
УДК 621. 396.6

Е.В. Пашков¹, Д.Б. Кучер¹, В.П. Макогон²

¹ Севастопольский национальный технический университет, Севастополь

² Конструкторское Бюро «Радиосвязь» ООО «Телекарт - Прибор»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОГЕРЕНТНОГО ПРИЕМА СИГНАЛА С ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ С НЕПРЕРЫВНОЙ ФАЗОЙ

В работе исследуются вопросы практической реализации системы когерентного приема сигналов на современной элементной базе. Реализован принцип подстройки частоты за счет использования в качестве синхронизирующего сигнала значения данных преамбулы.

Ключевые слова: когерентная схема приема сигнала, фазовая модуляция с непрерывной фазой.

Введение

Постановка задачи. В отличие от других когерентных цифровых модуляций, где фаза несущей резко обнуляется в начале каждого символа (например, M-PSK), сигналы с СРМ демодулируются в непрерывном режиме. Непрерывность фазы дает высокую спектральную эффективность, а также высокую энергоэффективность.

Каждый символ модулируется с помощью постепенного изменения фазы несущей от начального значения до конечного значения за длительность символа. Демодуляция СРМ осложняется тем фактом, что значение каждого символа определяется нарастающим итогом этапа всех предыдущих пере-

даваемых символов, что известно как фаза памяти и не имеющих прямоугольной формы.

Таким образом, в настоящее время существует актуальная научно-техническая задача, направленная на практическую реализацию систем когерентного приема сигналов с относительной фазовой модуляцией СРМ, принимающих во внимание всю последовательность передаваемых символов.

Анализ литературы. Анализ литературы, проведенный в работах [1 – 5], показывает общие принципы, понятия и реализации системы когерентного приема фазомодулированного сигнала.

Цель работы. Целью данной работы является проведение исследований, направленных на практическую реализацию когерентной схемы приема сиг-

нала, учитывающих особенности цифрового сигнала с относительной фазовой модуляцией с непрерывной фазой.

Основной материал

Широкое внедрение цифровых технологий обработки и появление процессоров с большими возможностями обработки данных позволяет реализовывать оптимальные схемы когерентного приема данных программными методами.

Передача цифровой информации в современных средствах связи предполагает наличие синхронизирующей преамбулы. Факт того, что значение преамбулы известно, позволяет использовать ее при построении систем когерентного приема цифровой информации [4].

Сравнение значений полученной преамбулы с исходным значением алгоритмом на основе метода максимального правдоподобия и дальнейшая обработка полученного результата позволит провести оценку отстройки частоты и начального значения фазы принимаемого сигнала.

Аппаратная часть системы подстройки частоты изображена на рис. 1.

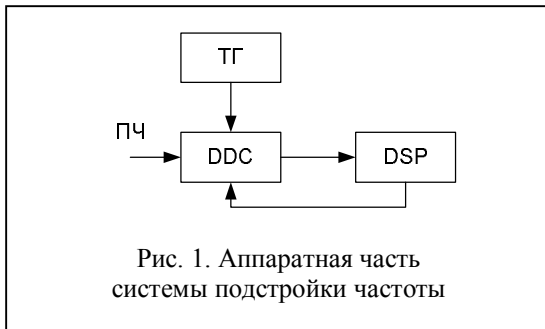


Рис. 1. Аппаратная часть системы подстройки частоты

Высокочастотный сигнал промежуточной частоты (ПЧ) с выхода квадратурного преобразователя с понижением частоты (DDC) в цифровом виде поступает на вход сигнального процессора DSP. Тактовый генератор ТГ формирует импульсы установленной частоты для цифровой обработки сигнала в DDC.

Восстановление несущего колебания рассматривается как задача оптимального оценивания фазы сигнала при воздействии помехи на интервале длительности символа на основе критерия максимального правдоподобия [1]:

$$x_i(t) = \sqrt{2}A \cos(\omega_0 t + \theta_i + \varphi) + n(t) \quad (1)$$

Фаза θ_i в процессе модуляции принимает равновероятно одно из возможных значений $\theta_i = i2\pi/M$ ($i = 0, 1, 2, \dots, M-1$); φ – начальная фаза, подлежащая оценке; M – число позиций сигнала; $n(t)$ – помеха, A – амплитуда входного сигнала.

