

Сверхширокополосная система связи с кодовой несущей

(Статья из журнала Радиотехника, 2009, № 6)

В.В. Копейкин

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН)
e-mail: kopeikin@izmiran.ru

В работе описана запатентованная с участием автора сверхширокополосная система связи с шумоподобной кодовой несущей, основанная на использовании корреляторов на линиях задержки и предложено дальнейшее развитие этой системы, когда в качестве корреляторов для приема и передачи информации используются антенные решетки. Характеристики системы по скорости передачи, помехозащищенности и скрытности близки к теоретически-предельным, которые следуют из теоремы Шеннона.

1. Введение

В 1949 г. вышла работа К.Шеннона «Связь при наличии шума», в которой он исследовал предельно-возможную пропускную способность канала связи. В этой работе была сформулирована ставшая в наше время классической теорема, которую мы воспроизводим по [1]:

«Пусть S - средняя мощность передатчика и пусть помеха есть белый шум с мощностью N в полосе частот W . Применяя достаточно сложную систему кодирования, можно передавать двоичные цифры со скоростью

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

со сколь угодно малой частотой ошибок. Никакой метод кодирования не допускает передачи с большей скоростью при произвольно малой частоте ошибок».

Под словом «кодирование» здесь подразумеваются временные функции, играющие роль сигналов, или носителей информации, с помощью которых передаются бинарные данные, слова «достаточно сложная система кодирования» выделяют из них только те функции (или сигналы) длительности T , для которых база $B = TW \gg 1$, потому что только они обладают максимальным количеством возможных комбинаций.

Сейчас такие сигналы в радиосвязи называют шумоподобными (ШПС), или сигналами с распределенным спектром (spread spectrum signals).

Систему передачи двоичных данных без ошибок со скоростью C принято называть идеальной. Такая система не может быть реализована ни при каком конечном процессе кодирования, но приблизиться к ней возможно с любой наперед заданной конечной точностью.

По мере приближения к пределу C путем кодирования сигнала:

1. частота ошибок стремится к нулю;
2. передаваемый сигнал по своим статистическим свойствам приближается к белому шуму;
3. база сигнала стремится к бесконечности;

4. требуемые задержки (т.е. длина кода) в передатчике и приемнике неограниченно возрастают;
5. пороговый эффект в формуле (1) становится все более резким.

Основной вывод, который следует из теоремы Шеннона – это то, что идеальным переносчиком информации, или несущей функцией сигнала, является каким-либо способом помеченный белый шум, т.е. псевдослучайная функция с равномерной спектральной плотностью, которую также называют кодовой несущей. Сам способ разделения каналов в таких системах называют кодовым разделением.

Очень важной особенностью систем связи с шумоподобными сигналами является возможность до теоретического предела «уплотнить» радиоэфир по сравнению со всеми известными способами разделения каналов. При увеличении суммарной пропускной способности широкополосных каналов с кодовым разделением, суммарная мощность сигналов остается прежней. Или, наоборот, при сохранении общей пропускной способности каналов, результирующая мощность сигналов в эфире значительно уменьшается.

Для сравнения рассмотрим стандартную узкополосную систему с частотным разделением каналов, использующую бинарную фазовую модуляцию монохроматической несущей. Пусть в частотном диапазоне W расположено n передающих радиостанций с полосой частот $\Delta f = W / n$. Каждая станция излучает сигнал мощностью S_1 в полосе частот Δf , а мощность шумовой помехи в этой полосе составляет величину N_1 .

Для устойчивости работы узкополосной системы соотношение сигнал/шум в каждом частотном канале, обеспечивающее необходимое качество связи, определяемое количеством ошибок, как правило, должно быть не менее 100. В этом случае пропускная способность одного канала равна полосе этого канала, т.е. $C_1 = \Delta f$. Общая скорость передачи всех узкополосных каналов, занимающих диапазон частот W равна

$$C = W \quad (2)$$

Пусть в том же частотном диапазоне W работает n широкополосных радиостанций с кодовым разделением каналов, полностью занимающих весь диапазон и имеющих ту же суммарную мощность сигналов $S = nS_1$. Мощность помехи в широкополосном канале составит величину $N = nN_1$.

В соответствии с теоремой Шеннона (1), общая пропускная способность шумоподобных каналов с кодовым разделением при соотношении $S/N = S_1/N_1 = 100$ составит величину

$$C = W \log_2(101) = 6.6W \quad (3)$$

Реально выигрыш может быть значительно больше, чем в 6.6 раза, учитывая тот факт, что частотное разделение каналов обязательно требует защитных частотных промежутков между каналами, а необходимое соотношение сигнал/шум для высококачественной передачи данных часто бывает больше 100.

2. Развитие радиотехники с точки зрения используемых сигналов

Переход в начале прошлого века от сверхширокополосных сигналов, излучаемых первыми искровыми передатчиками, к квазигармоническим, был вызван необходимостью повышения дальности связи и защиты связной системы от мешающего действия соседних радиостанций. Проблема была решена использованием колебательного контура в качестве селективного звена для этих сигналов. Простота устройства колебательного контура, состоящего из конденсатора и катушки индуктивности, и определила все дальнейшее развитие радиотехники.

