

エラー耐性画像通信方式 NEWPRED におけるフレーム単位 参照画像変更処理の一検討

木全英明 正満峰夫 八島由幸
NTT サイバースペース研究所

モバイル網やLAN上において発生する顕著な伝送エラーは、動画像をリアルタイムに通信する場合、画質の劣化を引き起こす。一方、コンピュータの高速化や高性能化によってソフトウェアでリアルタイムに画像符号化/復号が可能となりつつあり、今後、利用形態に沿った、標準方式に特化しない多様な画像符号化方式が用いられると考えられる。そこで本稿では、高いエラー回復能力を持つ画像通信方式 NEWPRED を拡張し、符号化方式に特化しない汎用的なエラー耐性通信方式を提案する。NEWPRED 方式では、参照画像を変更する単位としてフレームまたはスライスがあるが、本稿では、これら2つの処理単位の差について評価し、提案する汎用的な方式への適用について検討した。

Study on a Versatile Enhancement of Frame-Based Reference Picture Selection on the NEWPRED

Hideaki Kimata, Mineo Shoman, and Yoshiyuki Yashima
NTT Cyber Space Laboratories

Transmission errors, seen on mobile and LAN network, cause a significant picture degradation in a real-time visual communication. On the other hand, it is becoming possible to encode or decode in real-time by software implemented in high speed computers, and then, various and non-standardized video coding methods would be being applied to a specified application. In this paper, we propose a versatile error resilient visual communication method, which is not limited in specified video coding methods. We enhanced the NEWPRED method, which enables visual communication system to recover from error propagation switching reference pictures frame by frame or slice by slice. We can conclude frame by frame method is effective for applying to the proposed communication system.

§ 1. はじめに

モバイル網等の伝送エラーが顕著な伝送路を介したリアルタイム画像通信では、高いエラー耐性が必要である[1]。画像符号化方式 H.263 では、エラーからの回復技術に NEWPRED 方式を採用している[2]。

一方、コンピュータの高速化、高性能化に伴い、ソフトウェアによって動画像をリアルタイムに符号化／復号することが可能となりつつある。今後、ソフトウェアでの符号化／復号では容易に方式を改良することが可能であるため、利用形態に適合して、多種多様な映像符号化方式が用いられるであろうと考えられる。

従って、我々は、符号化方式に特化しない形でのエラー耐性の強化が必要だと考えている。そこで、エラー耐性画像通信方式 NEWPRED を拡張して、映像符号化方式に特化しないエラー回復方式を検討している。

本稿では、まず拡張する際の基本となるフレーム単位に参照画像を変更する NEWPRED 方式の性能を評価し、さらに符号化方式に特化しない汎用的な方式の提案を行う。

§ 2. NEWPRED 方式

(1) NEWPRED 方式の概要

NEWPRED 方式は、リアルタイム画像通信において伝送エラー耐性を強化するための技術である[3][4]。一般的に、フレーム間予測符号化を用いた符号化データにエラーが発生すると、その後のフレームにエラーが波及する。この問題に対して NEWPRED 方式では、送信側と受信側とに複数フレーム分蓄積できる参照画像メ

モリを備え、送信側が参照画像を適宜変更することによって伝送エラーが発生した状態から回復する。

図 1 に NEWPRED 方式の送信側と受信側のシステム構成を、図 2 に符号化データ送受信の例を示す。予め送信側と受信側は過去の複数フレーム分の復号画像を Additional reference picture memory に蓄積する。受信側は送信側に、2 種類の上り信号 (Ack 信号または Nack 信号) のいずれかを、フレームやスライスなどの、ある特定の符号化単位を受信するごとに送信する。正しく復号できた場合には、そのフレーム番号を含めて Ack 信号を送信し、正しく復号できない場合には、正しく復号できたフレームの番号のうち最近のものを含めて Nack 信号を送信する。従って、伝送エラーが発生した場合には、受信側は送信側へ 1 フレーム前の正しく復号できたフレームの番号を Nack 信号として送信し、その画像を Additional reference picture memory に保持する。送信側は受信したフレーム番号の画像を Additional reference picture memory から選択し、その画像を参照画像にして符号化する。受信側は保持した画像を参照画像としたフレームを受信すると、Additional reference picture memory から参照画像を選択して、そのフレームをエラーなく正しく復号することができる。

