

映像コンテンツのエラー耐性に応じた BCMCS チャンネル構成に関する一検討

A Study on BCMCS Channel Composition
According to the Error Resistance of Video Contents加藤 晴久[†]
Haruhisa KATO米山 暁夫[†]
Akio YONEYAMA滝嶋 康弘[†]
Yasuhiro TAKISHIMA

1. 序論

BCMCS (Broadcast/Multicast Services) [1] はマルチキャスト通信で効率の良いコンテンツ配信を可能にする。特に同一コンテンツを多数のクライアントに配信する場合は配信経路の末端でパケットが複製されるため、ユニキャストでの一対一通信と比べて、伝送路途中の通信量が大幅に削減される。

しかし、モバイルネットワークなど伝送路のエラー発生率が高い環境においては、複数のクライアントで大量のエラーが異なる箇所に発生するので、マルチキャスト配信で正しく同報配信することは困難である。エラーを修復する一般的な方法としては、個別のクライアントにユニキャストで再送する方法が採用されている。しかし、ユニキャストによる配信が支配的になれば、マルチキャスト配信の効果が得られないばかりか、サーバの負荷が増大するという問題がある。

本稿は前述した問題点を解消し、複数クライアントに低遅延でエラー耐性の高い配信を実現するため、BCMCSの論理チャンネル構成について考察する。

2. 配信コンテンツの構成と配信の問題点

BCMCS で配信するコンテンツに注目すると、SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language) [2] に代表される表現力の高いコンテンツが利用されつつある。SMIL は動画、音声、静止画、テキストなど複数メディアの振る舞いを記述し、同期再生を可能とする国際標準規格である。しかし、各メディアはデータサイズやエラー耐性が大きく異なる。例えば、テキスト情報はデータサイズが小さく、エラーに対して全く耐性がない。一方、MPEG-4 に代表される動画についてはデータサイズが大きく、様々なエラー耐性技術やエラー隠蔽技術が存在する。

エラーに対する許容度が異なるメディアを混在させてマルチキャスト配信する場合、エラー耐性が低いメディアがコンテンツ全体のエラー耐性を決定することになる。例えば、テキストと動画に同程度の割合でエラーが発生した場合、動画はエラーを隠蔽可能なレベルにあっても、テキストに発生したエラーが回復するまで再生を開始できない。

よって、次節以降では低遅延かつ効率的な配信を実現するため、エラー耐性に応じて BCMCS チャンネルを分配する方法を検討する。

3. 従来のエラー耐性技術

デジタル放送のデータ配信では、エラー耐性技術としてデータカルーセル方式 [3] が用いられている。データカルーセルでは同一のデータを定期的に再配信するため、エラーが発生してもクライアントからは再送要求を行わず、エラー箇所が再送されるのを待ってエラーを修復する。ただし、エラーの修復には少なくとも配信の一周期分を待つことになるため、再生を開始できるまでに時間がかかるという問題がある。[4] では、更新されたメタデータの差分情報だけを送出することで高速化を実現する方法を提案しているが、コンテンツ全体の配信については触れられていない。

一方、動画像符号化技術のひとつである MPEG-4 では、下記に示すエラー耐性技術が仕様として規定されている。

- 逆方向から復号可能な RVLC
- AV 同期の開始点となる再同期マーカ
- 動きベクトル及び DCT 係数を分離するデータパーティショニング

他にも MPEG のエラー隠蔽技術として、Video に関しては局所的動きベクトルを用いた補間法 [5] や大域動きベクトルを用いた補間法 [6] が提案されている。一方、Audio に関してはサブバンドでの線形予測 [7] などが提案されている。MPEG-4 は移動体通信への応用が想定されていたため、エラーが発生しやすい環境でも主観的画質を維持する技術が確立しつつある。

4. エラー耐性を考慮した BCMCS システム

本節では、複数の受信クライアントに同一データを配信する BCMCS サーバにおいて、コンテンツを構成する複数のエレメントデータのエラー許容率に応じた配信を行うシステムを提案する。本システムの構成を図 1 に示し、シーケンスを下記に示す。

- サーバ
 1. コンテンツを複数のエレメントデータに分離
 2. エレメントデータのエラー許容レベルに応じてマルチキャストチャンネル構成を決定
 3. エレメントデータを複数のマルチキャストチャンネルで送信
 4. クライアントから再送要求があれば、ユニキャストで指定されたパケットを送信
- クライアント
 1. マルチキャストチャンネルで同報送信されたエレメントデータを受信

