

## 平坦領域を考慮した多重動き推定に基づく画素単位動き推定

野辺 昌史<sup>†</sup> 猪野 裕司<sup>†</sup> 青木 恭太<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 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.utunomiya-u.ac.jp](mailto:†kyota@is.utunomiya-u.ac.jp)

**あらまし** 本報告では今までの動き推定法では失敗していた平坦領域でも動き推定を正しく行える画素単位の動き推定法を提案する。映像中の2枚のフレームを対象として、動き推定を行う。ブロックマッチングと輝度投影相関を用いて動き推定を行い、両者の推定結果を比較し、さらに複数の結果を用い推定成功と推定失敗に分類することで信頼度の高い動き推定を行う。しかし平坦領域では推定は困難なため動き推定が失敗する可能性が高い。そこで平坦領域を推定し、その領域で動き量を別に推定することで上記の方法で推定が失敗した画素に動き量を与える。以上の方式を提案・実現し実験により有効性を確認する。

**キーワード** 平坦領域, 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 Based on Multiple Motion Estimations in Consideration of Smooth Regions

Masashi NOBE<sup>†</sup> Yuji INO<sup>†</sup> and Kyota AOKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Engineering, Utsunomiya University 7-1-2 Yoto,Utsunomiya-shi, Tochigi, 321-8585 Japan

E-mail: [†kyota@is.utunomiya-u.ac.jp](mailto:†kyota@is.utunomiya-u.ac.jp)

**Abstract** This paper propose a pixel-wise motion estimation method that performs motion estimation in smooth regions where conventional methods can't work. For two frames of a movie, The proposed method performs motion estimation. The proposed method Utilizes two types of motion estimation method and, performs reliable motion estimation comparing two types of estimation method results. The proposed method uses other estimation method in smooth regions. We propose the method and show experimental results and confirm its effectiveness.

**Keyword** smooth region, pixel-wise motion estimation, block matching, luminance projection correlation

### 1. はじめに

動き推定は、映像の複数枚の画像を用いて高解像度化を行う際や、時間方向の冗長性を除き圧縮率の高い映像符号化を行う際などに必要な技術である。しかし、従来の動き推定法であるブロックマッチング、輝度投影相関法、こう配法等では、隠蔽や領域の平坦性により推定を行えない部分に対しても推定値を出力し、結果として誤推定が増加し、動き推定精

度は高くない。画像の動き推定結果を用いて各種の処理を行う際に、誤った推定結果は、雑音となり推定結果全体の有用性を低下させている。誤りの少ない動き推定が得られれば、各種の応用において使いやすくなる[1-3]。しかし、動き物体の境界付近やモーションブラー・平坦な領域など実際には動いている領域でも動き量が与えられないという問題も残っている。

本報告では、高信頼度動き推定に加え平坦であるため推定が失敗している領域に対して別方式で動き推定を行い、新たに動き量を与えることにより高信頼度動き推定の信頼度を保ちつつさらに推定率を上げる。この提案法を実現し、各種画像を用いて動き推定実験を行い、提案方式の能力を明らかにする。

本報告では、まず高信頼度動き推定を説明し、次に平坦部の処理を提案する。最後に実験により提案法が従来の動き推定法よりも有効であることを示す。

## 2.提案法

### 2.1. 処理の流れ

提案法は、高信頼度動き推定を行った後に平坦領域の処理を行う。これにより高信頼度動き推定の結果を尊重することができる。さらに高信頼度動き推定が失敗した領域にのみ処理を行うことにより実行時間の短縮もできる。また平坦領域の処理はさらに平坦領域の推定と平坦領域内の動き推定の2つの段階に分けられる。

### 2.2. 高信頼度動き推定

高信頼度動き推定は、推定失敗と推定成功を区別し、誤った動き量を与えることの少ない動き推定法を指す。具体的な方法は[3]の方法の改良である。ブロックマッチングと改善された輝度投影相関法[4]により、同一形状動き推定ブロックを用いて1画素刻みに動き推定を行う。このとき、2つの動き推定法により得たX方向とY方向の動き量の差がそれぞれ1以内であればそのブロックに対する推定動きベクトルは利用可能とみなし、その他の場合は利用不可能とみなす。

