

これすぽんでんす

# 半画素精度動きベクトル検出の特性

家 保 具 太<sup>†</sup>, 葛 慶 平<sup>†</sup>, 正会員 橋 本 秀 雄<sup>†</sup>

## 1. ま え が き

MPEG-2は高品質デジタルビデオ/オーディオの汎用符号化標準である。この標準化活動はMPEG-1という蓄積メディアを対象としたビデオ符号化に始まり、その後はMPEG-2の標準化に向けて作業が進められた結果、1994年11月にはIS 13818が完成した。これに伴い、放送・蓄積・通信のあらゆる分野に対応したアプリケーションおよびLSI等、ハードウェアの開発が行われている。

MPEG-2で採用されている符号化アルゴリズムは、動き補償(MC)予測と離散コサイン変換(DCT)を適用したハイブリッド符号化である。これはMPEG-1等の標準符号化方式と同じであり、基本的に新しいものではない。しかし、より高品質な画像データを扱うことによる演算量の増加が大きく、なかでも動き補償予測を行うための動きベクトル検出が大きな割合を占めている。MPEG-2に限らず動画像符号化あるいは動画像解析などにおいて、動きベクトル検出の演算量を削減すると同時に、検出精度を高めることが求められている。

本稿では、動きベクトル検出精度を高めることを目的として、半画素精度でのベクトル検出ならびに小ブロックサイズでの動きベクトル検出の特性について検討を行う。小ブロックサイズを適用する検出方式はMPEG-2とは整合しないが、より広いアプリケーションへの適用を目指した動きベクトル検出アルゴリズムの確立に資するものと考えられる。

## 2. 半画素精度動きベクトル検出

半画素精度で動きベクトル検出を正確に行うには、半画素精度の全点探索を行うのが理想的である。しかしこの方式では、動きベクトル検出に半画素精度ベクトル検出を行わない場合の約8倍の膨大な演算量が必要となる。

MPEG-2<sup>1)</sup>では、整数画素精度ベクトル検出によって求められた動きベクトルのみに対して半画素精度ベクトル検出を行うことによって、演算量の増加を抑えている。

そこで、半画素精度ベクトル検出方式を以下のように定義し、半画素精度ベクトル検出を行わない方式を比較対象として特性の検出を行う。

[方式0] 半画素精度ベクトル検出を行わず、整数画素精度ベクトルのみの検出を行う。(比較対象方式)

[方式1] 整数画素精度ベクトル検出によって求められる動きベクトルのみに対して半画素精度ベクトル検出を行う。(MPEG-2)

[方式1'] マッチング度の高い順の4点および8点の整数画素精度ベクトルに対して半画素精度ベクトル検出を行う。

[方式2] すべての半画素精度画素に対して動きベクトル検出を行う。(全点探索方式)

上記[方式1]では必ずしも正確な半画素精度ベクトルを検出することはできないことが予想される。ブロックマッチングにおける評価関数が局部最小値をもつ場合、整数画素精度ベクトル検出で検出される動きベクトルに対する半画素精度ベクトル検出では、全点探索法で検出される最適半画素精度ベクトルを検出することはできない場合が考えられるからである。

本稿では、マッチング度の高い順に複数の整数画素精度ベクトルを候補ベクトルとして採用し、それらに対して半画素精度ベクトル検出を行うことで、整数画

<sup>†</sup> 金沢大学 工学部

"Characteristics of Motion Vector Detection with a Half-pel Accuracy" by Tomota Ieyasu, Ge Qing Ping and Hideo Hashimoto (Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa)

表 1 シミュレーション対象画像

画像	Salesman	Flower Garden
画像内容	背景が静止している画像	パニングを含む画像
画像サイズ(画素)	352×288	720×480
走査形式	non-interlace (CIF)	interlace
動きの検出された割合 (%)	50.4	98.0

表 2 シミュレーション条件

対象画像	Salesman	Flower Garden
処理フレーム	59, 60 frame	18, 19 frame
ブロックサイズ	16×16 画素	
動きベクトル	-8～+7 画素	
評価値	予測フレームの PSNR (dB)	
	予測フレームの Entropy + 動きベクトルの Entropy (bit/pel)	
	演算量(積和回数)	

