

Метод автоматического запроса повторной передачи с применением технологии кооперации

Е.М. Шантуров

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

В работе рассматриваются методы помехоустойчивой передачи. Проанализирован алгоритм применения технологии кооперации с методом автоматического запроса повторной передачи в системах подвижной радиосвязи. Произведен расчет эффективности применения технологии кооперации.

Ключевые слова: подвижная радиосвязь, ARQ, кооперация, ретрансляция, помехоустойчивость.

В связи с тем что беспроводная связь в высокой степени подвержена помехам, механизмы борьбы с ними являются важным направлением научного поиска. В основном контроль ошибок, связанных с помехами, достигается посредством следующих подходов: автоматический запрос повторной передачи (Automatic repeat request (ARQ)) и прямая коррекция ошибок (Forward error correction (FEC)).

В системах с ARQ, перед передачей, информация разделяется на сообщения, к которым добавляются биты контроля четности, чтобы сформировать кодовую последовательность, которую затем передают по каналу радиосвязи. В приемнике код используется для идентификации ошибок в принятых битовых последовательностях. Если приемник не обнаруживает ошибки, то полученные сообщения, свободные от ошибок, доставляются пользователю. Если приемник обнаруживает ошибку, он отказывается от получения кодовой комбинации с ошибкой и посылает запрос о повторной передаче через канал обратной связи. ARQ – очень надежный, простой и хорошо понятный механизм. Его основной недостаток состоит в том, что пропускная способность не является постоянной, потому что она зависит от числа необходимых передач, чтобы принять правильную кодовую комбинацию. Из-за этих характеристик ARQ стал очень популярным в системах передачи данных, где сохранение постоянной пропускной способности не является основным требованием.

В системах прямого исправления ошибок (FEC) используется код, чтобы обнаружить при-

сутствие ошибочных битов в полученных данных и исправить их, если это возможно. Приемник использует код, чтобы определить точное местоположение ошибок и затем исправить их, предоставляя правильную информацию пользователю. Тем не менее, если не используются очень длинные мощные коды, существует вероятность того, что процесс коррекции не будет выполнен. Прямое исправление ошибок соответствует системам связи, где каналы обратной связи недоступны или повторная передача невозможна.

Недостатки ARQ и метода прямого исправления ошибок могут быть преодолены при использовании кооперативной ARQ-схемы (C-ARQ). Мы предполагаем, что есть ряд узлов, которые мы называем кооператорами. Для последних условия передачи особенно благоприятны в направлении к конечному пользователю, вероятно, потому что они находятся рядом с оконечным приемником и также желают сотрудничать с ним. Источник передает данные к приемнику. Мы предполагаем, что узлы кооперации могут идентифицировать это даже в присутствии ошибок передачи. После получения кадра данных каждый узел проверяет правильность принятых данных, используя, например, циклический избыточный код. Если оконечный узел находит, что кадр перенес ошибки, он посылает сообщение своим кооператорам, прося повторную передачу их копий кадра. Если у любого из его партнеров будет правильный кадр, то кооперативный пользователь повторно передаст пакет данных. Поскольку мы предполагаем, что у узлов кооперации более качественный канал

передачи к окончательному пользователю, чем у источника передачи, кооператор с правильной копией кадра продолжит повторно передавать пакет, пока он не будет получен приемником без ошибок. Если не будет правильных копий данных, то пользователь попросит повторную передачу пакета от узла источника передачи.

Мы исходим из того, что кооператоры находятся вблизи от приемника. Однако возможен случай, в котором они близки к источнику передачи, т. е. получают информационный пакет без ошибок. Также возможны промежуточные ситуации месторасположения кооператоров. В статье не рассматриваются алгоритм определения кооперативных узлов и взаимодействия между узлами на высших логических уровнях [1].

Рассмотрим **ARQ схему с кооперацией**, в которой конечный пользователь находится удаленно от базовой станции (БС), а кооперативный пользователь расположился приблизительно между двумя узлами, рис. 1.

А и В – мобильные пользователи (МП), передающие данные к БС (С). Предположим, В ближе к С, чем А. Следовательно, В может помочь А в повышении скорости передачи данных. Управление, назначение слотов выполняет БС слот за слотом без какого либо конкурирования. Сообщения управления включают подтверждение предыдущего пакета, и, следовательно, канал БС–МП свободен от ошибок. В обычном некооперативном протоколе А и В используют их слоты только для передачи своих данных.

В кооперативном протоколе узел А использует слоты только для передачи своих данных, но В использует свои слоты как для своих данных, так и для пакетов, переданных А, но не принятых БС. Предполагаем, что В не «эгоистичный» МП и участвует в кооперации всегда, когда это возможно, если он получает слот и если он принимает пакет от А, не принятый БС, он тогда отправляет пакет А, а не свой собственный пакет [2].

