

УДК 681.3.06

О. А. Оксюк

Физико-технический учебно-научный центр НАН Украины
бульвар Вернадского, 36, 03680 ГСП, Киев-142, Украина

Проблемы передачи потокового видео по симплексному каналу сети с потерями данных

Разработана классификация основных проблем и задач, связанных с потерей части информации при передаче потокового видео по симплексному каналу связи, а также направлений в области их решения. Показано, что метод прямого исправления ошибок (ПИО) является наиболее общим подходом защиты от ошибок в рамках рассматриваемой задачи. Проанализированы работы в данной области и показана необходимость разработки нового метода применения ПИО, не привязанного к способу кодирования видеоизображения, с переменнo-дискретным коэффициентом избыточности, обладающего низкой сложностью вычислений и обеспечивающего работу в режиме реального времени на современных компьютерах.

Ключевые слова: потоковое видео, передача видео, сеть с потерями данных, симплексный канал связи, прямое исправление ошибок.

Введение

Потоковое видео имеет ряд технических проблем, связанных с тем, что передача информации по сети более медленная и менее надежна, чем считывание видео с локального устройства. При передаче видеoinформации по современным сетям передачи данных возникают следующие основные проблемы:

- низкая пропускная и иногда меняющаяся способность сети (в частности в сети Интернет пропускная способность, как правило, заранее неизвестна и меняющаяся);
- потеря части информации;
- вариации времени задержки доставки пакетов в сети.

Данная работа посвящена анализу проблем, связанных с потерей части информации. При этом рассматривается симплексный канал связи, то есть канал, позволяющий передавать информацию только в одном направлении.

© О. А. Оксюк

Направления в области потокового видео по сети с потерями данных

Защиту от ошибок в сети в системах передачи потокового видео можно осуществлять как на уровне канала связи, так и на уровне кодирования данных. В первом случае защита от ошибок осуществляется способом передачи или протоколом уже закодированного изображения, во втором — способом кодирования или декодирования видеоизображения, и не принимается во внимание способ передачи данных. Основными подходами на уровне канала связи являются повторные передачи, прямое исправление ошибок и диверсификация канала связи. Основные подходы на уровне кодирования данных — это маскирование ошибок и устойчивые к ошибкам способы видеокодирования (рис. 1). Наиболее эффективным является комбинирование нескольких подходов.