Схема программной реализации сравнения значений CSE принятой и исходной преамбулы представлена на рис. 2 [4, 5].

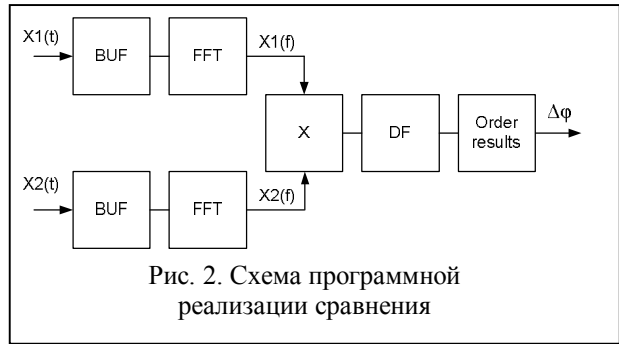


Рис. 2. Схема программной реализации сравнения

Цифровые значения принятой преамбулы $x_1(t)$ буферизируются BUF до момента начала процесса сравнения. Командой к началу реализации системы подстройки частоты служит завершение процесса демодуляции синхропреамбулы.

В FFT входной сигнал $x_1(t)$ и значение преамбулы $x_2(t)$ в ходе прямого преобразования Фурье преобразуются в спектральную форму. В OR происходит вычисления разности фаз $\Delta\varphi$ на основе данных селекции цифровым фильтром DF результатов перемножения сигналов.

Преобразование временных характеристик в спектральную обуславливается большими наработками алгоритмов в области частотного детектирования предыдущих поколений технических средств.

Максимально правдоподобная оценка φ формируется с учетом M возможных гипотез о посылаемых сигналах $x_i(t)$. Такая оценка должна обеспечивать максимум выражения для оптимальной схемы [2]:

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial \varphi} = C \left[\begin{aligned} & \left[\text{th} \left[\frac{\sqrt{2}}{2N_0} \right] a(\varphi) \right] \frac{da(\varphi)}{d\varphi} + \\ & + \left[\text{th} \left[\frac{\sqrt{2}}{2N_0} \right] b(\varphi) \right] \frac{db(\varphi)}{d\varphi} \right] = 0, \quad (2) \end{aligned} \right.$$

где Λ – максимально правдоподобная оценка; $a(\varphi)$ и $b(\varphi)$ – сигналы на выходах когерентных согласованных фильтров $C\Phi_1$ и $C\Phi_2$; C – биномиальный коэффициент; N_0 – спектральная плотность шума.

Для получения значения начальной фазы и минимизации программных затрат нелинейного преобразования тангенса выражения (2) реализована схема определения начальной фазы и угла наклона изменения разности фаз θ , представленная на рис. 3.

Значения разности фаз $\Delta\varphi$ с выхода устройства CSE поступают на вычислитель комплексного угла. Данный функциональный узел производит преобразование данных в значения смещения фазы до величины 2π .

Графическое представление полученных данных в точке 1 (рис. 3) отображено на рис. 4.

Устройство преобразования смещения $Un\varphi$ осуществляет перенос данных значения разности фаз после каждой итерации расчета от 0 до 2π .

Графическая зависимость полученных данных в точке 2 (рис. 3) представлена на рис. 4.