また一般的に、エラーが発生する伝送路を会しての画像通信では、符号化器はフレームを複数のスライスに分割し、スライスを単位に符号化する。そしてシステムはスライスを単位に符号化データを送受信する。

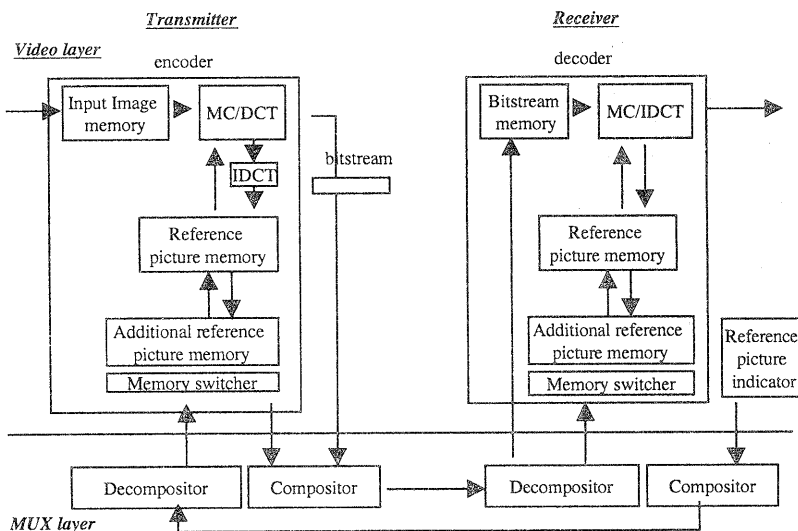


図 1. NEWPRED 方式における送信側と受信側の構成例

NEWPRED 方式でもスライスを単位に符号化データの送受信を行う。従って、スライス単位に上り信号を送受信することが可能である。

(2) スライス単位の参照画像変更方法

NEWPRED 方式では、参照画像を変更する符号化単位をフレームよりも小さくすることによって、動き補償によるエラーの波及を局所化することが可能である[5]。一般的にはフレームを複数の矩形のスライスに分割し、スライスの符号化データのみ受信すれば、そのスライスが復号できるように符号化データを構成する。さらに、フレーム間の波及を防止するために、スライスの形状は固定にする。(この符号化方法は independent segment decoding と呼ばれる。)

フレーム単位に参照画像を変更する場合とスライス単位に変更する場合における長所と短所を表 1 に挙げる。フレーム単位に参照画像を変更する場合と、スライス単位に参照画像を変更する場合の送信側と受信側の動作例を示す。スライス数 3 の場合における、スライス単位に参照画像を変更した場合の例を図 3 に、フレーム単位に参照画像を変更した場合の例を図 4 に示す。参照画像の蓄積は、スライス単位の参照画像変更ではスライス単位に行うのに対して、フレーム単位の参照画像変更ではフレーム単位に行う。

スライス単位に参照画像を変更する場合には、スライスの大きさを符号化する前に予め決定する必要がある。この大きさによって、表 1 に挙げた、エラーの波及の度合いと符号化効率のトレードオフの関係を調整する必要がある。

表 1. フレーム単位とスライス単位の長短所

| | 長所 | 短所 |
|--------|--|---|
| フレーム単位 | ・エラーが無い場合の符号化効率が NEWPRED 方式を用いない場合と同じ。 | ・動き補償によるエラーの空間的な波及が大きい。 |
| スライス単位 | ・動き補償によるエラーの空間的な波及が小さい。 | ・エラーが無い場合の符号化効率が NEWPRED 方式を用いない場合に比べて低下する。 |

§ 3. 計算機実験による評価

(1) 実験方法

NEWPRED 方式はエラーの波及を防止する技術であるため、多くの場合フレーム単位ではなくスライス単位に参照画像を変更する方法が用いられる。

そこで、我々が提案する汎用的エラー耐性方式を実現する際に、どちらの方式を元にするのかを決定するため、フレーム単位に参照画像を変更する方法とスライス単位に参照画像を変更する方法における画像品質を計算機実験によって評価した。フレーム単位の参照画像変更方法では、上り信号を送信するタイミングとして、1 フレームに 1 度の場合と 1 スライスに 1 度の場合の 2 種類を評価した。

