

RL-008

## ネットワーク伝送帯域に配慮した蓄積 MPEG 映像伝送方式の開発

A Development of the transmission method for stored MPEG image data  
with considering the bandwidth of network

三嶋英俊† 楠恵明† 龍智明† 辻本浩章‡

Hidetoshi Mishima Yoshiaki Kusunoki Tomoaki Ryu Hiroaki Tsujimoto

## 1. はじめに

近年では、一般家庭においても急速にブロードバンドネットワーク環境が普及し、公のインターネット環境をはじめ、多くの方が PC を利用してインターネットで映像を享受できるようになってきている。一方、TV や DVD 等の家電分野においてもネットワーク化[1-3]が進んでおり、今後は各情報家電がインターネットに接続されるようになる。これによりインターネット上で提供されるオンデマンドの映像配信サービスが利用できるようになる。

多くの場合、このサービスのコンテンツは、映像が蓄積されているインターネットサーバーから配信されるものである。ユーザは、観たい番組を選択して、MPEG-2 に代表されるような圧縮映像ストリームを情報家電で受信して視聴することができる。しかし、現在の DVD レコーダー等のように、シーンを検索するための「早送り」や「巻き戻し」[4]に相当するサービスは現状では秒 1 フレーム程度の表示更新頻度しかないケースが多く静止面を表示するのみのようなサービスで十分とは言えない。秒 8 フレーム程度の表示更新であればあまり違和感がないとの報告もある[5]。早送りのためには、視聴に供するストリームの一部を伝送するか、全てのストリームを伝送し情報家電側で取捨選択して圧縮データの一部をデコードする方法がある。

筆者らは、MPEG-2 の映像伝送サービスに関する「早送り」や「巻き戻し」(以下、早送りサービス)において、視聴に供するストリームの一部を伝送する方式について、ネットワーク伝送帯域に配慮して、MPEG-2 の規格を満たすように変換して伝送する方式を開発した。従来のアナログ放送クラス(SD)あるいはハイビジョン(HD)映像のネットワーク伝送機能について検討したので、開発内容及び性能評価結果について説明する。2 章では、早送りサービスに対応するネットワーク映像伝送方式の概要を説明し、3 章では、システムへの実装のためのアルゴリズムを詳細に説明する。また、4 章では、配信実験システムを開発して実施した実験結果についてまとめる。

## 2. ネットワーク映像伝送方式概要

図 1 に、本映像ネットワーク伝送方式のシステム概念を示す。現在実現されているネットワーク伝送方式では、「早送り」を行うことは不可能ではない。しかし、例えば 1 秒に 1 フレームが表示更新される程度の早送りであり、VTR のような早送りのイメージとは異なるものである。早送りでイメージするのは、表示更新の頻度は静止画と意識させない程度(8 回/秒程度)であることが望ましい。

