

画像隠蔽技術を即時型動画像並列復号方式に適応した場合における画質復元能力に関する検討

本庄 勝<sup>†a)</sup>(学生員) 山里 敬也<sup>††</sup>(正員)  
 岡田 啓<sup>††</sup>(正員) 片山 正昭<sup>†</sup>(正員)  
 小川 明<sup>†††</sup>(正員)

A Study on the Error Recovery Improvement of Real-Time Parallel Video Decoder Using Error Concealment Technique  
 Masaru HONJO<sup>†a)</sup>, Student Member, Takaya YAMAZATO<sup>††</sup>, Hiraku OKADA<sup>††</sup>, Masaaki KATAYAMA<sup>†</sup>, Members, and Akira OGAWA<sup>†††</sup>, Regular Member

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋市  
 Department of Information Electronics, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8603 Japan

<sup>††</sup> 名古屋大学情報メディア教育センター, 名古屋市  
 Center for Information Media Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8603 Japan

<sup>†††</sup> 名城大学理工学部情報科学科, 名古屋市  
 Department of Information Science, School of Science and Technology, Meijo University, 1-501 Shiogamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya-shi, 468-8502 Japan

a) E-mail: honjo@kddilabs.jp

あらまし 動画像のリアルタイム性を維持しつつ、かつ劣悪な通信環境でも画像の劣化を抑えることができる方法に即時型動画像並列復号方式（以下、RT-PVD）がある。RT-PVDは、誤り訂正符号の復号処理遅延を減らすために動画像符号化のフレーム間符号化の復号原理に着眼した復号方式で出力画像と参照画像を別々に復号して参照画像の画質を保持し、動画像全体の画質を向上させている。本論文では、このRT-PVDに画像隠蔽技術を適用することで、更に特性改善をはかる。本来、画像隠蔽は劣化したブロックが完全に補間されない限り、2次的な誤り伝搬を引き起こす要因となる。しかしRT-PVDでは、出力画像の画像隠蔽において画像品質の高い参照画像を補間に利用することができるので誤り伝搬を発生させることなく実現できる。またRT-PVDでは、発生する劣化ブロックがランダムに発生することから、その補間されたブロックも人間の目には気づきにくく、主観評価では画質特性の大きな向上が期待できる。

キーワード 画像隠蔽技術, 実時間動画像伝送, 即時型動画像並列復号方式, 誤り耐性

1. まえがき

高圧縮符号化された動画像情報の復号は、通信路で発生する雑音に非常に弱いという性質がある。例えば、通信路雑音によって受信データに1ビットでも誤りが

含まれると、動画像の画質は極めて悪くなる可能性がある。即時型動画像並列復号方式（以下、RT-PVD）は、そのような通信路雑音の影響が無視できない環境で、リアルタイム通信をするときに、通信路雑音による画像の劣化を低く抑えることができる方式である[1]~[4]。

RT-PVDは誤り訂正符号の復号処理時間と動画像圧縮技術のフレーム間符号化の復号原理の二つに着目した復号方式である。通常、訂正能力の高い誤り訂正符号を用いると、その復号処理による遅延時間が問題となり、実現は難しい。そこで誤り訂正符号の処理量増大による遅延時間を見かけ上短くするために、二つの誤り訂正復号の処理系統を用意している。そこで処理量と誤り率の異なる二つの復号データを取り出すことで動画像の出力画像と参照画像を別々に復元し、特に参照画像の画質を向上させる。そうすることで実質的な出力画像の画質劣化を抑制する。

通信路雑音によって引き起こされる画質劣化は、直接的には受信データの復号誤りと参照画像の画質劣化による誤り伝搬の二つである。RT-PVDでは、参照画像の画質を維持することで、出力画像の誤り伝搬の発生を抑えることができる。それゆえイントラリフレッシュのような周期的な累積劣化（誤り伝搬）の除去も少なくでき、動画像の圧縮率も上げることができる。またRT-PVDの復元画像は、主観評価では、通常考えられる誤り伝搬による画像の破壊現象とは違い、ブロックノイズが各フレームごとでランダムに発生することがこれまでにわかっている[1]。