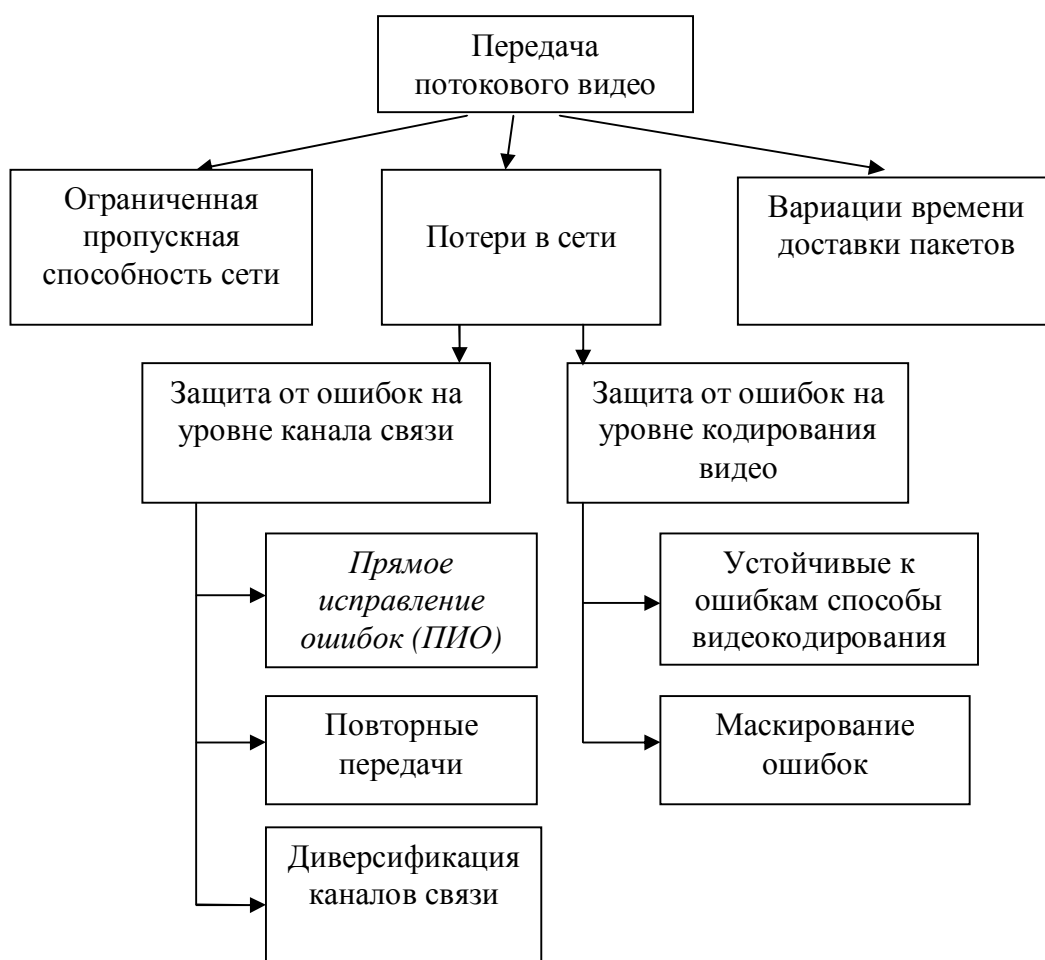


Рис. 1. Основные задачи передачи потокового видео

Повторные передачи. В методах, основанных на повторных передачах данных, получатель информирует отправителя о том, какие пакеты были доставлены и, возможно, какие не были доставлены, а отправитель, основываясь на сообщениях от получателя, повторно отправляет некоторые пакеты.

Поскольку в рассматриваемом случае повторно отправляются только потерянные пакеты, то никакие данные не доставляются на приемник более одного раза. Таким образом, канал связи используется максимально эффективно, что является основным преимуществом повторных передач. Кроме того, данный подход легко адаптируется к изменяемым характеристикам сети.

Основным ограничением данного подхода является необходимость наличия обратного канала связи, что не всегда возможно, например, в случае широкополосного вещания. Кроме того, данный подход в несколько раз увеличивает время доставки пакетов, что, как правило, не приемлемо для интерактивных приложений, таких как видеоконференции. В некоторых случаях возникают проблемы невозможности на стороне приемника обнаружить факт потери пакета, а также потери сообщений по обратному каналу связи, что может приводить к потере части информации либо еще большему увеличению времени доставки пакетов.

Прямое исправление ошибок (ПИО) — от английского «Forward Error Correction» — FEC (в русскоязычной литературе также встречается перевод «прямая коррекция ошибок» — ПКО). В подходах, основанных на ПИО, отправитель во время передачи видеоизображения добавляет избыточные данные, которые могут быть использованы получателем для восстановления потерь. Например, в методе Рида–Соломона [1] при пересылке k информационных пакетов отправляется $n - k$ избыточных пакетов, и при потере не более $n - k$ любых пакетов (не обязательно избыточных) всегда можно восстановить все k информационных пакетов.

Основное достоинство такого подхода в сравнении с повторными передачами заключается в том, что не требуется обратный канал связи, то есть канал связи может быть симплексным, и уменьшается время доставки пакетов.

Основным недостатком данного подхода является неэффективное использование канала связи в случае, когда потери в сети значительно меньше количества избыточных пакетов, и, с другой стороны, значительные потери качества, а иногда и полная невозможность декодировать видеоизображение в случае, когда потери в сети больше количества избыточных пакетов. Кроме того, в некоторых случаях время доставки пакетов увеличивается из-за восстановления потерянных пакетов. Еще одним недостатком прямого исправления ошибок является снижение эффективности метода при потерях в сети, характеризующейся всплесками потерь, по сравнению с беспорядочными потерями.

Диверсификация каналов связи. При передаче потокового видео диверсификация каналов связи состоит в пересылке данных по нескольким независимым каналам связи. Одним из примеров применения диверсификации каналов является передача базового уровня по более надежному каналу, а зависимых уровней — по менее надежному, при масштабированном кодировании видеоизображения.

Основным ограничением данного подхода является необходимость наличия нескольких независимых каналов связи, что далеко не всегда возможно. Поэтому этот подход ввиду ограничений сети применяется гораздо реже ПИО.

Основное достоинство данного метода заключается в решении проблемы всплесков потерь в сети, ввиду низкой вероятности одновременного всплеска потерь по нескольким независимым каналам.

Маскирование ошибок. Маскирование ошибок заключается в интерполяции потерянных пикселей видеоизображения. Данный подход основывается на том

факте, что видеоизображение имеет большую степень пространственной и временной корреляции. Этот же факт используется при кодировании видеоизображения, а корреляцию, неиспользуемую при декодировании, можно использовать при восстановлении потерянных пикселей.

