

## 端末側バッファを利用した蓄積ビデオ送信の高品質化と解析

上田 尚純†      青野 正宏†      田窪 昭夫†  
太田 賢‡      水野 忠則‡

蓄積されたビデオを通信回線を介して高品質で送るための、アプリケーション層での工夫の一つとしてクライアント端末でのバッファ利用がある。送られてきたビデオデータがある時間分バッファに貯えてから表示することで、通信回線上で生じる遅延による播らぎ、通信エラーによる表示の中断などを大幅に緩和ないし解消することができる。ハードウェアの高速化、廉価化で、クライアント側である程度の容量のビデオデータ用のバッファを持つことは問題でなくなってきており、バッファを利用することで、アプリケーション層での処理により、受信側のクライアントでの高品質でのビデオ表示が可能になる。この実現方法とシミュレーションによる評価結果を述べる。

### Method and analysis of video data transfer on network using buffer on client

Takasumi Ueda †      Masahiro Aono †      Akio Takubo †  
Ken Ohta ‡      Tadanori Mizuno ‡

To achieve high quality video data transfer, it is an effective method available on the application layer to use buffers to accumulate received video data transmitted from a server through network. By accumulating video data in the buffers, we can absorb transfer delay or error occurred on the network. The reduced cost of memory hardware makes it possible to use video data buffers to achieve high quality video data transfer. This paper describes the method and evaluation of buffers used for video data transfer.

#### 1. はじめに

ビデオなどのマルチメディアを有線、無線のWANで送信する時代となってきているが、ビデオの通信では実時間性が要求され、また表示する画像の品質も問題となり、研究課題はまだ多い。通信回線で実時間性確保のためのRSVPの導入、動画像データ圧縮のためのMPEG2やMPEG4、アプリケーション層での対応など、マルチメディア通信のための研究開発が多方面でなされている状況にある。マルチメディア通信のためには高速の通信回線が必要であり、高速化が着実になされてきているが、ビデオなどの動画像を高品質で送るのに必要な回線容量にはほど遠く、今後も当分の間は、通信容量の制限の範囲内で工夫しながらおくる状況は変わらないであろう。

---

†三菱電機    ‡静岡大学

† Mitsubishi Electric Corporation    ‡ Shizuoka University

本論文は、アプリケーション層での工夫による蓄積ビデオの高品質送信の手法の一つである、クライアント端末側でのバッファの利用について考察したものである。サーバに貯えたビデオデータを端末側に送って表示する場合、ビデオデータを端末側でまず用意したバッファに蓄積し、データがある程度たまってから、あるいは全て受け取ってから、表示を開始する手法がよく取られる。これは、通信速度がビデオ表示速度より遅いためにとる方法であるが、最近はハードウェアのコストの大幅な低下で、端末側でビデオデータを貯えるバッファをメモリ上（あるいはディスク上）に持つ事は価格的に問題ではなくなってきており、今後も状況は改善されていこう。ビデオの高品質送信のためにバッファをもっと積極的に有効活用する方向にいくと予想される。なぜなら、通信回線だけでビデオ転送に伴う実時間性や品質を保証しようとするとかかなりのコストがかかる。クライアント側でこの負担を分担することで通信回線側の負担がかなり減じると期待できる。サーバ側から送信されてきた蓄積ビデオデータを、端末側で用意したバッファに一定量蓄え、その後データを受信しつつビデオ表示を開始することで、待ち時間の短縮とビデオ表示の高品質化を同時に達成できる。以下で、バッファを利用について考察すると共に、得られる効果と評価について述べる。

なお、以下ではサーバに蓄積されたビデオを対象にしており、テレビ電話などの実時間ビデオ送信は対象にしていない。テレビ電話などへの適用も可能と考えているが、これについては別の機会で述べたい。

## 2. 考察対象の基本モデル

今回の考察の対象とするモデルの基本型を図1に示す。サーバで保持している蓄積ビデオを端末側に通信回線で送るが、端末側はバッファを用意し、受信したビデオデータをまずバッファに貯える。ある量たまった時点で、端末ではバッファからデータを取り出して表示装置に送ることで、表示を開始する。バッファは主記憶メモリ上に確保することを