素精度ベクトルの誤検出が半画素精度ベクトル検出精度に与える影響を検証する。

表 1 にシミュレーション対象画像、表 2 にシミュレーション条件を示す。表 1 の「動きの検出された割合」とは、整数画素精度・基準ブロックサイズでのベクトル検出における動きベクトルのノルムが 0 でないブロックの割合とする。

本稿におけるマッチング度は、次式に示す二乗誤差  $D(i, j)$  で評価し、最小二乗誤差をとる  $(i, j)$  をそのブロックの動きベクトルとする。

$$D(i, j) = \sum_{m=0}^{d-1} \sum_{n=0}^{d-1} (f_c(m, n) - f_i(m+i, n+j))^2 \quad (1)$$

ただし、 $f_c$ ,  $f_i$  はそれぞれ現フレーム、前フレームの画素値を表し、ブロックマッチング操作を行うブロックサイズは  $d \times d$  画素 ( $d = 16$ ) とする。

表 3 に [方式 0], [方式 1], [方式 1'] および [方式 2] の特性を示す。

この結果より、候補ベクトル数を増やすことによって特性は向上し、整数画素精度ベクトル検出の段階でわずかではあるが誤検出が起きていることがわかるが、その効果は Flower Garden で 8 つの候補ベクトルを用いた場合で高々 PSNR が 0.06 dB 増・Entropy が 0.02 bit/pel 減程度である。

結論として、[方式 1] ではすべての半画素精度画素に対する動きベクトル検出を行わず、[方式 2] と比較して演算量が約 1/8 に低減するにもかかわらず、充分

表 3 半画素精度ベクトル検出特性

画像			Salesman	Flower Garden
PSNR (dB)	[方式 0]		33.40	23.55
	[方式 1]		33.95	24.74
	[方式 1']	4 候補	33.97	24.79
		8 候補	33.97	24.80
	[方式 2]		33.97	24.80
Entropy (bit/pel)	[方式 0]		4.19	5.67
	[方式 1]		4.13	5.52
	[方式 1']	4 候補	4.13	5.51
		8 候補	4.13	5.50
	[方式 2]		4.13	5.50
演算量比	[方式 0]		1	
	[方式 1]		1.03	
	[方式 1']	4 候補	1.13	
		8 候補	1.25	
	[方式 2]		8.17	

正確な検出が可能であることが確認できた。

### 3. 小ブロックサイズにおける半画素精度動きベクトル検出特性

ブロックマッチング法による動きベクトル検出特性は、対象画像内容とブロックサイズの整合性に大きく依存する。そこで、ブロックサイズと半画素精度ベクトル検出特性との関係を検証し、ブロックサイズに対応した画素精度による動きベクトル検出が可能となることを示す。

対象画像がパニング画像のように画面全体に動きがある場合には、比較的大きいブロックサイズが有効である。一方、背景が静止し、複数の動きが含まれる画像の場合では、大ブロックサイズによる動きベクトル検出により被写体の輪郭近傍で誤検出の影響がでるものと考えられ、ブロックサイズを小さくして動きベクトル検出を行うことが有効になる。

表 4 に Salesman と Flower Garden に対して、ブロックサイズおよび画素精度の異なる方式で動きベクトル検出を行った結果を示す。ただし、この場合の半画素精度ベクトル適用方式は、[方式 1] とする。この特性をみると、上に述べたように対象画像内容によって特性の改善値に大きな相違がみられる。

次に、ブロックサイズを適応的に基準サイズの 1/4 に分割して同様の半画素精度ベクトル検出を行う方式を検討する。

ブロックサイズ切替えの具体的なアルゴリズムは、まず基準ブロックサイズでブロックマッチング操作を行い、そのときの評価関数が閾値以上のブロックは 1/4 ブロックサイズで、閾値未満のブロックは基準ブロックサイズでブロックマッチング操作を行うもので

