

MPEG-4 の誤り耐性技術

Error-Resilient Techniques for MPEG-4

中條 健 永井 剛 菊池 義浩

CHUJOH Takeshi

NAGAI Takeshi

KIKUCHI Yoshihiro

MPEG-4(Moving Picture Experts Group-phase 4)の標準化の要求条件の一つは、モバイルでの動画像伝送を想定した動画像符号化自体の伝送路誤り対策である。ここでは、動画像符号化における誤り耐性技術についての基本的な考え方を説明するとともに、MPEG-4 Visualに採用されている誤り耐性技術(再同期マーカ、重要情報の二重化、データパーティショニング、リバーシブル可変長符号)について述べる。当社は、MPEG-4の誤り耐性の標準化に大きく貢献している。

One of the requirements for MPEG-4 standardization is error resilience for mobile video communications. In this paper, we explain the basic concepts of error-resilient video coding and summarize some error-resilient techniques (resynchronization marker, header extension code, data partitioning, reversible variable-length code) that are adopted in MPEG-4 Visual. Toshiba contributed error-resilient techniques to MPEG-4 standardization.

1 まえがき

通常、通信路上の誤りは、よりネットワークに近いシステム・多重化側で誤り訂正符号などを付加することにより対処してきた。しかし、第三世代の携帯電話サービスやPHSなどの移動体通信、それからインターネットをも含めたグローバルなネットワークでの使用を考慮した場合の通信路は、誤り率が高いたけでなく、様々な状況が想定される。そこで、MPEG-4ではこのような状況を考慮して、システム側で訂正しきれなかった各種の誤りパターンを想定し、このような環境の下でも映像品質を確保できるような、動画像符号化としての誤り耐性技術が採用されている。

MPEG-4の符号化技術は、プロファイル(Profile)という概念で整理されているが、誤り耐性技術はシンプルプロファイル(Simple Profile)というもっとも内側にあるプロファイルに属している。したがって、ほとんどすべてのプロファイルでこの技術は使われることとなるという意味で、MPEG-4の技術の中でも重要なものの一つである(この特集のp.2参照)。

ここでは、まず動画像符号化における誤り耐性技術についての基本的な考え方について説明し、続いてMPEG-4に採用されている具体的な誤り耐性手法について述べる。

2 動画像符号化の誤り耐性技術

情報源符号化における誤り耐性技術は、音声符号化にお

いても検討されているが、伝統的に音声符号化と動画像符号化では、系統の異なる符号化方式が採用されている。そのため、動画像符号化の誤り耐性技術は、音声符号化とは違った考え方をしている。基本的な動画像符号化における誤り耐性技術を復号側の処理手順という観点でまとめると、次のようになる。

- (1) 誤りの検出
- (2) 誤り伝搬の防止
- (3) 誤りの修復
- (4) 誤りからの回復

まず、誤りの検出は、符号語として正しいビットパターンかどうかのチェックや、符号化データが文法的、意味的に正しい状態かどうかをチェックすることによって行われる。誤り耐性を考慮した場合、通常の復号動作に加えて、符号化データに誤りが存在することを考慮してすべての状態をもれなくチェックするようにしなければならない。

誤り伝搬の防止は、多くの動画像符号化で可変長符号化(Variable Length Coding)を採用していることから重要である。可変長符号化は、情報の出現頻度に応じて符号語長を可変にすることで、平均的にデータ量を圧縮することができる手法である。しかし、符号化したデータに誤りが入ると、その誤りが伝搬して、本来は正しい部分に関しても復号できなくなってしまうという問題がある。誤り耐性とは別な機能として、画面の単位であるVOP(Video Object Plane)単位に復号することを実現するために、通常VOP単位に同期符

号が挿入されていて、その同期符号を見つけることで、符号化データの途中からの再生や早送りなどの特殊再生が可能となっている。誤り耐性を必要とする場合は、更に、VOPよりも細かい単位で再同期ができるように同期符号が挿入できるようになっていて、誤りの伝搬を防止することができる。

誤りの修復は、いわゆるエラーコンシールメント(Error Concealment)と呼ばれており、欠落したデータを補間する技術である。動画の場合は時間方向の相関が高いため、過去の画面の同一位置からの情報で置き換えるだけでもかなり効果がある。また、後述するデータパーティショニング(Data Partitioning)と組み合わせると、動き補償した画像で補間することも可能である。

