Повышение надёжности передачи пакетов данных в режиме CBR

Режим CBR (Constant Bit Rate) передачи данных с постоянной скоростью преимущественно используют при трансляции через транспортную сеть видео- и аудиоданных в реальном времени. Особенность этого режима заключается в гарантированном постоянстве скорости выходного потока данных при постоянной скорости входного потока. Несоблюдение режима CBR повлекло бы на приёмной стороне искажения изображения и звука, например, в виде их "дрожания" даже при отсутствии ошибок в линии связи. Ошибки в линии связи значительно снижают качество работы такой транспортной системы. Исправить эти ошибки или по меньшей мере уменьшить их интенсивность без нарушения ритма передачи потока данных — непростая задача. В статье рассмотрен новый способ её решения.

Известно, что одиночные ошибки, возникающие в линии связи, приёмник может исправлять "на лету", если каждый передаваемый пакет содержит избыточные биты, например, корректирующий код CRC. Однако ошибки высокой кратности исправлять "на лету" гораздо сложнее [1]. Обычно полагают, что повторная передача ошибочных пакетов неприменима в режиме CBR, так как недопустимы даже кратковременные разрывы выходного потока данных, связанные с вынужденными приостановками передачи. Тем не менее, можно предотвратить такие разрывы, если воспользоваться описанным здесь способом [2] исправления ошибочных пакетов.

Для определённости рассмотрим систему передачи данных, показанную на рис. 1. Система содержит телекоммуникационные устройства A и B, например, модемы, соединённые линией связи. Далее рассмотрено только одно направление передачи данных: со входа устройства A на выход устройства B. Передача данных в обратном направлении может осуществляться аналогично.

Основное требование, предъявляемое к системам, работающим в режиме CBR, заключается в поддержании постоянства скорости V потока данных DOUT, вытекающих из приёмного устройства B. Эта скорость в идеальном случае должна в точности совпадать со скоростью поступления входных данных DIN. В приведенном примере это условие выполнено, так как работа всей системы передачи данных синхронизируется от общего генератора G синхросигнала[1].

Генератор G формирует непрерывную последовательность импульсов со скважностью, равной двум, и частотой Q МГц. Эта частота определяет скорость передачи данных по линии связи (Q Мбит/с). Сигнал с выхода генератора G проходит через делитель частоты с коэффициентом деления, равным k, и поступает на выход устройства A в виде сигнала TxC частотой V МГц.

Этот сигнал предназначен для синхронизации внешнего источника данных (на рисунке не показан). Под управлением сигнала TxC внешний источник формирует непрерывный битовый поток данных DIN со скоростью V Мбит/с. Коэффициент деления k может быть небольшим, например, равным 1,05, так что скорость передачи битов по линии связи может лишь незначительно превышать скорость поступления входных данных DIN.

В устройстве B из принимаемого по линии связи потока битов с помощью генератора PLL [3] с фазовой автоподстройкой частоты выделяется синхросигнал частотой Q МГц. После прохождения через делитель частоты этот сигнал поступает на выход синхронизации устройства B и задаёт скорость выдачи битового потока данных DOUT.

Таким образом, скорости потоков данных DIN и DOUT в точности равны, а скорость потока битов в линии немного более высокая.

---

[1] Скорости втекающего и вытекающего потоков данных при передаче "оцифрованных" речевых сигналов могут незначительно различаться. При этом компенсация различия скоростей может осуществляться на приёмной стороне благодаря не заметному на слух сжатию или расширению пауз между словами или фонемами [3].

