移動体画像通信に適した高誤り耐性動画像符号化方式

正会員 菊池 義浩[†], 中 條 健[†]
永井 剛[†] 正会員 渡邊 敏明[†]

Error Resilient Motion Picture Coding for Mobile Video Communication

Yoshihiro Kikuchi[†], Takeshi Chujoh[†], Takeshi Nagai[†]
and Toshiaki Watanabe[†]

Abstract A motion picture coding scheme with high error resiliency that is applicable to wireless communication is proposed. Two methods are introduced to minimize the degradation of decoded images: re-synchronization method recovers synchronization from bit-slip of a VLC and two-way decoding using reversible VLC. To recover erroneous decoded images, an adaptive refreshing method is applied in which the encoder selects non-stationary areas for refresh by using the coding mode of the past frames. Simulation results show that the proposed scheme has high error resiliency and is applicable to high error prone environments with BER larger than 0.1%.

1. ま え が き

近年、動画像符号化に関する研究開発が盛んに行われている。また、ISO MPEG-1, MPEG-2やITU-T H.261, H.262, H.263といった国際標準方式が規定されている¹⁾²⁾。さらに、オブジェクト毎のアクセスやスケーラビリティ等の機能、移動通信などの無線通信の分野においてもマルチメディアを実現すること、等を目指してMPEG-4の標準化作業が進められている³⁾⁴⁾。

携帯情報端末のような移動端末での動画像コミュニケーションに動画像符号化を応用する場合、圧縮符号

化した動画像を送信するのは例えばPHSのような移動体無線伝送路となる。この場合、ビットレートは24~48 kp/s程度の限られたものになるうえ、 10^{-2} ~ 10^{-3} 程度の高い確率で伝送路誤りが発生する。このため、動画像符号化には高い圧縮効率と同時に伝送路誤りに対する耐性が要求される。

従来、誤りの発生する伝送路で動画像を送信する場合は、ネットワーク等のシステム側で誤り訂正符号等を付加することにより対処してきた。これは、国際標準方式をはじめ従来の多くの動画像符号化方式がISDNや光ファイバ、あるいは衛星通信等の比較的伝送エラーの少ない環境での使用を前提にしていたため

キーワード：画像符号化、伝送路誤り、同期、可変長符号、リフレッシュ

1996年3月、電子情報通信学会春季全国大会で発表

1997年4月24日受付、1997年7月2日再受付

[†] 株式会社東芝 研究開発センター (〒210 川崎市幸区小向東芝町1, TEL 044-549-2151)

[†] Toshiba Research and Development Center (1, Komukai Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 210, Japan)

である。しかし、移動体通信のように高い確率で誤りが発生する場合にはシステム側だけの誤り対策では十分な画像品質を確保することは難しく、動画像符号化方式自体が誤りの影響を最小限に食い止める性質(誤り耐性機能)および、伝送路誤りによって劣化してしまった画像を回復する機能(誤り回復機能)を有している必要がある。

ここでは、MPEG-4 動画像符号化の誤り耐性機能として要求されている 10^{-3} 以上のビット誤りにも対応でき、移動体通信網を用いた動画像伝送にも応用可能な誤り耐性機能と誤り回復機能を有する動画像符号化方式を提案する。

動画像符号化においては、圧縮効率の観点から可変長符号が一般的に用いられている。しかし、可変長符号は伝送路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って復号不可能な状態になることがある。このため、同期の回復をはかる何らかの手段が必要になる。ここでは、フレーム内に多くの同期回復ポイントを設け、可変長符号化の同期はずれからの影響をフレーム内の一部領域に局所化するフレーム内同期回復方式を用いる。また、ビットストリームを正方向だけでなく逆方向からも復号できる特殊な可変長符号を用いることにより、伝送路誤りが入った場合にビットストリームを同期回復ポイントの最初と最後から双方向に復号することにより復号できる情報を増やす。

