

MC-DCT 画像符号化方式の 極低ビットレートへの適用可能性に関する一検討

宮地 悟史 松本 修一

sa-miyaji@kdd.co.jp

国際電信電話株式会社 研究所 画像通信グループ

〒 356-8502 埼玉県上福岡市大原 2-1-15

高能率画像符号化の核となる最も標準的な技術である動き補償 DCT 方式 (MC-DCT) を、数十 kbps 程度の極低ビットレートにそのまま適用した場合、中～高ビットレートでは生じない低レート時固有の問題を考慮する必要がある。本稿では、極低ビットレート下における動き補償に関して、動ベクトルビットの発生割合、フレームスキップによる動き量の拡大、符号化雑音の重畳の影響などから、必ずしも広範囲にわたる正確な動き検出が最適ではない点に着目し、動き検出の必要探索範囲および動ベクトル発生分布について考察し、動ベクトルコード割り当ての変更が、符号化効率の向上に有効であることを確認したので報告する。

A Study for Applying MC-DCT Coding Scheme to Ultra Low Bit-Rate Video

Satoshi MIYAJI Shuichi MATSUMOTO

KDD R&D Laboratories

2-1-15 Ohara Kamifukuoka-shi, Saitama 356-8502, Japan

In case that MC-DCT, which is one of the well-known coding methods, is applied to ultra low bit rate, it is necessary to consider some problems that will not appear in low, medium or high bit rate. This paper deals with characteristics of motion compensation for ultra low bit rate. Due to occupancy of vector bits, enlarged motion by frame skip and coding noise on the reference picture, the complete motion estimation is not always optimum for ultra low bit rate. Researching the relation among search range, distribution of motion vector and coding efficiency, we found reconstruction of VLC codes is one of effective methods for general ultra low bit rate video coding.

1 はじめに

高効率画像符号化の核となる最も標準的な技術である動き補償 DCT (MC-DCT) 方式は、MPEG-1, 2 や H.263 等といった世界標準方式に代表されるように低レートから高レートまで幅広く用いられており、次世代標準の MPEG-4 に関しても、基本技術の 1 つとして採用されるに至った。

これまで、動画像符号化が対象とする伝送ビットレートは、低レートでは 64kbps から数百 kbps, 高レートでは数 Mbps から数十 Mbps というのが一般的であった。しかし、ここ数年来の携帯電話・PHS といった移動体通信やインターネットの急速な普及により、動画像符号化のターゲットとするビットレートは、20kbps を下回る極低ビットレートへの拡張を要求されている。

インターネットや移動体通信では、これまでの ISDN や専用回線での伝送とは異なり、輻輳や伝送路誤りにより、実効スループットが大幅に低下することが起こり得るため、伝送路ビットレート公称値に対して、十分に低いレートで符号化する必要がある。

MC-DCT 符号化方式をそのまま極低レートに適用した場合、中～高ビットレートでは問題にならない、

- 動ベクトルビットの占有割合
- フレームスキップによる動き量の増大
- 参照画像の符号化雑音

により、広範囲での正確な動き検出が必ずしも符号化効率の向上に寄与しないことが知られており、筆者らは、これまでに動ベクトルビット長と予測誤差情報のビット長とから、量子化精度が最大となる動き検出方式を提案した [1]。

本稿では、新たなアプローチとして、ベクトル探索範囲と符号化効率との関係、および画像の性質とベクトル発生分布との関係に着目し、VLC コード割り当ての変更による符号化効率改善を行い、報告する。

2 従来方式の検証

2.1 動き補償の特性検証

従来の動き検出手法として、これまで 16×16 画素のマクロブロックを単位としたブロックマッチング法が最も一般的に用いられている。ブロックマッチングでは、マクロブロックの平行移動を検

出し、予測誤差が最小となる移動量を動ベクトルとして伝送する。

動き補償が極低ビットレート下でどのような特性を持つのかを検証するため、H.263 TMN5 に準じて、符号化シミュレーション実験を行う。

テストシーケンスは表 1 に示す通りとし、ITU-R 勧告 BT-802.1 標準画像、ならびに独自に収録した TV 放送番組映像の計 4 画像を用いた。画像フォーマットは QCIF (176 画素 \times 144 ライン, 4:2:0 フォーマット) とし、ビットレートは 15kbps, 20kbps, 50kbps, 100kbps の 4 種類とした。フレームレートは 3fps 固定とし、レート制御には MPEG-4 評価テスト等で用いられている Off Line Rate Control を使用した。このレート制御では、フレームを単位として、ビット発生目標値からの偏差を修正するように量子化パラメータの変更を行う。