$n \times n$ のブロックで1画素刻みに動き推定を行った場合、各画素は、異なるブロックで  $n \times n$ 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  $n \times n$ 回の動き推定のうち利用可能な推定の数が  $k n^2$ 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。ここで  $k$  は定数である。

推定に成功した場合は中央値もしくは最頻値 (M) と差1以内の利用可能な推定値とし、利用可能な推定値のみを平均して動き量を求める。さらにMとの差1以内の推定値の数が閾値以上ならば推定成功としそのほかの場合は推定失敗とする。求める動き量を式に示すと (1) 式 (2) 式になる。

$$X_m = \left( \sum_a^{N-a-1} X_c \right) / (N - a - a') \quad (1)$$

$$Y_m = \left( \sum_b^{N-b-1} Y_c \right) / (N - b - b') \quad (2)$$

ここで  $X_m$  はX方向の動き量、 $Y_m$  はY方向の動き量とする。 $X_c$  は利用可能な推定より得られるX方向の動き量を昇順に並べた数列とする。 $Y_c$  は同様に利用可能な推定より得られるY方向の動き量を昇順に並べた数列とする。 $N$  は利用可能な推定の総数とする。 $a$  は  $M - X_i > 1$  の個数、 $a'$  は  $M - X_i < -1$  の個数、 $b$  は  $M - Y_i > 1$  の個数、 $b'$  は  $M - Y_i < -1$  の個数。 $X_i$ 、 $Y_i$  は任意の利用可能な推定結果である。

### 2.3. 平坦領域の推定

本報告では平坦領域とは完全に同じ輝度値が並ぶ領域ではなく、輝度値振幅が小さく、ブロック単位動き推定を行った際に判定値の差が大きくならずに誤推定をする可能性の高い領域を指す。

#### 2.3.1 併合による平坦領域の推定

画像全体を  $2 \times 2$ 、4画素の正方ブロックに区切り、全てのブロックに関して4画素の中での最大値と最小値の差をとり小さければ平坦候補領域とし、大きければ非平坦領域とする。隣接平坦ブロックにおいて平均値の差が少ないときその隣接平坦領域は同一平坦候補領域に属するとする。またこの時に用いる平均値はすでに平坦候補領域が併合され5画素以上になっても隣接する4画素のブロックの平均のみを用いる。これを変化がなくなるまで繰り返し、同一領域の画素を数え一定数を超えないものは非平坦領域とする。最後に以上より得られた平坦候補領域に隣接する画素が隣接する平坦候補領域内の4画素のブロックの輝度値の平均値と画素の輝度値との差が小さいとき、平坦候補領域に加え、平坦領域とする。以下この方式を提案法①と表記する。

#### 2.3.2. 輝度値の差による平坦領域の推定

隣り合う画素の輝度値の差が小さい場合は同じ平坦候補領域とする。平坦候補領域に隣接する画素とその画素に隣接する平坦候補領域内の画素の輝度の差が小さいとき、平坦候補領域にその隣接画素を加える。これを変化がなくなるまで繰り返す。平坦候補領域の画素数が一定数を超えないものは非平坦領域とし、超えたものを平坦領域とする。以下この方式

を提案法②と表記する。

### 2.3.3. フィルタによる平坦領域の推定

元画像に3×3の平滑化フィルタをかけ、元画像との微分画像を作る。微分画像を閾値により2値化し、輝度勾配が小さい画素を平坦候補領域とし、大きい画素を非平坦領域とする。さらに平坦候補領域の画素が隣接している場合はその2つの画素を同じ平坦候補領域であるとする。併合が行える画素の全てを併合を行い、同一平坦候補領域の画素を数え一定数を超えないものは非平坦領域とし超えたものを平坦領域とする。以下この方式を提案法③と表記する。

## 2.4 平坦領域での動き量推定

### 2.4.1 同一領域内の動き量による動き推定

各平坦領域は同一動き物体であり動き物体の境界近くの領域では正しい動き推定が行えると仮定する。このとき以下のような方法で、平坦領域内の動き量を推定する。平坦領域内にあり、なおかつ高信頼度動き推定により推定失敗した画素を注目画素とし、上下左右にそれぞれ同一の平坦領域内で高信頼度動き推定で推定成功し動き量を与えられている画素を探す。一つでも画素が見つかった場合は距離の逆数による重みづけ平均を行い得られた値を注目画素の動き量とする。また計算に用いる画素が一つも見つからなかった場合は推定失敗の状態を保持する。式を以下に示す。

$$mov(x, y) = \frac{\left(\frac{m_u}{d_u} + \frac{m_d}{d_d} + \frac{m_l}{d_l} + \frac{m_r}{d_r}\right)}{\left(\frac{1}{d_u} + \frac{1}{d_d} + \frac{1}{d_l} + \frac{1}{d_r}\right)} \quad (3)$$