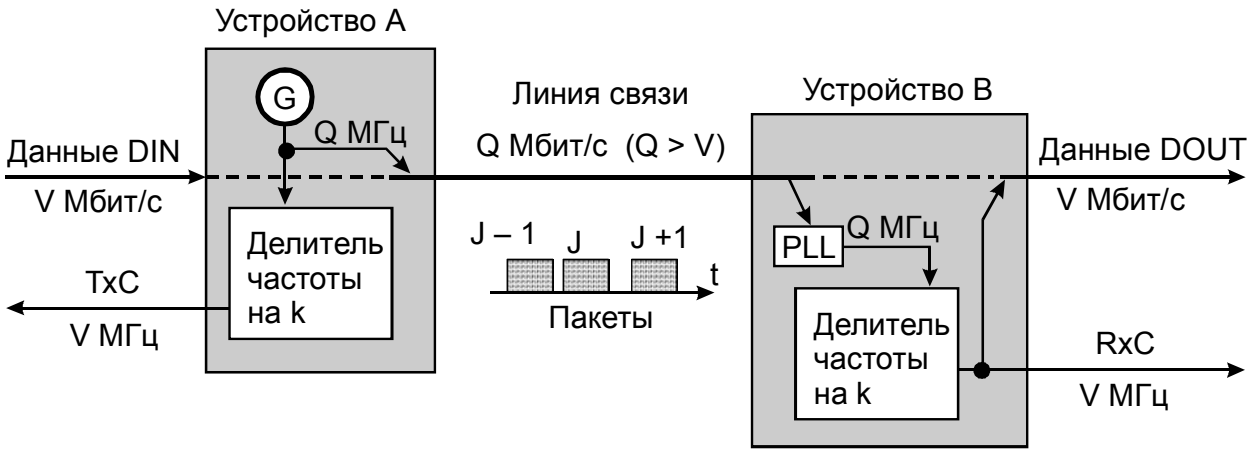
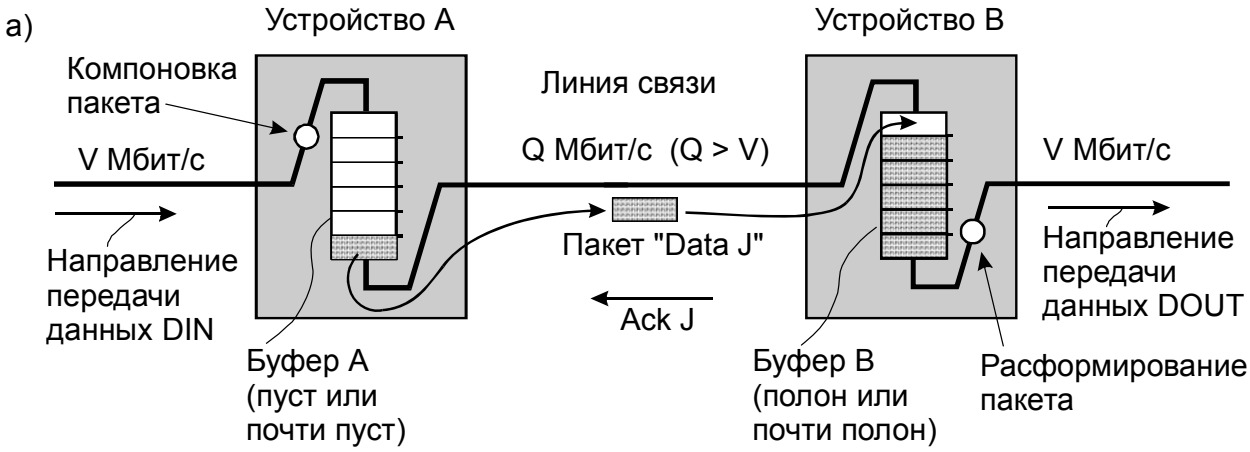