また、劣化してしまった画像からの回復をはかる誤り回復機能として、フレーム内符号化によってリフレッシュを行う手法を導入する。リフレッシュについてはこれまでも多くの検討がなされているが⁵⁾、ここでは、伝送路誤りによる画質劣化の影響が大きいフレーム内の変化領域だけを選択してフレーム内符号化することにより、符号量の増加を最小限に抑えながらリフレッシュを行う適応リフレッシュ方式を検討する。

2. 誤り耐性と誤り回復機能を有する動画像符号化方式

2.1 動画像符号化の基本構成

ここで使用する動画像符号化のブロック構成図を図1に示す。基本構成は動き補償適応予測 DCT を用いたものである。マクロブロックと呼ばれる 16×16 画素単位に半画素精度の動き補償が行われ、動き補償残差の大きさと入力画像のアクティビティをもとに動き補償符号化(インター符号化モード)とフレーム内符号化(イントラ符号化モード)を切り替える。さらにマクロブロックを4分割した 8×8 画素単位に DCT 処理が行われる。DCT 係数は量子化して可変長符号

図1 動画像符号化のブロック図
Block diagram for motion picture coding.

○ Re-synchronization marker
□ Macroblock

(a) フレーム内の同期回復ポイント

RM: Re-synchronization marker
MBA: Macrobloc Address
QS: Quantization Step Size

(b) ビットストリームシンタックス

図2 フレーム内再同期方式
Re-synchronization method.

(VLC) を用いて符号化される。

2.2 フレーム内同期回復方式

可変長符号の同期はずれからの回復をはかる手段として、1 フレーム内の複数箇所に同期回復をはかるポイントを設けることにより、同期はずれの影響をフレーム内の狭い領域に局所化する方法を用いる。

図2にその概念図を示す。図2(a)中、白丸が同期回復をはかるポイントである。同期回復ポイントから

次の同期回復ポイントまでの区間をビデオパケットと呼ぶ。図2(b)にビットストリームシンタックスを示す。各ビデオパケットはそれぞれ単独で復号できるように同期符号(同期回復マーカ)とヘッダ情報をつける。同期回復マーカ(RM)は“0000000000000001”というパターンを持つ一意復号可能な同期符号で、ビットストリーム中の同期回復マーカ以外の部分の各符号語は同期回復マーカと同一のビットパターンが生じないように符号表を設計してある。また、ヘッダ情報はビデオパケットの最初のマクロブロックの番号(MBA)と量子化ステップサイズ(QS)である。

図2(b)に示すように、同期符号はビットストリームの N ビット間隔の先頭にそろえるようにする。そして、復号側では同期符号の検出を N ビット単位に行う。誤りが混入しているビット列においては、本来同期符号でない部分に誤りが混入することによって、その部分が同期符号に化ける現象(擬似同期符号)が発生する。特に長い区間にわたって誤りが連続するバースト誤りが混入する伝送路ではこの確率が高くなる。バースト誤り区間のビットパターンをランダムと仮定すれば、この区間では 2^L ビット(L は同期符号の長さ)に1回の割合で同期符号と同じビットパターンが発生する。したがって、1ビット毎に同期検出を行ったときにバースト長 B ビットのバースト誤り区間で擬似同期発生数の期待値は

$$P_{P1} = B/2^L$$

ここで、 L :同期符号の長さ(ビット)

B :バースト長(ビット)

となる。これに対し、同期検出を N ビット毎に行った場合には、 B ビットのバースト区間で同期検出を行う回数は B/N 回になるため、擬似同期の発生数は

$$P_{PN} = BN/(N \cdot 2^L) = P_{P1}/N$$

となり、1ビット毎の同期検出と比べ擬似同期の発生確率が $1/N$ に減少する。

また、同期符号を N ビット単位にそろえるために、同期符号の前に挿入ビット(スタッフィングビット)が必要になる。これを1~ N ビットのスタッフィングビットの開始位置がわかる特定のビットパターンにし、復号側で復号終了位置がスタッフィングビットの開始位置と合っているか判定することにより誤り検出を行う。