表 1: 実験で使ったテストシーケンス

画像名	性質
Susie	ITU-R 標準画像。女性の顔、シンプルで小さい動き、平坦な背景。
Popple	ITU-R 標準画像。パニング、回転、比較的小さな動き。
OnAir	放送オンエアの音楽番組より収録。音楽のプロモーション映像。激しい動き、シーンチェンジ。
News	放送オンエアのニュース番組より収録。事件の報道。画面全体の取材カメラの揺れ、ニューステロップ。

以上の条件で、従来方式の動き検出のパラメータを変化させ、性能検証実験を行う。

2.2 動ベクトル探索範囲による検証

まず、動き検出が様々なテストシーケンスに対してどのように作用しているかを検証するため、動ベクトル探索範囲を変化させた場合の比較実験を行う。TMN5 の通常の探索範囲は ± 15.5 画素であるが、これを $\pm 0.5, \pm 1.5, \pm 3.5, \pm 7.5, \pm 15.5$ の 5 モードにそれぞれ変化させる。動ベクトルの VLC コードについては、探索範囲の縮小に対して再構成し、ベクトルビットの削減効果も考慮することとする。また、探索範囲による特性検証のため、TMN5 で用いられている定数によるゼロベクトル優遇処理は行わないことにする。

表 2, 3 に、各探索範囲 (サーチレンジ: SR) に対する復号画像の SNR 及び動ベクトルビット長の

占有割合を示す。

また実験結果より、各テストシーケンスに対して最大の SNR となる探索範囲及びそのときのベクトルビット割合を表 4 に示す。

表 2 から、ITU-R 標準画像 Susie 及び Popple については、探索範囲が広がるにつれて、SNR が向上する結果となった。これらの画像は、動物体の数が少ないこと、大部分のシーンでカメラが静止していること、また動いた場合でも一定の速度での規則的なズーミングであることなどから、平行移動による動き補償の効率がよく、動ベクトル探索を広い範囲にすることでより正確な動きを捉えることができるものと思われる。ただし、画像 Popple については、探索範囲 ± 7.5 で SNR の向上が飽和しているが、これは動きの大きさが ± 7.5 内に十分収まっているため、探索範囲の拡張は予測精度向上に貢献していないことを意味する。この傾向は、ビットレートが低い程強く見られ、ベクトルビット増大による影響を受けるものと考えられる。

画像 News については、ほぼ Popple と同じような特性になっており、低レートでの探索範囲拡大による SNR の飽和が見られるが、特に探索範囲 ± 7.5 以上の飽和傾向が強くなり、SNR の低下に至っている。また、この現象がベクトルビット割合の小さい 100kbps においても見られることから、動ベクトル探索範囲の拡大が、予測精度向上の効果をもたらさず動ベクトルビットのみが増大することの影響だけではなく、複雑な画像の動きや、シーンチェンジ等による動ベクトル誤検出等があるものと思われる。

画像 OnAir に関しては、動ベクトルの発生割合が他の 3 画像に比べて小さいにもかかわらず、15kbps、20kbps、50kbps、100kbps のいずれの場合においても動ベクトル探索範囲の拡大が SNR の低下を招いている。この画像は、通常の TV 放送番組としては一般的な内容であるが、高速の動物体を追いかけるようにカメラが動いていること、シーンチェンジが頻繁に起こっていること等から、一般的なテストシーケンスと比較して、正確な動き検出が行われず、動き補償が有効に作用しないため、探索範囲の拡大はベクトルビットや予測誤差の増大となっている可能性がある。

また、表 4 に示す通り、最大の SNR を与える探索範囲が、ビットレートの低い方では小さくなり、高い方では大きくなる傾向が得られた。これは、ビットレートが低くなるにつれ、ベクトルビットの存在割合が大きくなり、量子化係数に割当てられるビット数を圧迫するために起こるものと思われる。ただし、例外として画像 OnAir に関しては、ビッ

表 2：各探索範囲に対する復号画像の SNR

BR (kbps)	SR	SNR (dB)			
		Susie	Popple	OnAir	News
15	0.5	29.55	27.04	24.45	25.26
	1.5	30.29	27.19	24.42	25.36
	3.5	31.60	27.32	24.44	25.65
	7.5	32.16	27.74	24.44	26.02
	15.5	32.20	27.73	24.37	25.97
20	0.5	32.79	27.77	24.92	27.00
	1.5	33.47	28.25	24.89	27.10
	3.5	34.17	28.89	24.93	27.32
	7.5	34.60	28.91	24.92	27.78
	15.5	34.68	28.91	24.81	27.68
50	0.5	37.79	31.42	28.35	32.89
	1.5	38.08	31.41	28.35	33.37
	3.5	38.83	31.65	28.31	33.33
	7.5	39.18	31.85	28.33	33.97
	15.5	39.23	31.89	28.25	33.72
100	0.5	40.87	34.44	33.17	38.44
	1.5	41.34	34.32	33.19	38.49
	3.5	41.96	34.46	33.17	38.12
	7.5	41.77	34.54	33.09	38.48
	15.5	42.12	34.56	32.93	38.50