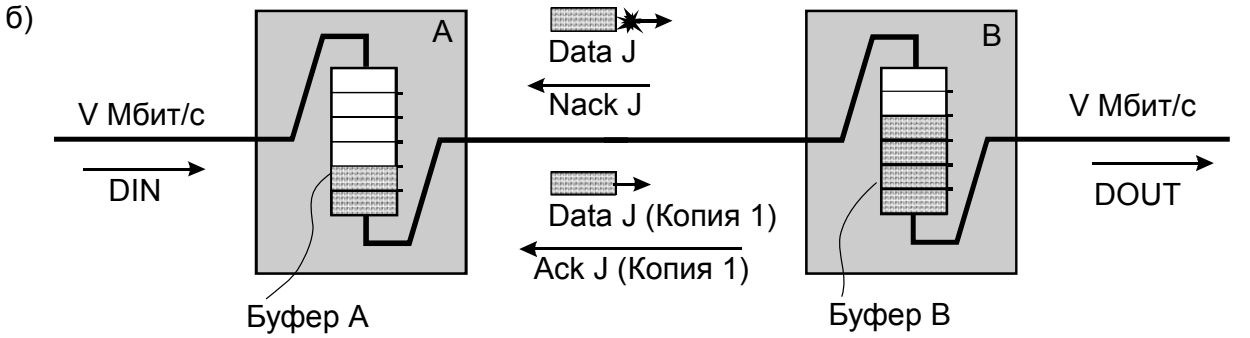
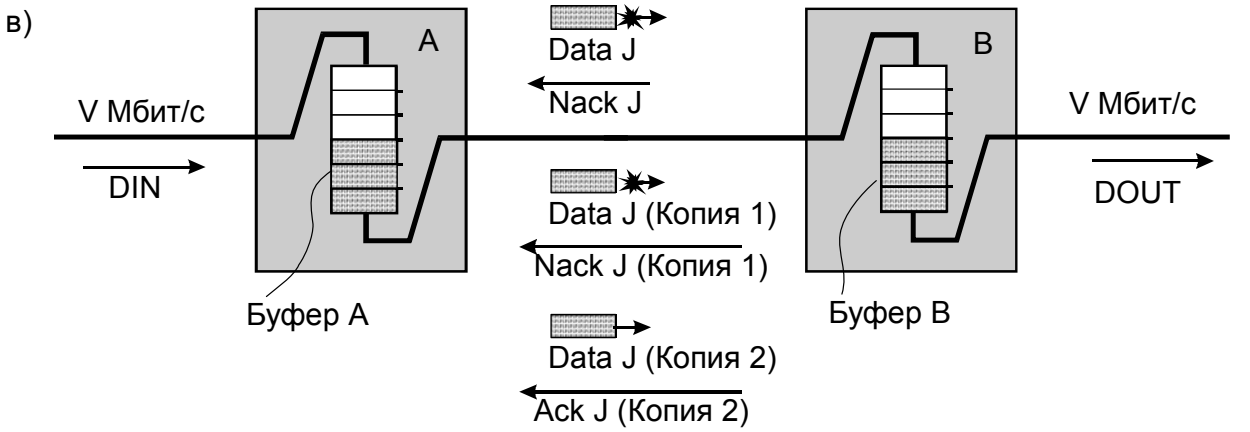