そこで本論文では、更にRT-PVDの画質を向上させるために画像隠蔽技術を適用することを考える。出力画像と参照画像を別々に復元するRT-PVDでは通常の単一の復号化器で画像隠蔽をするよりも高い画質の向上を得ることが可能である。本来、画像隠蔽は劣化したブロックが完全に補間されない限り、2次的な誤り伝搬を引き起こす要因となる。しかしRT-PVDでは、出力画像の画像隠蔽において画像品質の高い参照画像を補間に利用することができる。それゆえ出力画像で見た場合、2次的な誤り伝搬も低く抑えられる。また発生するブロックノイズはランダムに発生することから人間の目にはその補間した部分も気づきにくく、主観評価でも画質特性の大きな向上を得ることができる。これまでに画像隠蔽技術としていくつもの提案がなされてきているが[5]~[8]、本論文で提案することは、RT-PVDと画像隠蔽を組み合わせたことによる

特性の向上であり、基本的にどんな画像隠蔽技術でも適用可能である。ただし、その画像隠蔽に必要な処理量は考慮する必要がある。

2. 即時型動画像並列復号方式—RT-PVD

RT-PVDは、フレーム間符号化方式で得た符号化データを誤り訂正符号で保護し、リアルタイム通信をするときに、訂正符号の復号遅延が発生しないよう低処理回路で復号する一方、新たにもう一つの復号回路で十分な復号をすることで、通信路にて発生する誤りがフレーム間にわたって波及するのを動画像復号化器と誤り訂正復号を統合することで防ぐ方式である [1]~[4]。

図 1(a), (b) に、その送信側と受信側のブロック図を示す。基本的に送信側の符号化器には、特別な変更は加えていない。受信側に送信側に対応した誤り訂正符号を復号可能な二つの復号回路、 $\phi_1$ ,  $\phi_2$  を設けている。更に基本的には全く同一な動画像の復号回路を二つ用意し、出力画像と参照画像を別々に復元している。このようにすることで受信側は低遅延、低劣化の復号を実現している。

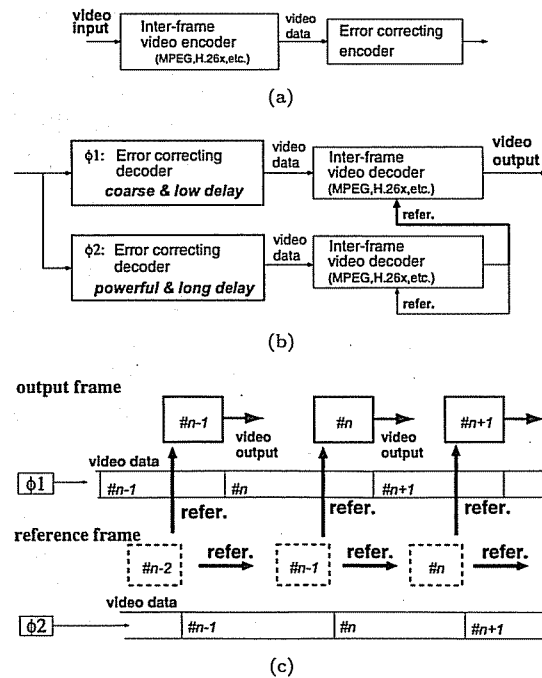


図 1 即時型動画像並列復号方式 (RT-PVD). (a) 送信側符号化器. (b) RT-PVD. (c) RT-PVD の復号手順

Fig. 1 Overview of RT-PVD. (a) Transmit encoder. (c) The RT-PVD. (c) Frame flow of RT-PVD.