トレートによらず動き補償の効果が現れていない。

以上の事実から、動き補償による符号化効率の向上度が、符号化ビットレートや動き検出探索範囲により様々に異なり、変化の様子が画像の性質により大きく異なることがわかる。

2.3 ベクトル発生状況の検証

これまでの結果から、動ベクトル探索範囲 ± 15.5 が、必ずしも全ての場合において最適ではないことが明らかとなった。本節では、動き補償が有効に作用する場合としない場合とで、ベクトルの発生状況にどのような違いがあるかについて検証を行った。

探索範囲 ± 15.5 において検出された動ベクトル値と、発生個数の 1 フレーム平均値との関係を図 1~4 に示す。また、実際に符号化される差分動ベクトル値と、同じく発生個数のフレーム平均との関係を図 5~8 に示す。図に示されているベクトル値は、いずれも x 成分である。

画像 Susie に関して、まず図 1 より、実ベクトルが探索範囲最大限まで発生しており、且つ ± 9 の範囲において有意なベクトル発生が見られる。従って、探索範囲の拡大はこの画像に対して有効であり、また図 5 の差分ベクトルの発生状況が、0 を中

表3：各探索範囲に対する動ベクトルビットの発生割合

BR (kbps)	SR	Motion Vector Bits (%)			
		Susie	Popple	OnAir	News
15	0.5	5.3	4.9	1.4	4.6
	1.5	8.4	7.9	2.0	6.7
	3.5	12.1	14.6	3.2	10.0
	7.5	15.2	20.0	5.5	13.2
	15.5	18.6	21.0	8.7	16.5
20	0.5	4.0	3.0	1.3	3.2
	1.5	6.5	5.2	1.9	4.7
	3.5	10.0	9.8	3.0	6.8
	7.5	12.9	14.7	5.2	9.1
	15.5	15.0	17.2	8.2	12.1
50	0.5	1.5	1.6	1.0	1.3
	1.5	2.4	2.7	1.4	1.7
	3.5	3.3	4.2	2.3	2.6
	7.5	3.7	5.8	3.6	3.4
	15.5	4.7	6.9	5.2	4.5
100	0.5	0.7	0.8	0.5	0.6
	1.5	1.1	1.3	0.7	0.7
	3.5	1.5	2.1	1.1	1.1
	7.5	2.0	2.9	1.8	1.5
	15.5	2.3	3.4	2.6	1.9

心に単調減少となっており、隣接ブロックとの動ベクトルの相関が高いことがわかる。また、頻度分布が動ベクトル VLC コードの割り当てビット長に合致しており、MC-DCT 方式に対して、理想的な画像といえる。

画像 Popple に関して、図 2 の実ベクトルの発生が、探索範囲 ± 8 以内に集中しており、大きな動ベクトルは見られない。これは、ベクトル探索範囲の拡大に対して符号化効率が飽和傾向となることを意味しており、表 2 の結果とも一致する。また図 6 の差分ベクトルの発生分布が、概ね Susie と同様に中心からの単調減少となっており、動ベクトルの相関が高い。

注目すべきは画像 OnAir と News であり、図 3 及び図 4 の実ベクトル発生状況が、ゼロベクトル近辺及び最大ベクトル (± 15.5) に集中している。これらの画像は、TV 放送番組であり、カメラの動きによる画像全体の揺れや、シーンチェンジが頻繁に見られる点で、一般的なテスト画像とは異なる。また、図 7 及び図 8 によると、差分ベクトル値 ± 15.5 においてピークが見られ、その他はほぼ ± 1.5 以内に集中している。これは、画像中の局所的な大き

表4：最大の SNR を与える探索範囲及びベクトルビット割合

BR	Picture	SR	MV (%)
15kbps	Susie	15.5	18.6
	Popple	7.5	20.0
	OnAir	0.5	1.4
	News	7.5	13.2
20kbps	Susie	15.5	15.0
	Popple	7.5	14.7
	OnAir	3.5	3.0
50kbps	Susie	7.5	9.1
	Popple	15.5	4.7
	OnAir	15.5	6.9
100kbps	Susie	3.5	2.3
	OnAir	7.5	3.4
	News	15.5	2.3
	Popple	15.5	3.4
	OnAir	1.5	0.7
	News	15.5	1.9