$mov(x,y)$ は $x,y$ での動き量。  $m_u$ は上方で見つけた動き量を持つ画素の動き量、  $d_u$ はその画素までの距離。  $m_d, m_l, m_r$ はそれぞれ下方、左方、右方見つけた動き量を持つ画素の動き量、  $d_d, d_l, d_r$ はそれぞれその画素までの距離である。

以下、この方式を提案法④と表記する。

### 2.4.2. 変形ブロックマッチングによる動き推定

推定された平坦領域をそのままブロックマッチングの動き推定ブロックとして推定を行う。誤差は絶対値誤差を用いる。得られた動き量を同じ平坦領域内であり高信頼度動き推定で推定が失敗した画素に与える。これを式に示すと以下のようになる。

$$E(i_y, j_y) = \sum_{(i, j) \in H} X(i, j) - Y(i+i_y, j+j_y) \quad (4)$$

$$mov(x, y) = \min(E(i_y, j_y)) \quad (5)$$

ここで $X$ は元画像、  $Y$ は対象画像、  $H$ は平坦領域を示し、  $mov(x,y)$ が求められる対象の平坦領域の動き量になる。

以下この方式を提案法⑤と表記する。

## 3. 実験と評価

### 3.1. シミュレーション画像による実験

実験は人為的に平坦領域な動きオブジェクトを含む画像を作成し動き推定を行った。具体的には320×240の画像の背景に55から255までの輝度値をランダムに配し、動きオブジェクトは輝度値0で $x=100, y=100$ に一辺51の正方形を配した(図1)。対照画像は基画像の同じ背景に動きオブジェクトを $x$ に5画素ずらした画像を作り用いた(図2)。対照実験としてブロックマッチングと高信頼度動き推定を行った。実験のパラメータや閾値はすべての手法で共通としブロックサイズは9、最大動き量は32、選択基準は最頻値とした。また、高信頼度動き推定に対する閾値は80、40、平滑領域を推定する閾値は全て10を用いた。図3から図5は提案法①～③により推定された平坦領域を示す。黒の領域が非平坦領域を示し、白の領域が平坦領域を示している。図6から図7はそれぞれ閾値80の高信頼度動き推定、閾値80の提案法②と⑤の組み合わせを行ったさいの動き推定の成功・失敗を示している。黒の領域が動き推定が成功した領域を示し、白の領域が動き推定が失敗した領域を示している。ブロックマッチングはアルゴリズムの性質上推定を失敗することが無いので割愛する。

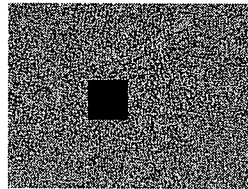


図1：元画像

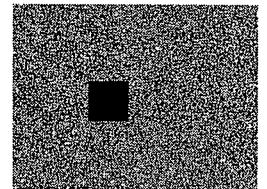


図2：対照画像



図3：提案法①の平坦領域



図4：提案法②の平坦領域

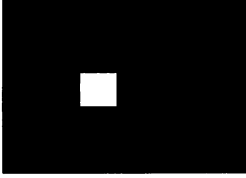


図 5：提案法③の平坦領域

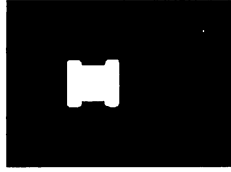


図 6：推定の成功失敗

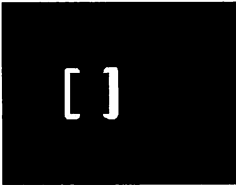


図 7：提案法の推定成功失敗

表 1：シミュレーション画像による実験結果

推定方式	閾値	推定率	平均誤差	最大誤差
ブロックマッチング		1	4.06	25
高信頼度動き推定	40	0.11	5	5
	80	0	0	0
①と④	40	0.79	5	5
	80	0	0	0
①と⑤	40	0.97	1.44	5
	80	0.96	1	1
②と④	40	0.8	5	5
	80	0	0	0
②と⑤	40	1	0.54	5
	80	1	0	0
③と④	40	0.71	5	5
	80	0	0	0
③と⑤	40	0.91	2.36	5
	80	0.85	2	2

