

# ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СИГНАЛОВ С ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ

**Е.Ф. Антохин; В.Г. Нурутдинов; М.Д. Максименко.**

**Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры, Санкт-Петербург**

Проведен анализ устройства обработки сигналов при многолучевом приеме и предложен путь модернизации устройств обработки, адаптированных к условиям многолучевости, в частности для обеспечения связи в слабо населенных районах. Рассмотрен демодулятор для широкополосного ортогонального сигнала с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. В качестве расширяющей последовательности применяется М-последовательность. Предложено производить дополнительную манипуляцию сигнала окрашивающей последовательностью, что позволяет применять в демодуляторе сигнала согласованные фильтры двойной длины и значительно приблизить помехоустойчивость приема к помехоустойчивости однолучевого канала связи.

*Ключевые слова:* многолучевой приём, многостанционный приём, многопозиционные сигналы, М-последовательность

## PROBLEMS OF MAINTENANCE OF COMMUNICATION ON THE BASIS OF SIGNALS WITH PSEUDO-CASUAL STRUCTURE

E.F. Antohin; V.G. Nurutdinov; M.D. Maksimenko.

All-Russian Science and Research Institute of Radio Equipment

In given article the analysis of the processing device of signals is carried out at multibeam reception and the way of modernization of the processing devices adapted for conditions многолучевости, in particular for communication maintenance in poorly occupied areas is offered. The demodulator for a broadband orthogonal signal with pseudo-casual reorganization of working frequency is considered. As expanding sequence the M-sequence is applied. It is offered to make additional manipulation of a signal with painting sequence that allows to apply the coordinated filters of double length in the signal demodulator and considerably to approach a reception noise stability to a noise stability of an one-beam communication channel.

*Key words:* multibeam reception, multistation reception, multiitem signals, M-sequence

В настоящее время одной из проблем в освоении северных территорий является организация устойчивой и надежной связи. Эта проблема решается размещением ретрансляторов на борту искусственных спутников земли или летательных аппаратов. Однако в этом случае может возникать проблема многолучевого приема из-за влияния городской застройки или сложного рельефа местности (рис. 1). Вследствие замираний и межсимвольных помех оказывается невозможным обеспечить надежную связь по многолучевому каналу [1].

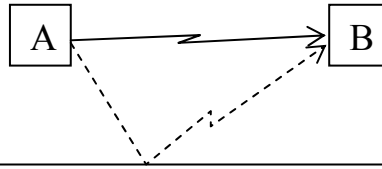


Рис. 1. Зеркальная многолучевость, обусловленная отражениями

Анализ устройств обработки сигналов при многолучевом приеме позволяет наметить возможные пути их модернизации. Таким решением может быть использование методов расширения спектра или специальной обработки сигналов (или то и другое одновременно).

Проблемы многостанционного доступа, ретранслированных помех и многолучевости имеют много общего. Существует два фундаментальных подхода обеспечения требуемой помехозащищенности в условиях многолучевости. При первом подходе для извлечения данных используется энергия всех многолучевых компонент. Самым известным приемником первого типа является приемник системы RAKE [2]. При втором подходе производится обработка одиночной компоненты. Однако, чтобы ослабить межсимвольные помехи, производится различение и других компонент. Практическая проблема, возникающая при создании приемников второго типа в условиях многолучевых помех, связана со сложностью различения автокорреляционных и взаимокорреляционных пиков, обусловленных особенностями обрабатываемых сигналов или же помехами при многостанционном доступе.

Оценим влияние задержанного  $s_i(t)$  сигнала на помехоустойчивость многостанционной системы передачи информации с временным разделением каналов при воздействии белого гауссовского шума с нулевым математическим ожиданием и односторонней спектральной плотностью  $N$ .

