

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.396.49

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КООПЕРАТИВНОЙ РЕТРАНСЛЯЦИИ В МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Е. М. Шантуров

В статье рассматривается применение технологии кооперации в подвижной радиосвязи. Приводятся различные варианты дуплексной связи с применением кооперативной ретрансляции. Проводится анализ восходящих и нисходящих каналов мобильной связи. В работе показаны различные режимы работы сотрудничающих мобильных терминалов.

**Ключевые слова:** кооперация, мобильная связь, радиоканал, ретрансляция, дуплексная связь.

Технология кооперативной ретрансляция является методом передачи данных, при котором используются различные алгоритмы обработки сигналов в кооперативном узле (ретрансляторе). После обработки сигналы передаются на следующий ретранслятор или на оконечное устройство линии связи. С данной технологией возникает важный вопрос, какой будет использоваться метод дуплексной связи.

Введение кооперативной ретрансляции усложняет процедуру дуплексной связи, главным образом потому, что в основе термина лежит понимание, что только два устройства взаимодействуют друг с другом. Использование полного дуплекса ретрансляции произойдет, если кооператор может принимать и ретранслировать в той же полосе частот одновременно. Теоретически такое взаимодействие между мобильными терминалами возможно. Когда приходит один сигнал и передается другой на одной частоте с уровнем мощности больше принимаемого, то в результате получается завязка с обратной связью и вносятся помехи, поэтому в такие случаи необходимо ставить эхо-подавитель. Полудуплексная ретрансляция приме-

няется, если кооперативный пользователь может взаимодействовать только в той же полосе частот отдельно по времени или одновременно, но на разных частотах. Эти концептуальные отличия от идеи дуплексного взаимодействия применяются в связи с тем, что они не имеют никакого понятия одновременности.

По аналогии с практическими реализациями дуплексных принципов на уровне линии связи используются такие и в кооператоре [1].

1. *Ретрансляция с временным разделением (РВР)*. Входящие и исходящие потоки информации в кооперативном терминале разделены во времени, то есть выделяются разные временные слоты и, следовательно, реализуется полудуплексная ретрансляция. Входящие и исходящие потоки, как правило, передаются в одной полосе частот. Этого достаточно для обработки информационного потока на слот. Следовательно, метод РВР является распространенным среди регенеративных способов передачи данных. Следует отметить, что временные интервалы приема и передачи не обязательно должны быть одинаковой длины. Например, если канал от источника к кооператору хуже, чем от кооператора к базовой станции (БС), то метод декодирование-и-передача (ДП) может использовать более высокий порядок модуляции во втором хопе и таким образом передать пакет в более короткий срок. Кроме того, как правило, будет небольшой временной промежуток между кадром получения и передачи данных, который приходится на за-

---

© Шантуров Е. М., 2015.

Шантуров Евгений Михайлович

(shanturov-EM@yandex.ru),

аспирант факультета телекоммуникаций  
и радиотехники

Поволжского государственного университета  
телекоммуникаций и информатики,

443010, Россия, г. Самара, ул. Льва Толстого, 23.

держки обработки пакетов и переключение радиоприемника с приема на передачу.

2. *Ретрансляция с частотным разделением (РЧР)*. Здесь прием и передача потока происходит в различных частотных диапазонах, что реализует полудуплексную ретрансляцию. Входящие и исходящие потоки, как правило, но не обязательно запланированы в одно и то же время. РЧР применима как к регенеративной ретрансляции, так и к прозрачной ретрансляции. Однако входящие и передающие полосы частот и длительность пакетов не обязательно должны быть одного размера.

3. *Ретрансляция с независимым разделением (РНР)*. Данный метод обычно называется дуплексной ретрансляцией. Прием и передача ретрансляционного потока произойдет в одно и то же время, используя ту же полосу частот. Этот метод в настоящее время используется в контексте простых ретрансляторов в сотовых системах, чтобы обеспечить достаточный охват, где они упоминаются как частотные репитеры. Представленный метод также используется в контексте более сложных ретрансляторов, способных подавить помехи, где они упоминаются как репитеры с системой подавления помех. Наконец, системы широко вещания, которые называют канальными репитерами, также используют данный подход. Так как в настоящее время доступны технологии, пространственно-разносящие приемные и передающие антенны, этот метод должен быть отнесен к ретрансляции в качестве пространственного разнесения. Однако такой подход явно не подходит для небольших кооперативных мобильных терминалов. Например, установка эхо-подавителя или пространственно разнесенных антенн с более сложным приемопередатчиком приведет к существенному техническому усложнению мобильного терминала, за чем неизбежно последует увеличение его размера, стоимости и энергопотребления.