表 1 の結果が示すとおり閾値を高くすることによりブロックマッチングや高信頼度動き推定で閾値の低いときに出ていた誤差を抑えることができ、さらに提案法⑤を用いると閾値が高くても高い推定率がとなる。

さらに画像からは良好に推定されていたと思われていた提案法①でも提案法⑤と組み合わせ閾値 80 で行ったときに画素単位で平坦領域の推定で失敗しているため誤差が出ている。しかしこれはシミュレーション画像の平坦部の輝度値の差が全くないことや、平坦領域が完全な矩形であるために起きていると考えられる。

また特に手法①と⑤および手法②と⑤の組み合わせでは高信頼度動き推定で推定が失敗していた領域に正しく動き量を与えている。しかし高信頼度推定での閾値が低く誤推定があると提案法⑤では誤推定が残ってしまうこと、提案法④ではさらに多くの領域で高信頼度動き推定での誤推定を用いて誤推定が多くなる。

### 3.2. 実画像による実験

実験は、標準画像でありラケットや台に平坦領域を含む tennis の第 1 フレームと第 2 フレームをグレースケール化を行い用いた (図 8・図 9)。ボールは上に大きく移動しており、ラケットは小さく下に移動している。対照実験としてブロックマッチングと高信頼度動き推定を行った。実験のパラメータや閾値はすべての手法で共通としブロックサイズは 9、最大動き量は 32、選択基準は最頻値とした。また、高信頼度動き推定に対する閾値は 40, 80 を用いた。

図 3 から図 5 の結果が示すとおり平坦領域の推定は 3 つの手法それぞれ良好に推定している。しかし手法③では実際の平坦領域よりも少し小さく推定している。また図 6 が示すように高信頼度動き推定では、平坦領域とその動きに平行に接する境界線の近くの領域で動き推定を失敗している。しかし図 7 の示すとおり提案法では、平坦な領域でも推定が成功している。

ブロックマッチングでは全ての画素で推定は成功するが平坦な領域の多くでは動き量を 0 と誤推定し、提案法で失敗した領域においても誤推定をしている。

さらに細かく平坦領域である動き領域を 51×51 の 2601 画素の推定率・平均誤差・最大誤差を表に示す。今回の評価は x 方向の動き量のみを対象とし、理想動き量は x 方向に +5、理想推定率は 1 とした。また推定率  $Pp$  は (6) 式により計算し平均誤差  $Ea$  は (7) 式により計算した。

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

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

ここで  $N$  は推定が成功した画素の数、 $X$  は求められた x 方向の動き量、 $R$  は理想の動き量、 $Nm$  は評価の対象とした画素の総数である。

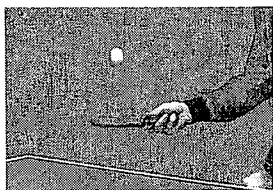


図 8 : 元画像

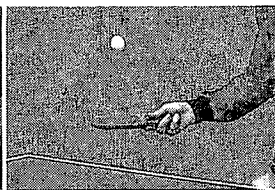


図 9 : 対象画像

図 10 から図 12 は提案法①～③により推定された平坦領域を示す。



図 10 : 提案法①の平坦領域

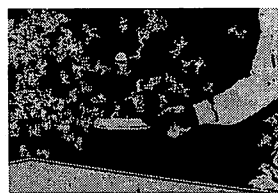


図 11 : 提案法②の平坦領域

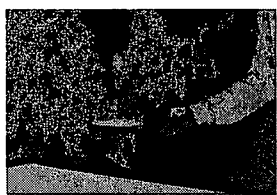


図 12 : 提案法③の平坦領域

図 10 から図 12 の結果より、提案法①がもっとも良好に平坦領域を推定しているように見える。しかし提案法②の方が細かく平坦領域を推定できている。また、提案法②、③では多くの背景などの領域でも平坦領域を推定しているが、高信頼度動き推定で推定が失敗している領域にのみ提案法④及び⑤により得られた値が用いられるので、最終的な結果には影響しない。しかし提案法③の結果では背景と動き物体が同じ平坦領域と推定されていたり、同じ動き物体の中に平坦領域でないと推定されている領域があり閾値などで調整が必要である。