Важной характеристикой маскирования ошибок является тот факт, что этот метод используется только на стороне декодера и, таким образом, не зависит от способа кодирования видеоизображения. В частности, метод маскирования ошибок может быть использован для улучшения качества видеоизображения, генерируемого декодером, даже вне контекста задачи передачи потокового видео. Метод маскирования ошибок может эффективно применяться совместно с любым из других предложенных подходов.

Устойчивые к ошибкам способы видеокodирования. Некоторые проблемы, связанные с потерями, можно решить, применяя соответствующие способы и алгоритмы кодирования видеоизображения. Так для устранения рассинхронизации состояния декодера и видеоизображения после ошибки применяются специальные индикаторы, или разбиение видеоизображения на пакеты во время кодирования, что возможно только в случае, когда уже во время кодирования известно по какому каналу будет передаваться видеоизображение. Для уменьшения эффекта распространения ошибки после потери применяется технология интракодирования.

Обзор работ в области прямого исправления ошибок при передаче потокового видео по симплексному каналу сети с потерями данных

Метод ПИО является эффективным и в то же время наиболее общим подходом защиты от ошибок при передаче видеоизображения по симплексному каналу связи, поскольку, как будет показано далее, практически не имеет ограничений на физические характеристики сети. В то же время ПИО может применяться совместно с любым другим подходом, увеличивая при этом его эффективность. Рассмотрим более подробно работы, посвященные ПИО.

Основной недостаток метода ПИО заключается в сильной потере качества в случае, когда количество избыточных пакетов меньше количества потерянных пакетов в сети, а так же в издержках, когда потерянных пакетов намного меньше чем избыточных. Поэтому, применяя этот метод, очень важно правильно предсказать количество потерь. Отношение количества избыточных пакетов к количеству информационных пакетов называется коэффициентом избыточности. Так, работа [2] посвящена поиску коэффициента избыточности, который постоянен для всего видеоизображения. К сожалению, во многих сетях характеристики потерь малоизвестны и сильно меняются во времени, из-за чего метод прямого исправления ошибок малоэффективен.

В отличие от зашифрованных бинарных данных, где потеря любого участка данных делает невозможным восстановление исходных данных, потеря части закодированного видеоизображения вносит определенное искажение в декодируемое видеоизображение, причем степень искажения может сильно отличаться в зависимости от того, какой именно участок данных потерян. Так, например, искажение может выражаться как в потере участка видеоизображения в течение доли

секунды, так и в потере всего видеоизображения в течение нескольких секунд. Естественно было бы использовать разную степень защиты для разных участков видеоизображения при использовании метода ПИО.

В последние годы активно развивается масштабируемое кодирование видеоизображений. В этом случае видеоизображение состоит из двух или нескольких уровней так, что каждый следующий уровень улучшает качество видеоизображения и не может быть декодирован без декодирования всех предыдущих уровней [3]. Логично было бы использовать разную степень защиты для разных уровней видеоизображения при использовании метода ПИО. Так, в работе [3] рассматривается случай двухуровневого кодирования видеоизображения, когда расширенный уровень зависит от основного, и решается задача поиска коэффициентов Рида–Соломона для основного и зависимого уровней в зависимости от доли потерь в сети (рис. 2). В работе [4] рассматривается случай произвольного количества уровней и предлагается итеративный алгоритм поиска коэффициента избыточности для каждого уровня. Кроме того, в данной работе предлагается метод псевдоавтоматического запроса на выполнение, в котором сервер вещает избыточные пакеты с небольшой задержкой в отдельных потоках, и в случае потери одного или нескольких информационных пакетов, клиент подписывается на один или несколько потоков с избыточными пакетами на небольшой промежуток времени. У такого подхода есть серьезное ограничение, которое заключается в необходимости наличия достаточно большого интервала времени между вещанием и декодированием данных, что характерно только для неинтерактивных приложений с достаточно большим размером буфера. В [5] для решения задачи поиска коэффициента избыточности для каждого уровня видеоизображения, закодированного масштабируемым способом, предлагается метод исчерпывающего поиска по множеству всех возможных коэффициентов избыточности.

