

Лукин А.В., Помазков В.В., Леншин А.В.
 ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
 г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а
 andrey-lenshin@yandex.ru

Алгоритм приема сигналов с неортогональным частотным уплотнением на основе метрики Евклида

Активное развитие и переход к использованию многочастотных сигналов на физическом уровне инфокоммуникационных систем стали реалиями сегодняшнего дня. В сетях пятого поколения (5G) появилась потребность в увеличении объема трафика и скорости информационного обмена, возможными путями удовлетворения данных потребностей является увеличение полосы занимаемых частот или объема алфавита модулятора. В беспроводных системах связи частотный ресурс является чрезвычайно дорогим из-за его ограниченности, а применение многоуровневых многопозиционных способов модуляции требует высокой линейности усилителей приемо-передатчиков [1]. В качестве перспективных технологий для сетей 5G рассматривают спектрально эффективные сигналы с неортогональным частотным уплотнением (SEFDM – Spectrally Efficient Frequency Division Multiplexing) [2]. Непрерывный спектрально эффективный многочастотный SEFDM-сигнал можно представить в следующем виде

$$u_{A,\varepsilon}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} C_N^{(n)}(k) \exp[j2\pi k \Delta f (t - nT)] \psi_T(t - nT - \varepsilon T), \quad (1)$$

где n – номер SEFDM-символа; N – количество поднесущих частот; $C_N^{(n)}(k)$ – манипуляционный символ k -ой поднесущей n -го SEFDM-символа; Δf – частотное разнесение соседних поднесущих частот; $\psi_T(t - nT - \varepsilon T) = \begin{cases} 1, & (t - nT - \varepsilon T) \in [0; T], \\ 0, & (t - nT - \varepsilon T) \notin [0; T], \end{cases}$ – финитная функция; T – длительность

SEFDM-символа; $|\varepsilon| \leq 0,5$ – произвольная константа, задающая смещение сигнала во временной области; Δf_{ORT} – величина разнесения между поднесущими частотами, обеспечивающая их ортогональность, $T = 1/\Delta f_{ORT}$.

Информационные биты подвергаются квадратурной фазовой манипуляции (QPSK – Quadrature Phase Shift Keying) или квадратурной амплитудной модуляции QAM (QAM – Quadrature Amplitude Modulation), образуя модуляционные символы (отсчеты).

На рисунке 1 представлен алгоритм приема SEFDM-сигнала.