[†] (株) KDDI 研究所, KDDI R&D Laboratories Inc.
{hkato, yoneyama, takisima}@kddilabs.jp

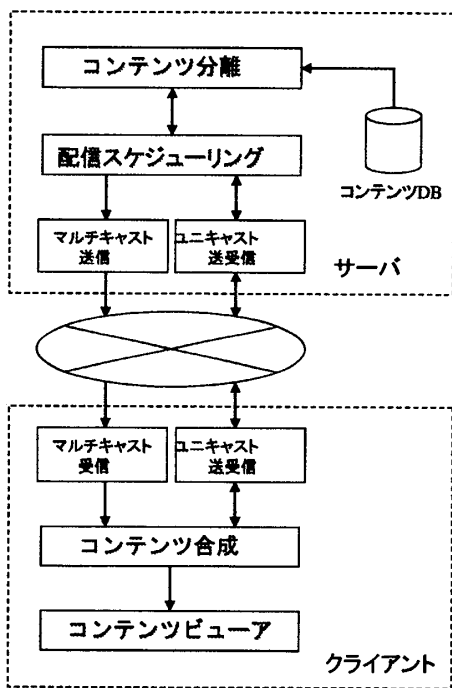


図1 システム構成

2. エlementデータの受信状態やエラー許容レベルに応じてコンテンツを再構成
3. エラーの発生率によっては再送を要求しユニキャストでエラーを回復

4.1 コンテンツ分離

図1のコンテンツ分離処理は配信するコンテンツをコンテンツDBから取得し、コンテンツに含まれるエlementデータをエラー許容率に応じて任意の段階に分類する。分類されたエlementデータはパケットロスが発生してもクライアントでコンテンツの再構成が可能となるように、フレーム毎に復号時刻、再生時刻、オフセット情報などを付与する。

例えば、図2のようにMPEGフォーマットのコンテンツはHeader、Audio及びVideoに分類できる。さらにVideoに関しては符号化タイプ毎にエlementデータとしても分離できる。エラー耐性や復号時の重要度が異なるI-picture、P-picture、B-pictureに分割することで、さらに細かく配信チャンネルを分割制御することも考えられる。

4.2 配信スケジューリング

配信のスケジューリングは、エlementデータのエラー許容率や通信路のパケットロス率から、配信チャンネルの分配比率を決定する。データカールセルはエlementデータを繰り返し配信するが、エlementデータはそれぞれエラー許容率が異なる。よって、一律に送信するのではなく、エラー許容率が低いエlementデータを優先的に配信する。すなわち、配信チャンネルを論理的に分割し、エラーが許容できるエlementデータが一周する間に、エラーが許容できないエlementデータが何周も配信され