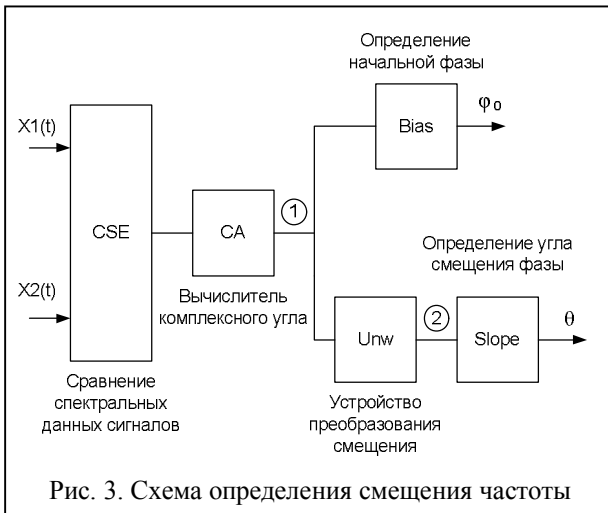


Рис. 3. Схема определения смещения частоты

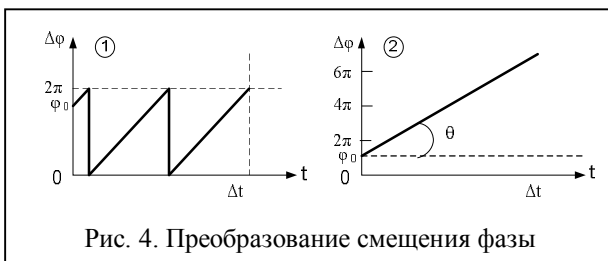


Рис. 4. Преобразование смещения фазы

Полученные значения позволяют провести оценку значения начальной фазы сигнала φ_0 и угла смещения фазы θ согласно схеме рис. 3.

Значение $\operatorname{tg}\theta$ в зависимости от времени изменения сигнала Δt и разности фаз $\Delta\varphi$ будет определять величину частотной отстройки $f(t)$.

Оценка расстройки частоты f в момент времени nT производится в соответствии с выражением [2]:

$$f(nT) = f((n-1)T) + k \cdot e(nT), \quad (3)$$

где $f((n-1)T)$ – оценка расстройки частоты на предыдущем шаге работы алгоритма; k – коэффициент, определяющий величину подстройки частоты на каждом шаге; $e(nT)$ – сигнал ошибки.

Подстройка частоты несущего колебания осуществляется путем реализации протокола в цепи обратной связи DSP процессора и DDS согласно рис. 1.

Реализация представленного метода позволяет преодолеть свойственные классическим методам недостатки и получить, по сравнительно «короткой» последовательности данных, достаточно высокую разрешающую способность.

Выводы

Представленная схема определения отстройки частоты устраняет противоречия между фильтрующей способностью системы и возможностью работы при больших нестабильностях несущей частоты за счет использования в качестве синхронизирующего сигнала значения данных преамбулы.

Математический аппарат представления сигнала, реализованный на базе DSP процессоров, позволяет получать требуемые характеристики сигналов с непрерывной фазой, близкие к оптимальным.

Список литературы

1. Коржик В.И. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник / В.И. Коржик, Л.М. Финк. – М.: Радио и связь, 1981.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. / Б. Скляр. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Вильямс, 2003.
3. Фомин Н.Н. Радиоприемные устройства: учебник для вузов / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин [и др.]; под ред. Н.Н. Фомина; изд. 3-е стереотип. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007.
4. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. под ред. Д.Д. Козловского / Дж. Прокис. – М.: Радио и связь, 2000.
5. Стиффлер Дж.Ж. Теория синхронной связи: пер. с англ. под ред. Э.М. Габидулина. – М.: Связь, 1975.

Поступила в редколлегию 30.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.Л. Афонин, Севастопольский национальный технический университет, Севастополь.

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОГЕРЕНТНОГО ПРИЙОМУ СИГНАЛУ З ВІДНОСНОЮ ФАЗОВОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ З БЕЗПЕРЕРВНОЮ ФАЗОЮ

С.В. Пашков, Д.Б. Кучер, В.П. Макогон

У роботі досліджується питання практичної реалізації системи когерентного прийому сигналів на сучасній елементній базі. Реалізовано принцип підстроювання частоти за рахунок використання в якості синхронізуючого сигналу значення даних преамбули.

Ключові слова: когерентна схема прийому сигналу, фазова модуляція з безперервною фазою.

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF COHERENT SIGNAL RECEPTION WITH THE CONTINUOUS PHASE MODULATION

Ye.V. Pashkov, D.B. Kucher, V.P. Makogon

We study the practical implementation of the coherent reception system using modern components. Frequency tuning principle is carried out based on timing with the use of signal preamble.

Keywords: coherent reception of signal, phase modulation with a continuous phase.