Рис. 1.↑ Пример схемы синхронизации системы передачи данных в режиме CBR



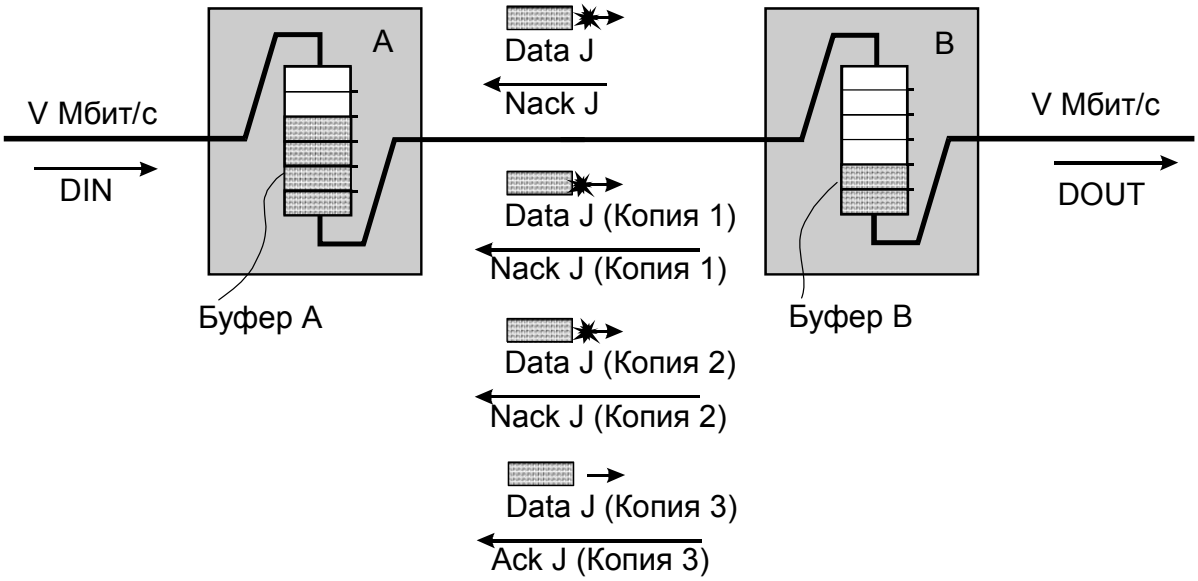




Окончание рисунка на след. с.

Окончание рисунка

г)



д)

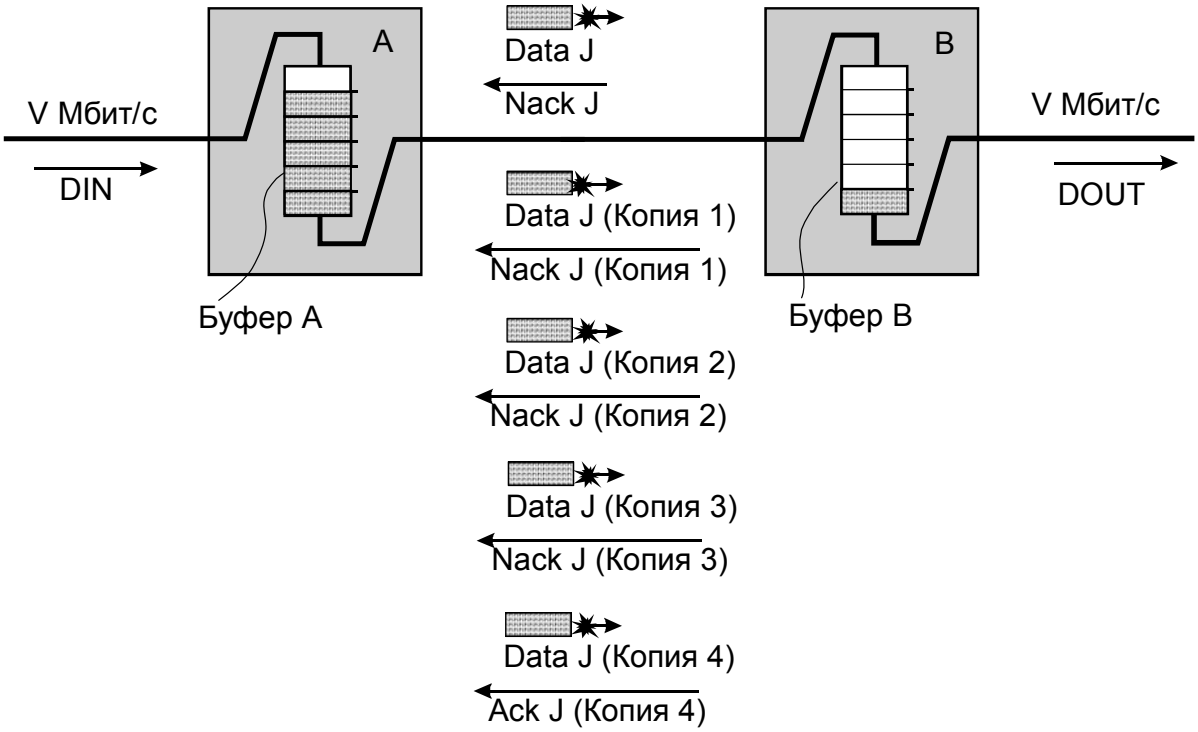


Рис. 2. Передача пакетов данных: *а* — в отсутствие ошибок; *б* — *г* — при удачных завершениях серий повторной передачи пакета J; *д* — при неудачных попытках повторной передачи пакета J

Устройство A формирует пакеты данных, временно размещает их в своей буферной памяти (на рис. 1 буферная память не показана) и отправляет их в линию связи. Каждый пакет содержит служебные данные и очередной фрагмент “полезных” данных DIN, состоящий, например, из 800 бит. Благодаря тому, что скорость передачи данных по линии в достаточной мере превышает скорость поступления данных DIN, между передаваемыми по линии пакетами (J – 1, J, J + 1) имеются временн*ы*е зазоры, заполненные пустыми (флаговыми) байтами. Пакеты могут следовать друг за другом и без зазоров, если, как показа-

но далее, необходимо ускоренное рассасывание содержимого буферной памяти устройства А после устранения ошибок передачи.

