

Назначение каналов в системе цифровой сотовой связи стандарта IS-95 (CDMA) и принципы их формирования

А.А. Судаков

Новизна и сложность систем сотовой связи, основанных на принципе кодового разделения каналов (CDMA), требует некоторой систематизации их функций, особенно с учетом большого числа публикаций, выходящих в нашей стране за последние годы по этому вопросу. В данной статье рассматривается назначение и организация каналов в системе сотовой связи, основанной на технологии кодового разделения каналов.

Введение

Технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов (Code Division Multiple Access - CDMA) с каждым годом находят всё большее коммерческое применение в различных областях связанных с передачей информации, в том числе и в области сотовой связи.

Помимо систем сотовой связи, использующих обычное разделение абонентских каналов: частотное (FDMA) и временное (TDMA), все большую роль начинает играть система сотовой связи, основанная на принципе кодового разделения каналов (CDMA). В этой системе все абоненты работают в общей полосе частот Δf на одной несущей, а их разделение происходит за счёт использования разных кодовых последовательностей, назначаемых для каждого канала.

Развитие технологии CDMA обуславливается её определенными преимуществами перед технологиями FDMA и TDMA, а именно [1– 4, 6, 7]:

- более эффективное использование частотного ресурса;
- лучшая электромагнитная совместимость систем CDMA между собой и с узкополосными радиотехническими системами;
- высокая скрытность, помехозащищённость и криптостойкость канала связи;
- использование многолучевого распространения сигналов для улучшения качества связи.

Рассмотрим назначение каналов и принципы их формирования в системе сотовой связи основанной на технологии *синхронного* CDMA. Данная система связи была разработана фирмой Qualcomm в соответствии со стандартом IS-95 принятым в США в 1993г [3].

Назначение каналов

В любой системе сотовой связи можно выделить:

- прямой канал связи;
- обратный канал связи.

В прямом канале информация передаётся от базовой станции (БС) к абонентским станциям (рис.1). В обратном канале от абонентских станций (АС) к БС (рис.2).

Стандартом IS-95 предусмотрена работа всех абонентов прямого канала связи на одной несущей частоте, а абонентов обратного канала связи на другой частоте. Это приводит к уменьшению уровня взаимных помех между прямым и обратным каналом связи.

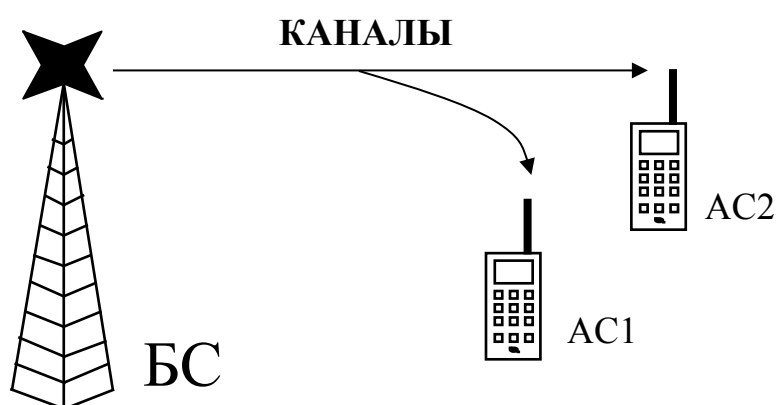


Рис. 1. Прямой канал связи

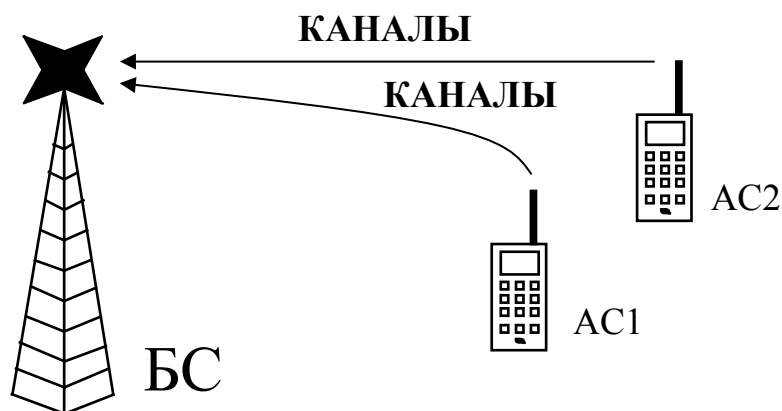


Рис. 2. Обратный канал связи

В прямом канале связи можно выделить три различных типа каналов (рис.3):

- системный (синхронизации);
- служебные (пейджинга, управления, персонального вызова);
- абонентские (прямого трафика),

каждый из которых предназначен для передачи различных типов информационных сообщений.