РНР, таким образом, спектрально эффективна, но очень требовательна с технологической точки зрения. С другой стороны, РВР и РЧР требуют введения дополнительного временного интервала и дополнительной полосы частот, в результате чего, соответственно, уменьшается спектральная эффективность кооперативной системы. Спектральная эффективность уменьшается еще больше с увеличе-

нием числа кооператоров. Однако, как представляется, потеря в спектральной эффективности может компенсироваться за счет плотного взаимного сотрудничества [1].

Что касается технологии передачи данных, стоит взять во внимание тот факт, что в мобильных системах LTE (Long-Term Evolution – долговременное развитие) и LTE-Advanced мобильные терминалы используют разные технологии передачи данных в нисходящем и восходящем каналах. Нисходящий канал от БС к мобильным терминалам реализуется при помощи метода множественного доступа с ортогональным частотным разделением каналов (OFDMA), в основе которого лежит принцип распределения по поднесущим информационного потока в определенные промежутки времени. Данный метод позволяет закреплять отдельные поднесущие за разными пользователями. Это облегчает обслуживание многих абонентов, работающих с низкими скоростями, а также позволяет использовать частотные скачки для смягчения эффектов узкополосного многолучевого распространения. Важным сдерживающим фактором применения OFDMA в мобильных системах для восходящих каналов были присущие этой технологии сигналы с высоким отношением пикового значения к среднему (PAR), которые порождаются параллельной передачей нескольких сотен близко расположенных поднесущих. Для мобильных устройств сигналы с большим PAR создают целый ряд проблем, связанных с конструкцией усилителя мощности и потреблением энергии от батарей. Именно поэтому проект 3rd Generation Partnership Project (3GPP) остановился на новой схеме передачи SC-FDMA.

SC-FDMA (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access) представляет собой гибридную схему передачи, которая сочетает низкие значения PAR, присущие системам с одной несущей, таким как GSM (Global System for Mobile Communications) и CDMA (Code Division Multiple Access), с большой длительностью символа и гибким распределением частот OFDM. Принципы генерации сигнала SC-FDMA показаны на рис. 1, который является фрагментом одного из рисунков отчета 3GPP об исследовании физического уровня LTE [2].

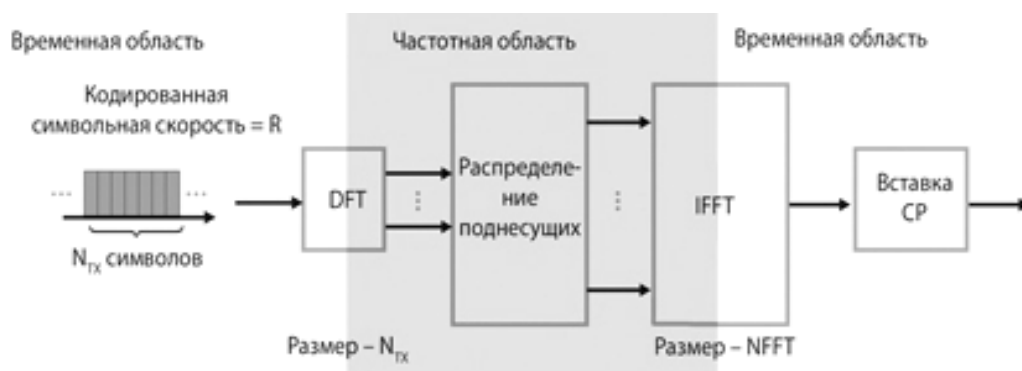


Рис. 1. Генерация сигнала SC-FDMA [2]