想定するが、容量を拡大するためにディスク上にも確保する事もある。サーバから端末側へのビデオデータ送信の protocols として UDP を採用する。TCP を採用する場合よりもオーバーヘッドが少ないため、通信回線の能力をより有効に利用できる。データが誤ったり届かなかった場合の対策が必要であるが、端末とサーバは別途 TCP で制御情報を交信する事とする。端末側は、受信データにエラーがあったり、一定時間内に次のビデオデータが届かなかった場合は、回線上でエラーが生じたものと見做してサーバ側にデータの再送を要求する。バッファに一定時間分の表示データを貯えて

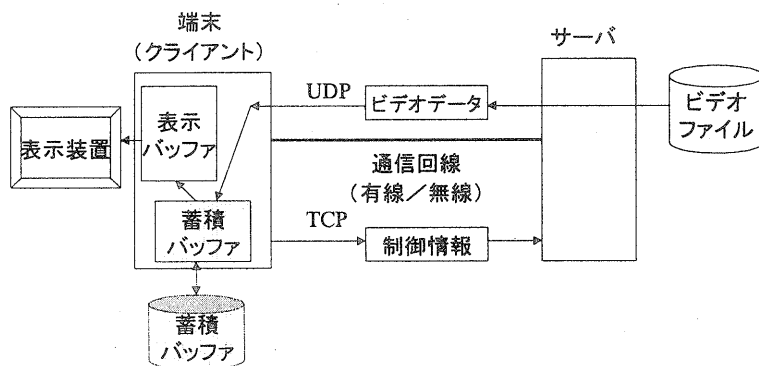


図1. ビデオ表示の評価対象モデル

Fig1. Evaluation model of video display

蓄積バッファに一定時間分の表示データを貯えて

いて表示に余裕があるため、このようなエラー対処法が採用できる。端末がサーバに伝える制御情報としては、受信エラーの連絡以外に、通信回線の混み具合やエラー発生状況、バッファの状況（満杯、あるいは空に近いなど）などが考えられる。

なお、端末での処理として、ビデオデータの受信、バッファのデータ管理、ビデオの表示などがある。これらの端末側での処理性能は今回の検討対象外であり、これらの処理性能は無限に速いものと仮定する。MPEG 4 データのデコードをソフトウェアで行うとかなりの負荷となるが、これは専用のハードウェアで行わせる方法もあり、今後のハードウェアの高速化を考えると、通信回線の速度を考慮すれば、許容される仮定と考える。

### 3. バッファにおけるビデオデータの入出力

バッファにおけるデータの入力（通信回線からの受信データ）および出力（表示装置の表示）の時間関係を図2に示す。送信されたきたビデオデータは一旦バッファに貯え、ある程度データが貯えられた時点でバッファからデータを取り出して表示する。図2のグラフにおいて、横軸が時間、縦軸が入力または出力されたデータ総量を示す。

当然、入力データがないと表示できないので、入力を示す線は出力を示す線よりも上にくる。

また、図3に、入力と出力の関係のいくつかの形態を示す。①の完全先読み型は、ビデオデータを全て端末側で受け取ってから表示する方法で、現在よく取られている方法である。表示を開始すると、データが間に合わなくて表示が中断するということはないが、表示開始まで待たされる。②の部分先読み型は、ある量を受信した時点で表示を開始する方法である。③は実時間表示型で、テレビ電話やテレビ会議などはこの場合に当たる。この方式では通信線上の遅れが許されず、通信回線側に大きな負担がかかる。④は基本的には①と同じであるが、回線を超高速化することでデータ転送時間を短縮しようとするものである。通信回線の高速化に伴い、今後研究されていこう。