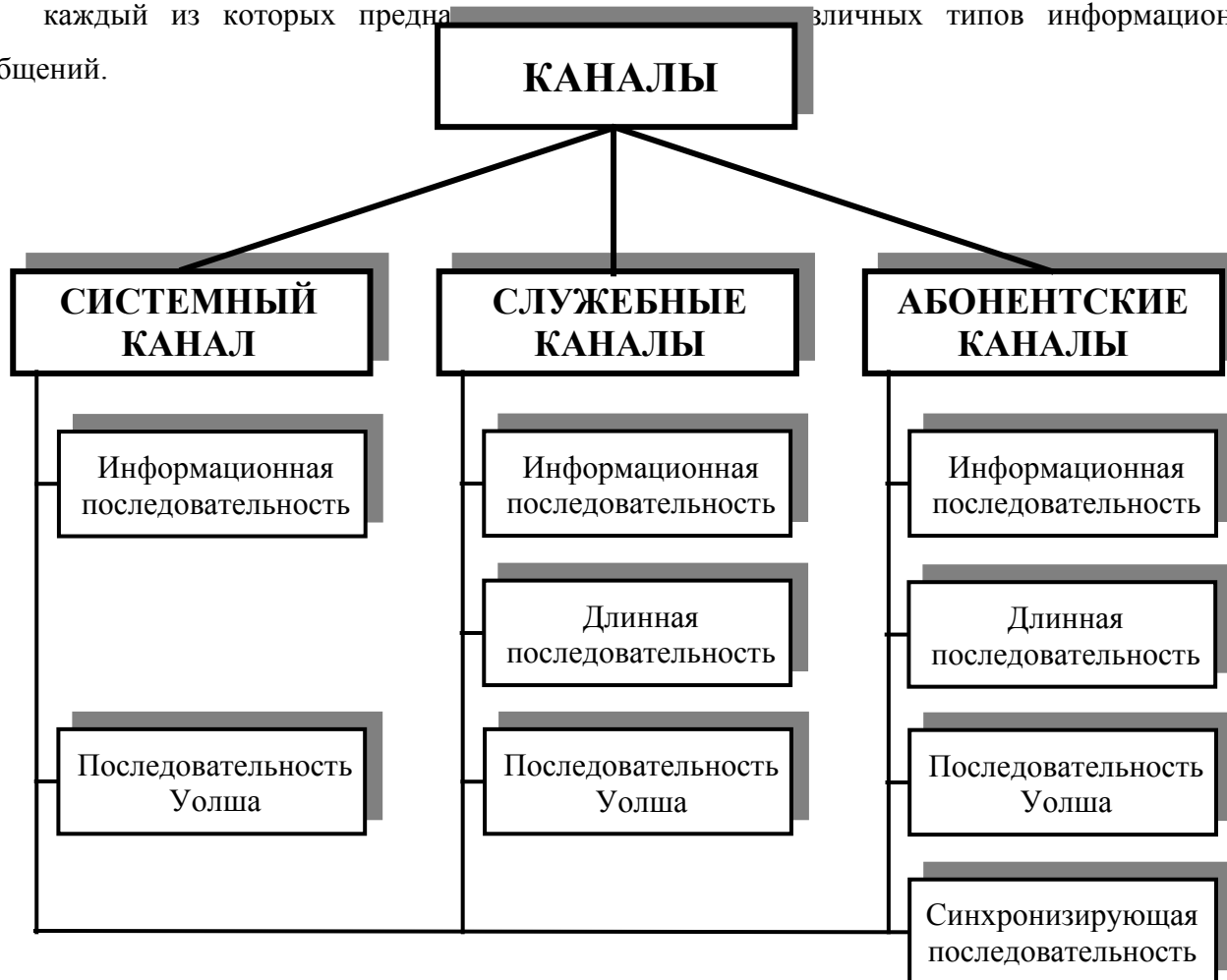


Рис. 3. Структура прямого канала связи

Системный канал у каждой БС один и предназначен он для передачи сообщений каждой АС на этапе вхождения в систему связи (при включении питания АС). На этом этапе АС получает информацию о внутреннем времени, в соответствии с которым работает система, чтобы обеспечить синхронность функционирования всех устройств формирования и обработки сигналов данной АС с аналогичными устройствами на БС и других АС.

