

СРЕДСТВА СВЯЗИ

УДК 621.396

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМ СВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Ю.В. Невзоров, генеральный директор ОАО «МНИРТИ», к.т.н.

А.С. Грибанов, старший научный сотрудник ОАО «МНИРТИ», к.т.н.; gribanov.a@inbox.ru

В.Е. Еремина, инженер ОАО «МНИРТИ»; ereminaf330@mail.ru

Ключевые слова: кодовое разделение каналов, методы расширения спектра, псевдослучайная перестройка частоты, линейная частотная модуляция, псевдослучайная последовательность Уолша.

Введение. Для построения многоканальных систем используются различные методы разделения каналов. Наибольшее распространение получили методы временного (TDMA – Time Division Multiple Access), частотного (FDMA – Frequency Division Multiple Access) и кодового (CDMA – Code Division Multiple Access) разделения каналов. Перераспределение выделенной полосы частот на большее число каналов не всегда допустимо, поскольку уменьшение ширины канала снижает качество передаваемой информации [1]. Повышение качества передачи, в свою очередь, зависит от расширения полосы частот канала, по которому передается информация.

Известны три метода расширения спектра: DS (Direct Sequence) – прямая последовательность, FH (Frequency Hopping) – скачкообразная перестройка частоты и TH (Time Hopping) – псевдослучайная перестройка во времени.

Таким образом, возможность увеличения числа каналов передачи информации ограничивается заданным качеством передачи. Обеспечение необходимого баланса качества без значительного усложнения реализации многоканальной связи становится сегодня весьма актуальной задачей.

В статье предлагается относительно простое решение для построения широкополосной многоканальной линии связи.

Анализ системы связи. Рассмотрим систему с кодовым разделением каналов CDMA, в которой реализуются все типы расширения спектра: прямая последовательность DS-CDMA, псевдослучайная перестройка частоты FH-CDMA и псевдослучайная перестройка во времени TH-CDMA.

Кодовое разделение (уплотнение) каналов базируется на корреляционных свойствах сигналов. Частотный канал разбивается на несколько десятков логических, передача и прием по которым осуществляется одновременно и в одной полосе частот. Сигналы от различных источников кодируются индивидуальной псевдослучайной последовательностью (ПСП) и объединяются в широкополосный сигнал (ШПС) с распределенной энергией.

На приемной стороне сигналы разделяются с помощью аналогичных индивидуальных «кодов». Таким образом, в одной и той же полосе частот формируются сигналы, не влияющие друг на друга. В отличие от FDMA и TDMA, где энергия сигнала концентрируется на выбранных частотах или временных интервалах, сигналы CDMA распределены в непрерывном частотно-временном пространстве. При этом одна и та же полоса частот используется всеми каналами одновременно.

Помехоустойчивость каналов связи обеспечивается путем расширения полосы передаваемого сигнала. Она может быть больше той, которая необходима для передачи информации. В системах связи, передающих информацию в виде двоичных символов, длительность информационного символа $\tau_{\text{и}}$ и скорость передачи сообщений C связаны соотношением $\tau_{\text{и}} = 1/C$. База широкополосного сигнала B с длительностью импульса расширения τ_{CDMA} характеризует расширение спектра ШПС относительно спектра сообщения и определяется выражением

$$B = 1/\tau_{\text{CDMA}} C.$$

В частности, в системе спутниковой связи «Глобалстар» в направлении от спутника связи к абоненту каналы разделяются с помощью последовательностей Уолша, а помехоустойчивость определяется ПСП [2].

Канал FH-CDMA реализуется следующим образом: при передаче формируется ПСП, которая управляет перестройкой синтезатора частоты (СЧ) по заданному закону. Поскольку коды управления перестройкой частоты при передаче и приеме взаимосвязаны, они однозначно идентифицируются приемником. Таким образом, если генератор кода синхронизирован с входным сигналом, то автоматически синхронизируется и СЧ, алгоритм которой точно соответствует использованному на передаче.

Принцип псевдослучайной перестройки частоты в CDMA-системах применяется следующим образом. Любой бит передается в виде комбинации из N частот, причем на каждой частоте формируется своя ПСП. В течение заданного временного интервала несущая остается неизменной, а по его истечении скачкообразно изменяется. Алгоритм переключения частоты несущей для каждого абонента индивидуален, благодаря чему возможна одновременная работа большого числа абонентов в общей полосе частот.