誤りからの回復については、イントラリフレッシュ(INTRA Refresh)と呼ばれる手法が有効である。この手法は、通常の時間方向への予測符号化をあえて行わないで、強制的にその画面内で閉じた符号化モードであるイントラ(INTRA)で符号化する方法である。イントラでリフレッシュすることで、時間方向への誤りの影響の伝搬を断ち、誤りからの回復を図る手法である。基本的には、マクロブロック(Macro Block)と呼ばれる画面内のブロック状の符号化単位でリフレッシュされることになるが、途中からの再生のために挿入されるイントラVOP(I-VOP)を有効に使う方法もある。イントラで符号化した場合、符号化効率が落ちるため、画面内の動きに応じて適応的にイントラマクロブロックを挿入することで、少ないイントラマクロブロック数で誤りからの回復を図る方法も提案されている⁽¹⁾。

3 MPEG-4の誤り耐性技術

MPEG-4で採用されている誤り耐性技術を、符号化データの構造として図示すると図1のように表すことができる。基本的に、規格として定義されるのは符号化の文法にかかわる部分となるため、イントラリフレッシュのような符号化のパラメータ選択で実現できる技術や、符号化データに誤りがあった場合の復号側での誤り検出の方法などは、規格外の技術として定義される。具体的には、誤り伝搬の対策として

は、再同期マーカ(Resynchronization Marker)とリバーシブル可変長符号(Reversible Variable Length Code)が採用されている。また、重要情報の二重化や、データパーティショニングといった手法は、誤りの修復がしやすくなるような技術である。以下、それぞれの誤り耐性ツールについて述べる。

3.1 再同期マーカ

MPEG-4では、誤り対策として、画面の単位であるVOPより細かい単位で画面内に再同期マーカと呼ばれる同期符号を挿入して、図1のようなビデオパケット(Video Packet)と呼ばれる構造を作れるようになっている。符号化データに誤りが混入した場合、それ以降の符号の同期が取れなくなり、復号不可能な状態になる。このような場合でも、図1に示した構造を利用すれば、次の再同期マーカを検出することにより、その後の情報を正しく復号することが可能となる。

これまで動画符号化方式でも、画面内に再同期マーカのような同期符号を挿入することは可能であったが、挿入できる位置が画面内で限定されていた。画面上の位置によって発生する符号量は大きく異なるのに対して、誤りが存在する確率は符号量に比例することを考慮すると、符号量に対して一定の間隔で再同期マーカが挿入されることが理想である。MPEG-4では、マクロブロック単位に再同期マーカを挿入することができることから、マクロブロックごとの発生符号量に応じて、ビデオパケットを構成することができる。結果として、画面上の符号量が発生している重要な部分で、密に再同期がかかるようになる(図2)。

また、この再同期マーカはバイト単位で挿入されるが、符号化データはバイト単位になるとは限らないので、その差分にはスタッフィングビット(Stuffing bit)が挿入される。これまでのスタッフィングビットは、単に0~7ビットの“0”のビット列を用いていたのに対して、MPEG-4のスタッフィングビットは、図3のような逆方向から復号可能なビット構成になっている。このことは、後述するリバーシブル可変長符号に基づく双方向復号を実現することが一つの理由であるが、それとともに、ビデオパケット内のビットストリームの長さを特定することが可能となっていることが重要である。誤り検出のた