Таким образом, исключительное использование узкополосных сигналов объяснялось чисто техническими причинами, поскольку теория излучения и распространения радиоволн не накладывает ни каких принципиальных ограничений на полосу сигнала.

Создание теории оптимального приема на основе теории вероятностей и математической статистики в конце 40-х годов принадле-

жат целому ряду ученых – К. Шеннону, Н. Винеру, А.Я. Хинчину. Значительный вклад в нее внесли работы В.А. Котельникова [3].

В соответствии с теорией, основу оптимального приемника составляет устройство, осуществляющее операцию свертки принимаемого сигнала $x(t)$ с ожидаемым $s(t)$.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t - \tau)s(\tau)d\tau \quad (4)$$

В литературе эти устройства, по способу их технической реализации, часто подразделяют на согласованные фильтры, скользящие корреляторы и собственно корреляторы. Мы будем в дальнейшем пользоваться только последним термином, поскольку все эти устройства производят одну и ту же математическую операцию (4).

Теория подтвердила, что для узкополосных квазигармонических сигналов коррелятор может быть реализован в виде колебательного контура.

В простейшей теоретической задаче обнаружения сигнала произвольной формы $s(t)$ на фоне нормального белого шума со спектральной плотностью N_s , соотношение сигнал/шум на выходе коррелятора (4) имеет вид [6]:

$$\frac{S}{N} = \frac{2E}{N_s}, \quad (5)$$

где

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t)dt$$

– энергия сигнала за все время его существования.

Как видим, результат оптимального приема зависит только от общей энергии сигнала и спектральной плотности шума и никак не зависит от его формы и, следовательно, от полосы его частотного спектра.

На первый взгляд, этот приведенный классический результат противоречит другому классическому результату – теореме Шеннона, в которой частотная полоса сигнала играет решающую роль. Дело в том, что здесь речь идет о разных задачах. Сейчас мы рассмотрели

прием одного сигнала, что физически реализуется только в системах с разделением каналов по времени.

Теорема Шеннона оперирует с системой кодовых сигналов, которые могут существовать одновременно. Результирующая мощность, как нелинейная функция амплитуды, может меняться в зависимости от совместной структуры сигналов. Например, если использована система ортогональных сигналов с нулевыми кросскорреляционными функциями, то каналы передачи информации не влияют друг на друга и в формуле (5) величина N_s определяется только природными шумами, а в противном случае мы обязаны добавить в шум еще и влияние соседних станций.

Переход на другие типы сигналов, отличные от узкополосных, стал возможным в последнее время благодаря развитию аналоговой, дискретно-аналоговой и цифровой вычислительной техники. Во многих современных радиоприемных устройствах операцию свертки (4) осуществляет микропроцессор, который способен найти функцию $y(t)$ для произвольного сигнала $s(t)$, и в этих условиях теряются преимущества квазимонохроматических сигналов.

Теперь возникла техническая возможность от чистой теории перейти к практическому использованию шумоподобных сигналов, способных реализовать новое качество связанных систем. Этот переход следует рассматривать не как достижение «сверхскорости» и «сверхзащищенности» систем связи, а, скорее, наоборот, как уход от малоэффективных способов модуляции и разделения каналов. Напомним основные преимущества ШПС.

Шумоподобные системы связи обеспечивают максимально возможную скорость передачи информации, скрытность и помехозащищенность, близкие к теоретически предельным, которые следуют из теоремы К. Шеннона (1).

Спектральная плотность ШПС равномерна в рабочей полосе, а ее уровень ниже уровня естественных шумов, что делает систему с ШПС не пеленгуемой стандартными радиотехническими средствами. Этим обеспечивается абсолютная скрытность связи на физическом уровне (т.е. здесь отсутствует объект возможной криптографической дешифровки).

Шумоподобные широкополосные радиосистемы могут работать на фоне обычных узкополосных станций, практически не мешая им, и наоборот – узкополосные системы практически не влияют на работу шумоподобных.

Сигнал ШПС обладает «голографическими» свойствами, когда каждый участок спектра несет передаваемую информацию, т.е. для его приема можно использовать не весь излучаемый спектр, а лишь его часть. Конечно, для этого нужно знать код, а характеристики связи по качеству будут уменьшаться пропорционально сужению полосы.

Шумоподобные сигналы не подвергаются федингу – увеличению или пропаданию до нуля сигнала из-за интерференции отраженных от внешних предметов (вышек, домов, горных массивов, ионосферы и т.д.) волн. Многолучевость ШПС, наоборот, может быть использована для улучшения качества связи, поскольку возникают каналы дополнительной волновой энергии.

При прочих равных условиях в одном и том же частотном диапазоне можно разместить значительно больше шумоподобных систем, чем обычных. Это имеет огромное значение для развития всей радиотехники, поскольку уже в настоящее время ощущается дефицит частотного ресурса. Как результат, в ШПС-системах падает «энергетическая стоимость» бита переданной информации.