スタッフィングビットは“0111”のように、最初の1ビットが0で、それ以外が1であるような符号で構成されており、最初の1ビットの0によってスタッフィングビットの開始位置がわかる。もし、ビデオパケット内の最後のマクロブロックまで正しく復号され

ば、その次にくるビットは必ず0であり、その後ろにスタッフィングビットの長さより1ビットだけ少ない1が連続しているはずである。しかし、伝送路誤りによって可変長符号が誤って復号された場合、復号の終了位置はこの位置からずれてしまう。この場合、最初が0でその後ろが“11..”という規則に反したスタッフィングビットが検出される。このようなルールに反したビットパターンが検出された場合は、それ以前の復号が正しく行われていないことになり、ビット列に誤りが混入していたことがわかる。伝送路誤りによって誤って復号されてしまった情報を用いると再生画像に大きな劣化が残ってしまうため、ここで誤りが発見された場合にはその情報は復号に用いないようにする。

スタッフィングビットがこれ以外の、例えばすべて0のビットパターンの場合には、スタッフィングビットの開始位置がわからないため、このような誤り検出はできない。また、スタッフィングビット自身に誤りが混入し偶然この規則に合ったパターンが発生した場合には誤り検出はできないが、一般にビデオパケットの長さは数百ビットなのに対しスタッフィングビットの長さは $N=8$ で平均4ビットと短く、ビデオパケット中のスタッフィングビット以外の情報に誤りが混入する確率と比べスタッフィングビットに誤りが混入する確率は充分小さく、ほとんど問題にならないと考えられる。

同期回復マーカの位置は、各ビデオパケットの符号量がほぼ一定になるように制御する。これは、ビデオパケットの先頭のマクロブロックから符号量をカウントして、これがある定められた閾値 B_{th} を超えたマクロブロックでそのビデオパケットを区切り、次のマクロブロックの先頭に同期回復マーカを入れるようにする。

このような制御を行うことにより、同期回復マーカの間隔は、発生符号量が少ない静止領域では粗くなり、発生符号量の多い動領域や細かい絵柄のある領域では細くなる。一般に、背景のような静止領域は伝送路誤りが混入しても、それを検出して前フレームの再生画像をそのまま表示するような処理をとることにより再生画像の劣化を小さく抑えることができるため、同期回復マーカの間隔を粗くすることが可能である。逆に動領域や細かい絵柄のある領域では前フレームやフレーム内の周囲の画素から誤りによって失われた部分を予測して補うことは難しく、同期回復マーカの間隔を細かくして早期に同期回復をはかれないと再生画像に大きな劣化を生じてしまう。このような符号

化する画像の性質に応じた同期回復マーカの位置の制御を綿密に行うためには、入力画像の静動判定といった処理が必要になるが、上述の発生符号量にもとづく制御は、一般に静止領域では発生符号量が少なく、動領域や細かい絵柄のある領域では発生符号量が多い、という動画像符号化の性質を利用して制御を行おうとするものであり、発生符号量のカウンタという比較的簡単な処理で制御を行うことができる。

2.3 双方向復号可能な可変長符号⁶⁾

一般の可変長符号では、ビットストリーム中に伝送路誤りが混入すると同期はずれが生じ、それ以降、2.2節で述べたような同期回復手段によって同期の回復がはかられるまで復号処理を行うことができなくなる。ここでは、ビットストリームの順方向からだけでなく逆方向からも復号可能な符号をDCT係数の符号語に用い、誤りが入った場合にビットストリームを同期回復ポイントの最初と最後から双方向に復号することにより復号できる情報を増やす。

各DCT係数はジグザグスキャンされ、ゼロラン(RUN)とその後に続く係数値(LEVEL)、そしてそれがブロック内の最後の係数か否か(LAST)を1つの符号語で表現する3次元VLC²⁾を双方向復号可能なリバーシブル符号(RVLC)で構成する⁶⁾。

使用した符号の一部を表1に示す。これは“0”あるいは“1”のいずれかが3個出現した段階で符号が

表 1 双方向に復号可能な可変長符号の構成例
Codeword table for reversible VLC.