В качестве примера модели **Н-ARQ (гибридного автоматического запроса повторной передачи)** с кооперацией рассмотрим метод передачи с комбинированием по Чейзу [3]. Данный метод на передающей стороне подобен методу ARQ, т. е. просто повторяет передачу некорректно принятого пакета. На приемной стороне пакеты различаются. Следовательно, когда пакет передается от А, узел С может использовать предыдущие пакеты на приеме, в то время как узел В рабо-

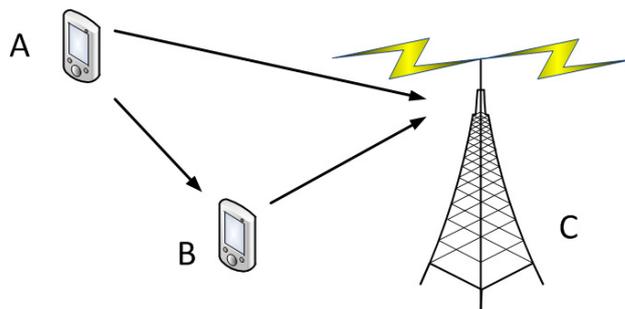


Рис. 1. Метод передачи C-ARQ

тает только с текущим пакетом, если он имеет простой приемник. В представленной схеме используется блочный релейский канал между последовательными пакетами, замиряния некоррелированные.

Частота появления пакета с ошибками (PER) и модель канала PER для простого ARQ – это функция мгновенной величины SNR:

$$f(\gamma) = \begin{cases} 1 & \text{если } 0 < \gamma < \gamma_M, \\ a \exp(-g\gamma) & \text{если } \gamma \geq \gamma_M, \end{cases} \quad (1)$$

где a и g – параметры, которые определяются численно в соответствии с методами модуляции и кодирования; $\gamma_M = \ln(a) / g$ – с целью обеспечения непрерывности $f(\gamma)$ для $\gamma = \gamma_M$. Эквивалентная запись $f(\gamma) = \exp(-g / (\gamma - \gamma_M))$ для $\gamma \geq \gamma_M$.

Полагаем, γ_k – это SNR на k -й передаче пакета. При простом ARQ **каждый пакет декодируется независимо от предыдущих** и $f(\gamma_k)$ – вероятность ошибочного пакета на k -й передаче.

В нашей ситуации при H-ARQ с кооперацией используется комбинирование по Чейзу. В случае передачи с ошибками повторно передается тот же самый пакет в той же схеме модуляции и кодирования. Приемник комбинирует все идентичные принятые пакеты, и тогда вероятность ошибки на k -й передаче $f(\gamma_{G,k})$ с $\gamma_{G,k} = \sum_{i=1}^k \gamma_i$.

Число максимальных передач i , следовательно, время задержки сообщений в канале ограничено k_{max} .

Разберем алгоритм кооперативной ARQ. МП А – передает пакет, и:

а) если БС С – принимает пакет, МП А может передавать следующий пакет;

б) если БС С не принимает пакет (в нем ошибки), но узел В принимает правильно, тогда МП В отправляет пакет и передает повторно до тех пор, пока БС С не примет правильно пакет или до k_{max} повторов;

в) если ни МП В, ни БС С не принимают безошибочно пакет, тогда повторные передачи МП А выполняет до вариантов а) или б) либо до k_{max} повторов.

Рассмотрим передачу пакета от МП А (рис. 2). Сначала случай, когда правильный прием от А на БС С отсутствует. Полагаем, l – число передач пакета от А; k – число передач от МП В. Это означает, что пакет принят на МП В после l -й передачи.

Далее полагаем, что $\omega_{l,k}$ – вероятность l передач от МП А и k или более чем k передач от МС В при условии, что $\gamma_{n,i}$ известны.

$$\omega_{l,k} = \left(\prod_{i=1}^{l-1} f(\gamma_{G,1,i})f(\gamma_{G,2,i})f(\gamma_{G,1,l}) \right) \times (1 - f(\gamma_{G,2,l})) \left(\prod_{j=1}^k f(\gamma_{G,3,j}) \right), \tag{2}$$

где $\gamma_{G,n,i} = \sum_{j=1}^i \gamma_{n,j}$.

Если простой ARQ использован на линии $n = 2$, тогда $\gamma_{G,2,i} = \gamma_{2,i}$. Вышеприведенная формула может быть распространена на $k = 0$ при условии $\prod_{j=1}^0 x_j = 1$ [3].

В представленной схеме кооперации кооперативный пользователь В работает в режиме декодирование-и-передача. Как предполагается, узел В принимает данные от МП А без ошибок, за счет того, что кооператор выбирается из чис-

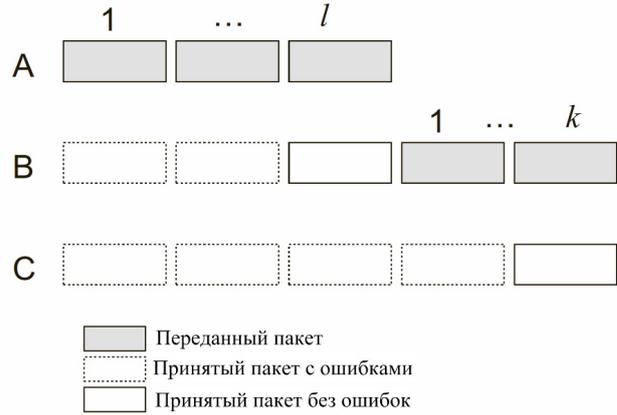


Рис. 2. Пример ARQ-протокола с кооперацией [3]: $\gamma_{n,i}$ – SNR на приеме в канале n при i -й передаче пакета, $n = 1$ – канал А-С, $n = 2$ – канал А-В, $n = 3$ – канал В-С

ла успешно расположенных узлов относительно между узлами А и С. В качестве примера используется BPSK-модуляция с характеристикой релеевого канала. Для построения характеристики системы применяем функцию вероятности приема пакета с ошибками.

