

多重動き推定に基づく高速移動オブジェクトの画素単位動き推定

青木 恭太 猪野 祐司 野辺 昌史

宇都宮大学工学部情報工学科 〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2

E-mail: kyota@is.utsunomiya-u.ac.jp

あらまし 本報告では、精度の高い動き推定を目的として複数の動き推定方式による結果を統合して、高速に移動するオブジェクトを含む画像において、画素単位に動きベクトルを推定する方式を提案する。提案方式で用いるブロック単位動き推定方式は、ブロックマッチングと改良輝度投影相関である。2種のブロック単位動き推定方式の推定結果を比較することにより推定ベクトルの信頼性を評価することが可能となる。また、改良輝度投影相関とブロックマッチングを組み合わせた方式ではブロックマッチングのみを利用した場合に比較して、きわめて高速に動き推定が可能となる。本報告では、同一画素に対して複数の重なり合う動き推定ブロックにおいて多重に行われたブロックマッチングと改良輝度投影相関法による動き推定結果を統合することで、画素単位に動きベクトルを推定する方式を提案する。さらに提案方式を実現し、実験により提案方式の有効性を確認する。

キーワード 画素単位動き推定, ブロックマッチング, 改良輝度投影相関,

Pixel-wise Motion Estimation of High-speed Moving Objects based on Multiple Motion Estimations

Kyota AOKI, Yuji INO and Masashi NOBE.

Faculty of Engineering, Utsunomiya University, 7-1-2 yoto, Utsunomiya, 321-8585 Japan

E-mail: kyota@is.utsunomiya-u.ac.jp

Abstract This paper proposes a new pixel-wise motion estimation method that uses the luminance projection correlation and block matching method. Using two types of estimation methods, we can estimate the reliability of each estimating result. Our integration of luminance projection correlation and block matching method is much faster than the simple block matching method. The proposed method uses the overlapping multiple block-wise motion estimations at a pixel, integrates the motion estimations on multiple motion estimation blocks and estimates the reliability and motion vector at each pixel. The proposed method is implemented and experimental results show the effectiveness of the proposed method.

Keyword pixel-wise motion estimation, block matching, luminance projection correlation, .

1. はじめに

本報告では、複数の動き推定方式による動き推定ベクトルを統合して、高速に移動するオブジェクトを含む画像において、画素単位に動きベクトルを推定する方式を提案する。オブジェクトの動きが小さく雑音がない場合、各種の方式で画素単位に高精度に動きベクトルを得ることが可能である。一方、動きベクトルが大きい場合には、動きが小さいときに有効な輝度勾配法やそれを元とする固有値法など動きベクトルを得ることは困難である。動きベクトルの大小に関わらず動きベクトルを推定する方式としてブロックマッチング(BMと略記)がある。BMは、計算量は大きいものの大きな動きに対しても動きベクトルを得ることができる。しかし、BMで動き探索範囲を拡大すると計算時間が増大するのみならず、誤った動きベクトルを推定する場合が増加する。

BMなど領域単位に動き推定を行う方式では、動き推定ブロックサイズが推定精度を大きく左右する。大きな推定ブロックを用いれば、動き推定精度は向上する。一方、そのとき、動き境界の推定精度は低下する。逆に、動き境界の推定精度

を上げるために動き推定ブロックを小さくすると、動き推定精度が低下する。また、隠蔽や平坦領域が存在する実画像では、動き推定の信頼度も問題となる[3-6]。

動き推定ブロックを用いて動き推定を行う方式では、画素単位の動きベクトルは得られない。動きオブジェクトを推定する際には、画素ごとに動き推定の信頼度と動きベクトルを得ることが必要である。

本報告で提案する動き推定方式では、ある画素を含む複数の動き推定ブロックで得られた動きベクトル集合を用いて画素単位に動き推定を行う。用いる動き推定方式は、改良輝度投影相関とBMである。提案方式では、動き推定ブロックにおいてBMと改良輝度投影相関の2種の動き推定方式を用いて動きベクトルを推定し、2種の方式の動き推定結果を比較することにより動き推定結果が信頼できるか否かを推定し、画素ごとに動き推定の可否と推定可能の際には動きベクトルを推定する。また、BMと比較して高速である改良輝度投影相関を用いて、広域探索を行い、BMによる探索範囲を制限するこ