図 1(b) の誤り訂正復号  $\phi_1$  と  $\phi_2$  はその処理遅延時間とその復号誤り訂正能力が異なっている。RT-PVD では、まず  $\phi_1$  から得られる訂正能力は低い遅延時間の短い動画像データを使用して出力画像系列を復元する。その一方で  $\phi_2$  から得られる訂正能力の高い動画像データを利用して参照画像系列を復元する。 $\phi_2$  の復号化器は処理遅延時間が長いので、その参照画像系列は、出力画像系列の復元に利用される (図 1(c))。これは、前フレームを参照するフレーム間符号化であれば、参照画像が利用されるのはフレーム周期後の出力画像の生成時であるので、その時間を誤り訂正部で有効利用して、参照画像系列の画質を向上させ、出力画像系列の復元に利用するためである。この RT-PVD を実現するためには、動画像の符号化が既に符号化されたものを参照する方式であればよい。また誤り訂正符号の訂正能力が時間的に向上するものであることが条件になるが、これには例えば、接続符号を利用したものや、TURBO 符号のような繰返し復号をする復号化器などが挙げられる [1]。

この RT-PVD の特徴は、参照画像系列の画像品質を上げることで誤り伝搬による画像の劣化を抑制することができる。それゆえ通常、雑音が無視できない環境で必要になるイントラリフレッシュや I フレームの周期を長くすることができる。これは帯域制限された低ビットレート符号化では非常に有効である。

図 2 は、その RT-PVD で復号したときの画質の特徴を示したものである。図 2(a) は使用した RT-PVD と即時性を等しくした並列復号でないシングル従来方式 (以下、RT-SVD) の出力画像の画質特性結果

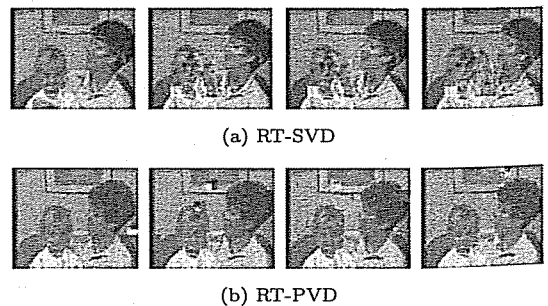


図 2 復元された出力画像系列の例 (AWGN 通信路,  $E_b/N_0 = 3.5$  [dB], [1] を参照) (a) (単一) 動画像復号化器 (b) 即時型動画像並列復号化器

Fig. 2 An example of video sequence obtained by (a) conventional real-time single video decoder (RT-SVD), and (b) RT-PVD, where AWGN channel is assumed,  $E_b/N_0 = 3.5$  [dB].

で、図 2(b) が RT-PVD で得られた出力画像の結果である。通信路の雑音の影響を受けたとき、従来の RT-SVD では (a) のように劣化した部分から誤り伝搬が生じ、後続のフレームほど、画像は崩れていく。一方、RT-PVD では、劣化した部分がブロックごとに発生するが、誤り伝搬は回避されていることがわかる。

図 2 でわかるように主観評価では、これまでの従来動画像復号化器の復号誤りで発生する画質劣化とは異なる特徴をもっていることがわかる。RT-PVD で復号誤りによって発生する画質劣化は、ブロックノイズがランダムに発生している。これは  $\phi_1$  に含まれる誤り訂正で除去できなかった誤りによるものである。このような異なる特徴をもった劣化特性であることを踏まえて、画像隠蔽技術を適用していくことを考えていく。

### 3. 画像隠蔽技術の適用効果

画像隠蔽技術は、復号化器で誤って復元されたと判断された部分（ブロック）をそれにもっともらしいブロックで置き換え、視覚的な画質劣化を抑える操作である。これは動画像情報のもつ高い相関特性を利用している。例えばいちばん簡単なものでは、復号誤りと判断されたブロックを、前フレームの同位置のブロックを使って補間する。この場合、動きが比較的少ない動画像情報（時間軸相関の高いもの）であれば、劣化を効果的に抑えることができる。

しかしながら、画像隠蔽では、その補間が完全でない限り、その誤差が 2 次的な誤り伝搬を発生させる。そこで RT-PVD では、図 3 のような画像隠蔽操作を行う。