本論文では②を考察の対象としている。

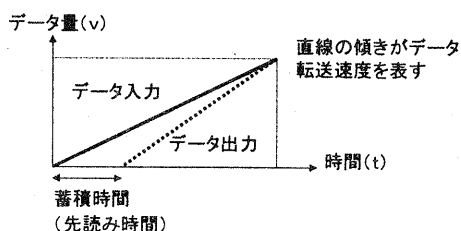
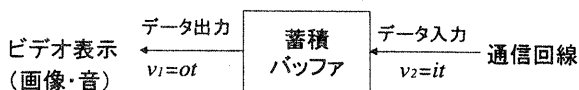


図2. バッファでのデータ入出力の関係  
Fig2. Relation of data input and output on buffer

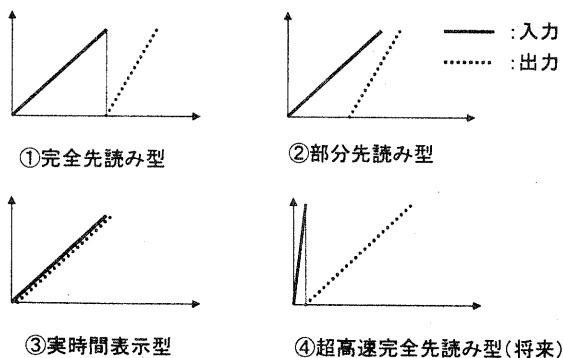


図3. 入力と出力のいくつかの形態  
Fig3. Variations of input and output relation

部分先読み型について、さらに調べる。(図4) まず、入力速度と出力速度についていくつかの場合がある。(図4①) (i)は入力が出力より速い場合である。時間と共にバッファにデータが貯まっていくので、表示中断の可能性は時間と共に減じる。最初の時点で通信エラーが生じると表示中断の可能性があるので、最初の時点だけが注意が必要である。(ii)は入力が表示より遅い場合である。バッファに貯えたデータは時間と共に減じていく。このため、通信エラーによる表示の中断の可能性が時間と共に増す。表示中断を防ぐためには、表示が終了するまでの間はバッファにある程度以上のデータが残っているようにする必要がある。(iii)は(ii)の特別なケースで、入力送信完了と表示完了が重なった場合である。このような場合、表ロであり、表示終了直前に通信エラーが生じると表示が中断してしまう。

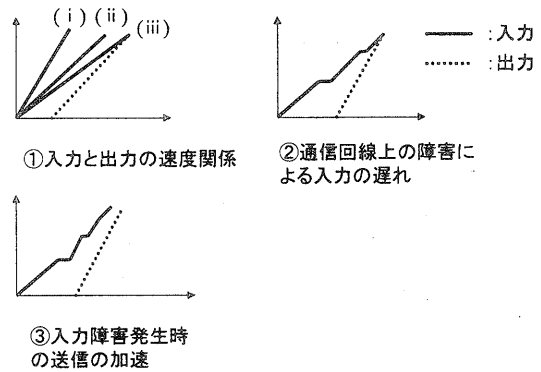


図4. 部分先読み型でのいくつかの形態  
Fig4. Variations of input and output relation

図4②に通信回線上で障害が発生してデータ送信が遅れた場合を示す。データ通信性能が実質的に低下するが、実運用時はこのケースとなる。障害が発生してもバッファのデータ量に余裕があって表示が中断しないようにする必要がある。通信回線の容量に余裕がある場合は、障害でバッファ上のデータ量が減じたとき、データ送信速度を速めてバッファ上のデータ量を補うことができる。このケースをを③に示す。

次に、部分先読み型において、データ入力(受信)がデータ出力(送信)より遅い環境下で、どれくらいの量を先読みしておけば表示中断を起こさなくてよいかを計算してみる。データの入力速度を  $i$ 、出力速度を  $o$ 、先読時間  $a$  とする。どの時間  $t$  をとっても出力データ総量は入力データ総量以下でなくてはならないから、以下の式を満たす必要がある。

$$it > o(t - a)$$

これを変形すると、次のようになる。これを解釈すると、通信性能が表示速度の半分しかない場合はビ

$$a > (1 - \frac{i}{o})t \quad \dots (1)$$

デオデータ総量の半分を先読みしておく必要があり、通信性能が表示速度の 1/3 しかない場合は場合はビデオデータ総量の 2/3 を先読みしておく必要があるという、至極当たり前の結果である。