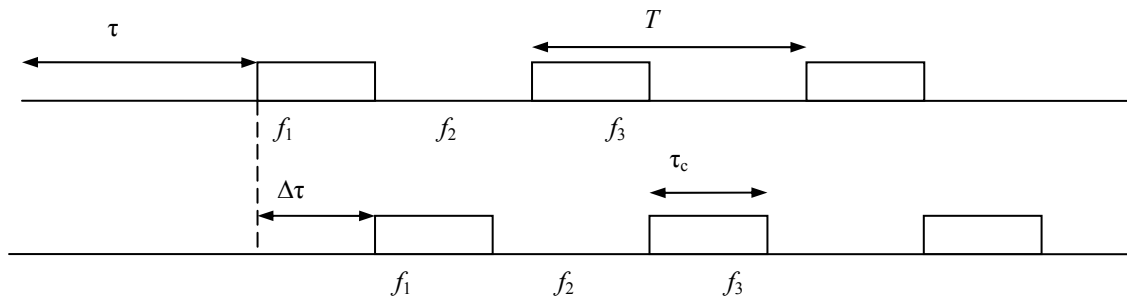


Рис. 2. Сигнал на входе демодулятора

Сигнал  $s_i(t, f_k, \varphi_k)$  является  $M$  – позиционным ортогональным сигналом, с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты  $f_k$  ( $k=1,2,\dots$ ) от такта к такту. Начальная фаза  $\varphi_k$ , равномерно распределена в интервале от 0 до  $2\pi$  и от такта к такту независима. Формирующая последовательность образована на основе  $M$ -последовательности с последующим циклическим сдвигом. Внутри символа с энергией  $E_c$ , выполняется частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом. Сигнал на входе демодулятора  $\xi(t)$  показан на рис. 2. Здесь  $T$  – период следования символов;  $\tau$  – задержка основного сигнала от момента излучения до момента поступления сигнала на вход демодулятора;  $\Delta\tau$  – разность

хода между основным и задержанным сигналами;  $\tau_c$  – длительность символа;  $f_k$  – рабочая частота, меняющаяся от символа к символу по псевдослучайному закону (известному на приемной стороне). Канал задержанного сигнала подвержен релейевским замираниям. Начальные фазы  $\psi_k$  и огибающие  $u_k$  отраженного сигнала  $s_i[t - \tau_k - \Delta\tau_k, \psi_k, u_k]$  от такта к такту (от символа к символу) полагаются независимыми и постоянными величинами, фаза  $\psi_k$  равномерно распределена в интервале от 0 до  $2\pi$ . Принятие решения о передаваемом  $i$ -м сигнале выносится по максимуму апостериорной плотности  $P_{ps}(\dots)$ , усредненной по неинформационным параметрам  $\psi_k, \phi_k, u_k$ , при условии, что  $\tau_k$  и  $\Delta\tau_k$  точно известны:

$$\xi = \max_i^{-1} \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty P_{ps}(i, \psi_k, \phi_k, u_k | \tau_k, \Delta\tau_k) d\psi_k d\phi_k du_k \right\}. \quad (1)$$

Схема некогерентного демодулятора, реализующая алгоритм (1), приведена на рис. 3.