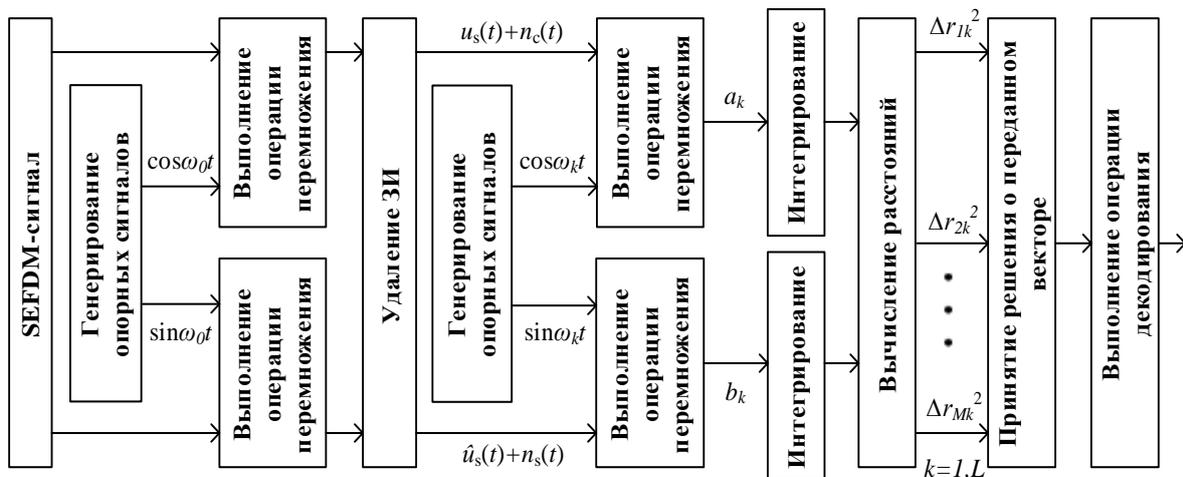


Рис. 1. Алгоритм приема SEFDM-сигнала

Структурная схема приемника, который реализует алгоритм приема SEFDM-сигнала, представлен на рисунке 2. Приемник функционирует на основе использования прямого быстрого преобразования Фурье (ПБПФ). Прием SEFDM-сигнала осуществляется на основе метрики Евклида.



Рис. 2. Структурная схема приемника SEFDM-сигналов

На рисунке 3 изображен демодулятор, в котором используется метрика Евклида.

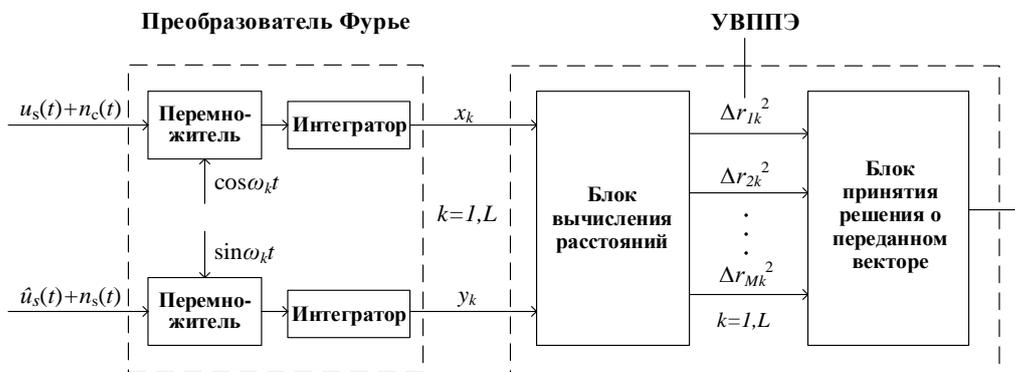


Рис. 3. Структурная схема демодулятора, реализующего метрику Евклида

На вход преобразователя Фурье поступает аддитивная смесь сигнала и гауссовской помехи, а на его выход для каждого подканала выдаются квадратурные составляющие x_k и y_k . В блоке вычисления расстояний УВППЭ (устройства восстановления переданной последовательности элементов) для каждого подканала находятся квадраты расстояний между принятым вектором сигнала с помехой и всеми векторами сигнального созвездия (QPSK, QAM)

$$\Delta r_{ik}^2 = (x_k - x_{Ci})^2 + (y_k - y_{Ci})^2, \quad i = 1, M, \quad (3)$$

где x_{Ci} и y_{Ci} – квадратурные составляющие векторов созвездия в k-м подканале.

Предложенный алгоритм когерентного приема SEFDM-сигнала (рис. 1) и схема его реализующая (рис. 2) позволяют осуществлять прием составляющих SEFDM-сигнала на основе вычисления по метрике Евклида расстояний между действующей смеси сигнала и помехи и векторами сигнального созвездия этого подканала. Для вычисления расстояний с помощью ПБПФ находятся квадратурные составляющие смеси SEFDM-сигнала и помехи, а также используется хранящиеся в приемнике квадратурные составляющие векторов сигнальных созвездий.

Литература

1. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю. Технологии в системах радиосвязи на пути к 5G. – М.: Горячая линия–Телеком, 2018. – 280 с.
2. Сидорчук В.П., Зезюлин А.А., Лукин А.В. Формирование и прием сигналов с неортогональным частотным уплотнением на основе дискретного преобразования Фурье // Сб. науч. ст. по материалам VI Международной НПК «Академические Жуковские чтения». – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2019. – С. 295–300.