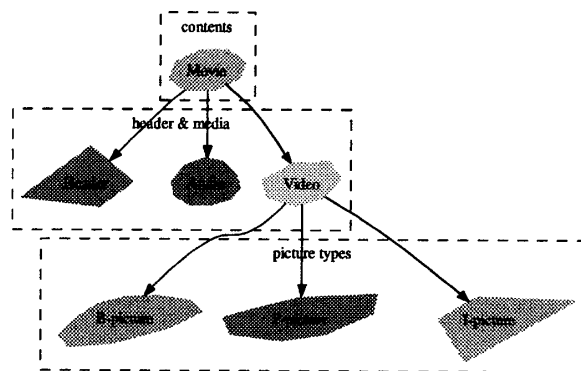


図2 コンテンツの分離

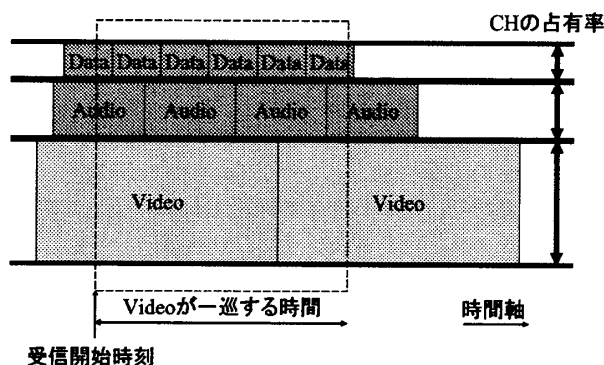


図3 配信チャンネルの構成

るようにチャンネル幅を設定することで、エラーが発生しても後者はエラーを修復できるように配信する。

図3は、クライアントが受信を開始してから、カールセルによって何周分のエlementデータをそれぞれ受信できるのかを示す概念図である。Videoを配信するチャンネルは、他のメディアよりも広く確保されているが、データサイズが大きいため配信にかかる時間が長い。よって、Videoの配信が一巡する間に、Audioは2回半、HeaderなどのDataは5回繰り返し送信することができる。HeaderやAudioはたとえ一周目で通信路にエラーが発生しパケットが失われても、二周目以降でエラーを回復できるため、高いエラー耐性を持つことが可能となる。このとき、各メディアに対する配信チャンネルの占有率の決定が問題となるため、次節で配信チャンネルの構成について検討する。

5. 配信チャンネル構成

図3のようにコンテンツを3種類のエlementデータに分離して、配信する場合を想定する。

コンテンツをエラー許容率が異なるVideoとAudioとHeaderに分離するとき、1本の配信チャンネルをそれぞれのエlementデータに対応する3本の論理チャンネルに分ける。配信チャンネルの誤り率がVideoの誤り許容率を下回れば、一回の配信でVideoは再生できる。しかし、配

信チャンネルの誤り率が、Audioの誤り許容率やHeaderの誤り許容率を上回る場合は、Videoが受信し終わるまでにAudioやHeaderに発生する誤りを許容率以下になるまで修復しなければならない。

配信チャンネルの帯域を $N(\text{bps})$ としたとき、Headerが使用する論理チャンネルの割合を $t_h (0 < t_h < 1)$ 、Audioが使用する論理チャンネルの割合を $t_a (0 < t_a < 1)$ とすると、Header、Audio、Videoの帯域はそれぞれ、 Nt_h 、 Nt_a 、 $N(1-t_h-t_a)$ で表される。このとき最適な t_h 及び t_a を求めることが目的となる。

コンテンツ全体のサイズ $M(\text{byte})$ とその各エレメントデータのサイズは既知の情報として与えられる。コンテンツサイズに対するHeaderの割合を $s_h (0 < s_h < 1)$ 、Audioの割合を $s_a (0 < s_a < 1)$ とすると、Header、Audio、Videoのサイズはそれぞれ、 Ms_h 、 Ms_a 、 $M(1-s_h-s_a)$ で表される。配信チャンネルのパケットロス率を $P (0 \leq P < 1)$ としたとき、配信を繰り返すことで誤りを修正できるので、Headerが許容できる誤り率を ϵ_h とおくと、Video一周期あたりHeaderの配信回数 n_h は式(1)を満たす必要がある。同様に、Audioが許容できる誤り率を ϵ_a とおくと、Video一周期あたりAudioの配信回数 n_a は式(2)を満たす必要がある。

$$P^{n_h} < \epsilon_h \quad (1)$$

$$P^{n_a} < \epsilon_a \quad (2)$$

一方で、 $M(1-s_h-s_a)$ byte のVideoを $N(1-t_h-t_a)$ bpsの論理チャンネルで1回分を配信するのに掛かる時間は $\frac{M(1-s_h-s_a)}{N(1-t_h-t_a)}$ である。また、 Ms_h byte のHeaderを Nt_h bpsの論理チャンネルで1回分を配信するのに掛かる時間は $\frac{Ms_h}{Nt_h}$ である。よって、Video一周期で配信できるHeaderの回数 n_h 、及びAudioの回数 n_a は次式で与えられる。

$$n_h = \frac{(1-s_h-s_a)t_h}{(1-t_h-t_a)s_h} \quad (3)$$

$$n_a = \frac{(1-s_h-s_a)t_a}{(1-t_h-t_a)s_a} \quad (4)$$

式(3)及び(4)を用いると、式(1)及び(2)の不等式から論理チャンネルの分配比率 t_h 、 t_a に対する制約式(5)が得られる。

$$t_h > \frac{a}{1+a}(1-t_a) \quad (5)$$

$$t_a > \frac{b}{1+b}(1-t_h)$$

ただし、定数 a 、 b は次式で与えられる。

$$a = \frac{s_h}{1-s_h-s_a} \log_P \epsilon_h \quad (6)$$

$$b = \frac{s_a}{1-s_h-s_a} \log_P \epsilon_a \quad (7)$$

Header及びAudioのチャンネル占有率 t_h 、 t_a の定義から、 (t_h+t_a) は1未満であるので、式(5)と合わせて評価すると、 t_h 及び t_a が取り得る範囲は図4の斜線部に相当する。