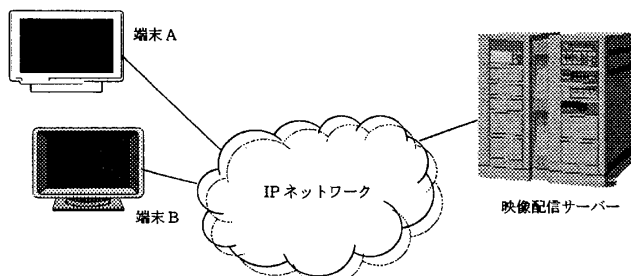


図1 映像配信ネットワークシステム

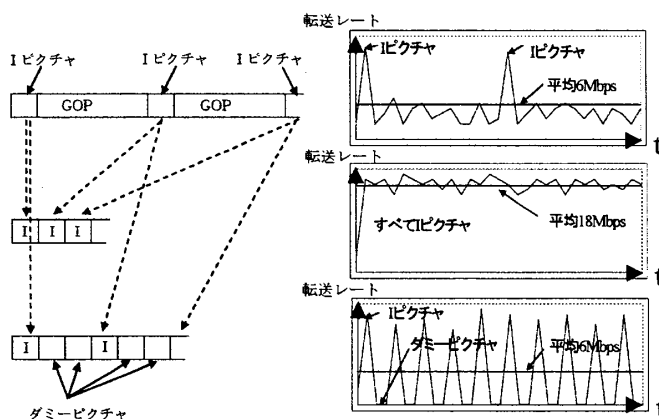


図2 早送り映像ネットワーク伝送方式概念図

例えば、6Mbps の圧縮映像ストリームは、普通に視聴するために映像伝送の帯域は 6Mbps を確保するだけでよい。表示更新頻度を向上する早送りサービスを行うために、仮に圧縮ストリームの伝送速度を 3 倍に上げて送信し、受信端末となる情報家電側だけで取捨選択してデコードする場合は、18Mbps の伝送帯域が必要になる。本伝送方式では、早送り時には不要なピクチャを省いて、MPEG-2 の規約に基づいたダミーピクチャを挿入する。こうすることにより、図 2 のように平均ビットレートとしては、帯域を増やさずに早送りサービスを実現する。I ピクチャのみを伝送する早送りサービスを実現している例もある[5]が、MPEG-2 のフレーム周波数の表記と矛盾が生じ、後述するバッファ量制御もなされないため、必ずしも全てのデコーダで復号できる補償はないという問題がある。

ダミーピクチャのストリームは、時間軸上で過去のピクチャを再表示するような圧縮データにする。MPEG-2 では、フレームレートを設定すると、ピクチャを最も簡単に再表示できるのは、逆 3-2 プルダウンのフィールドの繰り返しである。しかし、第一フィールドの繰り返ししか許されていないため、図 2 のように前のピクチャをフレーム単位で繰り返すことができない。そこで、B ピクチャや P ピクチャ

† 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

‡ 大阪市立大学 大学院工学研究科

ヤそのものに替わるダミーピクチャの圧縮データのストリームを作成する必要がある。

これを実現するために、本検討では、動き補償ピクチャである B, P ピクチャを構成する各スライスのマクロブロック(MB と略す)単位で符号化をスキップするようにダミーピクチャストリームを作成する。MPEG-2 では複数のスライスにわたって MB スキップすることができないように取り決められているため、スライスの第 1MB と最終 MB 以外をスキップする方式を採用する。例えば、NTSC レベルの解像度(720×480 画素)の B ピクチャでは、図 3 に示すように 1 スライスあたりの 5Bytes 分のコードを作成する。これに 4Bytes のスライススタートコードを付与し、ピクチャヘッダ 18Bytes を加え 288Bytes の長さで、1 ピクチャを構成する 30 スライスを表すことができる。

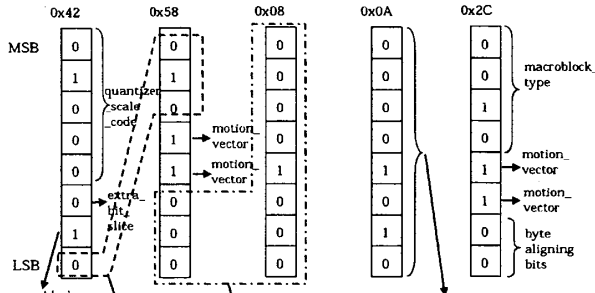


図3 ダミーピクチャを構成するスライスストリーム例

### 3. ネットワークシステムへの実装

#### 3.1 VBV バッファ制御

MPEG-2 の伝送にはタイムスタンプやデコード処理のための VBV バッファモデルを満足するための VBV ディレイ値が正しく付与されることが必要となる。タイムスタンプは、ストリームのピクチャ構造と VBV ディレイ値が明確になれば付け替えることが可能である。VBV ディレイ値に適正な値を設定しなければ、デコーダのバッファ上でアンダーフローしたりオーバーフローしたりする懸念がある。ネットワークシステムへの実装にあたり、この VBV ディレイ値は、図 4 の VBV バッファモデルに基づき、以下のよう再計算した。

シーケンスヘッダから最初のピクチャスタートコードまでの符号化データが VBV バッファに格納された後、最初の VBV ディレイ値 ( $\tau_0$ ) で指定された時間分だけデータが充填される。伝送データは符号化の転送レートと等価で、傾き  $a$  の伝送速度であるとする。  $\tau_0$  で指定された時間が経過すると、このピクチャ符号量に相当する  $d_0$  のデータが