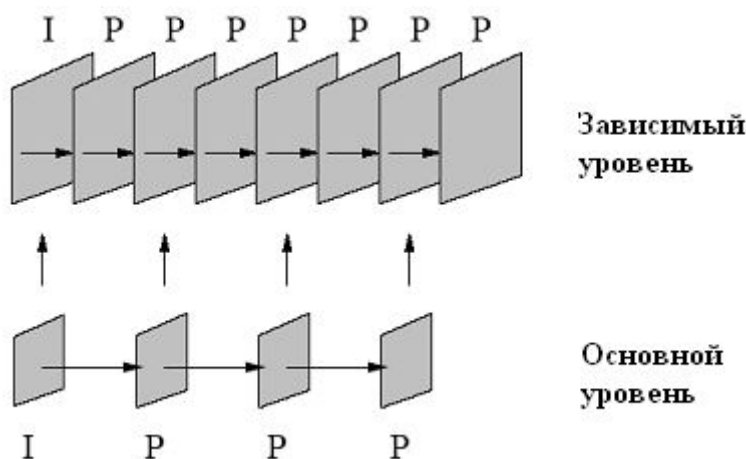


Рис. 2. Масштабированный способ кодирования видеоизображения

В рассмотренных выше работах метод ПИО применяется для видеоизображения, закодированного многоуровневым способом. Поскольку в этом случае разные уровни видеоизображения разделяют видеоизображение в пространстве, то подобные подходы являются интегрированием ПИО и пространственного мас-

штабирования видеоизображения для защиты от ошибок при передаче по сети с потерями данных. Н. Wu в работах [6, 7] предложил интеграцию ПИО и временное масштабирование видеоизображения, где показывает как реализовать временное масштабирование для алгоритмов кодирования MPEG. Группа из N кадров разбивается на N шаблонов, в каждом из которых от одного до N кадров. Шаблон с одним кадром это всегда I -кадр, с двумя — один I -кадр и один P -кадр, с тремя — один I -кадр и два P -кадра. После добавления всех P -кадров начинаем по одному добавлять B -кадры, пока не добавим все кадры. P - и B -кадры выбираются, так, чтобы оптимизировать качество видеоизображения.

В случае прямого исправления ошибок передается кадр-шаблон высокого уровня по сравнению со случаем последовательной передачи данных. В работе [6] Н. Wu показывает, что ПИО дает более высокое результирующее качество видеоизображения для видеоряда, масштабируемого по времени, чем последовательная передача данных.

Способ, предложенный в [6], имеет недостаток, заключающийся в том, что при определенных условиях видеоизображение закодировано без использования B -кадров, и коэффициент сжатия слишком высок. В работе [7] Н. Wu предлагает перекодировать видеоизображение после масштабирования по времени для того, чтобы получить рациональное соотношение между количеством P - и B -кадров и тем самым, улучшив коэффициент сжатия, передать больше данных.

Одним из недостатков ПИО является снижение эффективности метода при потерях в сети, характеризующейся всплесками потерь. Эту проблему можно решать диверсификацией каналов, что, к сожалению, не всегда возможно в силу физических ограничений сети. В работе [8] для решения этой проблемы предлагается отправлять большее число избыточных пакетов для изображения меньшего качества по сравнению с информационными пакетами, что в случае потерь позволяет восстановить информационные пакеты, но с худшим качеством. Таким образом, предложенный подход более надежно, но с меньшим качеством восстанавливает исходное видеоизображение, что вполне эффективно в случае канала с ярко выраженными «пульсирующими» потерями.

Метод ПИО может применяться совместно с другими методами решения проблемы потери пакетов. Так, в [9] метод ПИО применяется совместно с методом маскирования ошибок для видеоизображения, закодированного масштабируемым способом. В этой работе показано, что в рассматриваемом случае для задачи поиска коэффициента избыточности для каждого уровня видеоизображения метод прямого исправления ошибок дает лучший эффект, когда учитывается маскирование ошибок уже на этапе поиска коэффициентов избыточности. Метод прямого исправления ошибок может применяться и совместно с диверсификацией канала связи. Так, в работе [10] предложена модель, в которой разные части видеоизображения вещаются разными серверами, и клиент подписывается на несколько таких серверов. При этом проблема потери пакетов решается методом прямого исправления ошибок, который может быть разным для разных серверов.

Метод ПИО практически не имеет ограничений на физические характеристики сети. Так, в рассмотренных выше работах предложено использование метода ПИО по сети Интернет. В работе [11] показана эффективность ПИО при групповом вещании по беспроводным сетям, в частности рассматривается использование

ПИО совместно с методом автоматического запроса повторной передачи. В работе [12] доказываемся эффективность использования ПИО при передаче потокового видео по сетям с гарантированным качеством обслуживания.

Заметим, что, несмотря на достаточно высокий интерес в украинских научных кругах к области сжатия и передачи видеоизображения, автору не удалось найти работ украинских авторов, посвященных использованию ПИО для защиты от ошибок при передаче потокового видео. Это можно объяснить тем, что все используемые коммерческие системы передачи потокового видео являются западными разработками, а так же достаточно узкой спецификой данной области.