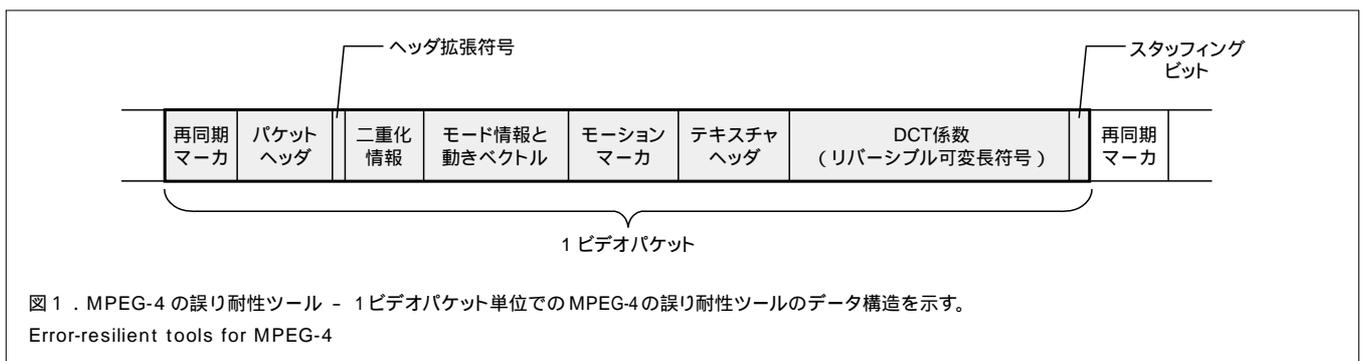


図1 . MPEG-4の誤り耐性ツール - 1ビデオパケット単位でのMPEG-4の誤り耐性ツールのデータ構造を示す。
Error-resilient tools for MPEG-4

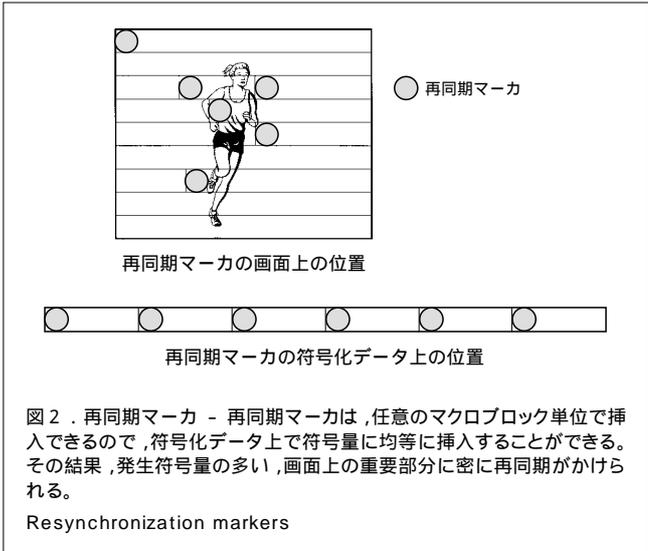


図2. 再同期マーカ - 再同期マーカは、任意のマクロブロック単位で挿入できるので、符号化データ上で符号量に均等に挿入することができる。その結果、発生符号量の多い、画面上の重要部分に密に再同期がかけられる。

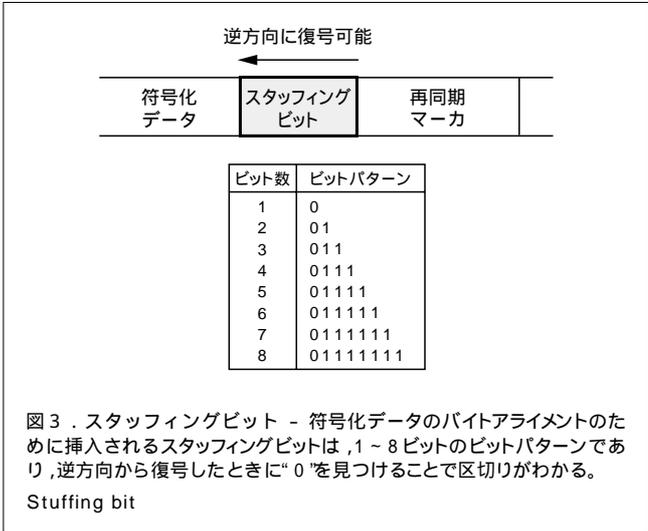


図3. スタッフィングビット - 符号化データのバイトアライメントのために挿入されるスタッフィングビットは、1～8ビットのビットパターンであり、逆方向から復号したときに“0”を見つけることで区切りがわかる。

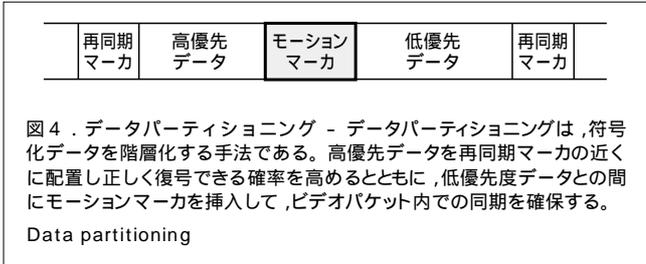
めに復号された符号化データのビット数と想定したビット数が一致するかどうかで、誤り検出をチェックすることが可能である⁽¹⁾。