表 4 対象画像内容による動きベクトル検出特性

対象画像		Salesman		Flower Garden	
画素精度		整数画素	半画素	整数画素	半画素
ブロック	基準	33.40	33.95	23.55	24.74
サイズ	1/4	35.09	35.67	24.28	25.49
特性改善値					
画素精度		整数画素	半画素	整数画素	半画素
ブロック	基準	—	0.55	—	1.19
サイズ	1/4	1.69	2.27	0.73	1.94

ある。評価関数には (1) 式で求められる各ブロックの二乗誤差  $D(i, j)$  の最小値を用いた。動きベクトルの特性として、マッチング度の低い (二乗誤差が大きい) ブロックでは動きベクトルの分布に偏りがあり、整数画素精度ベクトルよりも半画素精度ベクトルを選択することが有利であることが知られている<sup>2)</sup>。これよりマッチング度の低いブロックに対しては半画素精度ベクトル検出による特性改善が期待できることになる。

以上の特性をふまえて、以下の各方式について演算量-PSNR 特性を検証した結果を図 1 (Salesman)、図 2 (Flower Garden) に示す。

[方式 3] 評価関数が閾値以上のブロックは 1/4 ブロックサイズで、それ以外のブロックは基準ブロックサイズで、両者とも整数画素精度の動きベクトル検出を行う。

[方式 4] 評価関数が閾値以上のブロックは 1/4 ブロックサイズで、それ以外のブロックは基準ブロックサイズで、両者とも半画素精度の動きベクトル検出を行う。

[方式 5] 評価関数が閾値以上のブロックは 1/4 ブロックサイズ・半画素精度で、それ以外のブロックは基準ブロックサイズ・整数画素精度で動きベクトル検出を行う。

図 1, 図 2 は、上記各方式で閾値を 0 から  $\infty$  まで変化させたときの特性を示している。図中の  $X$ ,  $Y$  は閾値を 0 としてすべてのブロックを 1/4 サイズブロックに分割する場合である。また、 $X'$ ,  $Y'$  は閾値を  $\infty$  としてブロック分割を行わない場合の特性であり、これは [方式 1] と同じ検出方式である。また、演算量比は閾値が  $\infty$  のとき ( $X'$ ,  $Y'$ ) の演算量で正規化したものである。

図より、[方式 3] の特性曲線  $X-X'$  を平行移動すると [方式 4] の特性曲線  $Y-Y'$  にほぼ一致することから、半画素精度ベクトル検出特性はブロックサイズによらない特性であることがわかる。

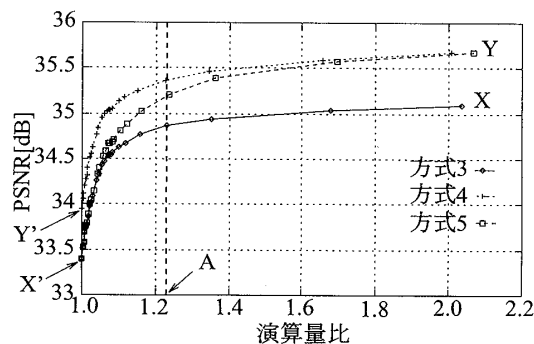


図 1 演算量比-PSNR 特性 (Salesman)

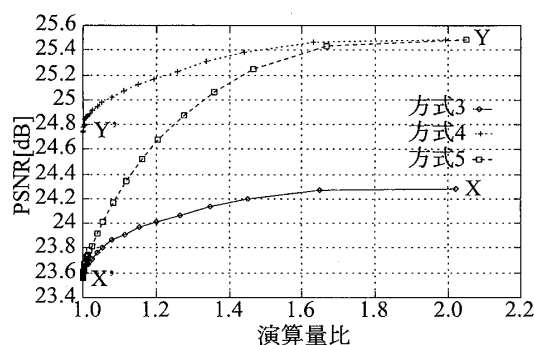


図 2 演算量比-PSNR 特性 (Flower Garden)

画素精度による特性改善値  $Y-X$  およびブロックサイズによる特性改善値  $X-X'$  は表 4 の特性改善値で示す通りである。この特性より、半画素精度ベクトル検出特性は動きの検出される割合が大きいほど改善値が大きくなることがわかる。ブロックサイズによる改善値については、Salesman の特性改善値が Flower Garden を上回ることから、先に述べたパニング画像における小ブロックサイズ検出による効果がそれほど大きくないことが確認される。