LAST	RUN	LEVEL	Bits	VLC code
0	0	1	4	000 s
0	1	1	4	111 s
0	0	2	5	0010 s
0	2	1	5	1011 s
0	3	1	5	1101 s
0	0	3	6	01010 s
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
LAST	RUN	LEVEL	Bits	VLC code
1	0	1	5	0100 s
1	1	1	6	01100 s
1	2	1	7	011100 s
1	3	1	7	011010 s
1	4	1	7	010110 s
1	5	1	8	0111100 s
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

終了するようなりバーシブル符号である⁶⁾⁷⁾。

このRVLCを用いて以下に示す双方向復号を行う(図3参照)⁶⁾。

- (1) まず順方向の復号を行う。もし、途中で符号表に存在しない符号が検出されることによって誤りが検出された場合は、順方向の復号処理を中止して(2)の処理に移る。
- (2) 次に逆方向の復号を行う。もし、途中で誤りが検出された場合は逆方向の復号処理を中止する。

これらの双方向復号を行った結果は、誤りが検出される位置によって図3に示す4通りが考えられる。ここでは、図のグレイ部分を誤りと判断して、その部分を捨てる。もし順方向、逆方向双方の復号処理で誤りが発見されなかった場合は双方の復号値を比較し、結果が一致した部分のみ復号に用いる。

2.4 適応リフレッシュ

動き補償を用いた符号化方式では、伝送路誤りによって画像が劣化すると、その影響が後続のフレームにも伝搬するという問題がある。これを回復させる手法としては、フレーム間の予測を用いないイントラ符号化を用いてリフレッシュを行う方法が用いられている⁶⁾。しかし、特に符号化レートが低い場合には、圧縮効率が動き補償符号化に比べて低いイントラ符号化を用いることは、符号化画像の品質低下につながって

図 3 リバーシブル符号を用いた双方向復号
Two way decoding using reversible VLC.

図4 適応リフレッシュ手法の原理
Explanation of adaptive refresh.

しまう。そこで、過去のフレームの各マクロブロックの符号化モードをもとに、伝送路誤りによる画質劣化が伝搬しやすい領域だけを選択してイントラ符号化することにより、リフレッシュ能力を落とすことなくイントラ符号化の領域を減らす適応リフレッシュを用いる。

図4に提案する適応リフレッシュの原理を示す。提案手法はイントラカラムと呼ばれるリフレッシュ方式を基本にしている。これは、1フレーム毎に1垂直マクロブロックラインを周期的にリフレッシュを行うもので、1リフレッシュ周期(1フレーム内に N 垂直マクロブロックラインある場合は N フレーム)でリフレッシュが完了する。

ただし、提案手法では過去一定フレーム以上静止していると判定されたマクロブロックはリフレッシュを行わない。伝送路誤りのバースト長が最大 L フレーム区間であるとする、1リフレッシュ周期分(= N フレーム)にこのバースト区間を足した区間($L+N$ フレーム)にわたって静止しているマクロブロックについては、($L+N-1$)フレーム前のマクロブロックが正しく復号されていればそれが現フレームと同じであるため、リフレッシュを行わなくても正しい画像を再生できる。したがって、過去($L+N-1$)フレームの符号化モードを調べ、これがすべて静止領域と判定できる場合にはリフレッシュを行わない。ここでは、マクロブロックの符号化モードが、前フレームの復号画像をそのまま現フレームの復号画像とする符号化モードである Not Coded モードだったマクロブロックを

表2 シミュレーション条件
Simulation conditions.