とにより、2種の探索方式を併用するに関わらず、探索速度は大幅に向上している。

重なり合う複数の動き推定ブロックにおいて動き推定を行うと、画像を動き推定ブロックに分割する場合に比較して計算量が増大する。提案方式では、改良輝度投影相関とBMを併用することにより、動き推定精度の向上を実現するとともに、動き推定速度の向上も実現している。

本報告では、複数の動き推定方式による動き推定ベクトルを統合して、高速に移動するオブジェクトを含む画像において、画素単位に動きベクトルを推定する方式を提案する。まず、BMと改良輝度投影相関を複合することにより、BMを単独で用いる場合よりも、高速高精度に動き推定を行う方式を示す。次に、画素単位に動き推定を行う動き推定方式を提案する。最後に実験により、提案方式がBMと比較して、画素単位により良い動きベクトルを与えることを確認する。

2. ブロックマッチングと改良輝度投影相関による高速・高精度ブロック単位動き推定法

2.1. 改良輝度投影相関方式

輝度投影相関法は輝度投影を用いBMなどより少ない手順で推定を行う動き推定法である。手順は以下に示す。まず式(2)により基準ブロックから輝度投影を求める。ここで基準ブロックをX、推定する画像をYとしX、Yそれぞれの大きさをX (w_x, h_x)、Y (w_y, h_y) とする。

$$PjX(X, j) = \frac{1}{W_x} \sum_{i=1}^{W_x} X(i, j) \quad (1)$$

対象画像では式(3)で輝度投影を求める。

$$PjX_Y(Y, i_y, j_y, j) = \frac{1}{W_x} \sum_{i=1}^{W_x} Y(i_y + i - 1, j_y + j - 1) \quad (2)$$

Y方向も同様に基準ブロック、対象画像で輝度投影を求める。以上により得た輝度投影から

$$\arg \min(i_y, j_y) \{ nml(MSE_j(PjX(X, j), PjX(Y, i_y, j_y, i)) + nml(MSE_j(PjY(X, i), PjY(Y, i_y, j_y, i))) \} \quad (3)$$

より推定対応位置を得る。 $\arg \min(a, b) \{ \dots \}$ は中カッコ内を最小とする(a, b)を与える関数。MSEは平均二乗誤差、nmlは正規関数である。[1, 2]

2.2. 改良輝度投影相関方式とブロックマッチングの組み合わせによる高速高信頼動き推定

2.2.1. 動き推定方式

高速高信頼動き推定方式では、改良輝度投影相関により探索範囲を探索し、推定動きベクトルを得る。この動きベクトルで示される対応位置近傍のみをBMにより探索し、BMによる推定動きベクトルを得る。この方式では、広域探索を改良輝度投影相関で行い、精度良い探索をBMで行う。BMで得られた推定動きベクトルと改良輝度投影相関により得られた推定動きベクトルを比較することにより推定動きベクトルの信頼性を検証する。

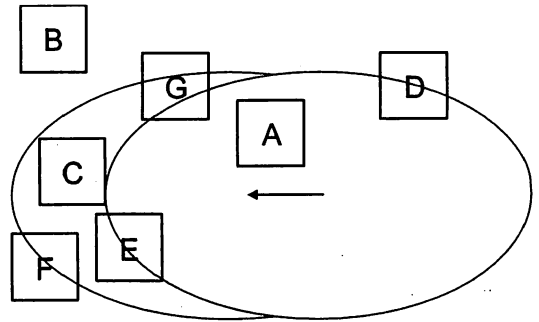


図1 動き推定ブロック位置

改良輝度投影相関とBMの示す動き推定ベクトルがほぼ一致する場合、BMの動き推定ベクトルをそのブロックの推定動きベクトルとし、一致しない場合は有効な推定動きベクトルは得られないとする。改良輝度投影相関とBMは、誤り動き推定特性が異なるため、上記方式で信頼のおけない動き推定ベクトルを排除することができる。