な動きに追従しようとした結果、もしくは動きの誤検出のため、周囲との相関の低い最大ベクトルが多数発生したと思われる。

従来の画像符号化アルゴリズムでは、差分ベクトル値の VLC コード長は、探索範囲と同じポイント (本実験では ± 15.5) で最大になるように設計されている。H.263[2] では、差分ベクトル値 0 に対して 1 ビットが割り当てられているが、 ± 15.5 に対しては 13 ビットとなるため、 ± 15.5 に発生ピークがあるということは、頻度の高い事象に大きなビットを割り当てていることと等価となり、不必要な動ベクトルビットが発生することになる。

これらの事実から、

- Susie, Popple といった標準画像は、大きなベクトルの発生頻度が低く、また発生ベクトルの周囲との相関が高い
- TV 放送番組では、ゼロベクトル近辺、あるいは最大長ベクトルの発生頻度が高く、さらに周囲との相関も低いいため、差分ベクトル分布が 0 中心以外でもピークを持つ

という結果が得られた。

3 性能改善実験

これまでの検証で明らかのように、画像の性質によっては、大きな VLC コード長が割り当てられ

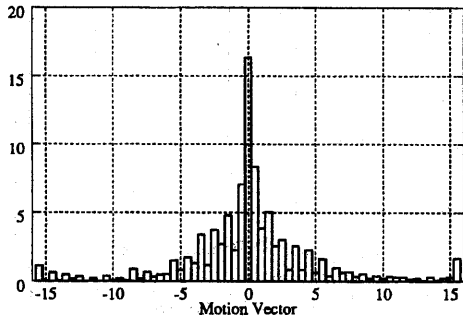


図 1: 実ベクトル値と発生個数との関係 (Susie)

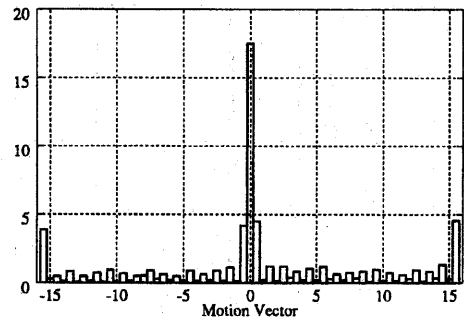


図 3: 実ベクトル値と発生個数との関係 (OnAir)

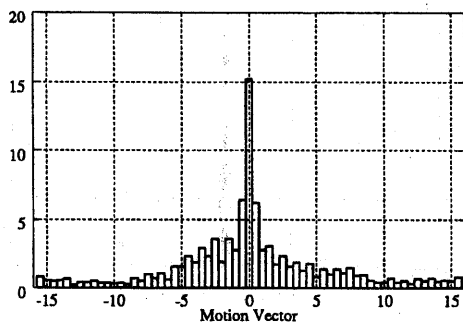


図 2: 実ベクトル値と発生個数との関係 (Popple)

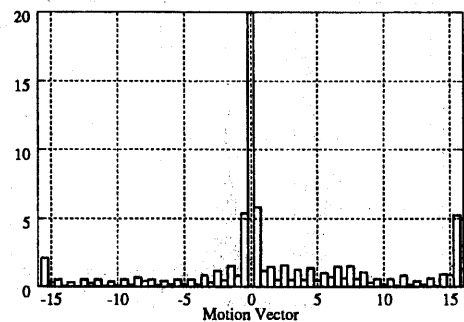


図 4: 実ベクトル値と発生個数との関係 (News)

ている差分動ベクトルに対して、発生頻度がピークとなる場合がある。そこで、H.263 の差分動ベクトルの ± 15.5 に対するビット割り当てを、13ビットのコードから5ビットのコードへと変更し、これに伴い、変更前5ビットであったVLCコードは、7ビットに、変更前7ビットのコードは8ビットへと順次割り当て変更を行う。動ベクトル探索範囲は ± 15.5 とし、その他は前章と同様の条件で行った。VLCビット割り当て変更によるSNR及びベクトルビット割合の変化量を表5に示す。

表5より、従来の符号化アルゴリズムが想定しているものから大幅に異なる性質を有する画像OnAir及びNewsに対して、VLC割り当て変更によるベクトルビット長削減効果を得た。特にベクトルビット長の割合の大きい15kbps, 20kbpsにおいて有効であることがわかる。また、標準画像Susie, Poppleに関しても、VLC変更によるベクトルビット発生量の増加といった悪影響はほとんど無く、本VLC変更手段の汎用性を示す結果となった。