Главные достоинства технологии FH-CDMA – высокая помехоустойчивость и более простой, по сравнению с DS-CDMA, способ синхронизации.

Основной недостаток FH-CDMA – сложность создания СЧ.

Линейную частотную модуляцию (ЛЧМ) сигнала несущей в пределах длительности τ_{CDMA} элемента сигнала можно рассматривать как частный случай ППРЧ. Расширяя спектр на величину девиации ЛЧМ, увеличиваем число каналов во столько раз, сколько значений девиации будем использовать. При этом не опускаемся ниже заданного значения помехоустойчивости [3].

Решение поставленной задачи. Рассмотрим совместное применение адресного и расширяющего кодов для увеличения числа каналов передачи информации, принимая во внимание, что при реализации системы ЛЧМ-расширение спектра проще, чем расширение с помощью ППРЧ. Обобщенная



Рис. 1. Структурная схема системы связи

структурная схема системы связи, использующей сигналы с расширением спектра, изображена на рис. 1.

Принцип реализации FH-CDMA. При передаче информации формируется напряжение, управляющее перестройкой СЧ по линейному закону. Поскольку законы управления перестройкой частоты при передаче и приеме взаимосвязаны, то сигналы однозначно идентифицируются приемником. Таким образом, если опорный сигнал перестройки синхронизирован с входным сигналом, то автоматически синхронизируется и СЧ, алгоритм которого точно соответствует алгоритму, использованному на передаче.

Синхронизация выполняется в несколько этапов. Сначала происходит захват несущей и вхождение в синхронизм по коду, затем — отслеживание закона перестройки СЧ. В модуляторе осуществляется модуляция сигналом передаваемого дискретного сообщения $d(t)$, преобразованного кодом разделения каналов (Уолша).

Каждый элемент последовательности τ_{CDMA} переносится на несущую частоту, изменяющуюся по линейному закону, причем крутизна изменения различна для каждого абонента [4]. В результате формируется сигнал

$$U(t) = \begin{cases} 0, & t < -\frac{\tau_{CDMA}}{2}; \\ U_m \cos\left(\frac{\omega_0 t + \mu t^2}{2}\right), & -\frac{\tau_{CDMA}}{2} \leq t \leq \frac{\tau_{CDMA}}{2}; \\ 0, & t > \frac{\tau_{CDMA}}{2}, \end{cases}$$

где U_m — амплитуда сигнала; ω_0 — частота модулируемого гармонического колебания; μ — скорость изменения частоты во времени. В данном случае база ШПС численно равна: $B = \tau_{CDMA}^2 \mu$, где B — база сигнала.

Для модели радиоимпульса с прямоугольной огибающей примем его длительность равной τ_{CDMA} , а точку $t = 0$ поместим в центр радиоимпульса. Допустим также, что частота заполнения линейно нарастает со скоростью μ от начала импульса к его концу. При этом

$$w(t) = w_0 + m t_{CDMA}.$$

За время длительности импульса девиация частоты: $D_w = m t_{CDMA}$.