Заключение

Разработана классификация основных подходов к защите от ошибок потокового видео по сети с потерями данных. Обосновано использование метода ПИО для решения рассматриваемой задачи в случае симплексного канала связи.

Проанализировано более 10-ти современных работ, посвященных ПИО при передаче потокового видео по симплексному каналу сети с потерями данных. Во всех рассмотренных работах коэффициент избыточности либо постоянный для всего видеоизображения, либо переменный-дискретный и постоянный для каждого уровня видеоизображения закодированного способом, позволяющим масштабировать видеоизображение в пространстве или во времени. Такой подход обладает двумя недостатками. Во-первых, он не учитывает того факта, что даже пакеты одного уровня могут давать разное искажение видеоизображения и, таким образом, при передаче их с переменным-дискретным коэффициентом избыточности можно добиться лучшего качества видео. Во-вторых, он жестко привязан к способу кодирования видеоизображения. Кроме того, в некоторых работах строится довольно трудоемкое решение, которое затруднительно применять без существенных упрощений в режиме реального времени. Для эффективной защиты от ошибок потокового видео при передаче по сетям с потерями данных необходим новый метод применения ПИО, не привязанный к способу кодирования видеоизображения, с переменным-дискретным коэффициентом избыточности, обладающий низкой сложностью вычислений и обеспечивающий работу в режиме реального времени на современных компьютерах.

1. *Mandelbaum D.* An Adaptive-Feedback Coding Scheme Using Incremental Redundancy // IEEE Transactions on Information Theory. — Piscataway, N.J. (USA): IEEE. — May, 1974. — Vol. 20, N 3. — P. 388–397.

2. *Frossard P., Verscheure O.* Joint Source/FEC Rate Selection for Quality-Optimal MPEG-2 Video Delivery Lossy-Diversity // IEEE Transactions on Image Processing Theory. — Piscataway, N.J., (USA): IEEE. — December, 2001. — Vol. 10, N 12. — P. 1815–1825.

3. *Horn U., Stuhlmuller K., Link M., and Girod B.* Robust Internet Video Transmission Based on Scalable Coding and Unequal Error Protection // Image Communication. — Amsterdam (Netherlands): European Association for Signal Processing. — September, 1999. — Vol. 15, N 1–2. — P. 77–94.

4. *Chou P.A., Morh A.E., Wang A., Mehrotra S.* FEC and Pseudo-ARQ for Receiver-Driven Layered Multicast of Audio and Video // Data Compression Conf of IEEE Computer Society. — Snowbird, UT (USA): IEEE. — March, 2000. — P. 3–6.
5. *Wai-tian Tan, Avidesh Zakhor.* Video Multicast Using Layered FEC and Scalable Compression // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. — Piscataway, N.J. (USA): IEEE. — March, 2001. — Vol. 11, N 3. — P. 373–386.
6. *Huahui Wu, Mark Claypool, Robert Kinicki.* Adjusting Forward Error Correction with Temporal Scaling for TCP-Friendly Streaming MPEG // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMCCAP). — November, 2005. — Vol. 1, N 4. — P. 26–35.
7. *Wu Huahui, Claypool Mark, Kinicki Robert.* Guidelines for Selecting Practical MPEG Group of Pictures // Proc. of the 24th IASTED International Conf. on Internet and Multimedia Systems and Applications. — Innsbruck (Austria). — 2006. — P. 61–66.
8. *Rane S., Aaron A., Girod B.* Systematic Lossy Forward Error Protection. // Processing of SPIE Visual Communications. — San Jose, CA(USA): SPIE. — January, 2004. — P. 120–127.
9. *Philippe de Cuetos, Keith W. Ross.* Unified Framework for Optimal Video Streaming // Infocom 2004. — Hong Kong (China): IEEE. — March, 2004. — N 1. — P. 135–146.
10. *Thinh Nguyen, Avidesh Zakhor.* Distributed Video Streaming with Forward Error Correction // Processing Packet Video Workshop. — Pittsburgh, PV (USA): IEEE. — April. 2002. — N 1. — P. 31–43.
11. *Lacan, J. Perennou. T.* Evaluation of Error Control Mechanisms for 802.11b Multicast Transmissions // Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, 4th International Symposium. — Boston (USA). — 03-06 April, 2006. — P. 42–48.
12. *S. Naegele-Jackson, Holleczeck P., Kleineisel R., Szuppa S.* Impact of Uncompressed Video Transmissions on Network Quality of Service Parameters // Proc. of the 24th IASTED International Conf. on Internet and Multimedia Systems and Applications. — Innsbruck (Austria). — 2006. — P. 148–153.

Поступила в редакцию 19.03.2007