まず  $\phi_1$  の復号結果によって得られる出力画像系列は図 3 で見たようにブロックノイズがランダムに発生している。そこでこれらの劣化した部分を  $\phi_2$  で得られた画質劣化の小さい参照画像系列で補間する。図 3 では、前フレームの同一ブロックの補間の場合を示したが、RT-PVD では補間をした出力画像系列は更に参照されることはないので補間が完全でなくとも 2 次的な誤り伝搬は発生しない。

この効果は 3 次元の信号解析モデルでも容易に確認することができる。例えば、文献 [1] で用いられている相関係数  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  の 3 次元ガウス・マルコフ・ランダムフィールド (3-D GMRF) を考えてみる。

$$S_{n,i,j} = \rho_1 S_{n-1,i,j} + \rho_2 S_{n,i-1,j} + \rho_3 S_{n,i,j-1} \\ - \rho_1 \rho_2 S_{n-1,i-1,j} - \rho_2 \rho_3 S_{n,i-1,j-1} \\ - \rho_1 \rho_3 S_{n-1,i,j-1} + \rho_1 \rho_2 \rho_3 S_{n-1,i-1,j-1} + W_{n,i,j} \quad (1)$$

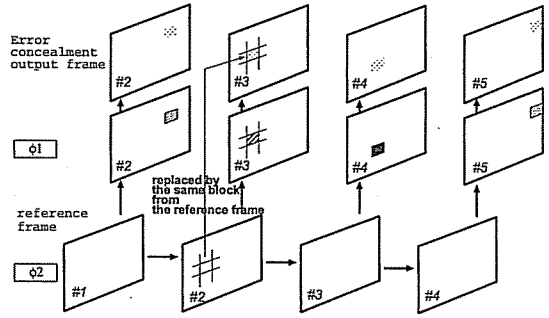


図 3 RT-PVD における画像隠蔽操作  
Fig. 3 Error concealment technique in the RT-PVD.

ここで  $S_{n,i,j}$  は分散  $\sigma_s^2$  の入力信号 ( $n$  フレームの  $\{i,j\}$  画素値)、 $W_{n,i,j}$  は平均 0、分散  $\sigma_w^2 = \sigma_s^2(1 - \rho_1^2)(1 - \rho_2^2)(1 - \rho_3^2)$  の 3 次元定常無記憶ガウス情報源である [1]。この信号に対しての受信側での画像隠蔽を行った  $S_{n,i,j}$  の復元値  $EC\tilde{S}_{n,i,j}$  の画質は、文献 [1] の式 (7) をもとに、次のように表すことができる。

$$\|EC\tilde{S}(z) - S(z)\| \\ = \left\| Q(z) + \frac{1}{1-H(z)} \cdot \frac{pW(z)}{(1-\rho_2 z_2^{-1})(1-\rho_3 z_3^{-1})} \right\| \\ = \sigma_q^2 + \frac{1}{\|1-H(z)\|} \cdot \frac{p\sigma_w^2}{(1-\rho_2^2)(1-\rho_3^2)} \quad (2)$$

ここで式は  $z$  領域での表記をしており、 $\|\cdot\|$  は 2 乗ノルム、 $\sigma_q^2$  は符号化器で発生する量子化誤差の分散、また  $p$  は通信路雑音によって画素が正しく復元されない確率でこれらはすべて  $EC\tilde{S}_{n-1,i,j}$  で置き換えられるとしている。それゆえ通信路雑音の劣化の代わりに補間したものと誤差分散  $\sigma_w^2/(1 - \rho_2^2)(1 - \rho_3^2)$  が、フィルタによる雑音増幅を受ける。

一方、RT-PVD の場合、 $\phi_2$  に含まれる雑音は強力に除去されておれば、その補間された  $\phi_1$  の誤差分散は誤り伝搬による増幅を受けない。例えば  $\phi_2$  に含まれる誤り率がゼロとすれば、式では、先ほどと同じく [1] の式 (6) をもとに以下のように表される。

$$\|EC\tilde{S}^{\phi_1}(z) - S(z)\| \\ = \left\| Q(z) + \frac{p^{\phi_1} W(z)}{(1-\rho_2 z_2^{-1})(1-\rho_3 z_3^{-1})} \right\| \\ = \sigma_q^2 + \frac{p^{\phi_1} \sigma_w^2}{(1-\rho_2^2)(1-\rho_3^2)} \quad (3)$$

表 1 RT-PVD 及び RT-SVD の緒元  
Table 1 The specification of RT-PVD and RT-SVD.