上記は通信回線でエラーが発生しないことを仮定しているが、実際にはエラーは発生し、通信性能の実質低下となる。単位時間当りのエラーの発生率を  $e$ 、エラーが発生した場合の1回当りの平均通信データ損失を  $n$  とすると、実行入力速度は  $i$  から  $i - en$  となる。これを上式に代入すると次のようになる。

$$a > (1 - i(1 - en) / o) t \quad \dots \cdot (2)$$

enは実際の回線では1に比較して十分小さいので、(1)で大体の先読み量を計算できる。

#### 4. シミュレーションによる評価

部分蓄積型によるビデオ表示方式の評価を、2節で述べたモデルを対象にシミュレーションで行った。シミュレーションで想定した環境におけるパラメータは次の通りである。

- ・ビデオ 表示画面 : 縦 128 ドット \* 横 64 ドット、カラー (3色、各 8 レベル)  
表示速度 : 16 フレーム/秒
- ・ビデオ・データ圧縮率 20 倍  
よって、1 フレームの平均データ量  $128 * 64 * 3 * 8 / 8 / 20 = 1.23 \text{ KByte}$   
1 秒間表示の平均データ量  $1.23 * 16 = 19.68 \text{ KByte (157.44Kbit)}$
- ・送信 1 パケット(UDP)で送るのビデオデータのサイズ 1.23KByte
- ・通信回線 パケットのエラー率: 1/20 回 - 1/500 回の範囲  
(1/20 回とは 20 ケのパケットを送ると、1 回がエラーである確率)  
エラー 1 回当たりのデータ送信損失: 3 (3 パケット分遅れが生じる)  
送信速度 (バッファへの入力速度): エラーなしで表示速度の 0.3-0.9 の範囲
- ・バッファサイズ : 無限大 (ちなみに、10 分間分のビデオデータ量は 11.8MB)

この想定したパラメータについて述べる。ビデオデータ圧縮率は MPEG 4 相当とし、20 倍の圧縮率を想定した。圧縮のエンコード、デコードについては今回は考慮していないので、圧縮方式は MPEG 4 でなくてもかまわない事になる。圧縮率が 10 倍の場合は、上記ビデオを表示するのに必要な 1 秒間の送信データ量は 39.36KByte(314.88Kbit)となる。なお、音声は考慮していない

通信回線速度として、ISDN が 64-128Kbps、2000 頃からサービス開始予定の IMT2000 が 64 - 384Kbps あたりなので、実際に使用されるのは 64Kbps - 384Kbps の範囲が多いと想定される。通信プロトコルのオーバーヘッドなどがあるので実効的な通信速度はこれよりは遅くなる。実行通信速度がビデオ表示速度より速い場合はバッファがなくても表示が中断する事は通常なく、また、入力速度が表示速度に比較して余りに遅いとほとんど全データを前もって送信しておく必要があり、いずれの場合も興味の対象とならない。よって、入力速度が表示速度に対して 0.3 - 0.9 の範囲をシミュレーション対象に選んだ。

シミュレーションの結果を図 5 に示す。入力速度と出力速度の比率が、(a)は 0.3、(b)は 0.5、(c)は 0.7、(d)は 0.9 の場合である。各グラフの横軸はバッファに前もって読み込んだビデオデータの全ビデオデータ量に対する比率、縦軸は表示を 1 万回繰り返したときにバッファが空になって表示中断が発生した回数を示す。表示するビデオの全表示データは 160 フレーム (10 秒) としている。この短い時間を選択したのはには理由がある。通信回線上のエラーが全くランダムに発生すると仮定すると、表示時間が長いほど、全表示時間におけるエラー発生による送信遅れの総量は一定比率に近づく。これに対して、表示時間の短いビデオほど、エラー発生による送信遅れ総量に偏りが生じる可能性が高く、バッファが空になってビデオ表示が中断する可能性が高まる。10 秒程度の短いビデオにおいて、表示中断が生じないように先読みデータの比率を決めておけば、これより長いビデオにおいては表示中断の可能性