評価画像には QCIF サイズの foreman を用いた。フレームレート 10fps, ビットレート 48kbps

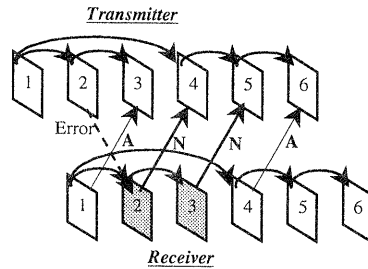


図 2. 送信側と受信側の信号処理

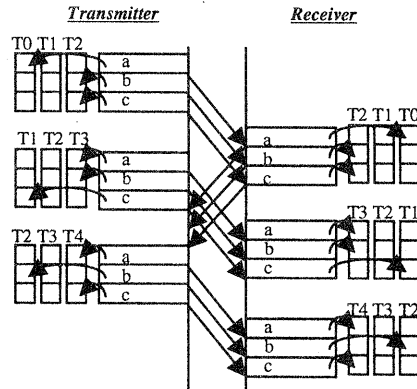


図 3. スライス単位参照画像変更方法

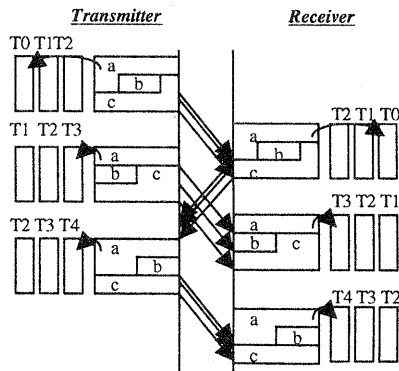


図 4. フレーム単位参照画像変更方法

で MPEG-4 符号化方式を用いて符号化した [6][7]. VOP をフレームとして扱い、VideoPacket をスライスとして扱った。

エラーパターンは、バースト長 10msec、平均ビットエラー率 10^{-3} のエラーと、バースト長 1msec、平均ビットエラー率 10^{-3} のエラーを用いた[8]. バーストエラーは一般的に、バースト長が短いほどより多くのスライスにエラーが発生する性質を持っている。

以上の条件にて、スライス単位に参照画像を変更する方法で、スライス数が5の場合と9の場合を実験した。また、フレーム単位に参照画像を変更する方法では、MPEG-4VM13[5]に記載されているように、符号化データの長さが一定ビット数以上になるマクロブロックを境界にして、スライスを分割した。このスライス長は 736 ビットとした。

(2) 実験結果

表2にスライス数を5にした場合の PSNR の平均値を、表3にスライス数を9にした場合の PSNR の平均値を示す。

- BL: バースト長
- VP: VideoPacket 単位参照画像変更方法
- VOP: VOP 単位参照画像変更方法にて
上り信号を VideoPacket 毎に送る場合。
- VOPb: VOP 単位参照画像変更方法にて
上り信号を1度のみ送る場合。

表2. スライス数5の場合の PSNR[dB]

| BL | VP | VOPb | VOP | VOP - VP |
|---------|-------|-------|-------|----------|
| NoError | 30.95 | 31.16 | 31.16 | 0.21 |
| 10msec | 29.88 | 30.94 | 30.98 | 1.06 |
| 1msec | 29.33 | 29.98 | 30.00 | 0.65 |

表3. スライス数9の場合の PSNR[dB]

| BL | VP | VOPb | VOP | VOP - VP |
|---------|-------|-------|-------|----------|
| NoError | 30.03 | 31.16 | 31.16 | 1.13 |
| 10msec | 29.89 | 30.94 | 30.98 | 1.05 |
| 1msec | 29.39 | 29.98 | 30.00 | 0.59 |