Video codec	Bitrate [kbps]	Frame duration $T_f$ [ms]	Total frame	Error correcting code	Decoding scheme
H.263 (ITU-T)	32	100	100	Concatenated code: (outer) BCH (127, 50) (inner) 1/2 TURBO	· RT-PVD · EC RT-PVD
H.263 (ITU-T)	64	100	100	BCH (127, 50)	· RT-SVD · EC RT-SVD

ここで  $\tilde{S}^{\phi_1}(z)$  は、RT-PVD で得た値とし、 $\phi_1$  に含まれる信号が正しく復元されない確率を  $p^{\phi_1}$  としている。このように誤り伝搬の項はなくなり、入力信号に含まれる白色雑音の分散が増幅されずに現れることになる。誤り伝搬による雑音項の増大は入力信号の相関値の大きさに関係し、 $\rho = 0.95$  の場合、約 10 倍となる。

#### 4. 画像隠蔽技術を適用する場合の留意点

RT-PVD では、 $\phi_2$  から得られる参照画像系列についても画像隠蔽をすることが考えられる。

しかしながら RT-PVD では、構造上、 $\phi_1$  の出力画像  $n$  番目のフレーム復号時には  $\phi_2$  の  $n-1$  番目のフレームは復号が完了していなければならない。ここで参照画像系列にも画像隠蔽をして動画像復号処理量を増やすと、画像隠蔽に必要な処理時間は倍になる。

隠蔽操作に加え、復号したブロックが誤ったかどうかを判定する処理も必要である。これらの処理量が大きいと、 $\phi_2$  の誤り訂正復号で稼げる時間が少なくなってしまう。それゆえ  $\phi_2$  の参照画像系列でも画像隠蔽技術を行う場合には注意が必要となる。例えば、使用する誤り訂正符号の時間的な訂正能力の向上関係や、 $\phi_2$  に含まれる除去されなかった雑音を考慮しなければならない。

#### 5. シミュレーションによる考察

ここでは、提案された RT-PVD の画像隠蔽技術の効果についてシミュレーションによる評価を行う。

表 1 にシミュレーションの緒元を示す。使用するパラメータ及び符号化器の選択は、比較がしやすいよう、文献 [1] と同様にした。表中の RT-SVD (Real-time single video decoder) は、RT-PVD と即時性、使用帯域がほぼ等しくなるように選択している。また EC RT-PVD、EC RT-SVD はそれぞれ画像隠蔽を施した復号方式とする。

なお、使用する動画像符号化の H.263 の符号化方式については、最初のイントラフレーム以外のすべての

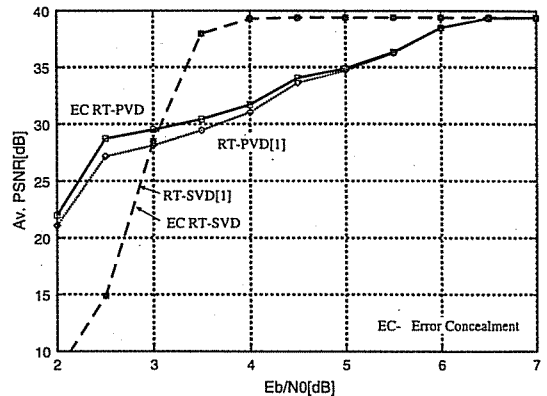
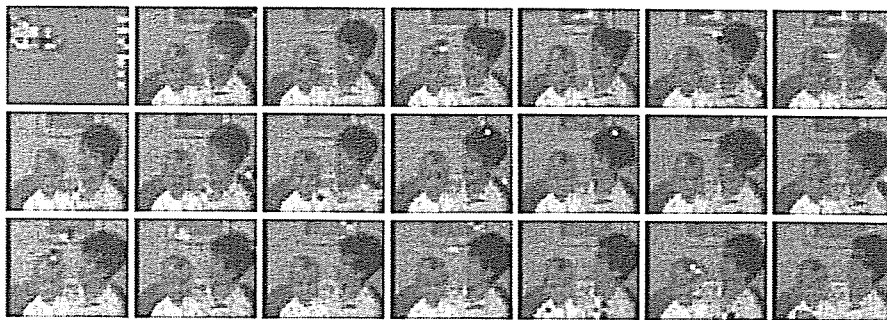