はない事になる。

シミュレーションの結果を見れば、上記(2)式で算出した先読みデータ量の比率を境に、急激に発生回数が増えている。従って、上記(2)をベースに、この量に多少の余裕を見込んだ比率のデータ量を読み込んでおけば、表示中断の発生を防ぐ事が可能となる。

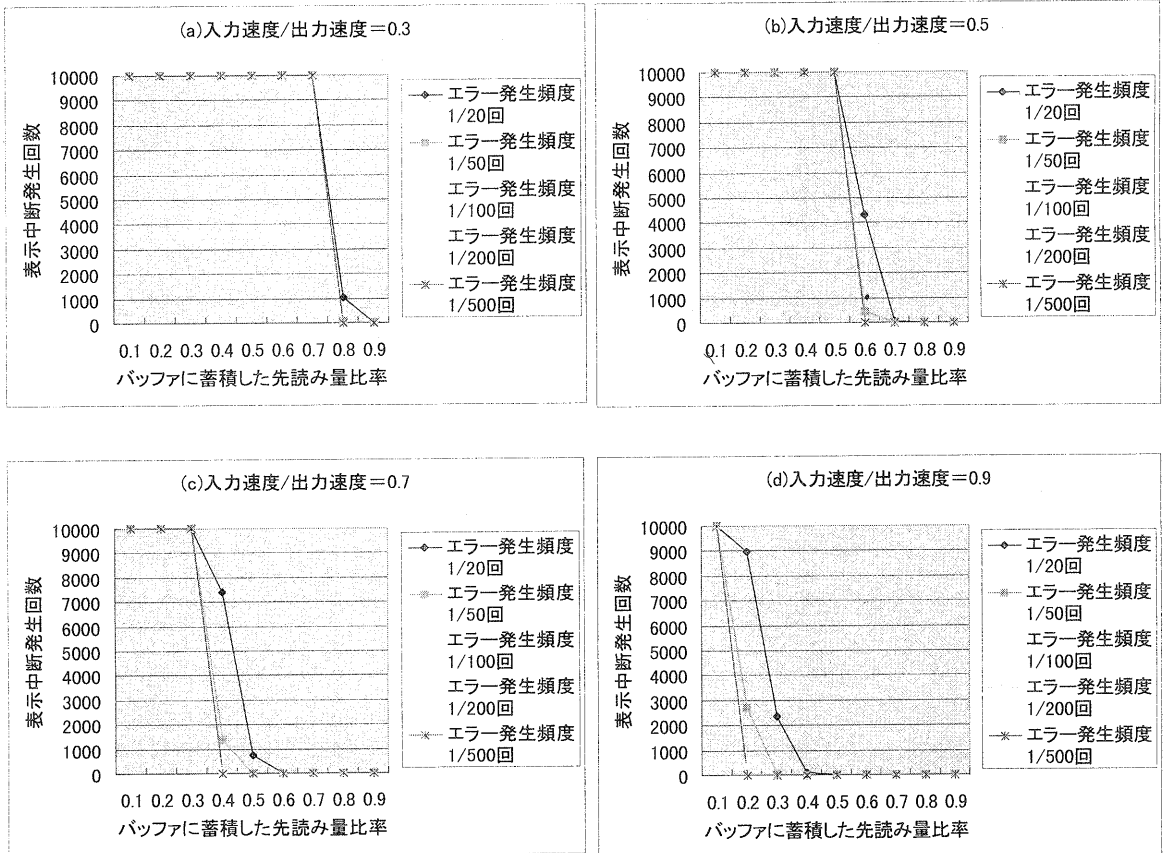


図5. 入出力速度比と先読み量比率と表示中断発生回数の関係

## 5. その他の考察事項

### 5.1 揺らぎについて

通信時の各パケットのクライアントへの到達時間の不均一による画面表示の揺らぎはマルチメディア通信での問題の一つであるが、バッファを利用する方式では、これはほとんど考慮しなくて済む。揺らぎは高々数十msないし数百ms以内と思われ、衛星回線を使った場合でも数秒以内であろう。バッファにこの分量以上を貯えておけば通信回線に起因する揺らぎは無くすることができる。このため、揺らぎに対するシミュレーションは行っていない。