По данному каналу передаются следующие сообщения:

- внутреннее время в системе;
 - мощность изучения синхронизирующей последовательности;
 - параметры данной БС;
 - параметры служебных каналов,
- и другие сообщения.

Число служебных каналов в БС может регулироваться в пределах от 1 до 7. Все служебные каналы поделены на временные интервалы (слоты), каждый из которых назначается конкретной АС. По ним АС получает команды управления и служебные сообщения от БС.

Таким образом, за каждой АС в данной соте закреплён один из служебных каналов и один из временных интервалов в нём. Период повторения нужных слотов может находиться в пределах 2...128 с. АС сканирует только нужные временные участки, отключаясь в перерывах между ними. Это позволяет обеспечить существенную экономию энергии источника питания [2] в таком режиме - режиме ожидания АС.

Сообщения по служебным каналам получают все АС, находящиеся в зоне обслуживания данной БС, их число может достигать несколько тысяч. Число служебных каналов и их временное деление вполне позволяет обслужить такое количество АС. К примеру, если информация каждой АС передаётся в течение слота равного 5 кадрам (один кадр 20 мс) и период повторения слотов 128 с, то по одному служебному каналу информацию может получать 1280 АС.

$$n_{\text{АБ_ИСК}} = \frac{128}{5 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 1280 \text{ абонентов}$$

По служебным каналам передаются следующие сообщения:

- подтверждения регистрации АС;
- сообщения на АС при входящем вызове;
- назначение абонентского канала, непосредственно для разговора;
- данные, позволяющие ускорить процесс передачи АС из соты в соту (например, параметры базовых станций соседних сот);
- сообщения о назначении АС другого служебного канала, слота;
- данные для блокировки АС в режиме сбоя, и другие сообщения.

Абонентские каналы предназначены для передачи речевых сообщений. Однако помимо речевой информации передаются также служебные сообщения следующего типа:

- информация обеспечения безопасности связи и аутентификации абонентов;
- команды регулирования мощности излучения АС.

Абонентский канал назначается базовой станцией непосредственно для разговора. В режиме разговора одна АС полностью использует один абонентский канал, здесь нет деления на временные участки, как в служебных каналах. Обычно на БС (сектор БС) приходится до 55 абонентских каналов. В случае же, когда БС обслуживает число абонентов близкое к предельному (55), для передачи речевой информации могут использоваться до 6 служебных каналов. В этом случае для передачи служебной информации может использоваться только один канал.

Одна БС может обслуживать несколько тысяч АС, но одновременно вести разговор могут, в данном случае, не более:

$n_{\text{АБ_1СЕК}} = 55 + 6 = 61$ абонента на один сектор антенны БС (на одну БС с круговой диаграммой направленности антенны).

Соответственно если антенна БС имеет три сектора, тогда:

$n_{\text{АБ_БС}} = 61 \cdot 3 = 183$ абонента на одну БС.

Практика показывает, что в реальных системах сотовой связи речь идёт о 25–45 абонентах, которые могут одновременно обслуживаться одной БС или одним сектором антенны БС.

Таким образом, прямой канал связи включает в себя:

- 1 системный канал;
- 7 служебных каналов;
- 55 абонентских каналов,

всего 63 канала, которые одновременно работают в общей полосе частот.

В обратном канале связи можно выделить два типа каналов (рис.4) передаваемых от каждой АС:

- служебный (доступа);
- абонентский (обратного трафика).

Служебный канал предназначен для передачи служебных сообщений от АС на БС и используется АС для связи с БС пока ей не выделен абонентский канал [2]. Сообщения могут быть следующего типа:

- запрос о регистрации АС в сети;
- сообщение при выходящем вызове, и другие сообщения.

Абонентский канал предназначен для передачи речевых сообщений и служебных сообщений некоторых типов, например сообщения управления вызовом.

