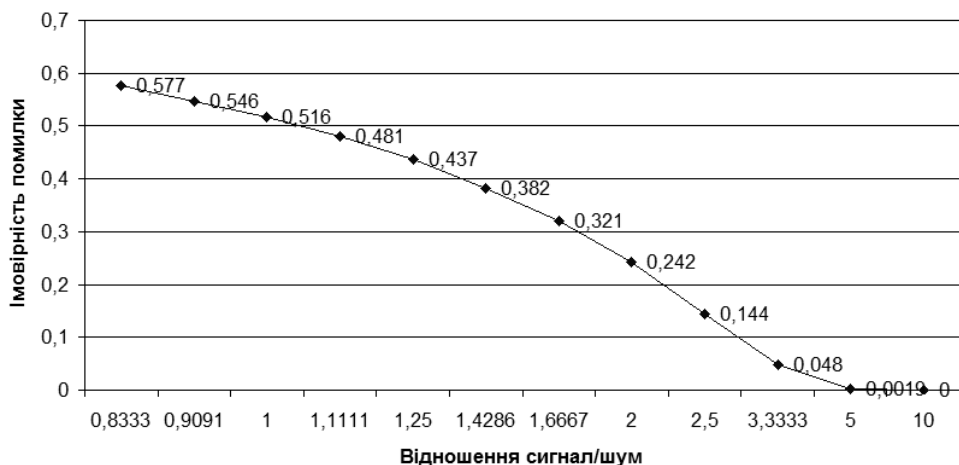


Рис. 2. Залежність імовірності помилки при різних значеннях с/ш

Таблиця 1

Імовірність помилки детектування для різних комбінацій бітів пакету (с/ш = 1, R = 10³)

№ комбінації	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Бітовий пакет	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
Імовірність помилки	0,007	0,281	0,271	0,519	0,292	0,436	0,006	0,28	0,282	0,006	0,441	0,271	0,536	0,292	0,281	0,005

Таблиця 2

Імовірність помилки детектування пакету (0011) при різних значеннях відношення с/ш ($R = 10^4$)

Сигнал/шум	0,833	0,909	1	1,111	1,25	1,429	1,667	2	2,5	3,333	5	10
Імовірність помилки	0,577	0,546	0,516	0,481	0,437	0,382	0,321	0,242	0,144	0,048	0,0019	0

Висновки

Таким чином, в роботі проведено статистичне моделювання щодо оцінки завадостійкості прийому сигналів методом спектрального детектування в умовах впливу адитивних завад.

Визначено характер залежності імовірності пакетної помилки від номеру пакету (комбінації бітів пакету).

Проведено дослідження залежності імовірності помилки детектування пакету в залежності від відношення сигнал/шум.

В подальшому, планується провести більш детальний аналіз імовірності помилки від біткової комбінації, порівняння даного методу з класичними, оцінку біткової імовірності помилки.

Список літератури

1. Смоляр В.Г. Спектральна фільтрація с кореляційною демодуляцією сигналу / В.Г. Смоляр, С.А. Тишко, І.І. Слюсарь // 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. Экспериментальное подтверждение работоспособности метода спектрального детектирования сигнала / В.Г. Смоляр, С.А. Тишко, И.И. Слюсарь, К.А. Васильев // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, – 2013. – Вип. 6 (83). – С. 166-168.

3. Смоляр В.Г. Вычислительный эксперимент приема сигнала методом спектрального детектирования в условиях воздействия узкополосной помехи / В.Г. Смоляр, К.А. Васильев, С.А. Тишко, И.И. Слюсарь // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, – 2015. – Вип. 14 (21). – С. 94-97.

4. Смоляр В.Г. Спектральне детектування імпульсів в умовах впливу білого шуму з використанням процедури «ковзного вікна» та прийняттям рішення за мажоритарним принципом / Вік.Г. Смоляр, О.М. Симоненко, А.В. Тройко, Д.О. Горобець, Вол.Г. Смоляр // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, – 2016. – Вип. 9 (146). – С. 69-72.

5. Официальный сайт MathCad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mathcad.com>.

6. Слюсар В. И. Частотное уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевоого разрешения сигналов / В. И. Слюсар, В. Г. Смоляр // Радиоэлектроника (Изв. высш. учеб. завед.). – 2003. – Т. 46.– № 7. – С. 30 – 39.

7. 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.

Надійшла до редколегії 20.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Слюсар, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АДДИТИВНЫХ ПОМЕХ

В.Г. Смоляр, К.А. Васильев, С.А. Тышко, И.И. Слюсарь

В данной статье на основе имитационной модели, предложенной ранее, проведено статистическое моделирование процесса спектрального детектирования сигналов в условиях воздействия белого гауссовского шума. Процесс моделирования состоял из двух этапов. На первом этапе была проанализирована вероятность ошибки детектирования в зависимости от битовой комбинации пакета. В результате было выявлено пары комбинаций пакетов, для которых вероятность ошибки практически одинакова. На заключительном этапе исследований была проведена оценка вероятности ошибки детектирования при различных значениях отношения сигнал/шум.

Ключевые слова: спектральное детектирование, помехоустойчивость, вероятность ошибки пакета, цифровая обработка сигналов, дискретное преобразование Фурье, белый гауссовский шум.

RESULTS OF STATISTICAL SIMULATION AND ESTIMATION OF NOISE IMMUNITY OF RECEPTION OF SIGNALS BY THE METHOD OF SPECTRAL DETECTION IN CONDITIONS OF AFFECTING OF ADDITIVE DISTURBANCE

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

In this article on the basis of the simulation model offered earlier, a statistical simulation of the process of spectral detection of signals in conditions of affecting of a white gaussian noise is carried out. Simulation process consisted of two stages. At the first stage, the error probability of detection depending on a bit combination of a packet has been analyzed. As a result, pairs of packet combinations were identified, for which the error probability is almost the same. At the final stage of researches, the estimation of error probability of detection at different values of the signal-to-noise ratio has been spent.

Keywords: spectral detection, noise immunity, error probability of a packet, digital signal processing, discrete Fourier transform, white gaussian noise.