図1のタイプCの動き推定ブロックでは、高精度に有効動きベクトルが棄却されるので、隠蔽領域を高精度に件検出可能となる。逆にタイプDの動き推定ブロックでは、BMではどちらかの動きベクトルが得られる場合であっても、提案方式では有効推定動きベクトルが得られない場合もある。

2.2.2. 計算速度

改良輝度投影相関方式は、BMと同一の探索範囲を探索するとき動き推定ブロックが $n \times n$ のとき、 $n/2$ 倍高速である。改良輝度投影相関を用いて $m \times m$ の範囲を探索し、推定された動きベクトル周辺の $m/d \times m/d$ の範囲のみをBMで探索すると、 $m \times m \times 2n + m \times m \times n \times n / (d \times d)$ の手数となる。但し、この手数には輝度投影を作成する手数は入っていない。一方、全範囲をBMのみで探索すると $n \times n \times m \times m$ となる。

故に $2/n + 1 / (d \times d) < 1$ の場合には、提案方式が高速となる。輝度投影を作成する手数は、照合の手数に比較すると十分小さいので無視できる。

動き推定ブロックは、多くの場合 8×8 が用いられている。このとき、 $\pm 30 \times \pm 30$ までの範囲で動きを推定する際には、BMで $\pm 5 \times \pm 5$ の範囲を探索すれば、BMのみで $\pm 30 \times \pm 30$ の範囲を探索する場合と比較すると4倍の速度となる。実プログラムにおいて、 9×9 の動き推定ブロックで $\pm 30 \times \pm 30$ の範囲で動き推定を行う場合、改良輝度投影相関により $\pm 30 \times \pm 30$ の範囲を探索し、BMで $\pm 5 \times \pm 5$ の範囲を探索すると63.9Sで終了する。同一プログラムにおいて、BMのみを用いて $\pm 30 \times \pm 30$ の範囲を探索すると909.6Sで終了する。改良輝度投影相関とBMを組み合わせると $\pm 35 \times \pm 35$ の範囲を探索すると、BMのみで $\pm 30 \times \pm 30$ の範囲を探索した場合に比較して7%の処理時間で終了した。この結果からも改良輝度投影相関とBMを組み合わせると、高速高信頼動き推定法は、ブロック単位動き推定法として、大動き量の場合にはきわめて高速に動作すると結論できる。探索範囲が小さい場合には、固有値法などを用いると圧倒的に高速となるが、 8×8 の動き推定ブロックで、 $\pm 30 \times \pm 30$ の範囲で動き推定を行うことは不可能である。

3. ブロック単位動き推定結果からの画素単位動き推定方式

動きオブジェクトを含む2個のフレームを考えると、隠蔽領域が存在する。BMを照合対象フレームにおいて隠蔽されている領域（図1灰色領域）に対して適用すると、必ず誤った動き推定結果を与える。動き領域に対してBMを行う場合、動き領域が既知であれば、その動き領域を推定ブロックとして動き推定を行えば、精度よい動き推定結果が得られると期待される。しかし、動きオブジェクト認識は、動きオブジェクト領域を知ることなく行われる。このとき、フレーム全体の任意のブロックを対象としてBMを行うことになる。そのとき、動き推定ブロックは、動き領域に内包される場合（図1(A)）、動きなし領域に内包される場合(B)、被隠蔽領域に内包される場合(C)、動きの異なる複数の領域および隠蔽領域にまたがる場合(D,E,F,G)がある。動き推定ブロックが非隠蔽領域に内包される場合には、BMでは必ず誤った動き推定結果が得られる。また、複数の領域にまたがるブロックでは、その推定動き量は、誤りであったり、ブロックに含まれる一部の領域の動きを代表していたりする。一般には、さらに動き量の異なる別オブジェクトの重なりがある。