画像サイズ	176×144 画素
符号化レート	24 kb/s
フレームレート	10 Hz
ビデオパケットサイズ閾値 B_{th}	480 ビット
同期符号の間隔 N	8 ビット

静止領域と判定する。以上のような処理を行えば、バースト長が L フレーム以下の誤りに対しては、従来のイントラカラムと同様に、おおむね N フレームで劣化した再生画像からの回復をはかることができる。

3. 計算機シミュレーション

3.1 誤り耐性機能の効果

提案する誤り耐性機能の効果を確認するため計算機シミュレーションを行った。表2にシミュレーション条件を示す。

ビットストリームには誤り率 10^{-3} のランダム誤り、誤り率 10^{-2} および 10^{-3} 、バースト長10 ms、バースト区間の誤り率が50%のバースト誤り、誤り率 10^{-2} でパケット長が96から400ビットの範囲で変化するパケット誤りの4種類の誤りを計算機で擬似的に発生させて加えた。いずれも擬似乱数のシードを変えて50パターンの誤りを発生させて、その結果を平均した。

表3に、2章で述べた方式を用いない場合(従来方式)、フレーム内同期回復機構を用いた場合、さらにリバーシブル符号を用いた場合の再生画像の S/N とデコーダで復号できなかったビット数のパーセンテージ pbd を示す。ここで、 S/N は輝度信号および色差信号を平均したものであり、以下のように定義される。

$$PSNR = 10 \log \left\{ \frac{1.5 * M * N * (255)^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (Y(i, j) - \hat{Y}(i, j))^2} + \frac{\sum_{i=0}^{M/2-1} \sum_{j=0}^{N/2-1} (Cr(i, j) - \hat{Cr}(i, j))^2}{\sum_{i=0}^{M/2-1} \sum_{j=0}^{N/2-1} (Cb(i, j) - \hat{Cb}(i, j))^2} \right\}$$

ここで、

$Y(i, j)$, $Cr(i, j)$, $Cb(i, j)$: 入力画像の輝度
および色差信号
 $\hat{Y}(i, j)$, $\hat{Cr}(i, j)$, $\hat{Cb}(i, j)$: 再生画像の輝度
および色差信号

表 3 誤り耐性機能のシミュレーション結果
Simulation result for error resiliency.

(a) PSNR(dB)

Image	Error pattern	Conventional	Re-synch	Re-synch+ RVLC
Mother & Daughter	Random 10^{-3}	23.28	28.86	29.55
	Burst 10^{-3}	33.97	35.70	35.81
	Burst 10^{-2}	28.23	32.85	33.31
	Packet 10^{-2}	29.85	34.11	34.22
Container Ship	Random 10^{-3}	22.06	26.74	28.71
	Burst 10^{-3}	32.16	33.40	33.42
	Burst 10^{-2}	26.32	31.76	32.10
	Packet 10^{-2}	29.52	32.70	32.80
Silent Voice	Random 10^{-3}	21.24	26.02	26.33
	Burst 10^{-3}	30.91	31.79	31.82
	Burst 10^{-2}	25.33	29.49	29.70
	Packet 10^{-2}	27.41	30.39	30.54

(b) pbd(%)

Image	Error pattern	Conventional	Re-synch	Re-synch+ RVLC
Mother & Daughter	Random 10^{-3}	16.56	22.41	19.87
	Burst 10^{-3}	0.56	0.47	0.46
	Burst 10^{-2}	5.60	5.69	4.55
	Packet 10^{-2}	2.72	2.64	2.42
Container Ship	Random 10^{-3}	14.51	21.77	18.01
	Burst 10^{-3}	0.36	0.53	0.46
	Burst 10^{-2}	4.33	4.87	4.26
	Packet 10^{-2}	2.14	2.63	2.32
Silent Voice	Random 10^{-3}	19.71	23.00	23.04
	Burst 10^{-3}	0.64	0.51	0.50
	Burst 10^{-2}	5.91	5.14	4.88
	Packet 10^{-2}	3.11	2.84	2.53