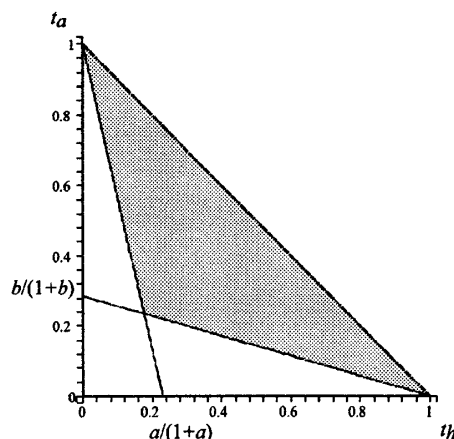


図4 チャンネルの分配比率 t_h 、 t_a に対する制約

このとき、コンテンツ全体の配信に掛かる時間を最小にするには、Videoの帯域 $N(1-t_h-t_a)$ を最大にする必要がある。すなわち、上記の制約の下で (t_h+t_a) が最小となる点は、式(8)で得られる。

$$t_h = \frac{a}{1+a+b} \quad (8)$$

$$t_a = \frac{b}{1+a+b}$$

よって、Header、Audio、Videoに対するチャンネル配分は、それぞれ $a:b:1$ の比率で設定する。

6. シミュレーション結果と考察

前節の有効性を検証するため、シミュレーション実験から最適なチャンネル構成を調査する。比較対象として、エレメントデータ毎に均等に分配する方法と、エレメンタリデータのサイズに比例する方法を用いた。

コンテンツの分離時に付与するサイズ、時間、オフセット情報はMPEG-4 Systemで規定されているSL Packetで格納し、カルーセルは独自のPacketで実装した。配信コンテンツは64kbpsのMPEG-4 Videoと64kbpsのMPEG-4 Audioから構成され、各エレメンタリデータのサイズを表1に示す。VideoとAudioは同じビットレートであるが、Audioはパケット数が多いため、SL Packetヘッダの分だけデータサイズが大きい。

Header、Audio、Videoの誤り許容率 ϵ_h 、 ϵ_a 、 ϵ_v を、それぞれ 10^{-10} 、 10^{-2} 、 10^{-1} と設定し、通信路のパケットロス率 P は0.001、0.01、0.1の3種類で検証した。パケットロス率に応じた提案法のチャンネル配分を他の方式と合わせて図5に示す。図5における各方式の幅は、各データが少なくとも1回以上配信される時間を相対的に示し、これをカルーセル一周期とした。例えばパケットロス率 P が0.1の場合、提案法のチャンネル配分は0.139:0.607:0.254となる。データサイズを考慮するとカルーセル一周期に対して、Headerは10回、Audioは2回、Videoは1回繰り返されることに相当する。ただし、パケットロス

表1 エlementデータサイズ

	Size (Byte)
Header	273459
Audio	5959680
Video	4978688

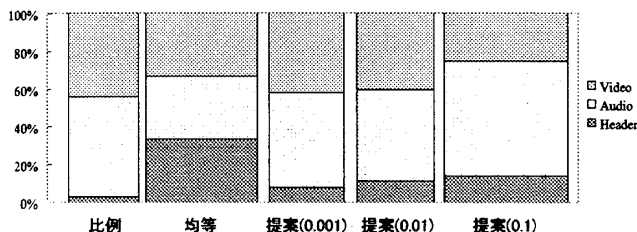


図5 チャンネルの分配比率 (各幅はカルーセル一周期に要する時間, 括弧内はパケットロス率)