画素から動き推定ブロックを見ると、動きオブジェクト中の画素は、A、D、G、Eタイプの動き推定ブロックに含まれる。画素が動きブロックの中心近傍にあるとき、その画素を包含する動き推定ブロックの大部分はタイプAとなる。このとき、その画素を包含する動き推定ブロックは、すべてその画素と同一の動きベクトルを持つ。n×nの正方形動きブロックを用いる際には、動き境界から±n画素以内の画素は、ブロック境界を包含する動き推定ブロックにも包含される。動き境界が直線状かつ座標軸方向と一致するときは、ある画素を包含する動き推定ブロックの半数以上は、同一動き領域に包含される。

3.1. 画素単位動き推定法

提案方式では、BMおよび改良輝度投影相関を用いた高速高精度動き推定方式のブロック単位動き推定結果を利用する。提案方式は、ある画素を包含する動き推定ブロック集合の推定動きベクトル集合を用いて画素の動きベクトルを推定する。任意のn×nのブロックで動き推定を行うとき、各画素を含むブロックでn²回動き推定が行われる。対象の画素を含むブロックで行われたn²回の動き推定のうち有効な動き推定の数がm²以上の場合は推定成功とし、その他の場合は推定失敗とする。これにより画素単位に有効動きベクトルが存在するか否かを推定する。ここでnはブロックの1辺の長さとし、lは1以下の閾値である。

画素が動き境界近傍にあるとき図1のタイプAの動き推定ブロックとタイプDの動き推定ブロックに含まれる。画素が動き境界に接しているときには、その画素を含む動き推定ブロックの大部分はタイプDとなり、どのような動きベクトルを推定するかは不明である。高速高精度動き推定方式は、動き推定不能となる場合も多い。

$$Xm = \left(\sum_l X_a \right) / |L| \quad (4)$$

$$Ym = \left(\sum_l Y_a \right) / |L| \quad (5)$$

表1. 模擬動き画像実験結果

推定法	ブロックサイズ	オリテ	推定率	平均誤差	最大誤差
BM	5	50	1	1.464	11
	9	50	1	0.842	11
	17	50	1	0.399	11
多重	5	50	0.705	1.030	11
	9	50	0.834	0.615	11
	17	50	0.925	0.326	11
提案法	5	50	0.944	0.784	11
	9	50	0.979	0.476	11
	17	50	0.980	0.239	9
BM	5	75	1	1.320	11
	9	75	1	0.591	11
	17	75	1	0.196	11
多重	5	75	0.780	0.846	11
	9	75	0.877	0.406	11
	17	75	0.956	0.147	9
提案法	5	75	0.988	0.613	11
	9	75	0.995	0.250	10
	17	75	0.986	0.075	8.019

推定成功の場合は、XY各方向別に対象画素における動き推定ベクトル集合の中央値近傍の推定値を平均し、その画素の推定動き量とする。式に表すと式(4)(5)となる。ここで、Lは、動きベクトル集合の中央値近傍集合である。X_aは、X信頼できるブロック単位推定動きベクトルが得られているので、XY2次元で投票することなく、各方向別に中央値を求めることで画素単位動きベクトルを推定する。これにより、2次元投票を行う場合に比較して、処理が簡便となる。また、多数の値が集積するので信頼性が向上する。

実験では、中央値近傍は、中央値±2までの範囲とした。

4. 実験と評価

4.1. JPEG圧縮を含むシミュレーション画像を用いた実験

4.1.1. 実験方法

高速高精度動き推定方式で得られる改良輝度投影相関とBMによる推定動きベクトルの各方向の動き量の差が1.5以上ならば推定失敗とし、1.5未満ならば2つの結果の平均値を動き量とする動き推定法をBMと輝度投影相関の多重と呼ぶ。

(以下多重と表記) [4]

提案法とBM、BMと輝度投影相関法による高速高精度動き推定方式をそれぞれ用いた動き推定を行った。動き量の探索範囲は±10、動き推定に用いたブロックサイズを3手法とも5、9、17の3通りとした。BMおよび多重では、動き推定ブロックの推定動きベクトルをその動き推定ブロックの中央画素の推定動きベクトルと見なす。

