

## МЕТОДИКА УЧЕТА ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИГНАЛОВ С ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

Пастушенко Н. С., Пастушенко А. Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61166, Харьков, пр. Ленина, каф. телекоммуникационных систем, тел. (057) 702-55-92,

E-mail: [tkc@kture.kharkov.ua](mailto:tkc@kture.kharkov.ua) ; факс (057) 702-55-92

E-mail: [PAN\\_PAS@rambler.ru](mailto:PAN_PAS@rambler.ru)

The technique of an estimation and the registration of the impulse characteristic of a data channel in conditions of a priori uncertainty is offered. The developed procedures allow to increase efficiency of demodulation of signals with phase-shift keying.

**Введение.** В последние годы у нас в стране и за ее рубежами резко возрос интерес к вопросу проектирования и эксплуатации цифровых радиоприемных устройств, предназначенных для обработки сигналов с фазовой манипуляцией (ФМ). Причина такого внимания со стороны исследователей и разработчиков – достаточно высокая помехозащищенность сигналов с ФМ, появление новых алгоритмов и элементной базы, позволяющих их реализовать. При этом во многих случаях реализуются современные алгоритмы демодуляции сигналов с ФМ, не требующих замкнутых итерационных многопетлевых схем автоподстройки, реализация и настройка которых чрезвычайно сложна, особенно в условиях априорной неопределенности.

Прием и цифровая обработка сигналов с ФМ в условиях априорной неопределенности связана с оценкой частоты несущего колебания, начальной фазы, определением вида модуляции (кратности модуляции) и последующей демодуляцией.

**Сущность задачи.** Практика статистической обработки измерений характеристик сигналов с ФМ показывает, что имеется существенная разница результатов обработки модельных данных, сформированных с помощью Simulink, и записей цифровой регистрации реальных сигналов с ФМ. Одна из главных причин этого – в записях цифровой регистрации реальных сигналов с ФМ искажается несущее колебание из-за наличия нелинейностей в передающих и приемных устройствах. И если нелинейности приемных устройств можно исследовать и учесть, то, в условиях априорной неопределенности, нелинейности передающих устройств более сложно принять во внимание.

В настоящее время учет импульсной характеристики канала используется в технологии 10 Гигабит Ethernet. Для этого используются эквалайзеры (компенсаторы), которые компенсируют искажения затухания и групповой задержки. Эквалайзер искажает сигнал таким образом, чтобы скомпенсировать искажения, вносимые линией передачи, и в результате сложения искажений, вносимых эквалайзером и линией, общая характеристика системы становится достаточно линейной по частоте. Обычно эквалайзер устанавливается в приемнике. Эту технику можно применять к сигналам данных только потому, что эквалайзеру заранее известна форма неискаженного импульса. Этот процесс может быть реализован на трансверсальном линейном фильтре задержки (или его эквивалента на цифровых цепях).

При исследовании реальных устройств, функционирующих в условиях случайных возмущений, экспериментатор может наблюдать и фиксировать реализации случайных процессов, связанных с работой передающих и приемных устройств. Для широкого класса устройств модель функционирования может быть представлена в виде схемы, которая представлена на рис. 1.

В [2,3] предложены процедуры оценки частоты несущего колебания сигналов с фазовой манипуляцией. При этом использовалась следующая априорная информация – на один передаваемый символ как минимум должен быть один период несущего колебания. Полученные оценки дают возможность сформировать «образ» принимаемого колебания

и воспользоваться известными соотношениями [4] для получения значений импульсной характеристики в нашем случае канала приема (см. рис. 1), которые имеют вид

$$h(0) = \frac{y(0)}{x(0)}, \quad x(0) \neq 0; \quad h(n) = \frac{y(n) - \sum_{m=0}^{n-1} h(m)x(n-m)}{x(n)}, \quad \text{для } n \geq 1, \quad (1)$$

где  $y(m)$  – отсчеты принятой реализации;  $x(m)$  – отсчеты «образа» принятого сигнала;  $h(m)$  – отсчеты импульсной характеристики для  $n-1$  точек.

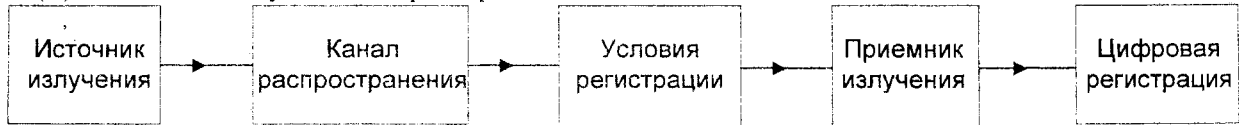


Рис. 1. Схема прохождения регистрируемого сигнала

Таким образом, можем получить оценку одной реализации импульсной характеристики. Обработка этих реализаций дает возможность получить некоторую импульсную характеристику рассматриваемого канала.