表2と表3に示す結果を基に、フレーム単位の参照画像変更方法とスライス単位の参照画像変更方法とを比較すると、以下のことがわかる。

- ・エラーなしの場合とエラーが少ない場合の両方において、フレーム単位の参照画像変更方法の方が PSNR が高い。
- ・スライス数9の結果に見られるように、エラーが多い場合には、フレーム単位の参照画像

変更方法とスライス単位の参照画像変更方法との PSNR の差が少なくなる。

- ・フレーム単位の参照画像変更方法において、上り信号を送信するタイミングが1フレームに1度の場合と、1スライスに1度の場合とで、PSNR の差は少ない。

以上の結果から、今回の実験したようなエラーが少ない場合には、フレーム単位に参照画像を変更する方法は、スライス単位に参照画像を変更する方法よりも画質が良いと考えられる。

§4. 符号化方式に非依存の NEWPRED 方式

(1) システムレイヤ構成

上記に示したように、フレーム単位の参照画像変更方法は、スライス単位に変更する方法に比べて、エラーが少ない場合の画質がよい。さらに表2と表3からスライス単位の参照画像変更方法について次のことがわかる。

- ・エラーなしの場合にはスライスの数が多いと PSNR が低い。
- ・エラーありの場合にはスライス数が多いと PSNR が高い。

従って、スライス単位に参照画像を変更する場合には、エラーの発生状況に応じて最も画質がよいスライス数が異なる。このため、スライス数は通信前に予め決定しておく必要があるが、エラーの発生率が不明な場合には、スライス数を決定することが困難である。

さらにフレーム単位の参照画像変更方法に対して、スライス単位の参照画像変更方法のシステムを構築する上で、以下に挙げる欠点がある。

- ・independent segment decoding をする必要がある。
- ・スライス単位に参照画像の蓄積を行う必要がある。

以上の考察から、H.263 等の現在標準化されている符号化方式に特化せずに、他の符号化方式に NEWPRED 方式を適用する際には、フレーム単位の参照画像変更方法を用いるのがよいと考えられる。

そこで、本検討では、フレーム単位の NEWPRED 方式を他の符号化方式を用いた画像通信システムで適用できる方式を提案する。

図5に本検討で提案するシステムの構成図を示す。提案方式では、エンコーダ/デコーダを扱うビデオレイヤと、符号化データ等を多重化する多重化レイヤの他に、参照画像メモリ等を管理するためのコントロールレイヤを備える。コントロールレイヤは、ビデオレイヤと多重化レイヤとの間に位置する。多重化レイヤではコ

ントロールレイヤからの参照画像指定データと符号化データを多重化する。

コントロールレイヤは、送信側では、ビデオレイヤの入力画像メモリへの上書き処理を制御する。また、入力画像上書きと同時にビデオレイヤの参照画像メモリの上書きを行う。ビデオレイヤからフレーム単位に符号化データを受信する。

受信側では、ビデオレイヤの符号化データ蓄積メモリへの上書き処理を制御する。また、符号化データ上書きと同時にビデオレイヤの参照画像メモリの上書きを行う。

また、送信側と受信側との間で、参照画像を指定するデータを、画像符号化データではなく、メタデータとして送受信する。

(2) 動作例

参照画像を指定するデータを画像符号化方式 H.263 の符号化データ中に含まれる TR(Temporal Reference)を応用して、提案方式が動作する例を概説する。

送信側では、コントロールレイヤはビデオレイヤの入力画像メモリへ、入力画像を上書きする。同時に、参照画像メモリへ参照画像を上書きする。受信側から参照画像の TR の指定をされていない場合には、直前のフレームの復号画像を上書きし、指定された場合には、指定された TR のフレームの復号画像を上書きする。

ビデオレイヤでは、入力画像を符号化し、符号化データをコントロールレイヤに送信する。コントロールレイヤでは、復号画像を蓄積する。符号化データを受信すると、符号化データと参照画像の TR を多重化レイヤに送信する。

受信側では、コントロールレイヤは符号化データをビデオレイヤの符号化データメモリへ上書きする。同時に、参照画像メモリへ参照画像を上書きする。

ビデオレイヤでは、符号化データを復号し、コントロールレイヤでは、復号画像を蓄積する。ビデオレイヤにて正しく復号できない場合には、最近に正しく復号できたフレームの TR を送信する。