4.1.2. 実験画像

実験には、標準画像で512×512の大きさであるboat.pgm

を用いて行った。boat.pgmを左に1ピクセルずらした画像を作成し、それぞれCJPEGのクオリティ100（圧縮なし）、75、50で圧縮したのち復元した画像を用いた。今回の実験では、すべてのブロックサイズにおいて信頼のおける推定がされていると思われる領域を使用し実験するために、画像の上左右端のそれぞれ20ピクセルの部分は用いなかった。

$$Ea = (\sum (X - R)) / N \quad (6)$$

$$Pp = N / 220900 \quad (7)$$

4.1.3. 評価方法

4.1.2で記した470×470の領域・220900点において、3つのJPEGクオリティで3手法により動き推定を行いそれぞれの推定率とX方向の平均誤差を算出して評価を行った。平均誤差Eaは式(6)で定義する。

ここで、Xは推定動き量。Rは真の動き量。Nは推定が行われた画素数である。

推定率Ppは、式(7)で定義する。式(7)において、220900は全動き推定画素数である。

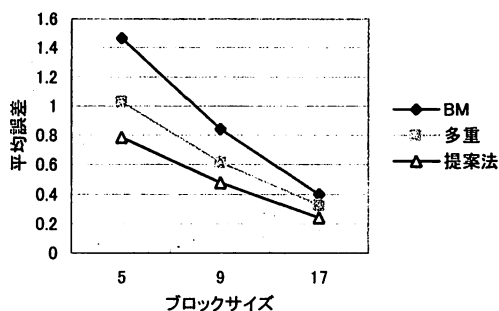


図2 JPEGクオリティ50における平均誤差

4.1.4. 実験結果

実験結果を表1に示す。BMは、原理的に推定率は常に100%である。提案法と多重を比較すると、提案方式の推定率は常に多重の推定率を上回っている。また、平均誤差は、提案方式が最も小さい。平均誤差を図2に図示する。これらの結果から、動き推定ブロックが動き領域に内包される場合には、提案方式が最も精度良い推定動きベクトルを与える結論できる。

4.2. 標準動画を用いた実験

一般には、動き推定領域境界が存在し、動き領域に動き推定ブロックが内包されることは保障されない。そこで、高速で移動する小オブジェクトを撮影した映像として、stennisを用いて動き推定実験を行う。

4.2.1. 実験方法

提案法とBM、多重をそれぞれ用いた動き推定を行った。動き量の探索範囲は提案方式では±35、他の方式では±32とした。動き推定に用いたブロックサイズは、3手法とも5、9、17の3通りとした。

4.2.2. 実験画像

実験は、標準映像stennisの1番目と2番目のフレームをグレースケール画像に変換したstennis0.pgmとstennis1.pgmを用いて行った。この画像では、高速で小物体が移動している。画像全体を評価するのは困難などで4つの異なった特徴をもつ領域について評価した。評価対象の領域は

- 領域A: ボールの内部領域（動いている領域）
- 領域B: ボールにより隠蔽される領域（被隠蔽領域）
- 領域C: 背景の領域（動いていない領域）
- 領域D: テーブルの領域（オブジェクトは動いていないがラケットの影などの影響で輝度が変動している部分）

とした。大きさは領域Aが13×13の169画素。領域Bは10×10の100画素。領域Cおよび領域Dは15×15の225画素である。（図3）

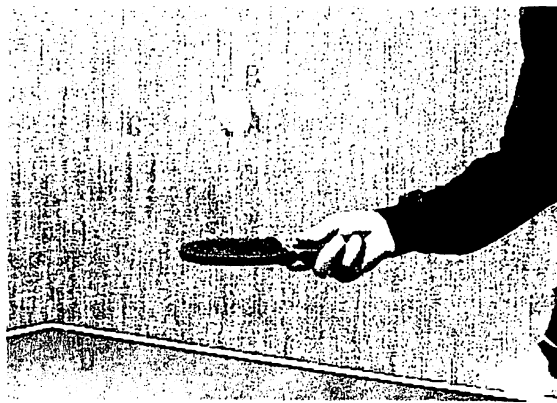


図3. 実験画像stennis第1フレーム

4.2.3. 評価方法

4.2.2に記した領域で3手法により動き推定を行い、各画素の推定動きベクトルのY方向のみの平均誤差と推定率を算出し真値と比較し評価した。

平均誤差Eaは

$$Ea = (\sum (Y - R)) / N \quad (8)$$

により算出する。ここでYはY方向推定動き量。Rは真の動き量。Nは推定が行われた画素数である。動き量の真値は領域Aでは画像を10倍しボールに内接するブロックと外接するブロックをそれぞれBMと輝度投影相関法を行い平均し10分の1にしたものを用いた。領域C及びDでは、真値を0とした。また領域Bは被隠蔽領域であり、動き量はないが0として計算した。