Иной подход связан с решением системы

$$\begin{aligned} h_0 x_1 + h_1 x_2 + \dots + h_{n-2} x_{n-1} &= y_1, \\ h_0 x_2 + h_1 x_3 + \dots + h_{n-2} x_{n-1} &= y_2, \\ h_0 x_K + h_1 x_{K+1} + \dots + h_{n-2} x_{K+n-1} &= y_K \end{aligned} \quad (2)$$

из  $K$  уравнений с  $n-1$  неизвестными. Или в векторном виде

$$X\vec{H} = \vec{Y}, \quad (3)$$

решение которого имеет вид

$$\vec{H} = (X^T X)^{-1} X^T \vec{Y}. \quad (4)$$

Здесь  $X$  – матрица размерности  $(K \times n-1)$ .

Оценка (4) по отношению к (1) позволяет получить более точный результат, так как относится к оценкам метода наименьших квадратов. Вместе с тем, имеется сложность получения решения, а именно обращения матрицы.

Схему цифровой регистрации, которая описывается системой уравнений (2) может быть представлена в виде рисунка 2. В этом случае векторное уравнение (3) преобразуется к виду  $\vec{Y} = H\vec{X}$ ,

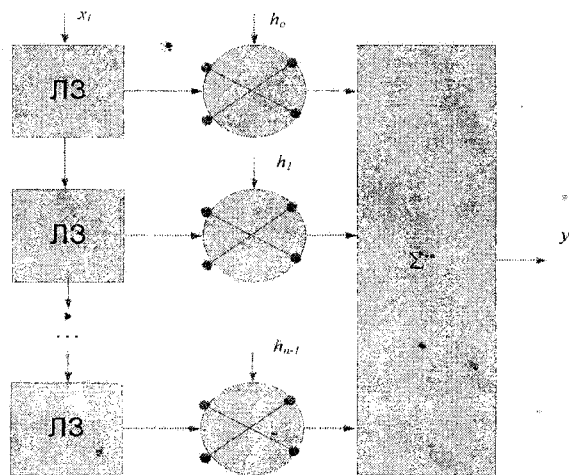


Рис. 2. Схема цифровой регистрации

где  $H =$

$$\begin{bmatrix} h_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & h_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_2 & h_1 & h_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_3 & h_2 & h_1 & h_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_3 & h_2 & h_1 & h_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_2 & h_1 & h_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_3 & h_2 & h_1 & h_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_3 & h_2 & h_1 & h_0 \end{bmatrix} \text{ – ленточная матрица для } n = 4.$$

Для квадратной ленточной матрицы  $H$  достаточно просто рассчитать обратную, необходимую для устранения искажений в принятой реализации  $Y$ . Последнее обусловлено тем, что обратная матрица  $H^{-1}$  является теплицевой и нижней треугольной. Эту матрицу можно рассчитывать рекуррентно для любого числа элементов в исходном векторе  $Y$ .

**Выводы.** Предложенная методика позволяет оценить импульсную характеристику канала передачи информации в условиях априорной неопределенности. Импульсная характеристика дает возможность уточнить характеристики принятой реализации и, тем самым, повысить эффективность последующих процедур обработки информации. Результаты исследований иллюстрируются данными математического моделирования и результатами цифровой обработки реальных измерений сигналов с фазовой манипуляцией.

#### Литература:

1. Пастушенко Н.С., Пастушенко О.Н. Анализ потенциальных характеристик фазо-манипулированных сигналов в задачах обнаружения и измерения // Радиотехника. №151/2007. С. 171-176.
2. Пастушенко Н.С., Пастушенко О.Н. Оценка частоты несущего колебания фазо-манипулированных сигналов в условиях априорной неопределенности // Восточно-европейский журнал передовых технологий. №1/2(31) 2008. С.47-51.
3. Пастушенко М.С., Пастушенко О.М. Оцінювання LS-спектра для оцінки частоти несучого коливання сигналів з фазовою модуляцією в умовах априорної невизначеності. Тезі доповіді на науково-практичній конференції академії внутрішніх військ МВС України. 4-5 березня 2008р. С.241-242.
4. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.: ил.
5. Хорн Р., Джонсон Ч. Матричный анализ: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 655 с.