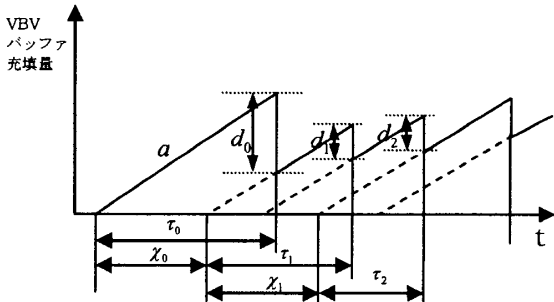


図4 バッファモデルの符号量推移

VBV バッファから取り出されデコードされる。

続くピクチャは  $\tau_1$  で指定された時間経過後すぐに VBV バッファから取り出されデコードされる。従って、通常、該当するピクチャの VBV バッファへの充填時間  $x_n$  は、デコードピクチャが表示される時間を  $T_n$  として、以下の式(1)で表すことができる。

$$x_n = \tau_n + T_n - \tau_{n+1} \quad (1)$$

一方、符号量  $d_n$  と転送レート  $a$  との間には、 $d_n = a \times x_n$  の関係がある。ここで、先頭の I ピクチャは早送りの場合も同じデータサイズであり、デコード開始時の VBV バッファ充填量を同じにする考え方を導入する。早送りサービス時の符号量  $d'_n$  と転送レート  $a'$  とすると、 $d_n = d'_n$  であるから  $a \times \tau_n = a' \times \tau'_n$  となる。すなわち、VBV ディレイ値を式(2)で表すことができる。また、レート一定にするために、スタッフィングなどの措置を施し、I ピクチャの符号量が多い場合には、3.3 節で示すように P ピクチャのダミーピクチャを I ピクチャの代わりに挿入するように伝送符号量制御を行った。また、本方式は、挿入する I ピクチャによって早送り速度を調整可能である。

$$\begin{cases} \tau'_0 = \frac{a}{a'} \times \tau_0 \\ \tau'_n = \tau'_{n-1} - \frac{d'_{n-1}}{a'} + T_n \quad \text{ただし } n \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

#### 3.2 早送りサービスのモード切替え

2 章で述べたダミーピクチャは、順方向の動き補償予測をデータとして復号化されるため、通常再生から早送りサービスへのモード切り替えについては、ストリーム上、映像が乱れる要因はない。しかし、早送りサービスから通常再生に切り替える場合に、通常再生のストリームの第 1, 第 2 ピクチャで早送りサービスの映像と通常再生の映像のマクロブロックが混ざって出力されることがある。

この原因は、復号化表示順で 1 フレーム目及び 2 フレーム目が B ピクチャであり、早送りサービス時の参照ピクチャと、通常再生とから動き補償予測復号されるためである。これを回避するには、通常再生に切り替わった GOP(境界 GOP と称する)を加工することが必要になる。通常再生直後の最初及び 2 番目の B ピクチャに対しても符号化データをダミーピクチャに差し替える。この概念図を図 5 に示す。符号化データ順では、ピクチャの並びが、IBBPBBP...となっているが、ダミーピクチャを D と表記すると、IDDPBBP...とするような境界 GOP として配信するようストリームの差し替えを行う。

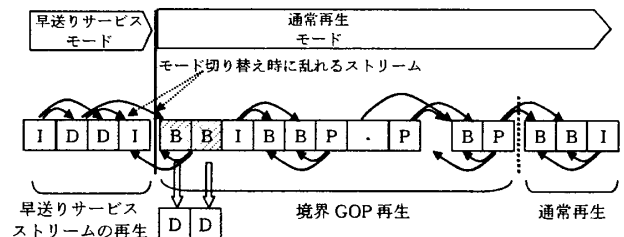


図5 モード切り替え時のピクチャ入れ替え制御

### 3.3 ダミーピクチャの挿入アルゴリズム

ダミーピクチャへの置き換えピクチャ数が多ければ多いほど、ビットレートは下がる。そこで本方式では、Iピクチャの符号量が多いほど、ダミーピクチャへの置き換え数を増やし転送レートを下げようダミーピクチャの置き換えを制御する。