В начале 90-х годов 20-го века на рынке появились первые коммерческие шумоподобные системы, а в технике связи появились два новых термина: кодовое разделение каналов на уровне шумоподобной поднесущей (CDMA— Code Division Multiple Access) или на уровне шумоподобной несущей (UWB CDMA – Ultra Wide Band Code Division Multiple Access).

Наиболее известная американская фирма Qualcomm разработала систему сотовой телефонии с шумоподобной поднесущей, имеющей код длиной 64 элемента и занимающей полосу 1.25 MHz. Относительная полоса этой системы не велика, менее 1%, она использует монохроматическую несущую, но, тем не менее, ее относят к широкополосной, поскольку ширина частотного спектра сигнала по отношению к спектру сообщения увеличена в 64 раза [2].

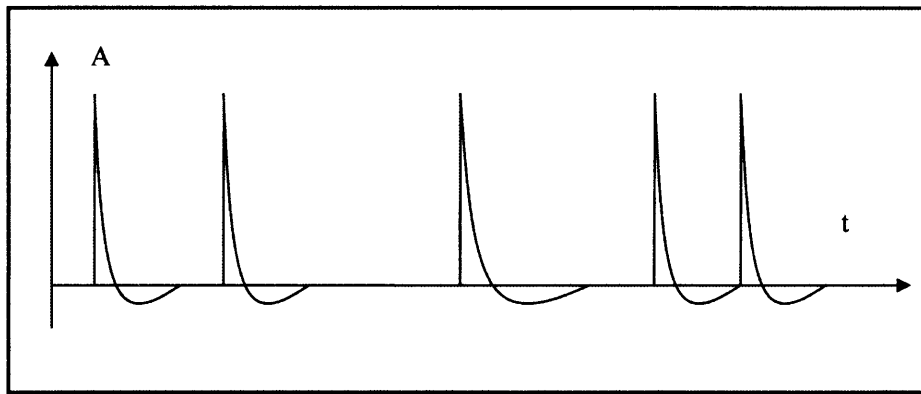


Рис.1. Структура сигнала сверхширокополосной системы связи фирмы Time Domain.

Фирма Qualcomm создала первый коммерческий стандарт CDMA, который послужил основой развития новых стандартов. Например, в Южной Корее вся без исключения телефонная сотовая связь основана на CDMA третьего поколения.

В 1994 г. в США фирмой Time Domain объявлено начало работ над сверхширокополосной системой связи без монохроматической несущей, относительная полоса W_R которой близка к единице (UWB CDMA) [4, 5].

$$W_R = \frac{\omega_H - \omega_L}{\omega_H + \omega_L} \quad (6)$$

Здесь ω_H максимальная частота сигнала, ω_L – минимальная частота.

За основу сигнала в этой системе приняты короткие импульсы одинаковой формы длительностью порядка 10^{-9} – 10^{-10} , обычно используемые в георадарах, следующие друг за другом с большой скважностью. Порядок следования их во времени подчиняется определенному шумоподобному закону (коду), т.е. для увеличения базы сигнала использована время-импульсная модуляция (Рис.1).

Принципиальные схемные решения этой системы связи во многом повторяют CDMA фирмы Qualcomm.

Например, интеграл свертки (4) вычисляется сначала на аналоговом перемножителе, на один вход которого подается реальный сигнал с антенны, а на второй – такой же опорный сигнал, вырабатываемый в приемнике. Интегрирование происходит далее на аналоговом интеграторе. Система начинает работать только после вхождения в связь, когда возникнет синхронизация по времени принятого и опорного сигнала. Разработчики системы отмечают существенно возросшие требования к элементной базе по быстродействию, которые лимитирует частотный диапазон системы и ее работоспособность. Возникают большие проблемы с системой синхронизации на таких малых длительностях. Например, первые образцы системы не могли работать на подвижных объектах из-за быстрого изменения времени прихода сигнала. Даже простое перемещение оператора возле устройства приводило к потере синхронизации.

3. Сверхширокополосная система связи с кодовой несущей на линиях задержки

В CDMA фирмы Qualcomm шумоподобная кодовая функция, переносящая двоичную информацию, использована как поднесущая, т.е. как промежуточная функция, модулирующая несущую монохроматическую функцию.

Сама по себе эта система CDMA является узкополосной по абсолютному значению спектра занимаемых частот (б) и реализует предельные характеристики связи только в этой относительно небольшой полосе, в то время как глобально, по отношению к радиоэффиру, — это обычная система с частотным разделением каналов.

Если рассматривать задачу в общей постановке, как разработку новых способов передачи информации, пригодных для использования в сетях связи, радиовещания, телевидения и т.д., близких к теоретически предельным, то мы придем к необходимости разработки сверхширокополосных систем с кодовой несущей (СШП). UWB CDMA, развиваемая фирмой Time Domain, имеет ряд недостатков, которые мы обсудим позднее. Ниже мы рассмотрим альтернативную систему передачи данных в сверхширокой полосе.