Сеанс связи между устройствами А и В начинается с установления синхронизации между ними на уровне битовых временн*ы*х интервалов (например, после включения напряжения питания ранее отключенного от системы устройства). В результате взаимодействия устройств А и В их составные части переходят в точно согласованный по частотам режим работы.

Далее устройства А и В формируют пакеты данных и обмениваются ими по линии связи в соответствии с некоторым протоколом. В данном случае нас интересуют только те процессы, которые имеют прямое отношение к переносу непрерывного потока данных с входа системы на её выход.

К ним, прежде всего, относится процесс формирования пакетов устройством А. Каждый пакет содержит служебные данные (флаг начала, заголовок, контрольную сумму CRC) и поле “полезных” данных, в котором размещено заданное число битов из потока DIN. Размещение фрагментов потока DIN в полях данных пакетов не связано с истинными границами байтов в этом потоке. Число битов поля данных пакета может быть не кратным восьми.

Устройство В распознаёт пакеты, выделяет из них поля данных, стыкует эти поля и формирует непрерывный битовый поток DOUT, тождественный потоку DIN. Таким образом, система передачи данных “прозрачна” по отношению к передаваемым через неё потокам видео- и аудиоданных и, по существу, функционально эквивалентна кабелю, соединяющему её вход с выходом.

В исходном состоянии блок буферной памяти устройства А (для краткости — “буфер А”) пуст либо временно содержит только один пакет (рис. 2, *а*). Буфер В полностью заполнен либо временно содержит одну незаполненную ячейку размером в один пакет. Буферы А и В типа FIFO [3] на рисунке показаны в виде резервуаров, в которые жидкость втекает сверху и вытекает снизу.

В установившемся режиме при отсутствии ошибок в линии связи устройство А компонует очередной пакет и помещает его на “дно” буфера А, который к этому моменту пуст. Далее этот пакет перемещается в верхнюю ячейку буфера В, которая в этот момент не заполнена, при этом нижняя ячейка буфера А освобождается и готова принять очередной входной пакет. В свою очередь очередной выходной пакет извлекается из нижней ячейки буфера В, при этом все пакеты этого буфера смещаются на одну позицию вниз, верхняя ячейка освобождается для приёма из линии связи очередного пакета и т. д. Этот процесс может повторяться сколь угодно долго, так как управление им осуществляется от общего генератора G синхросигнала (рис. 1), и причин для каких-либо отклонений от описанной последовательности событий нет.

Принятые устройством В пакеты проверяются на отсутствие ошибок сопоставлением вычисленной и принятой в составе пакета контрольных сумм. При отсутствии ошибок в некотором принятом пакете J устройство В посылает устройству А ответный пакет Ack J подтверждения приёма (обратный канал передачи данных на рисунке не показан).

Если в принятом устройством В пакете J обнаружена ошибка (рис. 2, *б*), то этот пакет не принимается в буфер В, а в устройство А пересылается пакет Nack J, свидетельствующий о том, что необходима повторная передача этого пакета. Ошибочный пакет помечен на рисунке “кляксой”. Устройство А принимает пакет Nack J и, в нарушение естественной очерёдности следования пакетов, т. е. вместо передачи в устройство В пакета с номером J + 1, пересылает ему первую копию пакета J. В данном примере эта копия оказалась правильной, поэтому она принимается в буфер В и подтверждается ответным пакетом Ack J (Копия 1).