推定率Ppは

$$Pp = N / Nm \quad (9)$$

により算出する。ここでNは推定が行われたピクセルの数。Nmは領域内のすべてのピクセル数である。理想推定率は被隠蔽領域は0とし、それ以外の領域では1とした。

4.2.4 実験結果

表2に各領域別の実験結果を示す。領域Aにおける平均誤差とブロックサイズの関係を図4に示した。

表2に示したとおり、全ての領域と全てのブロックサイズにおいて提案法はBMあるいは多重よりも小さい平均誤差を示している。推定率は領域Dのブロックサイズが5の場合以外は、提案法は理想推定率に近い。領域Dは、平坦でありブロックサイズが小さいとき、信頼できるブロック推定動きベクトルが得られないため、推定率が低くなっている。

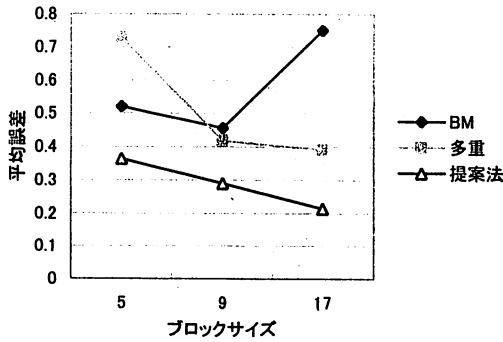


図4. 領域Aでの平均誤差

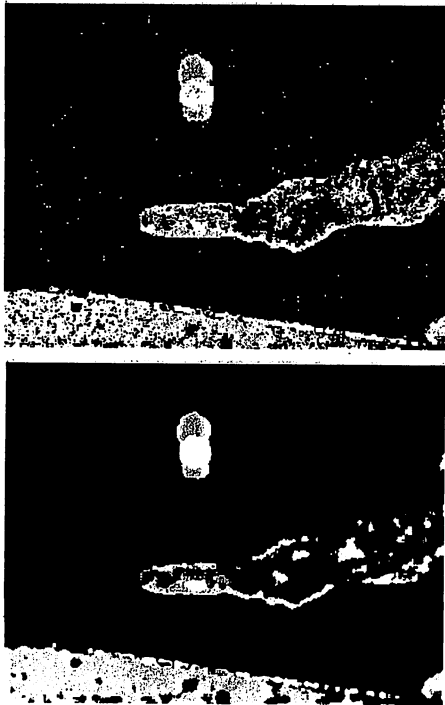


図5. ブロックサイズ5の実験結果

表2. 実験結果

領域A				
推定法	ブロックサイズ	理想推定率	推定率	平均誤差
BM	5	1	1	0.520
	9	1	1	0.456
	17	1	1	0.750
多重	5	1	0.864	0.729
	9	1	0.988	0.418
	17	1	1	0.392
提案法	5	1	1	0.363
	9	1	1	0.289
	17	1	1	0.214

領域B				
推定法	ブロックサイズ	理想推定率	推定率	平均誤差
BM	5	0	1	17.59
	9	0	1	16.54
	17	0	1	17.33
多重	5	0	0.05	12.5
	9	0	0.13	23.923
	17	0	0.41	15.988
提案法	5	0	0	0
	9	0	0	0
	17	0	0.25	15

領域C				
推定法	ブロックサイズ	理想推定率	推定率	平均誤差
BM	5	1	1	0
	9	1	1	0
	17	1	1	0
多重	5	1	0.996	0
	9	1	1	0
	17	1	1	0
提案法	5	1	1	0
	9	1	1	0
	17	1	1	0