На графике (рис. 3) по оси абсцисс откладывается изменение отношения С/Ш в дБ, по оси ординат значение вероятности приема пакета с ошибками. Сплошной линией 1 на графике показана характеристика помехоустойчивости системы при передаче узлом А пакетов данных и приемом данных узлом С с применением простой технологии ARQ. Точечным пунктиром 2 показана характеристика помехоустойчивости

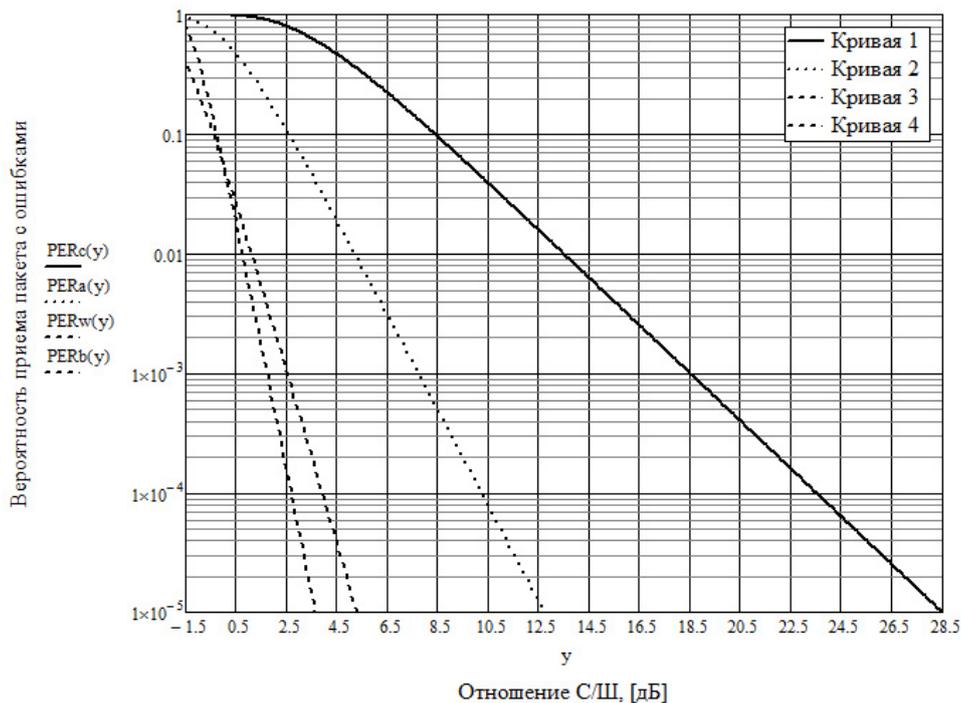


Рис. 3. График вероятности приема пакета с ошибкой при разных ситуациях в системе связи

системы без передач со стороны кооператора, но с комбинированием пакетов по Чейзу на приеме при повторной передаче от источника. При рассмотрении в данном материале [3] из алгоритма комбинирования Чейза использовалось только суммирование по методу MRC, кодирование не использовалось. При наличии передач кооператором пакетов партнера, в зависимости от территориального расположения кооперативного пользователя (ближе к БС или к конечному пользователю), характеристика системы может проходить в промежутке от пунктирной линии 3 до пунктирной линии 4 включительно. Графики представляют аппроксимацию функции пакетной передачи BPSK-модуляции. Как видно из графиков, комбинирование по Чейзу приводит к значительному улучшению показателя помехоустойчивости. При наличии передач со стороны кооператора и комбинировании сигналов на при-

еме дает нам высокий показатель надежности, что позволяет организовать более высокую скорость передачи данных. Полученные показатели говорят об эффективности применения кооперации в системе с H-ARQ.

Список литературы

1. Yan Z., Hsiao-Hwa C., Mohsen G. Cooperative Wireless Communications. Boca Raton: Auerbach Publications, 2009. 528 p.
2. Hong I.C., Chan Y.L., Gang H.U. Performance analysis of single source and single relay cooperative ARQ protocols under time correlated rayleigh fading channel // Journal Performance Evaluation Archive. 2011. Vol. 68. № 5. P. 395–413.
3. Xavier L. Performance of a chase-combining HARQ protocol with cooperation // Annales des Télécommunications. 2011. Vol. 66. P. 1–15.

A method of automatic repeat request using the technology cooperation

E.M. Shanturov

This paper considers the algorithm of the application technology cooperation with the method of automatic repeat request in mobile communication systems. The calculation of the effectiveness of technology cooperation.

Keywords: mobile communications, ARQ, cooperation, retransmission, interference immunity.