На пути создания СШП существуют физические сложности, связанные с механизмом распространения радиоволн, основная из которых – частотная дисперсия сигналов в среде распространения. Она проявляется как на низких, так и на высоких частотах. Наиболее удобный в настоящее время диапазон работы сверхширокополосных систем связи с кодовой несущей в условиях земной атмосферы – 0.1–10 ГГц. Здесь дисперсия сигналов в среде распространения практически не сказывается. Относительная полоса сигналов в этом частотном диапазоне может достигать $W_R = 0.98$, в соответствии с формулой (6).

Следует отметить, что наличие частотной дисперсии, даже сильной, не означает невозможность работы системы в сверхширокой полосе частот, просто задача ее создания усложняется.

Ниже мы изложим основные принципы и технические решения СШП системы связи, опубликованные в патентах [7-8].

За основу сигнала нами принята последовательность одиночных коротких импульсов одинаковой формы, но различных знаков, следующих друг за другом либо без временных промежутков, либо с малыми промежутками, меньше длительности импульса, т.е. со скважностью, близкой к единице. Последовательность знаков импульсов подчиняется псевдослучайному коду (Рис. 2).

По отношению к стандартной CDMA изображенный сигнал представляет собой ни что иное, как кодовую поднесущую, которая модулирует монохроматическую несущую. В нашей системе модуляция отсутствует и мы передаем в эфир эту кодовую функцию без промежуточных носителей. Длительность импульсов в нашей системе почти в 1000 раз короче по сравнению с сотовой телефонией фирмы Qualcomm и составляет величину порядка 0.1 – 0.5 нс.

Принятая за основу структура сигнала позволяет значительно упростить техническую реализацию системы связи и перейти от корреляторов, построенных на сверхбыстрых аналоговых перемножителях и интеграторах, дополненных системами вхождения в связь и непрерывного отслеживания временного положения импульса [2], к простым корреляторам на линиях задержки, схемы которых есть практически во всех учебниках по радиолокации [6].

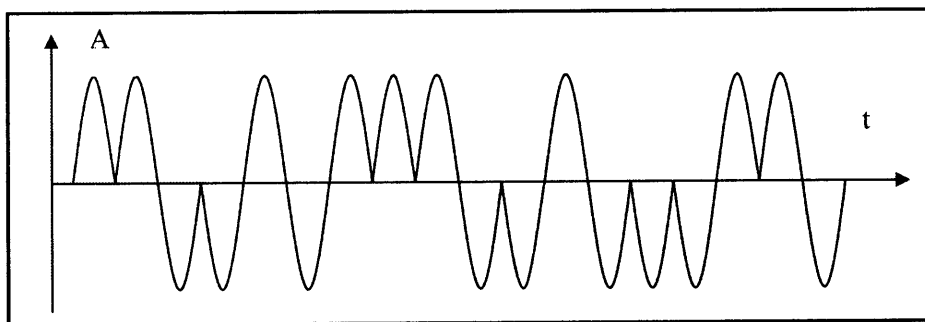


Рис.2. Альтернативная структура сигнала сверхширокополосной системы связи с кодовой несущей.

Причина упрощения в том, что для принятой структуры сигнала операцию умножения в интеграле свертки (4) можно опустить в силу одинаковой формы составных элементов функции, а операцию интегрирования заменить на суммирование конечного числа элементов кода.

В отличие от известных корреляторов этого типа, используемых в радиолокации, когда время задержки велико и требует перехода на другие, не электрические носители сигнала, например, на медленные (по отношению к скорости света) поверхностные акустические волны, линии задержки в нашей системе могут быть выполнены в виде кабельных, полосковых или микрополосковых электрических линий. Например, длина полосковой линии для задержки сигнала на 0.1 нс на подложке с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 9$ составляет 1 см.

В таком корреляторе отсутствуют потери, возникающие при переходе от электрического носителя сигнала к акустическому и наоборот. По общепринятой терминологии этот тип корреляторов называют согласованными фильтрами или скользящими корреляторами, поскольку они не требуют внешнего источника синхронизации и системы вхождения в связь. На рис.3 изображена одна из возможных конструкций каскадируемого 8-элементного коррелятора на электрических линиях задержки.

Другой отличительной особенностью описываемой СШП системы является то, что основой радиопередающего устройства, как