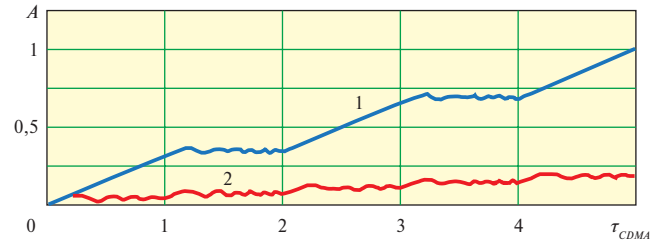


Рис. 2. Сигнал на выходе коррелятора

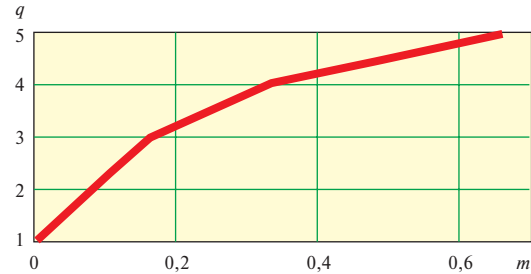


Рис. 3. Зависимость превышения амплитуды q от функции девиации частоты m

В приемнике после предварительной селекции и усиления принимаемый сигнал сравнивается в корреляторе с опорным сигналом, представляющим собой ЛЧМ последовательность импульсов τ_{CDMA} . Затем выходной сигнал коррелятора сравнивается с порогом h . Необходимым условием правильного приема (превышения порога h) будет совпадение по форме входного и опорного сигналов, в том числе законов изменения частоты, соответственно входного и опорного сигналов. Выполнение этого условия обеспечивается блоком поиска и синхронизации в процессе процедуры поиска и слежения. После этого в демодуляторе выделяется передаваемое сообщение $d(t)$.

Принятые сигналы отличаются не только кодовой последовательностью, но и несущей, промодулированной по индивидуальному закону $k\mu$, где μ — скорость перестройки частоты в пределах кодового импульса t_{CDMA} . Поэтому число каналов увеличивается в k раз. Если в СЧ формируются k частот с девиацией Δf , то занимаемая сигналом полоса частот увеличивается на $k \Delta f$.

Пример. На коррелятор подается последовательность импульсов t_{CDMA} , промодулированная по частоте со скоростью изменения частоты μ . Длительность информационного импульса принимаем $\tau_{ин} = 5 t_{CDMA}$. Скорость изменения частоты сигнала обозначим μ_c , а опорной последовательности — μ_0 . Считаем, что на выходе коррелятора (на интервале интегрирования, равном $\tau_{ин}$) амплитуда сигнала достигает уровня порога ($h=1$) при $\mu_c = \mu_0$ (кривая 1 на рис. 2).

В случае несовпадения параметров модуляции (μ_c, μ_0) уровень сигнала на выходе коррелятора много ниже порога (кривая 2, рис. 2). Из рисунка видно, что при установке соответствующего порога h , сигналы, отличающиеся по скорости перестройки несущей частоты, успешно селективируются.

Оценка условия селекции сигналов, отличающихся параметрами перестройки несущей частоты, представлена на рис. 3. На рисунке показано во сколько раз сигнал, совпадающий по кодовой структуре, но промодулированный по несущей частоте (со скоростью изменения частоты μ_c , отличной от опорной (μ_0), должен превышать согласованный сигнал ($\mu_c = \mu_0$), чтобы быть принятым как истинный. Ось ординат показывает превышение амплитуды q (в раз),

ось абсцисс – относительное значение девиации частоты ($\Delta\omega = \mu t_{CDMA}$) принятого сигнала:

$$m = (\mu_c t_{CDMA} - \mu_o t_{CDMA}) / \mu_o t_{CDMA} = (\mu_c - \mu_o) / \mu_o.$$

Заключение. Системы связи с кодовым разделением каналов исключительно помехоустойчивы, однако не могут реализовать весь потенциал по обслуживанию большого числа абонентов из-за системных помех, создаваемых линиями связи, работающими на одной частоте. Эти помехи определяют верхний порог пропускной способности систем с кодовым разделением каналов.

Увеличение пропускной способности в системах связи с кодовым разделением каналов возможно путем частотной модуляции несущей частоты, когда ее характеристики модуляции различны для пространственно разнесенных линий связи, работающих на одной несущей частоте.

При несовпадении скоростей изменения частоты принятого и опорного сигналов в 2 и более раза, для достижения

порогового значения уровень несогласованного сигнала по отношению к согласованному должен быть превышен в 3 и более раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Невдяев Л.** CDMA: технологии доступа // Сети/network world. – 2000. – № 6.
2. **Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В.** Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 302 с.
3. **Гаранин М.В., Журавлев В.И., Кунегин С.В.** Системы и сети передачи информации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с.
4. **Еремина Е.В.** Метод многоканальной передачи информации / Сб. тез. докл. Всероссийской молодежной науч.-техн. конф. «Прикладные научно-технические проблемы современной теории управления системами и процессами». – Москва, ОАО «Концерн радиостроения «Вега». 24 октября 2012 г. – С. 15.

Получено 24.04.13