В левой части рис. 1 символы данных представлены во временной области. Символы преобразуются в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье и затем в частотной области они распределяются в нужные места общего спектра несущей. Затем их требуется снова преобразовать во временную область, чтобы перед передачей добавить к ним циклический префикс. Альтернативное название технологии SC-FDMA – распределенная OFDM с дискретным преобразованием Фурье (DFT-SOFDM) [2]. Следовательно, технология SC-FDMA является более предпочтительной по сравнению с OFDMA для мобильных устройств в качестве технологии передачи данных между мобильными терминалами, так как мобильные терминалы должны быть способны не только передавать, но также принимать и обрабатывать полученные данные, используя SC-FDMA.

Рассмотрим схему ретрансляции, когда абонент находится на краю соты и получает услуги связи. При попадании пользователя в затененную зону связь с БС теряется. В такой момент времени подбирается кооперативный пользователь, у которого мобильный аппарат поддерживает технологию кооперации, не загружен и имеет достаточный уровень заряда батареи. Кооперативный пользователь должен иметь качественный канал между терминалом партнера и БС (рис. 2). Не вдаваясь в подробности взаимодействий между элементами сети на верхних уровнях, пользователю назначается кооперативный партнер, через которого будет осуществляться связь.

Стоит отметить, что для осуществления кооперации необходимо технологическое усовершенствование как терминалов пользователей, так и элементов сети. Кооперативный пользователь, общаясь с БС, будет взаимодействовать с терминалом партнера на других закрепленных частотах. Для наименьшей генерации дополнительных помех в соте при ретрансляции взаимодействия между пользовательскими терминалами должны происходить с ограничением по мощности, при которой сигнал будет распространяться предположительно не дальше половины радиуса соты. Связь получается полудуплексной по времени. Основные решения по выбору кооператора, частот взаимодействия и выбора алгоритма кооперации принимает БС.

В представленном алгоритме (рис. 3 а) может быть использован метод прозрачной ретрансляции «усиление-и-передача», где присутствует минимальная временная задержка при передаче сигнала в ретрансляторе. Направленная вверх стрелка указывает на момент передачи сигнала, вниз – на момент времени приема сигнала. В каждый временной интервал передача сигнала будет происходить в одном направлении через кооператора. Так, конечный пользователь будет передавать свои данные, а БС принимать их, в следующий интервал времени, возможно, наоборот.

Во втором алгоритме может применяться регенеративная ретрансляция с использованием технологии «декодирование-и-передача». Здесь (рис. 3 б) кооператор будет взаимодействовать с БС и конечным пользователем по очереди в разные интервалы времени. В клетках обозначена информация, которая передается в каждый временной интервал. Представленные методы могут применяться для расширения зоны покрытия радиосети и для дополнительного мультиплексирования.