В результате повторной передачи пакета J произошла некоторая “заминка” в работе механизма передачи пакетов между устройствами А и В. Не переданный вовремя новый

пакет J + 1 заполнил очередную ячейку буфера A, а пакет, покинувший за это время буфер B, вызвал снижение уровня заполнения буфера B дополнительно на одну ячейку.

В ситуациях, показанных на рис. 2, *в, г*, одна и две вновь запрошенные копии искажённого пакета также содержат ошибки, но последующая копия оказывается правильной. При этом, как и ранее, корректирующие возможности системы временно снижается, так как буфер B приближается к опустошению, а это чревато разрывом потока данных DOUT. В то же время сохраняется постоянство задержки данных при их прохождении через систему передачи, благодаря тому, что суммарный уровень заполнения буферов A и B не изменяется и равен шести ячейкам.

Наконец, как показано на рис. 2, *д*, при получении четырёх подряд ошибочных копий пакета наступает критическая ситуация. Если устройство B запросит пятую копию пакета, то в период задержки его получения буфер B окажется опустошённым и поток данных DOUT окажется разорванным, что недопустимо. Поэтому, несмотря на получение ошибочной четвёртой копии искажённого пакета, устройство B посылает устройству A положительный ответ Ack J (Копия 4), и устройство A посылает устройству B очередной пакет J + 1 для предотвращения опустошения буфера B. Конечно, при этом в поток DOUT проникает неправильная информация из четвёртой копии пакета J, но это лучше, чем разорвать этот поток на время передачи данных одного пакета и, в дополнение к этому, потерять новые данные из-за переполнения буфера A.

Как следует из рис. 2, система тем более устойчива к групповым ошибкам, чем больше размеры буферов. Серия повторных передач временно приводит к уменьшению корректирующих возможностей системы, а именно, к нежелательному снижению уровня заполнения буфера B и соответствующему повышению уровня заполнения буфера A. Возврат к исходному состоянию (рис. 2, *а*) осуществим благодаря тому, что, как отмечалось, скорость передачи пакетов по линии связи можно регулировать изменением временн*ы*х зазоров между пакетами.

В частности, скорость передачи пакетов по линии связи можно установить большей скорости их поступления в буфер A. Тогда уровень заполнения буфера A будет неуклонно снижаться до любого требуемого порога. Вытесненные из буфера A пакеты последовательно размещаются в свободных ячейках буфера B, т. е. система восстанавливает свои корректирующие возможности и переходит в ранее рассмотренное исходное состояние (рис. 2, *а*). Время восстановления корректирующих возможностей системы уменьшается с увеличением коэффициента k деления частоты Q, так как при этом возрастает разность скоростей потоков, втекающих и вытекающих из буфера A.

Так как уровни заполнения буферов симметричны (точнее, взаимно-обратны), то каждое из устройств “знает” о состоянии буфера устройства — партнёра. Поэтому в критической ситуации (рис. 2, *д*) устройство A может не ждать ответа от устройства B и самостоятельно принять решение о том, что необходимо прекратить повторные передачи и перейти к выдаче в линию связи нового пакета.

Заключение

В статье рассмотрен способ исправления групповых ошибок в линии связи, основанный на повторной передаче ошибочных пакетов. Как предполагалось ранее, при передаче видео- и аудиоданных такой способ неприменим, так как из-за приостановок потока данных нарушается равномерность выдачи битов на приёмное устройство. Рассмотренный способ опровергает это предположение благодаря оригинальной схеме взаимодействия между блоками буферной памяти передающего и приёмного устройств.

По мере исправления ошибок высокой кратности корректирующий потенциал системы временно снижается, но быстро восстанавливается в промежутках времени, когда ошибок нет.

Приведенный пример построения системы далеко не уникален и использован лишь для пояснения идеи коррекции ошибок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Восстановление искажённых пакетов данных без их повторной передачи по линии связи. Рукопись статьи.*
2. *Патентная заявка США US 2002/0001287 A1 http://www.uspto.gov*
3. *С.М.Сухман, А.В.Бернов, Б.В.Шевкопляс. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. — М.: Эко-Трендз, 2003. Электронная версия книги*: *http://lit.lib.ru/s/shewkopljas_b_w/*

Б. Шевкопляс