

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

O.A. Oksyuk

OPTIMIZED VIDEO STREAMING IN NETWORKS WITH LIMITED AND TIME-VARYING BANDWIDTH

The article is dedicated to questions of optimizing video quality in case of streaming in networks with close but insufficient bandwidth for complete video delivery in real time during all video track playing. It is suggested to use buffering for optimizing quality of video. As it was shown in the experiment, applying this approach is most effective together with method of video scaling.

Работа посвящена вопросу оптимизации качества видеоизображения при передаче потокового видео по сети с пропускной способностью близкой, но недостаточной для полной передачи исходного видеоизображения в режиме реального времени на всем протяжении видеоизображения. Предложено использовать буферизацию для оптимизации качества потокового видеоизображения. Как показал эксперимент, применение такого подхода наиболее эффективно совместно с методами масштабирования видеоизображения.

© O.A. Оксюк, 2006

УДК 681.3.06

О.А. ОКСЮК

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ПОТОКОВОГО ВИДЕО ПО СЕТИ С ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ, БЛИЗКОЙ К СКОРОСТИ БИТОВОГО ПОТОКА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ

Введение. В данной работе рассматривается случай передачи потокового видеоизображения по сети с ограниченной и меняющейся пропускной способностью близкой, но недостаточной для полной передачи исходного видеоизображения в режиме реального времени на всем его протяжении. При этом предполагается, что исходное видеоизображение может иметь переменную скорость битового потока. Так же предполагается, что потерь данных в сети нет. Поскольку пропускная способность сети и скорость битового потока видеоизображения меняются во времени и в данном случае они сравнимы друг с другом, то время от времени пропускной способности сети будет то достаточно, то недостаточно для полной передачи исходного видеоизображения в режиме реального времени.

Случай, когда пропускной способности сети недостаточно для полной передачи видеоизображения на всем или почти всем временном интервале, достаточно хорошо изучен. В работах [1–3] предлагаются различные решения, идея которых состоит в том, что бы передавать только часть видеоизображения, при этом теряя в качестве, но выигрывая в скорости передачи потокового видео. Подобные решения, где видеоизображение разбивается на уровни, и в зависимости от текущей пропускной способности сети передается уровень более высокого или более

низкого качества, называются масштабированием видеоизображения [4]. Но в случае масштабирования видеоизображения на интервалах, когда пропускной способности сети достаточно для полной передачи видеоизображения в режиме реального времени, появляется избыток пропускной способности сети. В данной работе предлагается способ использования этого избытка для улучшения качества видеоизображения на участках с дефицитом пропускной способности сети.

Описание системы. Будем называть промежутки времени, когда пропускной способности сети недостаточно для передачи видеоизображения в полном объеме, промежутками с дефицитом пропускной способности, а промежутки времени, когда пропускная способность сети позволяет передавать видеоизображение в полном объеме в режиме реального времени, промежутками с избытком пропускной способности.

На рис. 1 промежутки АВ – с избытком пропускной способности, ОА (от начала до А) и ВС – с дефицитом пропускной способности. Если применять масштабирование видеоизображения на промежутках с дефицитом пропускной способности и передавать полностью видеоизображение на промежутках с избытком пропускной способности, то пропускная способность сети будет использоваться не полностью на промежутках с избытком пропускной способности. В данной работе исследуется возможность передачи видеоизображения “про запас” на промежутках с избытком пропускной способности так, чтобы использовать эти данные на промежутках с дефицитом пропускной способности для воспроизведения видеоизображения без потерь.



РИС. 1. Изменение скорости битового потока видеоизображения (проигрывания) и пропускной способности сети. Пунктирной линией обозначена скорость проигрывания, сплошной линией – пропускная способность сети

Будем использовать буфер памяти для накопления видеоизображения на клиентской стороне. Этот буфер в общем случае имеет ограниченный размер. На рис. 2 показана схема работы сервера в случае с ограниченным буфером на клиенте. Рассмотрим три основных состояния системы: буфер пуст, буфер полностью заполнен, буфер частично заполнен. Состояние с пустым буфером всегда является состоянием с дефицитом пропускной способности сети. Как только появляется избыток пропускной способности сети, сервер начинает передавать данные с избыточной скоростью (переход 1) и буфер на клиенте начинает заполняться, поскольку клиент проигрывает данные с меньшей скоростью. Когда буфер полностью заполняется, сервер перестает передавать данные с избыточной скоростью (переход 2). Как только снова появляется дефицит пропускной способности, сервер начинает передавать данные с меньшей скоростью (переход 3) до тех пор, пока буфер не освободится (переход 4). Таким образом, можно различать два состояния с частично заполненным буфером: с дефицитом и с избытком пропускной способности.