[方式 5] の特性は、[方式 4] に漸近する特性が得られている。これは、マッチング度の低いブロックにおいて半画素精度で動きベクトル検出を行うことが有利であり、マッチング度の高いブロックに対しては半画素精度ベクトル検出を行う必要がないことを示している。

次に、演算量比-PSNR 特性を比較すると、Salesman では 1/4 サイズブロックの適用数を減らして演算量を減少させるにもかかわらず検出特性が維持されている。この特性は先に述べた画像内容とブロックサイズの整合性によるものである。このような画像の場合、図 1 に示す演算量比が  $A$  となる閾値の近傍でブロックサイズを切替えることによって、演算量と検出特性

の trade-off のとれた動きベクトル検出が可能となる  
ことがわかる。図 1 の演算量比  $A$  では、[方式 5] にお  
いて、特性改善に向けての負担の許容範囲と考えられ  
る 2 割を目安とする演算量増加で 1.8 dB の特性改善  
が実現できた。しかし、図 2 に示す Flower Garden  
については、図 1 のような検出特性はみられないの  
で、評価関数を用いた適応的なブロックサイズ切替え  
が必ずしもすべての画像に対して有効なものではない  
ことがわかる。

#### 4. む す び

本稿で述べた半画素精度ベクトル特性について、以  
下のことを確認した。

- MPEG-2<sup>1)</sup> で用いられている、整数画素精度ベク  
トル検出で最もマッチング度の高いベクトルに対し  
てのみ半画素精度ベクトル検出を行うことで充分な  
特性が得られる。
- 半画素精度ベクトル検出特性は、ブロックサイズ  
に依存しない特性である。
- 評価関数に閾値を設け、ブロック毎にそのサイズ  
を切替えることによって、効率の良い動きベクトル  
検出が可能となる。

本稿で述べた半画素精度ベクトル検出特性の検証で  
は、画像フォーマット（画像サイズ、走査形式）にか  
かわらずフレーム間動き予測を行っている。図 1 と  
図 2 の特性を比較すると、Flower Garden の特性は  
Salesman よりも 10 dB 程度下回っている。これは、

画像中の動きの大きさへの依存性に加えて、interlace  
画像である Flower Garden に対してフィールド間動  
き予測を行わずフレーム間動き予測しか行わなかった  
ことも要因のひとつになっていると考えられる。今後  
はフィールド間動き予測に対する半画素精度ベクトル  
検出特性を検討する必要がある。

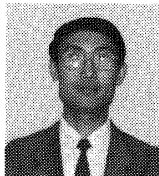
#### 〔参 考 文 献〕

- 1) "Infomation Technology-Generic Coding of Moving  
Pictures and Associated Audio", Recommendation  
H.262, ISO/IEC 13818-2, Committee Draft (1993)
- 2) 仙田 裕三: "半画素精度動きベクトル補償における動きベク  
トルの分布について", 信学秋全大, D-156 (1994)



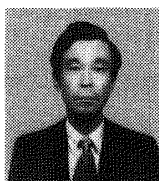
い え や す      と も た

**家保 具太** 平成 7 年、金沢大学工学部  
電気・情報工学科卒業。同年、同大学大学院  
工学研究科電気・情報工学専攻修士課程入学。



か つ      け い ぺ い

**葛 慶平** 昭和 59 年、金沢大学大学院  
工学研究科修士課程修了。同年、北京工業大  
学電子工学科専任講師。画像処理、コンピュ  
ータインターフェース等の研究に従事。現在、  
金沢大学工学部助手。



は し も と      ひ で お

**橋本 秀雄** 昭和 50 年、大阪大学大学院  
博士課程修了。同年、日本電信電話公社（現  
NTT）入社。電気通信研究所において画像符  
号化の研究実用化に従事。平成 5 年より金沢  
大学工学部電気・情報工学科教授。現在に至  
る。工学博士。正会員。