Принципы формирования каналов

Прямой канал связи

Служебные и абонентские каналы имеют одинаковую структуру и образуются сложением “по модулю два” четырёх видов последовательностей:

- информационная последовательность (ИП);
- длинная последовательность (ДП);
- последовательность Уолша (ПУ);

□ синхронизирующая последовательность (СП)

В системном канале ДП не при



Рис. 4. Структура обратного канала связи

Информационная последовательность предназначена для передачи полезной информации (служебных и речевых сообщений) абонентским станциям.

Длинная последовательность предназначена для скремблирования ИП. При скремблировании ИП для каждой АС используется своя длинная последовательность. ДП представляет собой M – последовательность, большой длины с большим периодом повторения. Это необходимо для создания условий, при которых в случае несанкционированного перехвата информации трудно было бы определить структуру ДП и соответственно выделить ИП.

При длине $N_{\text{ДП}} = 2^{42} - 1 \approx 4.4 \cdot 10^{12}$ элемента и частоте синхронизации в сети $f_T = 1.2288$ МГц, период повторения ДП составляет:

$$T_{\text{ДП}} = \frac{N_{\text{ДП}}}{f_T} = \frac{2^{42} - 1}{1.2288 \cdot 10^6} \approx 41.45 \text{ сутки}$$

Все 63 прямых канала связи одновременно используют общую полосу частот. Для их различения на приёмной стороне используют последовательности Уолша. Таким образом, основное назначение этих последовательностей:

- разделение каналов;
- расширение спектра информационной последовательности.

В рассматриваемой системе связи используется ансамбль ПУ 64-го порядка, то есть имеется 64 ПУ длиной $N_{ПУ} = 64$ элементарных символа каждая.

За системным каналом постоянно закреплена меандровая последовательность Уолша – W_1 (при упорядочивании последовательностей по Адамару [5]).

За каждым из служебных каналов постоянно закреплена одна из последовательностей $W_2–W_8$. Остальные 55 последовательностей $W_9–W_{63}$, определяют номер абонентского канала.

Имеется также единичная ПУ – W_0 .

Рассмотрим процесс формирования сигнала в системном канале. Информационный поток следует непрерывно и состоит из чередующихся единиц и нулей. *Одному* информационному символу ставится в соответствие ПУ длиной 64 элементарных символа (её *период*). Если следует информационный ноль, то вместо него передаётся W_1 , если следует информационная единица, то передаётся инверсная W_1 .

На этом этапе происходит расширение спектра ИП, поскольку на информационный поток накладывается поток из элементарных символов ПУ следующих со скоростью большей в 64 раза.

Применение ПУ для кодового разделения каналов связано с тем, что эти последовательности при отсутствии относительных временных смещений обладают свойством ортогональности. Это означает, что при работе канала на любой из 63 последовательностей помехи в этом канале от остальных 62 последовательностей будут полностью отсутствовать. Следует подчеркнуть, что условием для этого является *синхронизация* работы всех АС и БС в сети.

Под синхронизацией здесь понимается:

- единая тактовая частота в системе;
- формирование каждой из последовательностей в строго определённые моменты времени.

Как в системе обеспечить синхронизацию? Для синхронизации работы АС можно ввести некую дополнительную последовательность и излучать её *одновременно (синхронно)* с другими последовательностями. Затем отдельно обрабатывать её в приёмниках АС и по ней подстраивать тактовые частоты каждой АС. Такой последовательностью в системе CDMA является синхронизирующая последовательность.

Второе условие, заключающееся в формировании каждой из последовательностей в строго определённые моменты времени, выполняется следующим образом - здесь имеется своё

внутреннее время, в соответствии с которым работает система. Информацию о нём АС получают по системному каналу на начальном этапе вхождения в сеть.

Синхронизация работы базовых станций осуществляется по каналам беспроводной связи с помощью спутниковой навигационной системы GPS [2].

СП представляет собой короткую M – последовательность, имеющую небольшой период повторения, для быстрого её обнаружения. В данной системе она имеет длину $N_{СП} = 2^{15} - 1 \approx 32767$ элемента, а период её повторения составляет:

$$T_{СП} = \frac{N_{СП}}{f_T} = \frac{2^{15} - 1}{1.2288 \cdot 10^6} \approx 26.67 \text{ мс}$$

Во всех БС системы используется одна и та же СП, но с разным циклическим сдвигом относительно какого-то нулевого сдвига. Это позволяет АС различать сигналы БС и настраиваться на работу с конкретной БС. Информацию о нулевом сдвиге – о внутреннем времени в системе АС получает, как было отмечено, по системному каналу.