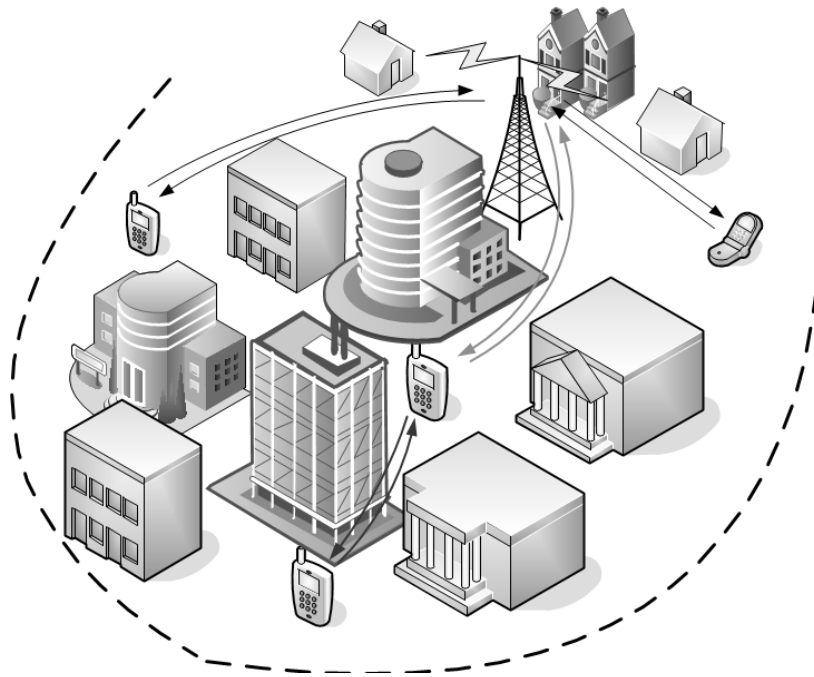


Рис. 2. Ситуация применения ретрансляции в мобильной связи

Временные интервалы		1	2	3
Кооперативный пользователь	Передача	[Signal waveform]		
	Прием	[Signal waveform]		
Восходящие и нисходящие каналы	Источник	[Directional arrows]		
	БС	[Directional arrows]		

а

Временные интервалы		1	2	3	4	5	6
Кооперативный пользователь	Передача	Кооператор	Ист. 1	Ист. 2	БС 1	Ист. 3	БС 2
	Прием	Ист. 1	Ист. 2	БС 1	Ист. 3	БС 2	Ист. 4
Источник	Передача	Ист. 1	Ист. 2		Ист. 3		Ист. 4
	Прием				БС 1		БС 2
БС	Передача			БС 1		БС 2	
	Прием	Кооператор	Ист. 1	Ист. 2		Ист. 3	

б

Рис. 3. Последовательность взаимодействий между узлами:

а – с использованием технологии «усиление-и-передача»;  
 б – с использованием технологии «декодирование-и-передача»

При необходимости кооперативный пользователь вместе со своими данными может передавать данные источника. Такой подход даст необходимую гарантию доставки данных (рис. 4).

В качестве метода ретрансляции может быть использован режим «сбор-и-передача»,

когда кооперативный пользователь собирает данные принятые от источника, далее добавляет свои данные и передает все к БС. Кооператор может обладать буфером накопления данных партнера источника. Другими словами, кооперативный пользователь будет прослушивать сигналы источника и записы-

вать их в буфер. При ошибках в передаче данных между источником и БС, БС обращается к кооператору, чтобы тот выслал биты партнера. Эффективность сотрудничества в масштабе системы связи очевидна. Однако индивидуальному пользователю такие взаимодействия могут показаться не выгодными.

Абоненты сами выбирают режим работы в сети. М. Дохлер (Mischa Dohler) и Ю. Ли (Yonghui Li) [1] приводят классификацию режимов работы узлов. Мобильные терминалы, которые передают или сотрудничают, играют главную роль в кооперативных сетях (рис. 5). Они оказывают глубокое воздействие на производительность системы в целом.

1. *Эгоистичный режим работы* (без помощи). Это наиболее типичный режим узла, его легко найти в современных системах

беспроводной связи. Здесь каждый узел взаимодействует с базовой станцией отдельно, даже если работает в режиме ожидания или если он не имеет собственного трафика для передачи, он не поможет другому узлу, который нуждается в помощи.

2. *Поддерживающий режим работы* (однонаправленная помощь). Такое поведение хорошо известно в беспроводной самоорганизующейся сети, где данные передаются от источника к адресату через ретранслятор (ы), который не имеет собственных данных для передачи.

3. *Кооперативный режим работы* (взаимопомощь). Истинно кооперативный режим показывает, как узлы взаимно помогают друг другу, то есть все заинтересованные узлы имеют данные для передачи, взаимно пытаются получить их и успешно доставить.