M, N : 画像の水平および垂直画素数

また, pbd は

$pbd =$

$$\frac{\sum_{i=1}^{50} \text{符号化ビット数}(i) - \text{デコーダで復号されたビット数}(i)}{\sum_{i=1}^{50} \text{符号化ビット数}(i)} \times 100$$

である。デコーダで復号されたビット数には正しく復号されたビット数以外に、誤って復号されたにもかかわらずデコーダで誤りを発見できなかったビットも含まれている。

表 4 適応リフレッシュとイントラカラムリフレッシュとの比較
Comparison between adaptive refresh and intra column refresh.

Image	PSNR (dB)		Intra MBs/frame	
	Column	Adaptive	Column	Adaptive
Akiyo	35.55	36.54	10.20	6.80
Container Ship	31.66	32.06	10.10	8.40
Hall Monitor	31.54	32.80	10.20	6.80
Mother & Daughter	34.94	35.76	10.40	7.60
Silent Voice	30.08	31.54	10.70	7.90

表 3 からわかるように、フレーム内同期回復機構を用いることにより S/N が 2~5 dB 程度向上している。これは、同期回復マークでフレーム内の多くの場所で同期回復が行われるため、VLC の同期はずれの影響が狭い領域に局所化されたこと、スタッフィングビットの誤り検出機能によってビットストリームに混入した誤りが確実に検出されているため考えられる。 pbd が従来方式に比べ増加しているのはこの誤り検出機能によるものであり、これによって伝送路誤りによって劣化してしまった情報を正しく検出して画像再生に用いないようにしているため、品質向上につながっている。

リバーシブル VLC を用いることにより、デコーダで復号できなかったビット数の割合 pbd が減少している。これは、従来の VLC が順方向にしか復号できないためビットストリーム中に誤りが混入するとそれ以降の部分の復号ができないのに対し、リバーシブル VLC を用いることにより誤りが入った部分の直後まで逆方向に復号を行うことができるので、ビットストリーム中のより多くの部分を復号可能なためである。これにより、 S/N が 0.2~1 dB 程度向上している。

3.2 適応リフレッシュによる誤り回復

提案の適応リフレッシュによる画質回復能力、および、誤りのない区間での従来のリフレッシュに対する画質向上度を確認するため、バースト長の長い誤りを加えた計算機シミュレーションを行った。

表 4 に、イントラ符号化されたマクロブロック数のフレーム平均および誤りがなときの再生画像の S/N を従来のイントラカラムリフレッシュと比較して示す。符号化レートはいずれも同じ (24 kb/s) になるように量子化ステップサイズを制御している。表 4 中、イントラマクロブロック数にはリフレッシュ以外のものも含まれている。

表 4 からわかるように、提案の適応リフレッシュを用いることにより、従来のイントラカラムリフレッシュ

図5 リフレッシュによる誤り回復のシミュレーション結果
Simulation result for error recovery using adaptive refresh.

ュに比ベイントラ符号化されたマクロブロックの数が2~3マクロブロック/フレーム程度減少している。これは、リフレッシュを行う必要のない静止領域でのイントラマクロブロックの数が減少しているためである。これにより再生画像の S/N が0.4~1.5 dB程度向上しており、リフレッシュ符号化の問題点である誤りが無いときの再生画像の品質劣化が抑えられている。

図5に、誤り率50%の誤りを1.5秒から3秒までの区間に加えたときの各フレームの S/N を示す。図5からわかるように、適応リフレッシュでもイントラカラムリフレッシュと同じほぼ1周期区間で誤りなしの再生画像まで画質が回復しており、従来方式よりもイントラマクロブロック数が少ないにもかかわらず、ほぼ同等のリフレッシュ能力を有していることがわか