転送レートが R (Mbps) の場合で、連続して挿入する許容される Iピクチャの最大符号量  $Q_{I\_max}$  (Bytes) は、1フレームの Iピクチャ後に挿入するダミーピクチャ数を  $N_D$ 、1ピクチャのダミーピクチャの符号量を  $Q_D$  (Bytes)、フレーム周波数を  $F_v$  として、式(3)で表される。すなわち、これを超える Iピクチャの符号量となる場合には、ダミーの Pピクチャで置き換えることで転送レートを制御する。

$$Q_{I\_max} = \frac{R \times 10^6 \times (N_D + 1)}{8 \times F_v} - N_D \times Q_D \quad (3)$$

ダミーピクチャの置き換えをコントロールするため、メタデータファイルから読み取られた所定の Iピクチャのサイズにより、図6のようにダミーピクチャの挿入の仕方を適応的に変更する。この図は5倍速の Iピクチャ再生を行った例を示している。Case1 は、ダミーの Bピクチャを2フレーム分挿入する場合で、Case2 は、ダミーの Pピクチャを含んで5フレーム分のダミーピクチャを挿入する。同様に、Case3 では、8フレーム分のダミーピクチャを挿入するモードである。このように3つのケースを使い分けて符号量制御を行うアルゴリズムの概念を図6に示す。

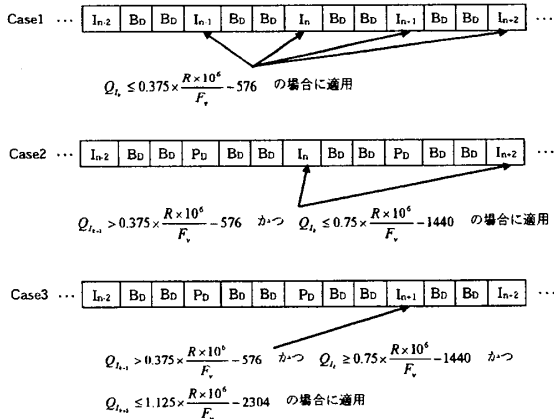


図6 ダミーピクチャの置き換え方法

## 4. 映像伝送システムの構築と伝送性能評価

### 4.1 SD映像伝送

まずは、NTSC 解像度(720×480 画素)の映像を 4Mbps で符号化してハードディスクに蓄積しネットワーク伝送する場合の実験結果について述べる。

まず、ダミーピクチャの符号量について評価する。ある動画シーケンスで早送りサービスに使用する Iピクチャの符号量の推移を図7に示す。平均符号量は 46,925Bytes、最小符号量は 18,970Bytes、最大符号量は 87,474Bytes であり、Iピクチャは、GOP の18%の符号量を占めていた。

一方、ダミーピクチャで置き換えることによって転送レートを削減できる Bピクチャの平均符号量は 10,590Bytes、

最小符号量は 2,445Bytes、最大符号量は 27,085Bytes であった。Bピクチャの符号量は、2章で示したダミーピクチャで示したわずかな符号量 288Bytes に比べて大きく、ダミーピクチャによる転送レートの削減が有効であることが判る。Bピクチャが 20 フレーム/秒であれば、この動画シーケンスの場合、転送レート平均 1.69Mbps の削減効果をもたらすことが判った。