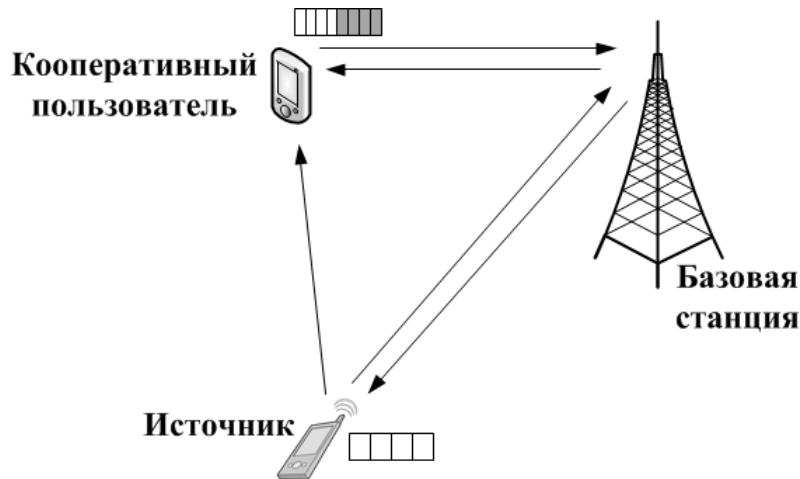


Рис. 4. Схема кооперации с использованием технологии «сбор-и-передача»

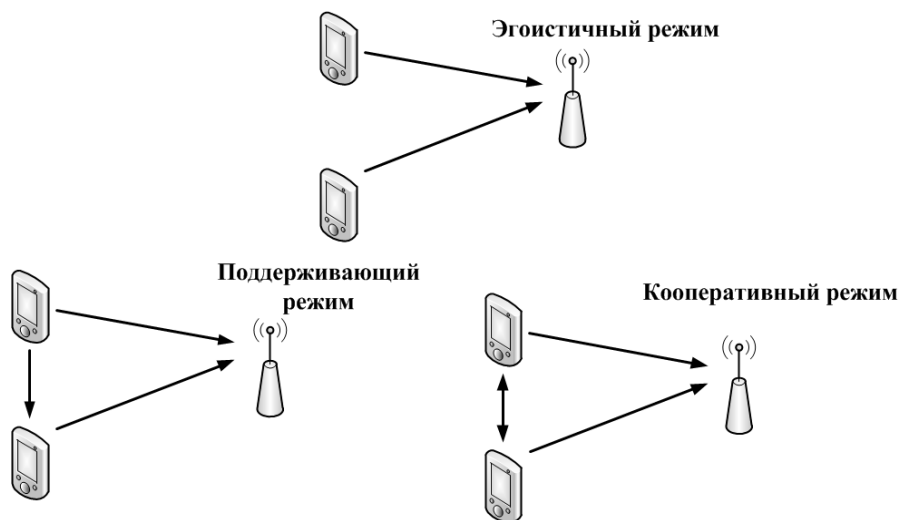


Рис. 5. Режимы работы терминалов в системе с кооперацией [1]

В интересах оператора связи находится факт сотрудничества друг с другом мобильных пользователей. Если узел отказывается от сотрудничества, данный режим будет невыгодным для кооперации. Для стимулирования выбора кооперации выгод от сотрудничества должно быть как можно больше по сравнению с эксплуатацией других режимов. Сотрудничать ли или нет, пользователь должен оценить сам. Как представляется, пользователям должны предоставляться более выгодные предложения, поощряющие выбор кооперации. Например, при выборе кооперации абоненту могли бы начисляться бонусные единицы, которые он может потратить на дополнительные услуги, опции.

Как предполагается, путем технических усложнений в устройствах мобильной связи

возможна реализация кооперативной ретрансляции, которая в свою очередь может улучшить некоторые параметры системы радиодоступа подвижной радиосвязи. Должны быть продуманы методы привлечения мобильных пользователей к сотрудничеству. Технологии кооперации в подвижной радиосвязи имеют большой потенциал, что подтверждается ее гибкостью настроек при внедрении.

### Литература

1. Dohler M., Li Y. Cooperative communications: hardware, channel and phy. Wiley & Sons, 2010. 464 p.

2. Витакре Я. FDMA с одной несущей – новый восходящий канал LTE // Электронные компоненты. 2009. № 2. С. 44–49.

## FEATURES OF COOPERATIVE RELAY TECHNOLOGY IN MOBILE COMMUNICATION

E. M. Shanturov

The article discusses the use of technology cooperation in mobile communication. The various options for duplex communication with cooperative relaying. The analysis of the uplink and downlink channels of mobile communication. The paper shows the different modes of the cooperating mobile terminals.

**Key words:** cooperation, mobile communication, radio channel, relaying, duplex communication.

*Статья поступила в редакцию 12.06.2015 г.*