図 4 画像隠蔽操作による出力画像の画質特性  
Fig. 4 Simulation results with error concealment technique.

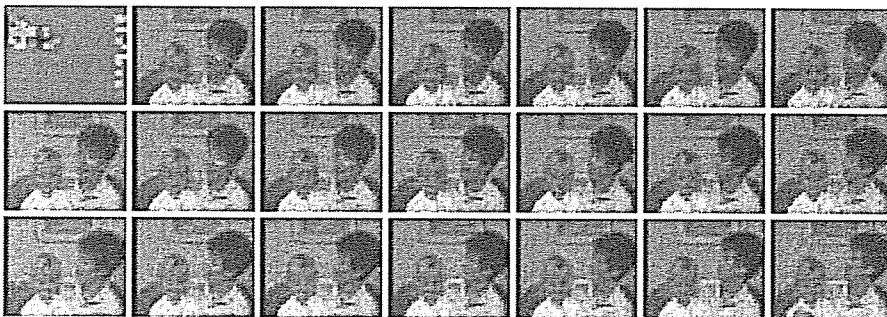
フレームをフレーム間符号化で符号化する。ここで全フレーム数を 100 として一般的な MPEG 等で使われるリフレッシュ間隔よりも大きな値になっている。これは、RT-PVD がフレーム間符号化の誤り伝搬を抑制する効果をもっているため、従来の現実的なりフレッシュ間隔よりも長くできるためである。受信側はその全 100 フレームを復号し、その復号した動画像の平均 PSNR を求めることにしている。またフレーム周期については、接続符号の内部符号にあたる TURBO 符号において構造上含まれているインタリーバのサイズとの整合性を見て 100 [ms] としている [1]。

画像隠蔽は、H.263 復号器内部で検出された復号誤りのブロックに対してのみ行う。これ以外にも、誤り訂正復号からの情報を利用して誤りの検出能力を上げることができるが、今回は行っていない。出力画像系列で誤りが検出されたブロックには参照画像系列の前フレーム同位置ブロックで補間する最も単純な画像隠蔽を行う。なお EC RT-PVD では、前出力画像のフレームを用いて補完する。

図 4 に受信電力対雑音比に対する平均 PSNR の



(a) RT-PVD



(b) EC RT-PVD

図 5 主観評価 (AWGN 通信路,  $E_b/N_0 = 3.0$  [dB])  
 Fig. 5 Subjective evaluation (AWGN channel,  $E_b/N_0 = 3.0$  [dB]).

特性結果を示す。この図を見ると、EC RT-PVD は、 $E_b/N_0$  が低い範囲で画質が向上しているのがわかる。これは参照画像の画質は低  $E_b/N_0$  でも高く保持されているため、効率良く補間することで画質の特性が向上するからである。 $E_b/N_0 = 2.0$  [dB] で平均 PSNR が下がっているのは参照画像の画質が劣化してしまっているからである。また  $E_b/N_0 = 5.0$  [dB] より大きい範囲では効果があまり見られないのは、復号誤りが H.263 の復号化器では検出されずに復元されてしまったと考えられる。それゆえより高い画像隠蔽の効果を得るには誤り訂正復号からの情報や、画像レベルでのしきい値判定等によってその検出能力を高める必要があると思われる。

一方で、EC RT-SVD は、ほとんど特性の向上を得ることはできなかった。これは、本シミュレーションがリフレッシュ等による参照画像の画質改善をしていないため、誤り伝搬の発生によって、100 フレームの平均で見た場合には画像隠蔽による画質の改善は得られないからである。このことから低受信電力の発生が無視できない無線通信路の環境においては、