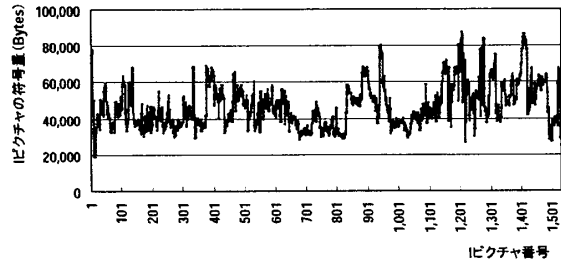


図7 Iピクチャの符号量推移例

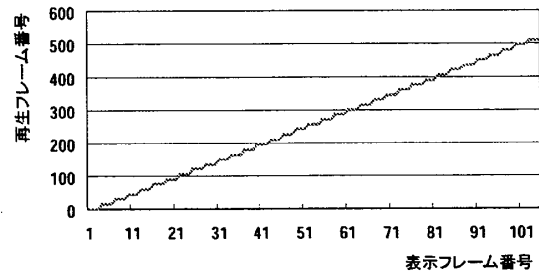


図8 再生フレーム番号と表示フレーム番号の関係

本方式での5倍速の早送りサービスを例に映像配信サーバーからネットワーク経由で配信したストリームを端末で受信して表示したフレーム番号の時間推移を図8に示す。階段状に非連続になっている箇所がジャンプしているところを示しており、この部分の段差が低いほど、表示するフレームのジャンプ量が小さいことを示している。この図示した箇所は、Iピクチャの符号量が比較的少ないため、全てのBピクチャをダミーピクチャで置き換えて、それ以外を全てIピクチャで置き換えても転送レートは、通常再生のストリームのビットレートを超えていない。

しかし、Iピクチャの符号量が多いと、図6のCase2や、Case3の場合のように、同じ倍速数を確保するために、Iピクチャの置き換え頻度を下げて配信する必要がある。図7に示した動画シーケンス全体で、Case1~Case3の発生頻度の推移を図9に示す。

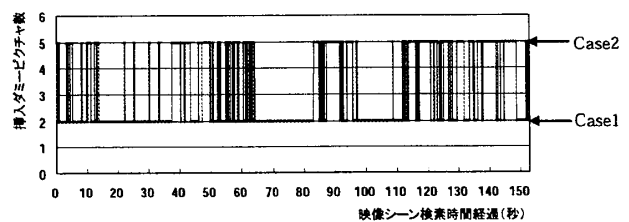


図9 SD映像でのIピクチャ頻度の推移例

この実験結果により、Iピクチャとして更新される頻度は、 $F_v=29.97\text{Hz}$  の場合、5~10回/秒程度であることが判る(今回実験では平均8回/秒であった)。

さらに、サービスモードの切り替え時に、Bフレームで開始される先頭 GOP の最初の2ピクチャをダミーピクチャに置き換える場合の映像への影響について実験する。モード切替え(早送りサービスから通常再生への切り替え)は原則としてIピクチャ配信出力終了のタイミングで行っている。図10(a)は、先頭2ピクチャをダミーピクチャに置き換えない場合で、図10(b)は置き換えた場合である。このピクチャ置き換えにより、モード切替え時のノイズも抑制されていることが判る。

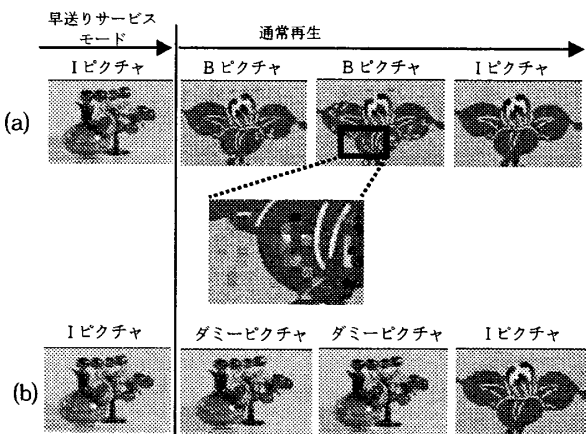


図10 モード切替え時のノイズ抑制効果

#### 4.2 HD映像伝送

ハイビジョン解像度(1920×1080画素)の映像についても実験を行った。映像の符号化ビットレートは18Mbpsで地上デジタル放送と同程度である。なお、この解像度のHD映像では、macroblock\_escapeのコードを3回使用するため1スライスのペイロード長は9Bytesとし、ダミーピクチャの符号量は902Bytesになる。なお、図13に今回の実験を行った情報家電側の試作基板を示す。