4 まとめ

MC-DCT 画像符号化方式の動き検出に着目し、極低ビットレートでの適用可能性について検討を行った。その結果、従来のブロックマッチング法に関して、100kbps以上のビットレートでは問題とならなかった動ベクトルの発生ビットが、特に数十kbpsでの極低レートではDCT係数の量子化に影響を及ぼし、そのため最適な探索範囲も画像の性質により異なることが明らかとなった。

また、これまで符号化アルゴリズム評価に用いられている標準画像と、実際のTV放送番組とでは、動きベクトルの大きさ、発生分布、周囲との相関等の点で大きな違いがあり、従来想定していた特性に合致するように設計されているアルゴリズムが、特にレートが低くなるにつれ必ずしも最適とはなっていないことが明らかとなった。

今回は、簡易な方法としてVLCコードの割り当て変更により、画像の性質の違いによる従来方式の効率の低下が最小限となることが確認された。今

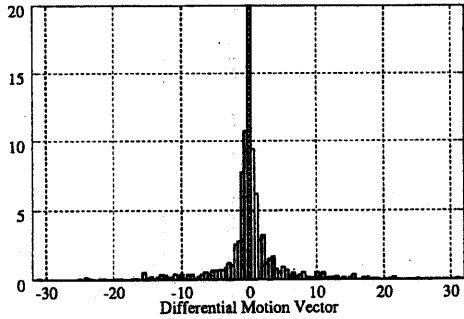


図 5: 差分ベクトル値と発生個数との関係 (Susie)

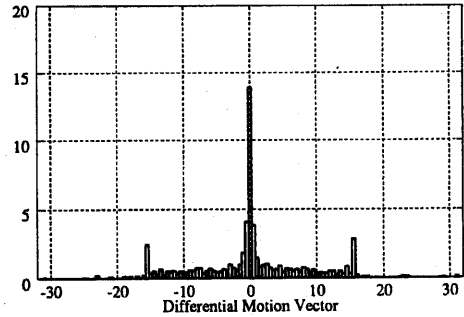


図 7: 差分ベクトル値と発生個数との関係 (OnAir)

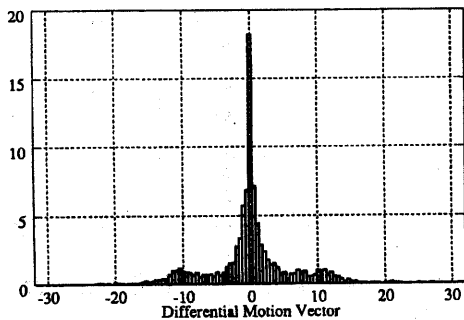


図 6: 差分ベクトル値と発生個数との関係 (Popple)

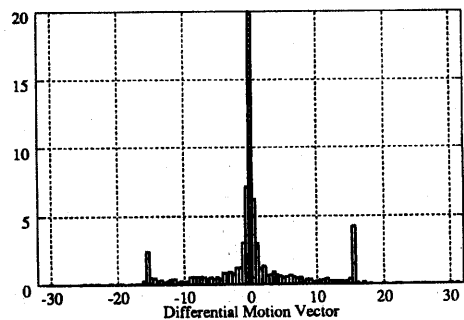


図 8: 差分ベクトル値と発生個数との関係 (News)

後は、今回明らかになったベクトルの発生分布に着目し、さらなる最適制御方式の検討を行う予定である。

謝辞

日頃御指導頂く国際電信電話株式会社 村上取締役研究所長に感謝いたします。

参考文献

- [1] 宮地, 松本: “超低ビットレート動画像符号化における最適動き検出法に関する一検討”, PCSJ '97, pp.117-118, October 1997
- [2] ITU-T Study Group 15: “ITU-T Recommendation H.263; Video coding for low bit rate communication”, March 1995
- [3] ITU-T Study Group 15: “VIDEO CODEC TEST MODEL, TMN5”, January 1995

表 5: VLC 割り当て変更による SNR 及びベクトルビット割合変化量

BR	Picture	Δ SNR (dB)	Δ MV (%)
15kbps	Susie	0.00	0.00
	Popple	-0.01	0.09
	OnAir	0.15	-2.03
	News	0.07	-1.19
20kbps	Susie	0.00	0.00
	Popple	0.00	0.07
	OnAir	0.12	-1.67
	News	0.08	-0.94
50kbps	Susie	0.00	0.02
	Popple	0.00	0.04
	OnAir	0.06	-0.73
	News	0.01	-0.12
100kbps	Susie	0.00	0.00
	Popple	0.00	0.01
	OnAir	0.02	-0.16
	News	0.00	-0.04