る。加えて、誤りのない区間の S/N はイントラカラムリフレッシュより高いため、トータルとして高い再生品質が得られている。

4. む す び

誤り発生頻度の高い移動体通信に対応可能な動画像符号化方式を検討した。

誤りの影響を最小限に抑えるために、可変長符号化の同期はずれからの回復を早期にはかるフレーム内再同期方式と、逆方向からでも復号できる特殊な可変長符号を用いることにより、伝送路誤りによる画質劣化を最小限に抑えた。また、劣化してしまった画像の回復をはかるため、フレーム内の变化領域だけを選択してフレーム内符号化することにより、符号量の増加を最小限に抑えながらリフレッシュを行う適応リフレッ

シュ方式を用いた。

計算機シミュレーションの結果、0.1%以上の高い誤り率でも高品質の再生画像が得られると共に、バースト長の長い誤りが混入した場合にも画質回復がはかれることが確かめられた。

提案方式を実際の無線通信路での動画像伝送に用いる場合、誤り訂正符号や再送などのネットワークに近いシステム側での誤り対策が合わせて必要になる。例えば、符号化された情報の中でより重要度の高い符号化モードや動きベクトル等をより強く誤り保護することにより、少ない冗長度でより高い誤り耐性が得られると考えられる。これらは今後の検討課題である。

〔参 考 文 献〕

- 1) 安田浩編著：“マルチメディア符号化の国際標準”，丸善（1994）
- 2) ITU-T Recommendation H. 263, “Video Coding for Low bitrate Communication” (1996)
- 3) 三木俊雄：“MPEG-4 の現状と展望”，テレビ学会映像メディア部門冬季大会特別企画 2-1, pp. 27-32 (1996)
- 4) 渡邊敏明：“MPEG-4 におけるエラーレジリエンス”，テレビ学会映像メディア部門冬季大会特別企画 2-4 (1996)
- 5) 上保，藤川，行武：“バッファ遅延量減少のための方式検討”，1993 年信学春季全大，D-338 (1993)
- 6) 中條，渡邊：“リバーシブル符号とその誤り耐性を有する動画像符号化への応用”，信学論(A)，J80-A，3，pp. 532-541 (1997)
- 7) 中條，渡邊，菊池，永井：“誤り耐性を有する超低レート動画像符号化方式～リバーシブル符号の構成法と適応リフレッシュ手法～”，PCSJ 96，P-4. 3，(1996)

- 8) 菊池，渡邊，駄竹，中條，永井：“誤り耐性を有する超低レート動画像符号化方式(1)”，平 8 信学総全大 (1996)
- 9) 中條，渡邊，駄竹，菊池，永井：“誤り耐性を有する超低レート動画像符号化方式(2)”，平 8 信学総全大 (1996)
- 10) 渡邊，菊池，中條，永井：“MPEG-4 対応低ビットレート動画像符号化方式”，信学技報，IE 95-145，pp. 37-44 (1996)

きくち よしひろ

菊池 義浩 1986 年，東北大学工学部通信工学科卒業。1988 年，同大学大学院修士課程修了。同年，(株)東芝に入社。以来，動画像の高効率符号化に関する研究に従事。現在，(株)東芝研究開発センター勤務。正会員。

ちゅうじょう たけし

中 條 健 1989 年，早稲田大学理工学部工業経営学科卒業。1991 年，同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年，(株)東芝入社。研究開発センターにて，主として動画像符号化技術に関する研究開発に従事。

なが い たけし

永井 剛 1992 年，東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。1994 年，同大学大学院修士課程修了。同年，(株)東芝入社。研究開発センターにて，主として動画像符号化技術に関する研究開発に従事。

わたなべ としあき

渡邊 敏明 1983 年，北海道大学工学部電子工学科卒業。1985 年，同大学大学院修士課程修了。同年，(株)東芝入社。研究開発センターにて，動画像，静止画像の圧縮符号化技術および信号処理技術に関する研究，開発に従事。1991 年～1993 年，米国スタンフォード大客員研究員。工学博士。正会員。