3.2 重要情報の二重化

同じ圧縮された符号化データでも、映像全体に影響を与えるような重要な部分と、たとえ多少誤ったデータでもほとんど画面に影響を及ぼさない部分が存在する。そこで、特に重要情報を複数回伝送することが可能な構成を導入し、誤り耐性を強化している。各VOPを正しく復号するためには、VOPヘッダに含まれるタイムコードやVOPの符号化モードの情報、動きベクトル検出範囲情報などの情報が必要である。そこで、誤りによってVOPヘッダが消失しても正しく復号が行えるように、図1のようにヘッダ拡張符号(Header Extension Code)というフラグを立てて、この後にVOPヘッダに含まれる情報を二重化情報として付加できる構成が導入されている。

3.3 データパーティショニング

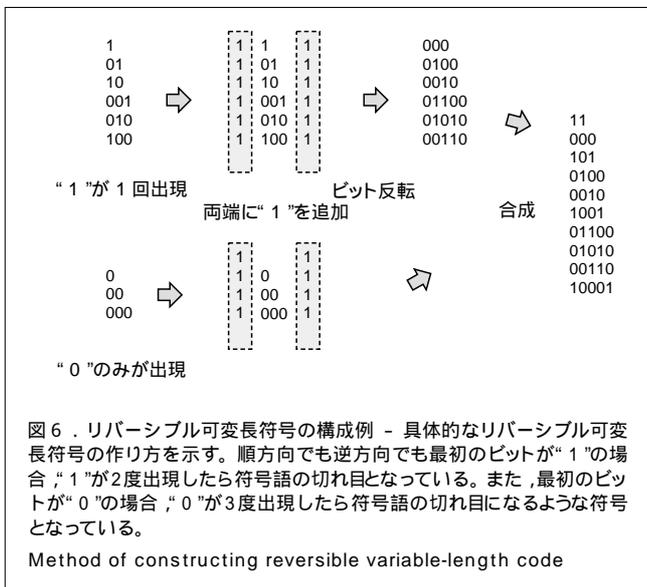
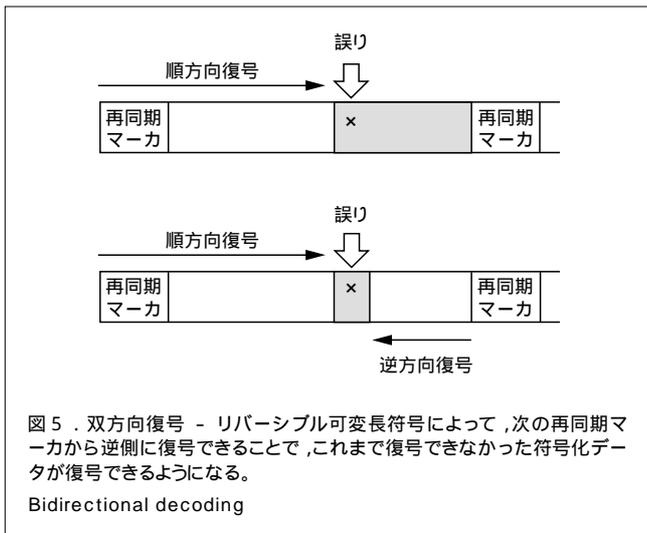
データパーティショニングは、ビデオパケット内のマクロブロックの符号化データをまとめて、図4のように階層化する手法である。より重要な情報を高優先データとしてビデオパケットの前半部分に配置すると、再同期マーカに近くなるので、正しく復号される確率が高くなる。更に、モード情報及び動きベクトルとDCT(Discrete Cosine Transform: 離散コサイン変換)係数などのテクスチャ情報の間に、モーションマーカ(Motion Marker)と呼ばれる同期符号を挿入して、ビデオパケット内で同期が確保できるような構造になっている。このことにより、モーションマーカまでの高優先データが正しく復号できることが確認できる。もし、低優先データに誤りが入り、復号できない部分が存在しても、高優先データのみで動きベクトルにより動き補償された予測画像が確保されるため、エラーコンシールメントが実現できる。