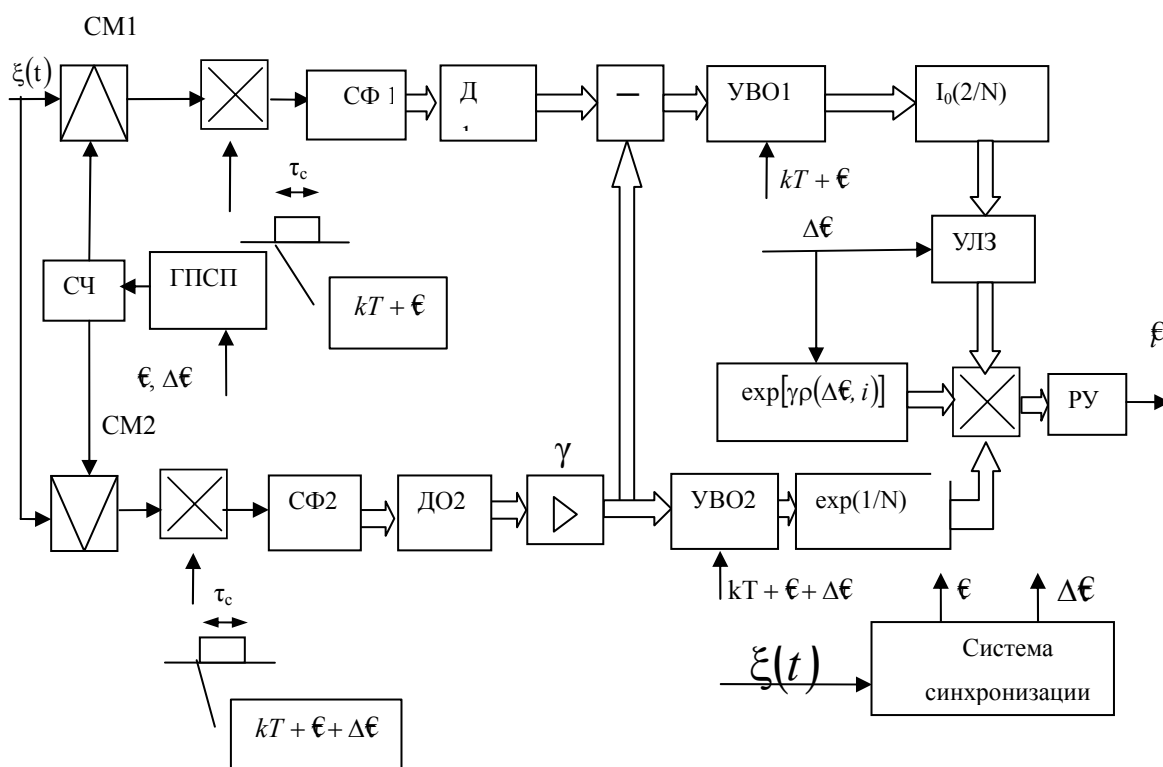


Рис. 3. Схема некогерентного демодулятора многопозиционных сигналов

Синтезатор частот (СЧ), управляемый генератором псевдослучайной последовательности (ГПСП), формирует частоты гетеродинов таким образом, чтобы на выходе смесителей (СМ1, СМ2) частоты были уже постоянными. Условно схему демодулятора можно разделить на тракты формирования оценки основного и задержанного сигналов. Тракт формирования оценки основного сигнала состоит из стробирующего устройства (его роль выполняет умножитель), согласованного фильтра (СФ1), детектора огибающей (ДО1), устройства взятия отсчетов (УВО1) и нелинейного элемента,

характеристика которого описывается модифицированной функцией Бесселя нулевого порядка  $I_0(\cdot)$ .

Тракт формирования оценки задержанного сигнала также состоит из стробирующего устройства, (СФ2, ДО2), усилителя с коэффициентом усиления  $\gamma = 2P_3 / (P_3\tau_c + N)$  (где  $P_3$  – мощность задержанного сигнала), (УВО2) и нелинейного элемента с экспоненциальной характеристикой. Стробирующие устройства пропускают сигнал на входы (СФ1, СФ2) только на время действия основного и задержанного сигналов соответственно, а отсчеты в (УВО1, УВО2) берутся в моменты окончания сигналов (символов). Управляемая линия задержки (УЛЗ) обеспечивает временную задержку на  $\Delta\epsilon$ . На вход решающего устройства РУ результирующий сигнал поступает с коэффициентом веса  $\exp[\gamma\rho(\Delta\epsilon, i)]$ , зависящим от значения огибающей корреляционной функции вида (1)  $\rho(\Delta\epsilon, i)$  ( $i=j$ ) при  $\tau = \Delta\epsilon$ . Решающее устройство формирует оценку  $\hat{\epsilon}$  по величине наибольшего отклика на входе. Необходимо отметить, что такой демодулятор требует постоянного формирования оценок  $\hat{\epsilon}$  и  $\Delta\epsilon$  для синхронизации процессов во времени.

Результаты анализа помехо-устойчивости демодулятора, изображенного на рисунке, удалось получить только путем моделирования. На рис. 4 приведена зависимость вероятности ошибки на символ  $P_{\text{ош}}$   $M$ -позиционного ( $m=32$ ) ортогонального сигнала от нормированной разности хода лучей  $\Delta\tau/\tau_c$  при отношении сигнал/шум  $\frac{2E_c}{N} = 20$  и равенстве мощностей основного  $P_c$  и задержанного  $P_3$  сигналов. Пунктиром показано значение вероятности ошибки на символ, превышение которой свидетельствует о проигрыше в помехоустойчивости. С момента  $\Delta\tau/\tau_c > 0,4$  начинает сказываться выигрыш за счет задержанного сигнала. На рис. 5 показана зависимость  $P_{\text{ош}}$  от  $\sqrt{P_3/P_c}$  если  $\Delta\tau = 1,5\tau_c$  и  $\frac{2E_c}{N} = 100$ .