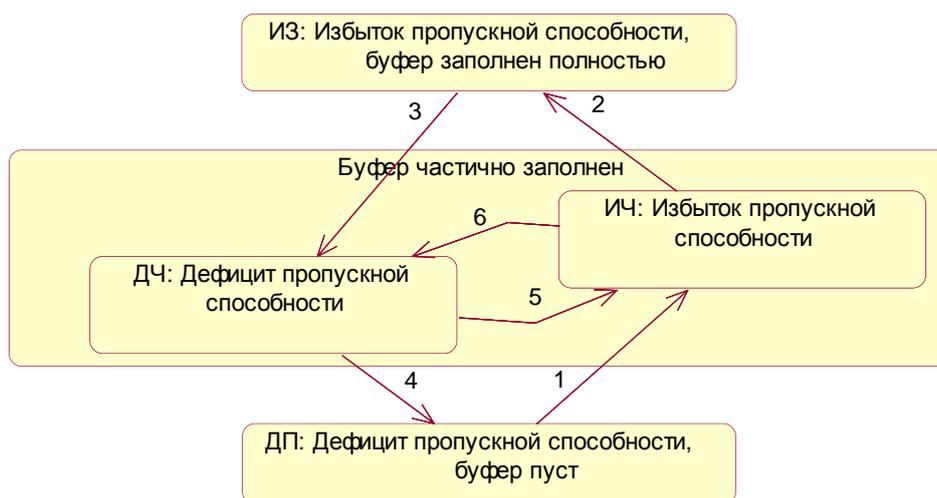


РИС. 2. Схема работы сервера в случае ограниченного буфера на клиенте

Обозначим суммарное время системы в каждом из состояний $T_{из}$, $T_{дч}$, $T_{ич}$, $T_{дп}$. Сумма этих времен равна времени проигрывания фильма $T_{ф}$:

$$T_{ф} = T_{из} + T_{дч} + T_{ич} + T_{дп} .$$

Обозначим $T_{к}$ – суммарное время, когда пользователь видит видеоизображение без потерь качества, а $T_{п}$ – с потерями качества. В нашем случае при частично или полностью заполненном буфере клиент видит изображение без потерь качества, таким образом:

$$T_{к} = T_{из} + T_{дч} + T_{ич},$$

$$T_{п} = T_{дп}.$$

Случай с неограниченным буфером можно рассматривать как частный случай, в котором состояние, когда буфер полон, никогда не достигается, т. е. вы-

полняется условие $T_{из} = 0$, а переходы 2 и 3 никогда не выполняются. Например, на современных персональных компьютерах размер буфера почти всегда можно считать неограниченным, но на устройствах с ограниченным дисковым пространством, например, на приставках к телевизору и мобильных устройствах, буфер, как правило, ограничен.

Случай без клиентского буфера можно рассматривать как частный случай с очень малым буфером, когда суммарное время состояний с частично заполненным буфером много меньше времени проигрывания фильма:

$$T_{ч'} = T_{дч'} + T_{ич'} \ll T_{ф'}$$

Тогда переходы 1 и 2, 3 и 4 вырождаются в один переход 12 и 34 соответственно. Будем помечать апострофом суммарные времена для случая без клиентского буфера.

$$T_{к'} = T_{из'} = T_{из} + T_{ич}, \quad T_{п'} = T_{дп'} = T_{дч} + T_{дп}$$

Как видно из последних выражений, при введении клиентского буфера время, когда пользователь видит видеоизображение без потерь, на $T_{дч}$ больше по сравнению со случаем без клиентского буфера. Таким образом, в состоянии с частично заполненным буфером и дефицитом пропускной способности улучшается качество видеоизображения.

Экспериментальные результаты. В рамках данного исследования был проведен ряд экспериментов. В каждом эксперименте использовалась выборка из 10 фильмов формата MPEG-4 и H264 со скоростью битового потока видеоизображения в пределах от 1 до 10 мегабит в секунду.