以上に述べたように、コントロールレイヤは、ビデオレイヤの符号化処理自体とは独立に動作する。MPEG-4 のように、符号化方式が TR を用いない場合には、符号化データに含まれる、実際の時刻情報を代用して参照画像の指定を行う。

さらに、スライス構造を適用できる符号化方式においては、受信側が送信側に参照画像を指定する TR を、スライスを受信するごとに送信することも可能である。この場合には、1フレームに1度に TR を送信する場合よりも、エラーが発生した時の画質がよいと考えられる。

§ 5. まとめ

本稿では、まず NEWPRED 方式において、フレーム単位に参照画像を変更する方法は、エラーが少ない場合には、スライス単位に参照画像を変更する方法よりも画質が良いことがわかった。

また、このフレーム単位に参照画像を変更する方法を拡張し、参照画像メモリ等を管理するコントロールレイヤを備えることによって、符号化方式に依存しない、エラー耐性画像通信方式を提案した。

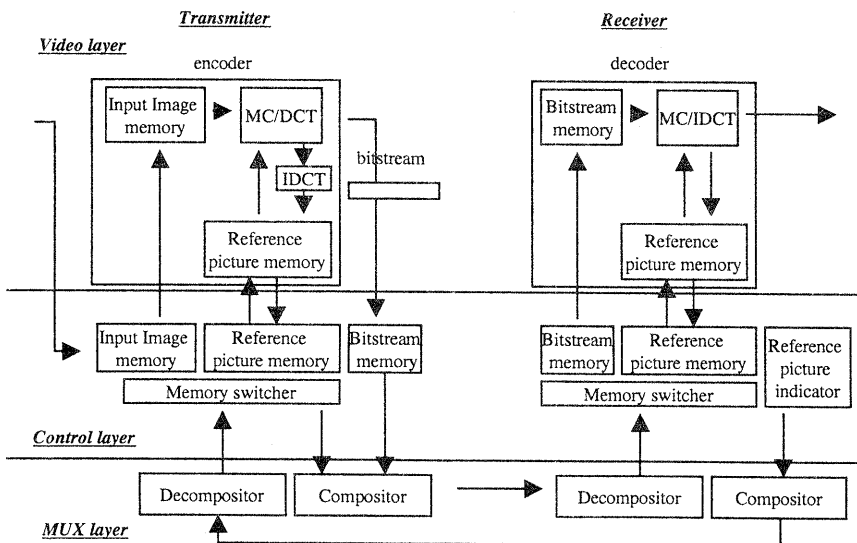


図 5. 提案方式における送信側と受信側の構成例

今後は提案方式を他の符号化方式に適用し、その効果を確認する予定である。

参考文献

- [1] 茨木久, 藤本強, 中野慎夫, 島村和典, “モバイル通信における映像符号化品質劣化防止方法技術の検討,” 画電誌, vol.23, no.5, pp.445-453, 1994.
- [2] ITU-T Rec. H.263, “Video Coding for Low Bitrate Communication,” 1998.
- [3] 富田靖浩, 木村司, 秋本高明, 木全英明, “上り信号を用いたエラー耐性を有する画像通信方式の一検討,” 1996 信学秋季全大, B-867, 1996.
- [4] Hideaki Kimata, Yasuhiro Tomita, Hiroyuki Yamaguchi, and Susumu Ichinose, “Study on Adaptive Reference Picture Selection Coding Scheme for the NEWPRED - Receiver-Oriented Mobile Visual Communication System -,” IEEE GLOBECOM'98, vol.3, pp.1431-1436.
- [5] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N2687, “ISO/IEC 14496-2 Video Verification Model V.13 (MPEG-4 video version 2),” 1999.
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N2323, “Overview of the MPEG-4 Standard,” 1998.
- [7] 菊池義浩, 中條健, 永井剛, 渡邊敏明, “移動体画像通信に適した高誤り耐性動画符号化方式,” 映像メディア学会誌, vol.51, no.10, pp.1722-1729, 1997.
- [8] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N1808, “Description of Error Resilient Core Experiments,” 1997.