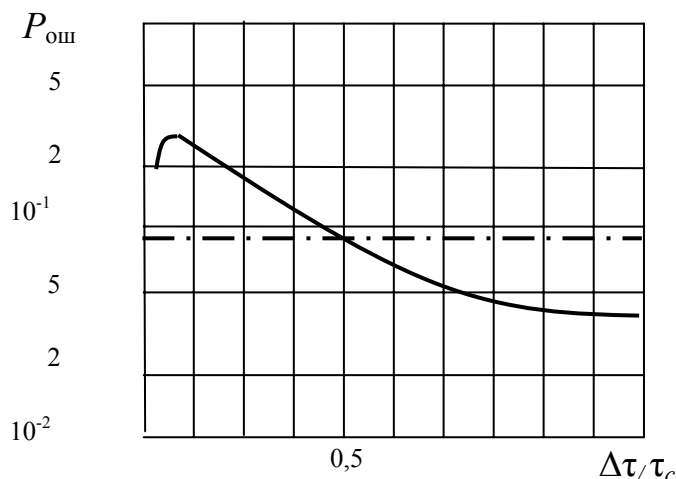


Рис. 4. Зависимость вероятности ошибки на символ от  $\Delta\tau/\tau_c$

Таким образом, упрощение демодулятора многопозиционных сигналов за счет использования СФ двойной длины, приводит к тому, что разрешение основного и задержанного сигналов, начинается только при взаимной задержке символов  $\Delta\tau > 0,5\tau_c$ . Если бы кодовые последовательности формировались не путем циклического сдвига исходной кодовой последовательности, то задержанный сигнал перестал бы сказываться уже при  $\Delta\tau > 2\tau_s$  ( $\Delta\tau > 0,06\tau_c$ ).

С целью сохранения простоты реализации устройства обработки предлагается отказаться от оптимальной схемы приема, а использовать схему, полученную без учета задержанного сигнала, но также с использованием СФ двойной длины. Для уменьшения влияния задержанного сигнала на помехоустойчивость демодулятора предлагается ввести дополнительную (окрашивающую) манипуляцию по закону, известному на приемной стороне. На входе СФ дополнительная манипуляция снимается. При этом структура задержанного сигнала за счет фазового сдвига между задержанным сигналом и дополнительной манипулирующей последовательностью будет разрушаться.

В принципе дополнительная манипуляция сигнала не должна расширять ширину спектральной плотности сигнала. Если же мощность отраженного сигнала соизмерима с мощностью основного сигнала, и повысить помехоустойчивость приема не удастся, то целесообразно за счет дополнительной манипуляции расширить спектр основного сигнала, решая, таким образом, и проблему защиты от узкополосных помех [3]. Помехоустойчивость приема после модификации сигнала можно оценить, пересчитав мощность задержанного сигнала в интенсивность аддитивного белого гауссовского шума.

Таким образом, дополнительная манипуляция сигнала окрашивающей последовательностью приводит к незначительному расширению спектра сигнала при разрушении структуры задержанного сигнала на приемной стороне, что позволяет применять в демодуляторе сигнала согласованные фильтры двойной длины и значительно приблизить помехоустойчивость приема к помехоустойчивости канала связи при однолучевом приеме.

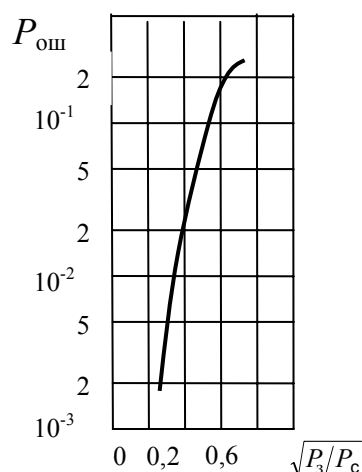


Рис. 5. Зависимость вероятности ошибки на символ  $P_{ош}$  от  $\sqrt{P_3/P_c}$

### Литература

1. Персли М.Б. Расширение спектра сигналов в пакетных радиосетях. М.: ТИИЭР, 1987. Т.75. № 1. С. 140–160.
2. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. М.: Радио и связь, 2000.
3. Авиационные радиосвязные устройства / под ред. В.И. Тихонова. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986.