СП в каждой БС может иметь циклический сдвиг не менее чем $2^6 = 64$ элемента. Определим число БС, которые может различать АС:

$$n_{БС} = \text{int}\left(\frac{N_{СП}}{2^6}\right) = \text{int}\left(\frac{2^{15} - 1}{2^6}\right) = 511 \text{ базовых станций}$$

Таким образом, имеется возможность различать до 511 БС. Это означает, что АС может различать сигналы разных БС даже в районах с микросотовой структурой (при радиусе соты десятки – сотни метров). Двум БС может быть присвоена СП с одним и тем же циклическим сдвигом, но необходимо, чтобы они не находились одновременно в зоне радиовидимости одной АС [2].

Использование сдвига СП позволяет каждой БС применять один и тот же ансамбль ПУ для разделения каналов. При этом необходимо отметить, что полезный сигнал данной БС, использующей одни и те же ПУ, будет являться помехой для сигналов АС в соседних сотах, но он будет ослаблен как минимум в 64 раза из-за временного смещения СП на 64 элементарных символа [7].

Обратный канал связи

В каждом из абонентских и служебных каналов используются те же последовательности, что и в соответствующих прямых каналах связи (рис.4). Однако функции, выполняемые некоторыми последовательностями, различаются.

Информационная последовательность предназначена для передачи информации.

Последовательности Уолша служат для помехоустойчивого кодирования ИП (более подробно см. [2, 8]).

Длинная последовательность предназначена для:

- разделения каналов (и одновременно для скремблирования ИП);
- расширения спектра информационной последовательности до рабочей полосы частот Δf .

Рассмотрим процесс формирования сигнала в служебном канале.

Здесь *одному* информационному символу ставится в соответствие 256 элементарных символов ДП (её *сегмент*). Если следует информационный ноль, то вместо него передаются 256 символов ДП, если за ним следует информационная единица, то вместо неё передаются инвертированные следующие 256 символов ДП.

Сигналы, поступающие на БС от всех АС, не являются ортогональными потому, что М – последовательности не являются ортогональными функциями. Уровень помех от соседних каналов будет определяться величиной боковых лепестков взаимокорреляционных функций сегментов М – последовательностей. Под соседними каналами, в данном случае, понимаются каналы, на которых в данный момент ведётся передача.

Таким образом, в обратном канале связи для разделения каналов от разных АС используется длинная последовательность. За каждой АС (а их в системе связи может быть сотни тысяч) закреплён свой кодовый канал определяемый ДП, которая не может повторяться у другой АС.

Уточним: в системе связи используется всего одна ДП, а каждой АС присвоен индивидуальный сдвиг этой последовательности относительно какого-то нулевого сдвига, который однозначно определяет её канал в системе сотовой связи. БС различает АС по сдвигу их ДП. Здесь имеется аналогия с прямым каналом связи, когда АС различает сигналы базовых станций по сдвигу СП.

Сдвиг ДП, которым идентифицируется каждая АС, может осуществляться на величину $2^{15}-1 = 32767$, то есть на величину, равную длине СП. При этом общее количество АС обслуживаемых данной системой связи оказывается равным:

$$n_{\text{АБ}} = \text{int}\left(\frac{N_{\text{ДП}}}{2^{15}}\right) = \text{int}\left(\frac{2^{42} - 1}{2^{15}}\right) = 2^{27} \approx 134.2 \cdot 10^6 \text{ абонентов}$$

Синхронизирующая последовательность в обратном канале необходима для того, чтобы сигналы от разных АС поступали на БС одновременно для их синхронной обработки. В этом случае кодовое разделение каналов, осуществляемое за счёт использования длинной последовательности, будет реализовано при минимальном уровне помех от соседних каналов, на которых работают другие АС.

Рассмотрим процесс более подробно. АС могут находиться в пределах соты на разном расстоянии от БС, соответственно от ближайших АС сигнал будет приходить раньше. При помощи СП можно выравнять по времени сигналы, поступающие на БС от абонентских станций. Это может происходить следующим образом: СП излучается базовой станцией,

принимается АС, переизлучается ею и принимается приёмником БС. При этом период излучаемой СП ещё не закончился. Далее фиксируется время от момента приёма переизлучённой СП (абонентской станцией) до конца излучения сигнала (базовой станцией). Таким образом, вычисляется время распространения СП и посылается команда АС на подстройку переизлучённой СП, а вместе с ней и всех излучаемых сигналов.