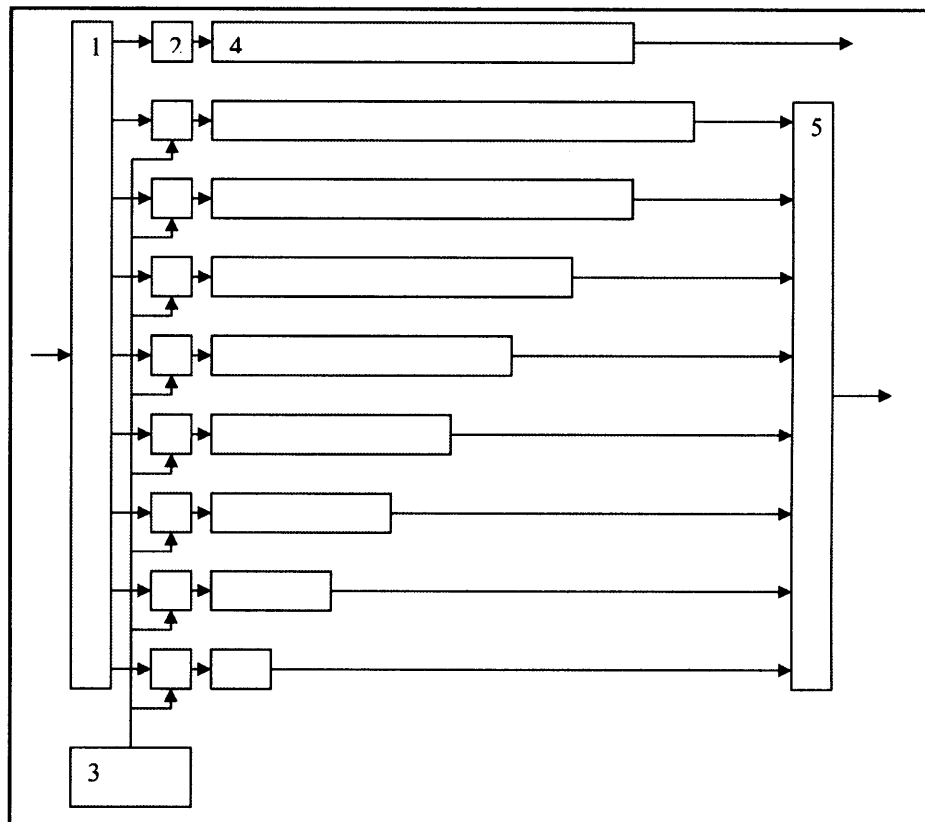


Рис. 3. Структурная схема 8-ми элементного каскадируемого коррелятора.

Цифрами обозначены:

1. Разветвитель сигнала.
2. Управляемые усилители-инверторы.
3. Регистр кода.
4. Линии задержки.
5. Сумматор.

Первая линия задержки предназначена для передачи сигнала на следующий каскад.

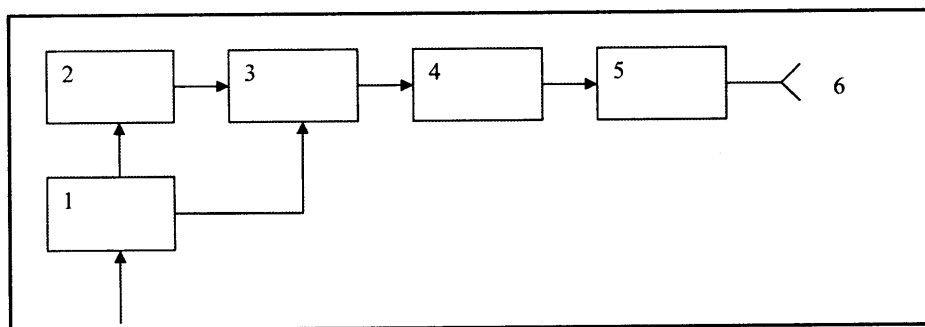


Рис. 4. Блочная схема передающего устройства.

Цифрами обозначены:

1. Интерфейс с внешним каналом передачи данных.
2. Генератор одиночных импульсов.
3. Модулятор.
4. Коррелятор.
5. Усилитель.
6. Широкополосная антенна

и приемного, служит тот же (или такой же) коррелятор. Здесь использовано свойство коррелятора на линиях задержки генерировать псевдослучайную кодовую последовательность, обращенную по времени по отношению к принимаемой, если на его вход подать короткий одиночный импульс. Принципиальная схема передатчика приведена на рис. 4.

Процесс передачи информации поясняется рис. 5.

По приходу очередного информационного импульса с интерфейса (1, рис. 4), генератор (2, рис. 4) вырабатывает короткий импульс (1, рис. 5), длительность которого соответствует одному элементу кода (0.1 – 0.5 нс).

Модулятор (3, рис. 4) пропускает его далее либо без изменений, либо меняет знак, в соответствии с информационным сообщением (2, рис. 5). Чтобы при передаче информации уйти от абсолютных фазовых привязок, используется Манчестерский код, в соответствии с которым информационный «0» передается сменой полярности импульса по отношению к предыдущему, а информационная «1» – сохранением полярности (2, рис. 5). При подаче на коррелятор (4, рис. 4) поло-