### 5.2 通信速度が表示速度より速い場合のバッファ利用について

通信速度が表示速度より速い場合のケースは実際問題としては少ないと思われるが、このような場

合も表示の揺らぎやエラーによる表示中断を防ぐ目的でバッファを利用するには有効である。バッファに数秒程度以上の表示分のデータを保持しておくことでこれらの問題の発生を防ぐことができる。手法としては、通信容量の余裕を利用してある時間分のデータを先回りして送りバッファに貯えておく。ある程度貯まると、サーバに連絡して送信速度を表示速度に合わせておく。通信エラーが発生してバッファの余裕が減じた場合は、サーバ側に連絡して送信速度を表示速度以上に速めて、バッファに余裕度を高めておく。バッファサイズとしてどの程度を持っていけばよいかは、シミュレーションでも簡単に確かめることができる。

### 5.3 フレームの優先度づけについて

無線回線を介してモバイル端末にビデオを送るような場合、回線断による表示中断がより問題となる。これへの対策として、ビデオのフレーム単位に優先度をつけ、優先度の高いフレームを優先して端末に送る手法がいくつか提案されている。回線が中断した場合、この優先度の高いフレームのみの間引き表示で無表示時間をなくすものである。

これは、結局、優先度の高いフレームに対して通信容量を拡大することに相当する。仮に、優先度をつけたフレームが全体の1/3とすると、非常時には優先度のついたフレームのみを送ることで通信量を実質3倍に上げることができる。(もっとも、表示されるフレーム数は1/3に減じる)

## 6. あとがき

マルチメディア通信で必要となる実時間性をネットワーク側だけの負担で実現しようとするとなかなりの負担になるはずであり、端末側にバッファを用意してそれを積極的に利用することでマルチメディア通信をより効率的に行う事が可能と考える。今回はバッファ利用についていくつかの考察を加えると共に、シミュレーションを実施して評価した。ごく一部の基本的なケースについてしか今回は述べていないが、対象を実時間放送、音声を含めた送信など、より複雑な対象に適用していく必要がある。これらについて、今後更に検討を深めていきたい。

### <参考文献>

- ・太田賢、渡辺尚、水野忠則：ワイヤレス環境における選択的マルチメディア通信方式の実装、情報処理学会論文誌、Vol.39 No.2、pp312-320 (1998)
- ・太田賢、山田善大、奈良岡将英、渡辺尚、水野忠則：モバイルコンピューティング環境における協調作業を支援する電子会議システム、情報処理学会論文誌、Vol.39 No.10、pp2879-2887 (1998)
- ・呉世雄、藤川和利、松浦敏夫、下篠真司、宮原秀夫：分散型マルチメディアシステム Symphony における QoS を含んだシナリオ記述言語の設計、電子情報通信学会論文誌 B-1、Vol.J79-B-I No.5、pp329-337(1996)
- ・加藤聰彦、木村昭、鈴木健二：QoS を保証しないネットワークのための輻輳制御機能を有する連続メディア情報転送プロトコル、情報処理学会研究会 マルチメディア通信と分散処理 83-8、pp43-48(1997)

- ・ 逆手寛治、山口弘純、東野輝夫、谷口健一：動画の品質劣化の許容度を考慮した帯域制御の一方式、  
情報処理学会研究会 マルチメディア通信と分散処理 88-12、pp67-72(1998)
- ・ 佐藤純、橋本浩二、高坂幸春、柴田義孝：メディア同期を考慮したマルチメディア転送プロトコル、  
情報処理学会研究会 マルチメディア通信と分散処理 88-13、pp73-78(1998)
- ・ 後藤幸功、長野央、荒木啓二郎：ATMネットワーク上での動画配送アプリケーションの評価、  
情報処理学会研究会 マルチメディア通信と分散処理 89-15、pp79-83(1998)