На рис. 3 показан экспериментально полученный график зависимости улучшения качества видеоизображения при введении буферизации от процентной доли участков с избытком пропускной способности. Эксперимент был проведен для буфера неограниченного размера. На верхней части графика изображена процентная доля участков, на которых получено улучшение качества среди участков с дефицитом пропускной способности. Другими словами, это отношение в процентах суммарного времени участков, которые стали показываться без потерь после введения буферизации, к суммарному времени таких участков до буферизации. Как видно из графика, эта характеристика достигает 100 % для значений процентной доли участков с избытком пропускной способности, близким к 100 %. Таким образом, для случая, когда процентная доля участков с дефицитом пропускной способности относительно невелика, при введении буферизации таких участков либо вообще не останется, либо становится во много раз меньше. Например, процентная доля таких участков становится в среднем в 11 раз меньше за счет буферизации в случае, когда до введения буферизации она составляла 30 %. Таким образом, выравнивается качество видеоизображения в случаях, когда пропускная способность сети резко падает на коротких промежутках времени.

В случаях, когда средняя пропускная способность сети намного больше средней скорости битового потока видеоизображения (в 2 и более раза), буферизация является мощным средством даже без использования других методов передачи видеоизображения по сети с ограниченной пропускной способностью,

поскольку позволяет заметно уменьшить количество участков, на которых происходят потери видеоизображения. С другой стороны, для случая, когда дефицит пропускной способности сети существует для большей части фильма, введение буферизации является гораздо менее эффективным. Так в случае, когда дефицит пропускной способности сети существует для 80 % фильма, введение буферизации сокращает это число до 74 %.

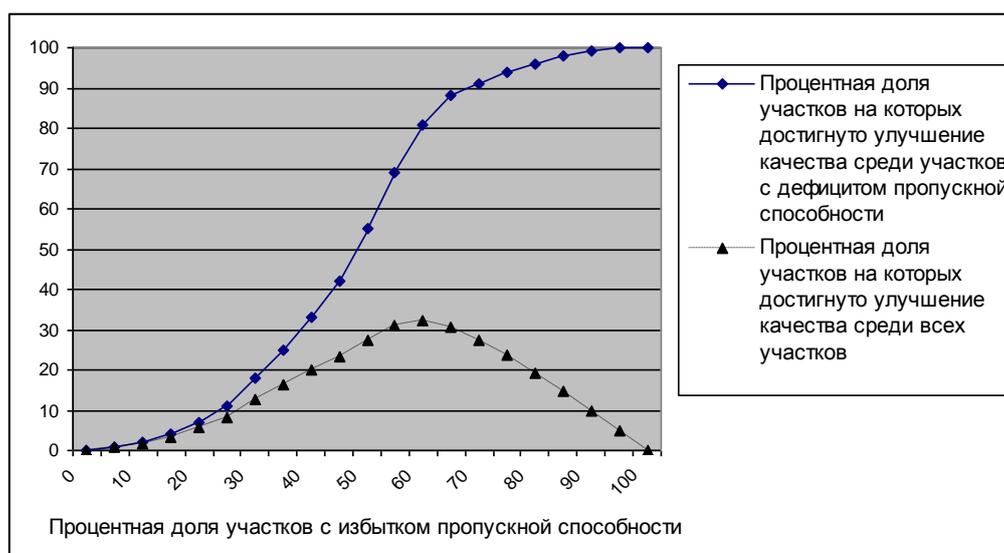


РИС. 3. Зависимость улучшения качества видеоизображения от процентной доли участков с избытком пропускной способности

На нижней части графика изображена процентная доля участков, на которых получено улучшение качества среди всех участков. Другими словами, это отношение в процентах суммарного времени участков, которые стали показываться без потерь после введения буферизации к суммарной длине фильма. Как видно из графика, максимальное улучшение качества видеоизображения за счет буферизации достигается в случае, когда избыток пропускной способности сети достигается на 50–70 % видеоизображения, что соответствует случаю, когда средняя пропускная способность сети на 0–30 % больше средней скорости битового потока видеоизображения. В этом случае целесообразно применять буферизацию в дополнение к другим методам передачи видеоизображения по сети с ограниченной пропускной способностью. Таким образом, буферизация значительно сократит количество интервалов с потерями видеоизображения, а другие методы передачи видеоизображения по сети с ограниченной пропускной способностью минимизируют эти потери.