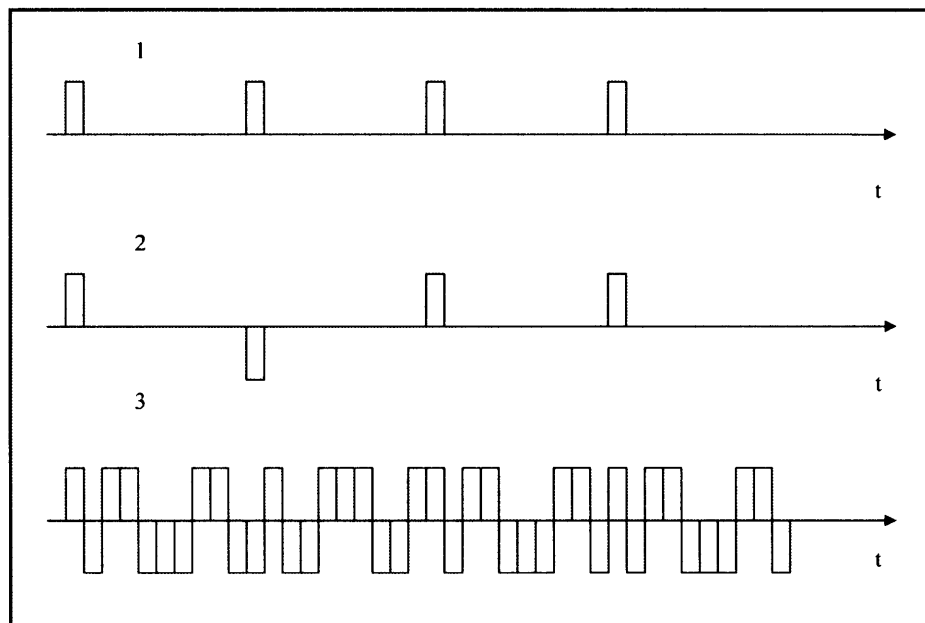


Рис. 5. Временная диаграмма работы передающего устройства.

1. Выход генератора одиночных импульсов.
2. Выход модулятора.
3. Выход коррелятора.

жительного или отрицательного импульса, на его выходе возникает прямая или обратная кодовая последовательность (с обратными знаками по отношению друг к другу) (3, рис. 5). На приемном корреляторе прямая и обратная кодовые последовательности приводят к возникновению положительного или отрицательного корреляционного пика, в чем и состоит метод модуляции кодовой последовательности и декодирования информационного сообщения.

Основной недостаток UWB CDMA системы фирмы Time Domain, кроме сложности конструкции и высокой стоимости комплектующих элементов, это структура сигнала сверхширокополосной несущей, которая близка к пуассоновскому, или дробовому импульсному шуму (рис. 1). По отношению к нашей системе, при прочих равных условиях, пуассоновская несущая имеет значительно меньшую скорость передачи информации, поскольку для накопления необходи-

мой энергии сигнала в приемнике требуется больше времени на величину средней скважности передаваемых импульсов. Эту скорость можно поднять, если использовать очень мощные элементарные импульсы, но тогда они будут демаскировать передающую станцию. По этой причине пуассоновская несущая менее предпочтительна, чем наша, в которой скважность элементарных импульсов равна единице.

То, что описываемая нами система близка к теоретически предельной, можно заключить путем экстраполяции радиотехнических измерений реально действующих систем CDMA, поскольку сигнал в нашей системе по своей структуре является предельным случаем расширения частотного спектра CDMA при нулевой частоте монохроматической несущей. Например, известно, что система CDMA фирмы Qualcomm в 12 раз «уплотняет» используемый частотный диапазон по отношению к обычной системе телефонии с частотным разделением каналов [2].

Использование коррелятора для формирования псевдослучайной кодовой функции на передающей стороне уже в ближайшее время может оказаться не актуальным в связи с развитием цифровой техники, когда кодовую несущую будет проще формировать непосредственно на быстрых регистрах. Но эта идея может опять стать актуальной при переходе СШП систем связи в миллиметровый диапазон радиоволн.

4. Сверхширокополосная система связи с кодовой несущей на основе антенных решеток

Дальнейшее развитие описанной выше сверхширокополосной системы связи может заключаться в отказе от корреляторов как отдельных устройств на передающей и приемной стороне, и в совмещении их функции с передающими и приемными антенными устройствами. Сама структура сигнала, изображенная на рис. 2 и рис. 5 остается прежней. Характеристики такого сигнала, напомним, близки к теоретически предельным по отношению к теореме К. Шеннона.