3.4 リバーシブル可変長符号

データパーティショニングが選択された場合、DCT係数の可変長符号としてリバーシブル可変長符号を選択することが可能である。この符号は、通常の符号化データの順方向での復号に加えて、逆方向にも復号が可能となっている可変長符号である。DCT係数は、ビデオパケットの後半に配置されているため、誤りを検出した場合にも、次の再同期マーカから逆方向に復号することにより、図5のように復号できずに廃棄されてしまうビット数を減らすことができる。この手法は、次の同期符号の位置から逆側に復号できるという意味で、冗長度を与えずに同期可能な位置を2倍にした効果が期待できる。処理量の観点から見ると、双方向復号を行うと処理は複雑になるが、復号側のみでの処理なので逆側からの復号を行わない選択肢も可能で、その意味では自由度が高い。

実は、リバーシブル可変長符号の存在については、少なくとも1950年代後半には知られていた。しかし、いまだ理論的に難しい面を残しているため、MPEG-4の標準化で話題になるまで、実用的なシステムとしての構成はほとんど考えられていなかった。単純に冗長なビットが付くというわけではなく、最適な符号と同等の符号も存在するが、その数は極めて少ない。最適な符号の符号語を入れ替えて冗長なビットを付け、リバーシブル可変長符号を設計する手法が提案さ



れていたが、必ずしも符号化効率の面で十分とは言えなかった。MPEG-4で使われている符号は、自然数に対する符号化を応用したものである。図6は、この手法を用いたリバーシブル可変長符号の構成の一例を示している。まず、“0”のみの2進系列を1ビットのものから、2ビット、3ビット、...、と作成する。次に、それらの2進系列の両端に“1”を付ける。また別途、系列中に“1”が1個だけある2進系列を1ビットのものから、2ビット、3ビット、...、と作成する。次に、それらの2進系列の両端に“1”を付けて、ビット反転する。最後に、作成した符号語を符号語長と符号語の重みが小さい順に合成する。

この符号の構成方法は、符号語中の“0”と“1”の数に着目している。“0”と“1”の数は、復号の方向に依存しないので、

双方向に復号可能であり、あらかじめ区切りとする“0”と“1”を調節することで、確率分布に応じた様々な符号が設計可能である⁽²⁾。なお、MPEG-4で採用されているリバーシブル可変長符号の符号化効率の低下は、悪くとも数%以内であることが知られている。

リバーシブル可変長符号のもう一つの特長として、自己同期しにくいという性質がある。通常の可変長符号の場合は、符号語中に誤りが入っても検出させることなく、符号語レベルでの同期が回復してしまうという自己同期性という性質がある。このような状態になると、正しく復号できていないにもかかわらず誤りが検出されず、その影響が画面に現れてしまう可能性がある。リバーシブル可変長符号の場合、双方向に復号可能であるという性質そのものが自己同期しにくいという性質と等価であることから、誤りを見逃しにくい性質も持ち合わせている⁽³⁾。

4 あとがき

ここでは、MPEG-4の誤り耐性技術について述べた。動画画像符号化の誤り耐性技術が本格的に標準化に取り入れられたのは、MPEG-4が初めてと言ってよい。その意味で、今後この分野の技術開発の進展が期待される。

文献

- (1) 菊池 義浩,ほか. 移動体画像通信に適した高誤り耐性動画画像符号化方式. 映像情報メディア学会誌. 51, 10, 1997, p.1722 - 1729.
- (2) 中條 健,ほか. リバーシブル符号とその誤り耐性を有する動画画像符号化への応用. 電子情報通信学会論文誌(A). J80-A, 3, 1997, p.532 - 541.
- (3) 中條 健. 可変長符号の誤り検出能力. 電子情報通信学会論文誌(A). J84-A, 10, 2001, p.1282 - 1290.



中條 健 CHUJOH Takeshi, D. Eng.
研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務, 工博。動画画像符号化に関する研究・開発に従事。電子情報通信学会, IEEE 会員。
Multimedia Lab.



永井 剛 NAGAI Takeshi
研究開発センター マルチメディアラボラトリー。動画画像符号化技術に関する研究・開発に従事。
Multimedia Lab.



菊池 義浩 KIKUCHI Yoshihiro
研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。画像圧縮符号化(MPEG-4など)の研究・開発に従事。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会会員。
Multimedia Lab.