Отсюда вытекает ещё одно условие для формирования СП: её период $T_{СП} = 26.67$ мс должен быть во много раз больше максимального времени распространения t сигнала от БС к АС и обратно (когда АС находится на границе самой большой соты в системе). При радиусе соты $R_0 = 25$ км это условие выполняется:

$$t = 2 \cdot \frac{R_0}{C} = 2 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8} = 0.166 \text{ мс} \ll T_{СП} = 26.67 \text{ мс}$$

Действия, выполняемые АС при включении питания

Теперь, когда определена роль всех каналов системы, рассмотрим действия, которые выполняет АС при включении питания.

Сначала АС производит процедуру обнаружения СП. После обнаружения, она получила *когерентную опору* для дальнейшей обработки информации – этап первичной синхронизации.

В соответствии с параметрами обнаруженной СП АС подстраивает параметры опорных последовательностей, необходимых для корреляционной обработки сигналов всех каналов. АС постоянно отслеживает параметры СП и производит соответствующую подстройку опорных последовательностей.

Далее АС начинает сканировать системный канал для получения конкретной информации о параметрах системы связи – происходит этап вторичной синхронизации. На этом этапе АС получает временную привязку к системе.

После принятия и обработки АС этой информации процессы синхронизации завершаются.

Затем АС настраивается на один из служебных каналов, где получает информацию о свободных слотах данного канала, передаваемую специальным образом. Настроившись на свободный временной участок, АС закрепляет его за собой и, таким образом, получает доступ к информации, предназначенной непосредственно для её работы в сети.

При необходимости войти в связь с абонентом, отправляется запрос на БС по обратному служебному каналу. После получения ответа от БС по прямому служебному каналу о назначении абонентского канала (происходит назначение одной из ПУ) АС переходит в режим разговора на выделенном канале.

После получения базовой станцией сообщения об окончании разговора она может переназначить этот абонентский канал другой АС, если от той поступил соответствующий запрос.

Заключение

В результате рассмотрения данного вопроса необходимо отметить некоторые недостатки системы:

- структура устройств формирования и обработки сигналов усложняется при использовании множества каналов различного назначения и большого числа различных последовательностей;
- различный принцип формирования сигнала в прямом и обратном каналах. В данном случае обратный канал потенциально имеет ёмкость меньшую, чем можно достигнуть в прямом канале, из-за применения не ортогональных M – последовательностей для разделения каналов.

Эти недостатки относятся к конкретной реализации системы связи с кодовым разделением каналов. В целом же такая организация системы синхронного CDMA, несомненно, даёт выигрыш по многим показателям, упомянутым вначале работы, по сравнению с обычными системами связи с FDMA и TDMA.

Улучшение характеристик системы будет определяться многими факторами: использованием новых последовательностей с улучшенными автокорреляционными и взаимокорреляционными характеристиками, усовершенствованием структуры системы и так далее...

Список литературы

1. Андреев А.М. CDMA без тайн. // Технологии и средства связи. – 1998, №4. – с.54-57.
2. Бабков В.Ю., Вознюк М.А. и др. Системы связи с кодовым разделением каналов. – СПб.: СПбГУТ, 1999. – 256с.
3. Безруков А.В. Преимущества и основные параметры цифровых сотовых систем связи стандарта IS-95 (CDMA). // Электросвязь. – 1999, № 12. – с.20-22.
4. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384с.
5. Гоноровский И.С., Дёмин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 512с.
6. Демидов В.М., Пузинков С.А., Макаров Н.В. Стандарт сотовой связи CDMA. // Вестник связи. – 1997, №7. – с.50-53; №8. – с.49-51.
7. Смирнов Н.И., Георгадзе С.Ф. Синхронное кодовое разделение абонентских станций: перспективное поколение персональных систем связи. // Технологии и средства связи. – 1998, №4. – с.58-62.
8. Смирнов Н.И., Иванчук Н.А., Георгадзе С.Ф. Достоинства низкоорбитальных спутниковых систем передачи информации с синхронным кодовым разделением каналов типа GlobalStar. // Электросвязь. – 1997, №2. – с.20-24; №3. – с. 29-34.
9. cdmaOne – <http://www.cdg.org/> (07.07.2000)