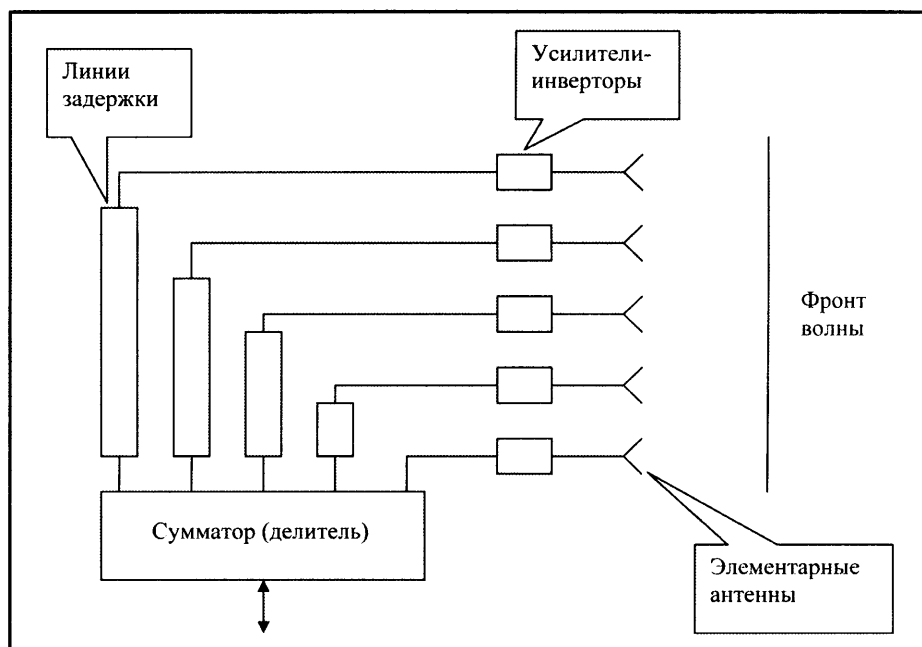


Рис. 6. Антенная решетка-коррелятор.

Антенные решетки, широко распространенные в обычных узкополосных системах, могут использоваться и в сверхширокополосных, если каждый элемент решетки имеет достаточно широкую частотную полосу излучения (приема). В качестве таких «элементарных» излучателей могут служить: диско-конусные антенны, антенны «бегущей волны», «бабочки», антенны Ву-Кинга, антенны Вивальди и т.д.

Основой антенной решетки, кроме совокупности излучателей, является диаграммо-формирующая схема (ДФС), представляющая собой сумматор, который складывает сигнал от каждого элемент решетки с определенным коэффициентом передачи, в общем случае регулируемом по амплитуде и фазе [9]. Сама структура ДФС напоминает структуру построения коррелятора на линиях задержки (рис. 3).

Основная идея настоящей работы заключается в том, чтобы использовать ДФС в качестве коррелятора как для приема так и для

передачи сверхширокополосных сигналов. При этом основная ее функция – формирование диаграммы направленности – остается за ней же.

Схематическое изображение антенны-коррелятора приведено на рис. 6.

Усилители-инверторы задают знакопеременную кодовую несущую. Линии задержки определяют временное положение элементов кода.

Приведенная на рис. 6 схема может работать как в режиме приема, так и в режиме передачи данных. В режиме передачи сумматор должен работать с выхода на многоэлементные входы в режиме делителя. По отношению к блочной схеме передающего устройства (рис. 4), в случае использования антенной решетки-коррелятора, выход модулятора соединяется со входом делителя.

В режиме приема выход с сумматора поступает непосредственно на обнаружитель сигнала и, далее, на интерфейс с внешним каналом данных.

Антенная решетка, совмещенная с коррелятором, приобретает необычные свойства по отношению к обычным решеткам – она становится кодоизбирательной по пространственным углам, т.е. реализует селективность в физическом пространстве и одновременно в пространстве сигналов. Это означает, что она принимает только сигнал со своим кодом и только со своего направления. Остальные сигналы, приходящие с любого направления, включая основное, рабочее, антенная система подавляет. Этот факт указывает на принципиально новое качество предлагаемой системы, которое, в частности, увеличивает радиоэлектронную совместимость средств связи.

В некоторых случаях узконаправленная по пространственным углам связь не представляется возможной, например, когда положение корреспондента неизвестно. В случае нахождения корреспондента на поверхности земли, можно использовать вертикальную антенную решетку, которая дает всенаправленную диаграмму, прижатую к земной поверхности. В случае, если корреспондент находится в неизвестном направлении в воздухе, необходимо либо сканировать диаграммой направленности антенной решетки, либо отказаться от антенны-коррелятора и вернуться к корреляторам на линиях задержки, описанных в разделе 3 настоящей статьи.

Возможно комбинированное использование двух разновидностей описанной сверхширокополосной системы: например, система с коррелятором используется для передачи информации, а с антенной-коррелятором – для приема, или наоборот. Возможно также их последовательное каскадирование. Например, первая система с коррелятором вырабатывает свою поднесущую кодовую последовательность, каждый элемент которой передается несущей кодовой последовательностью системы с антенной-коррелятором и т.д.

5. Заключение

В последнее время информационные технологии развивается очень быстрыми темпами. Это приводит к перегрузке радиодиапазона обычными радиотехническими средствами связи и к проблемам с распределением частот для их работы.

Появление на рынке первых систем CDMA оценивалось как революция в радиотехнике. Эти системы позволяют уплотнять диапазон используемых частот в десятки раз. Кроме того, они могут обеспечивать скрытную связь на физическом уровне, когда невозможно запеленговать даже сам факт выхода в эфир широкополосного передатчика.

Еще одна революция произойдет, когда состоится переход от CDMA к UWB CDMA. Эта техническая революция, вероятно, будет последней, потому что позволит вплотную приблизиться к теоретически предельным параметрам радиосвязи. Описанная выше СШП-система имеет все решающие преимущества перед узкополосными системами, а также ряд преимуществ перед сверхширокополосными системами связи с пуассоновскими сигналами высокой скважности, о чем мы уже говорили.