領域D				
推定法	ブロックサイズ	理想推定率	推定率	平均誤差
BM	5	1	1	2.0578
	9	1	1	0.453
	17	1	1	0
多重	5	1	0.298	1.701
	9	1	0.569	0.090
	17	1	0.907	0.005
提案法	5	1	0.169	0
	9	1	0.693	0
	17	1	1	0

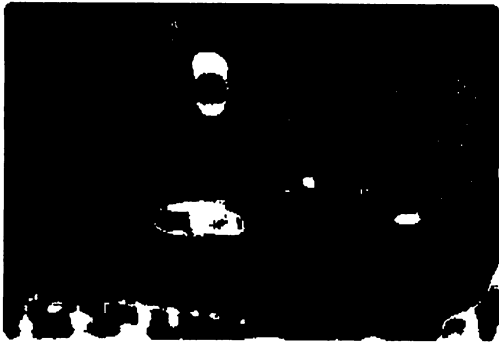


図6. 提案方式による実験結果

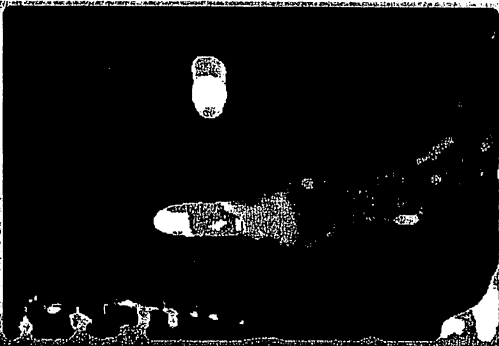


図7. 多重による実験結果

図5は、動き量を輝度値で表したもので、上側が多重、下側が提案法の結果である。提案方式では、雑音が少ないことが確認できる。図6と図7は、ブロックサイズが 9×9 の場合の動き推定不能領域画像と動き量画像である。動き推定不能領域画像は、動き推定不能画素を白表示している。画像を比較すると提案方式では、多重と比較して雑音が少ない良好な推定が行われていることが確認できる。低速動き境界（ラケットや腕）において提案方式は、多重と比較すると動きがボケている。高速動き境界（ボール）では、提案方式でも動きがボケることはない。

5. むすび

本報告では精度の高い画素単位動き推定を行うために、複数のブロック単位動き推定方式を組み合わせるより精度の高い画素単位動き推定を実現する新しい動き推定方式を提案した。提案法と従来の動き推定方式であるBMと多重による方式を用いて比較実験を行った結果、従来の動き推定法と比べ提案法は、ほぼ全ての実験条件でより低い誤差率とより高い推定率を得ることを確認した。また、改良輝度投影相関法とBMを組み合わせることで、BM単独で探索する場合に比較して、きわめて高速に処理する方式を示し、その能力も確認した。

本研究では、提案法において組み合わせる基本動き推定方式にBMと輝度投影相関法を用いたが、固有値法や45度方向の改良輝度投影相関法も含めた他の動き推定法の組み合わせも考えられる。

文 献

- [1] 小林, 青木, “圧縮動画像を対象とする高精度動き推定”, 2004信学総大, 情報システム(2), pp103, 2004
- [2] 小林 孝弘, 青木 恭太, “大動き量推定のための輝度投影相関法の改善” 2005年電子情報通信学会総合大会
- [3] 西原 功, 吉田 俊之, 酒井 善則, “信頼度に基づくブロック統合を用いた動画像の高精度動きベクトル推定とその応用”, 映像情報メディア学会誌, vol.53, No.1, pp148-156, 1999.
- [4] 日野 雅俊, 浜田 望, “ブロックマッチングにおけるブロック分割と統合を含む動き推定法”, 信学技法, DSP, Vol103, No718, pp1-6, 2004.
- [5] 吉田 俊之, 宮本 敦司, 酒井 善則, “動画像の動きベクトルに対する信頼度関数とその応用”, 電子情報通信学会論文誌, vol.180, No.5, 1192-1201, 1997
- [6] 木谷 光博, 榎本 忠儀, “探索領域サイズを適応的に可変する動きベクトル検出”, 2003年電子情報通信学会総合大会, D-11, P61, 2003