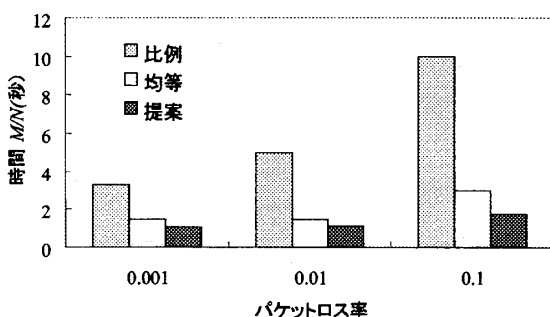


図6 全エレメンタリデータがエラー許容率を下回るまでにかかる平均時間

率が許容率より下回る場合, 配信回数は1回に設定した。また, 各パケットロス率において, 全エレメンタリデータがそれぞれのエラー許容率を下回るまでにかかる平均時間を図6に示す。図6ではMbyteのコンテンツをNbpsで配信するのにかかる時間M/Nを基準としている。

6.1 パケットロス率0.001の場合

Video及びAudioのエラー許容率はパケットロス率より大きいため, AudioやVideoに発生したエラーはそれぞれエラー耐性技術で十分修復・隠蔽できる。実験では提案法が1回の配信でも原画像とほぼ同等の主観品質を得ることを確認した。Headerに関しては, カルーセル一周期で10回配信されるため, エラーは一周期目ですすでに回復している。カルーセル二周期では全パケットの受信が完了した。一方, 比例配分は二周期ではHeaderのエラーを完全に回復するには至らなかった。均等配分は一周期で再生可能であったが, 配信に掛かる時間は提案法の約1.5倍遅い。

6.2 パケットロス率0.01の場合

パケットロス率0.001よりエラーが発生しているが, 提案法はカルーセル一周期でも原画像とほぼ同等の主観品

質を得た。カルーセル二周期でほぼ全パケットの受信が完了した。一方, 比例配分はHeaderのエラーを二周期では修復できなかった。均等配分は配信に掛かる時間が提案法の約1.4倍遅いうえに, Audioの劣化が目立った。

6.3 パケットロス率0.1の場合

提案法はカルーセル一周期目ではAudioの途切れが目立ちVideoも画像が乱れる場合があったが, カルーセル二周期目で原画像とほぼ同等の主観品質を得ることを確認した。二周期では約99%のパケットを受信し, 三周期ではVideoの1~5パケットがロストしていた。四周期で全パケットの受信が完了した。提案法のカルーセル四周期にかかる時間は比例配分の七周期に相当するが, 比例配分は七周期でもHeaderのエラーは修復できなかった。一方, 均等配分は一周期でHeaderを正しく受信できたが, Audioの劣化が大きく, 二周期でも回復できなかった。

7. 結論

本稿では, 通信路の帯域やエラー発生率に応じてコンテンツを分割し, 分割されたエレメントデータのエラー許容率に応じて配信するチャンネルを分配することで, 単純な比例配分や均等配分と比較してエラー耐性が高く効率的な配信が可能となった。また, 高信頼性が求められるチャンネルによっては, 基準となるエレメンタリデータも一回以上のカルーセル配信によって, エラーを回復することが可能となる。

参考文献

- [1] Wang, J., Sinnarajah, R., Chen, T., Wei, Y. and Tiedemann, E.: Broadcast and Multicast Services in cdma2000, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 42, No. 2, pp. 76-82 (2004).
- [2] Rutledge, L.: SMIL 2.0: XML for Web multimedia, *IEEE Internet Computing*, Vol. 5, No. 5, pp. 78-84 (2001).
- [3] ISO/IEC13818-6: Information technology; Generic coding of moving pictures and associated audio information, Part 6: Digital Storage Media-Command and Control (DSM-CC) (1998).
- [4] 山口徹也, 松村一, 川森雅仁, 川添雄彦: データカルーセル伝送によるメタデータ配信の高速化に関する検討, 信学総大, No. B-7-51, pp. 205-205 (2005).
- [5] 向井崇, 米山暁夫, 中島康之: MPEG4ビデオにおけるパケットロス時のエラーコンシールメント方式の検討, 信学総大, No. D-11-8, pp. 8-8 (2002).
- [6] Su, Y., Sun, M.-T. and Hsu, V.: Global motion estimation from coarsely sampled motion vector field and the applications, *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 15, No. 2, pp. 232-242 (2005).
- [7] 齋藤照昌, 柳原広昌, 中島康之: MPEGオーディオストリーミングにおけるパケットエラー隠蔽方式に関する一考察, 信学総大, No. B-11-19, pp. 639-639 (2002).