まず、実験に使用したコンテンツのIピクチャの符号量のばらつきを図11に示す。Iピクチャの平均符号量は226,240Bytesであり、最大符号量は446,080Bytes、最小符号量は138,012Bytesであった。また、Bピクチャの平均符号量は45,009Bytes、最大符号量は446,080Bytes、最小符号量は14,553Bytesであった。また、Case1及びCase2の出現頻度を図12に示す。この実験結果でも、5~10回/秒程度であることが判る(今回実験では平均6.5回/秒であった)。

SD, HDいずれの場合でも秒1回程度の早送りに比べ、6~8倍の映像表示頻度とすることが可能になった。

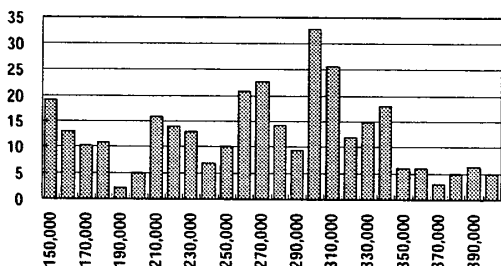


図11 ハイビジョン映像のIピクチャの符号量ばらつき

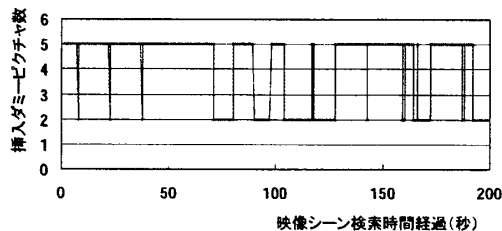


図12 HD映像でのIピクチャ頻度の推移例

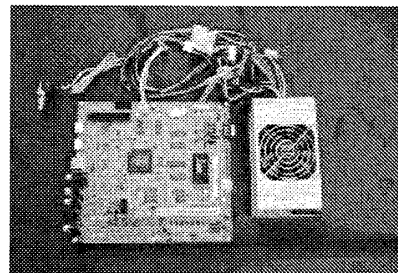


図13 ネットワーク対応映像受信試作基板

#### 5. まとめ

本研究では、早送りサービスの表示更新頻度の向上の観点から映像配信方式の検討を行い、Bピクチャ、Pピクチャをダミーピクチャに置き換える映像配信システムを開発した。早送りサービスのストリーム配信時にネットワーク伝送帯域に配慮して、ダミーピクチャへ置き換えるアルゴリズムを示し、映像配信システムに組み込んだ。その結果、HD映像では6.5回/秒、SD映像では8回/秒の表示更新が可能であることを示し、あまり違和感がない早送りサービスと言われる8回/秒[5]に非常に近い値を実現し、その有効性を確認した。さらに本方式は、MPEG-2規約に基づいた正しいストリームになっているため、汎用的にMPEG-2デコーダでデコードが可能である。また早送りサービスのモード切り替え時のノイズ抑制方式についても提案し、ノイズが抑制されることについても確認した。

なお、今回の実験では、専用回線を使いルーターは1段で端末数も1台の実験を行った。今後の課題は、多段ルーターになりルーティングパスが複雑になった場合の packets 到着ゆらぎによるバッファアンダーフローの検討や、著作権保護方式の実装時のシステム負荷増加の検討などである。

#### 参考文献

- [1] 佐藤利光 他: "ネットワーク対応ホーム AV サーバシステムの構築", 信学技報 MR2005-43 Vol.105 No.531 pp.7-12(2006)
- [2] 森田知宏 他: "異種ホームネットワークにおけるプラグアンドプレイおよびストリーム転送接続方式の開発", 情報処理学会第68回全国大会講演論文集(2006)
- [3] 篠原隆 他: "組み込みプロセッサを使ったIAMS対応情報端末の開発", FIT2004 LO-004 (2004)
- [4] 三嶋英俊 他: "デジタルビデオディスクにおける画像の階層符号化方式の検討", テレビジョン学会誌 Vol.49 No.2 pp.234-238 (1995)
- [5] 浅井光男 他: "映像メディアにおける映像格納方式の検討", 信学技報 IE94-13 Vol.94, No.31 pp.21-28 (1994)