RT-SVD ではリフレッシュまたはイントラフレームの挿入頻度を上げる必要がある、圧縮率を下げなければならない。しかしながら RT-PVD では、その画質隠蔽による効果が低受信電力でも現れていることがわかる。

図 5 には、出力画像系列の一例を示した。(a) は RT-PVD で復元された出力画像系列、(b) が EC RT-PVD の出力画像系列である。主観評価を見てもわかるように、各フレームの劣化したブロックは効果的に隠蔽されているのがわかる。もちろんこの補間は完全でないため、幾分の劣化を生じるが、フレームごと独立に発生しているため、人間の視覚には感知しにくい。本シミュレーションでは最も単純な前フレームの同一ブロックを参照するものを選択したが、これでも十分な効果が得られることがわかる。

## 6. む す び

本論文ではリアルタイム性を維持しつつ高い画像品質を保持することが可能な RT-PVD に画像隠蔽技術を適用した場合の検討を行った。RT-PVD は訂正能力の異なる二つの処理システムをもっており、訂正能力の

高い  $\phi_2$  で得られる参照画像系列を利用して出力画像系列の画像隠蔽の補間に使用する方式を示した。この画像隠蔽では 2 次的な誤り伝搬は発生せず実現でき、また RT-PVD では発生する劣化ブロックがランダムに発生することから人間の目には補間した部分も気づきにくく、主観評価では大きな向上が得られることを示した。

謝辞 本研究の一部は、「TAO-6140」,「科研(基盤(B))」の助成を受けて行われたものである。記して謝意を表す。

#### 文 献

- [1] 本庄 勝, 牧戸知史, 山里敬也, 岡田 啓, 片山正昭, 小川 明, “誤り訂正符号の複雑性, 復号遅延を考慮した即時型動画像並列復号方式,” 信学論 (A), vol.J85-A, no.2, pp.214-230, Feb. 2002.
- [2] 本庄 勝, 松井宗大, 山里敬也, 片山正昭, 小川 明, “帯域圧縮画像信号の伝送に対する TURBO 符号の適用,” SITA98, vol.2, pp.619-622, Dec. 1998.
- [3] 本庄 勝, 牧戸知史, 山里敬也, 片山正昭, 小川 明, “動画像フレーム間復号における ARQ 方式の適用,” 1999 信学総大, B-5-243, March 1999.
- [4] 本庄 勝, 山里敬也, 岡田 啓, 片山正昭, 小川 明, “動画像並列復号方式の解析と連接符号の適用に関する一検討,” IEEJ 若手セミナー, Sept. 2000.
- [5] P. Salama, N.B. Shroff, and E.J. Delp, “Error concealment in MPEG video streams over ATM networks,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol.18, no.6, pp.1129-1144, June 2000.
- [6] W.M. Lam, A.R. Reilbman, and B. Liu, “Recovery of lost or erroneously received motion vectors,” Proc. IEEE International Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol.5, pp.417-420, April 1993.
- [7] 宋 学燮, 宋 天, 岡田浩行, 藤田 玄, 尾上孝雄, 白川 功, “動き検出を利用した MPEG-4 ビデオにおけるエラー隠蔽アルゴリズムの提案,” 信学技報, DSP2000-107, Oct. 2000.
- [8] 黒崎正行, 貴家仁志, “電子透かしを用いた動画像符号化におけるエラー隠蔽法,” 第 14 回路とシステム(軽井沢)ワークショップ, pp.71-76, April 2001.
- [9] R. Dyck and D. Miller, “Transport of wireless video using separate, concatenated, and joint source-channel coding,” IEEE Proc., vol.87, no.10, pp.1734-1750, Oct. 1999.
- [10] Draft ITU-T Recommendation H.263, “Video coding for low bitrate communication,” July 1995.  
(平成 14 年 1 月 11 日受付, 5 月 7 日再受付,  
8 月 15 日最終原稿受付)