Элементная база для создания предлагаемой системы связи давно существует. Например, первые опытные корреляторы были изготовлены нами из отрезков обычного коаксиального кабеля длиной в единицы метров. Переход на полосковые и микрополосковые линии позволит сократить их габариты до размеров обычных микросхем. Этому будет способствовать также использование в качестве подложки материалов с высокой диэлектрической проницаемостью.

Проблема миниатюризации для антенн-корреляторов вообще отсутствует. Дело в том, что для обеспечения достаточно узкой диаграммы направленности геометрические размеры антенной решетки L должны быть довольно большими. Они оцениваются по формуле

$$L \sim \frac{\lambda_m}{\alpha} \quad (7)$$

Здесь λ_m – средняя длина волны, α – ширина диаграммы направленности.

Как правило, размеры L достаточны для того, чтобы разместить на механической конструкции антенны линии задержки любого типа.

Техническая реализация предлагаемой системы связи не требует привлечения новых технологий, не известных в России. После разработки несложной элементной базы, в основном корреляторов и антенн-корреляторов, она будет значительно проще и дешевле, чем известные западные системы CDMA и UWB CDMA. Более того, она превзойдет по этим показателям и обычные системы с частотным разделением каналов.

Автор выражает свою благодарность Б.Я. Любимову, с которым он начинал этот проект и который назвал новую технологию связи «веревочной», а также С.Е. Кюну и Е.Ю. Большакову, которые сделали первый действующий макет системы передачи речевой и цифровой информации на основе линий задержки на коаксиальных кабелях и назвали это устройство «Самоваром».

Литература

1. К. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. – М: Издательство иностранной литературы, 1963. – 830 с.
2. R. Dixon. Spread spectrum system. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. A Wiley-Interscience Publication. 1994. – 573 p.
3. Котельников В.А., Николаев А.М. Основы радиотехники. – М.: Связьиздат, 1950. – 371 с.
4. Fullerton L. Time Domain Radio Transmission System. US Patent 5,363,108. Date of Patent Nov. 8, 1994.

5. Fullerton L. et al. Ultrawide-band communication system and method. US Patent 5,677,924. Date of Patent October 14, 1997.
6. М.И. Финкельштейн. Основы радиолокации. – М.: Советское радио, 1973. – 495 с.
7. Копейкин В.В., Любимов Б.Я., Резников А.Е. Устройство связи. Патент РФ № 2185033. Приоритет от 08.07.1999.
8. Васильев А.Г., Копейкин В.В. Способ связи с шумоподобной несущей и устройство для осуществления способа. Евразийский патент № 006043, г. Москва. Приоритет от 26 мая 2004.
9. Минкович Б.М., Яковлев В.П. Теория синтеза антенн. М.: Сов. Радио, 1969, 294 с.

Ultra Wide Band Radio Communication System with Code Carrier

V. Kopeikin

In 1949 C. Shannon was publishing his classic theorem

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

where C is the bit transfer rate, W is the frequency band, S is the signal power, N is the noise power.

From Shannon theorem follows that the most appropriate data carrier is wideband noise-type signals.

In 1994 the Time Domain firm was taking out a patent for radio communication system on base similar signal. The wave form of the carrier in that system is the series of identical pulses modulated on delay period by noise-like code. On-off time ratio for that pulses have a large quantity.

In paper the alternative ultra wide band radio communication system is introduced. The wave form of the carrier in our system is series of identical pulses follows at all times and modulated on sign by noise-like code. On-off time ratio for our signals is around one.

In the first part of paper we consider patented device with electrical delay line correlator. In the second part we modify the engineering de-

velopment and combine into one the delay line correlator and antennas array. The combined antennas array correlator can be used in two ways as a receiver and as a transmitter.

Both part of considered ultra wide band system is enough simple and do not need in high technology. They have a possibility to work one with other since used the same type of carrier signals.

Оглавление

Самуэль Морзе	3
Гульельмо Маркони.....	9
Искра, дуга, машина, лампа	18
Хэди Ламар	22
Теорема Котельникова или теорема Найквиста?.....	27
Ричард Хемминг	33
Клод Шеннон.....	36
«Это было недавно, это было давно...»	40
Мое знакомство с «морзянкой» и радиоперехватом.....	43
Назад, в будущее	46
Случайный, псевдослучайный, шумоподобный	53
Сангвин.....	56
Веревки.....	60
Сверхширокополосная система связи с кодовой несущей.....	70

Копейкин В.В.

Коды и люди

Подписано в печать 30.03.2012 г.

Формат 60х84/16. Печ. л. 5.75

Тираж 200 экз. Заказ 6671.

Издательство «Трoвaнт»

ЛР 071961 от 01.09.1999 г.

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии издательства «Трoвaнт».

142191, г. Троицк Московской обл., м-н «В», д. 52.

Тел. (495) 775-43-35, (4967) 50-21-81

E-mail: trovant@trtk.ru, <http://www.trovant.ru/>