На рис. 4 показан экспериментально полученный график зависимости улучшения качества видеоизображения от размера буфера. Эксперимент был

проведен для случая, когда на 60 % фильма наблюдается избыток пропускной способности. Размер буфера приводится в пересчете на секунду проигрывания фильма. То есть для фильма со средней скоростью битового потока равной 8 мегабит в сек (или 1 мегабайт в сек) буфер размером 1 мегабайт равен 1 сек в пересчете на время проигрывания фильма. Как показал эксперимент, размер буфера в пересчете на единицу времени проигрывания фильма является эффективным для данной оценки. Для всех фильмов в рамках данного эксперимента буфер размером 30 сек ни разу не заполнялся полностью и, таким образом, дальнейшее увеличение буфера никак не влияет на качество воспроизведения. Таким образом, на устройствах со свободным дисковым пространством размером более 30 сек можно считать, что буфер уже является неограниченным и дальнейшее увеличение свободного дискового пространства не приведет к какому-либо выигрышу в качестве видеоизображения. С другой стороны, как видно из графика, буфер размером 10 сек дает более 90 % выигрыша в качестве видео-изображения по сравнению с неограниченным буфером. Таким образом, на устройствах с ограниченными ресурсами имеет смысл использовать буфер размером порядка 10 сек, что для фильма со средней скоростью битового потока равной 10 мегабитам составляет 12.5 мегабайт. Это является приемлемым для большинства современных клиентских устройств – проигрывателей потокового видеоизображения.

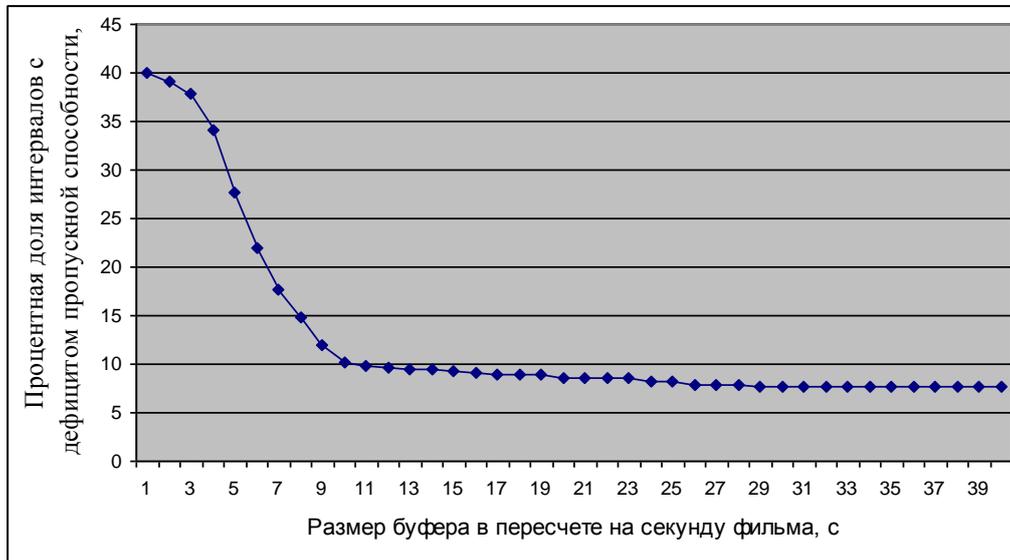


РИС. 4. Зависимость улучшения качества видеоизображения от размера буфера

Заключение. В настоящей работе предложено использовать буферизацию для оптимизации качества потокового видеоизображения. Экспериментально показано, что введение буферизация является наиболее эффективным в случае, когда средняя пропускная способность сети незначительно превышает (на 0–30 %) среднюю скорость битового потока видеоизображения. В этом случае введение буферизации наиболее эффективно в дополнение к методам масштабирования видеоизображения. В случае, когда средняя пропускная способность сети значительно превышает среднюю скорость битового потока видеоизображения, буферизация может применяться независимо от методов масштабирования и позволяет избежать остановок видеоизображения в случаях резкого и кратковременного падения пропускной способности сети.

1. *Wee S.J., Tan W., Apostolopoulos J.G., Etoh M.* Optimized video streaming for networks with varying delay // IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Lausanne, Switzerland, August 2002. – 2. – P. 89 – 92.
2. *Chakareski J., Apostolopoulos J., Wee S., Tan W., Girod B.* R-D Hint Tracks for Low-Complexity R-D Optimized Video Streaming // IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Taipei, Taiwan, June 2004, P. 27–30.
3. *Apostolopoulos J.* Reliable video communication over lossy packet networks using multiple state encoding and path diversity // Proc. Visual Communication and Image Processing, VCIP '01, January 2001. – P. 392 – 409.
4. *Apostolopoulos J.G., Tan W., Wee S.J.* Video Streaming. Concepts, Algorithms, and Systems // Mobile and Media Systems Laboratory, HP Laboratories Palo Alto HPL-2002-260, September 18, 2002. –14 p.

Получено 23.02.2006