図 13 から図 16 はそれぞれ高信頼度動き推定、提案法を行ったさいの動き推定の成功・失敗を示している。提案法の平坦領域の推定は推定法②、閾値は 40 を用いた。黒の領域が動き推定が成功した領域を示し、白の領域が動き推定が失敗した領域を示している。ブロックマッチングはアルゴリズムの性質上推定を失敗することが無いので割愛する。

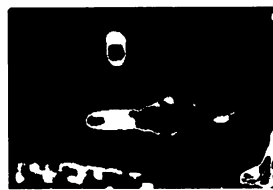


図 13 : 動き推定の成功失敗 (閾値 40)



図 14 : 動き推定の成功失敗 (閾値 80)



図 15 : 動き推定の成功失敗 (提案法④)

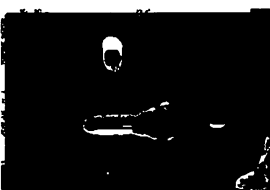


図 16 : 動き推定の成功失敗 (提案法⑤)

図 13 から図 16 の結果より提案法は高信頼度動き推定では動き推定を失敗していた画像下部の台の領域やラケットの領域で動き推定が成功するようになり推定率が上がっている。

さらに図 17 から図 20 はそれぞれブロックマッチング、高信頼度動き推定、提案法、を行ったさいの動き推定結果を示していて、輝度値が大きいほど動き量が多いことを表している。提案法の平坦領域の推定は推定法②、閾値は 40 を用いた。

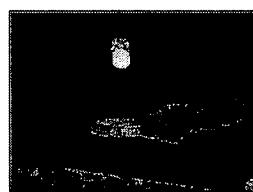


図 17 : 動き推定結果 (ブロックマッチング)



図 18 : 動き推定結果 (高信頼度動き推定) (閾値 40)



図 19 : 動き推定結果 (高信頼度動き推定) (閾値 80)



図 20 : 動き推定結果 (提案法④)



図 21：動き推定結果  
(提案法⑤)

図 17 から図 21 の結果が示すとおり平坦性やオクリューション・境界線などでブロックマッチングで誤推定をしていた領域は、高信頼度動き推定では推定失敗とすることで誤推定を抑えている。提案法では高信頼度動き推定で失敗している平坦領域で推定を成功させ推定率を向上させていることがわかる。しかし提案法④ではモーションブラーが起きている領域で動き物体と同じ動き量を与えている。

さらに細かく平坦領域である画像中央下のラケットの領域を40×5の200画素の推定率・平均誤差・最大誤差を表に示す。今回の評価はy方向の動き量のみを対象とし、理想動き量はy方向に+3、理想推定率は1とした。また推定率Ppは(8)式により計算し平均誤差Eaは(9)式により計算した。

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

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

ここでNは推定が成功した画素の数、Yは求められたy方向の動き量、Rは理想の動き量、Nmは評価の対象とした画素の総数である。

表 2：実画像による実験結果

推定方式	閾値	推定率	平均誤差	最大誤差
ブロックマッチング		1	0.37	1
高信頼度動き推定	40	0.04	0	0
	80	0	0	0
①と④	40	0.68	0	0
	80	0	0	0
①と⑤	40	0.96	0	0
	80	0.95	0	0
②と④	40	1	0	0
	80	0.2	0	0
②と⑤	40	1	0	0
	80	1	0	0
③と④	40	0.95	0	0
	80	0.4	0	0
③と⑤	40	0.96	2.87	3
	80	0.96	3	3

表 2 の結果が示すとおり高信頼度動き推定はブロックマッチングでは大きかった平均誤差・最大誤差をともに抑えているが、推定率は低く特に閾値を80まで上げると1画素も推定が成功していない。しかし提案法を用いることで平均誤差、最大誤差を小さく維持しつつ推定率が向上している。特に提案法①と⑤や②と⑤の組み合わせは推定率も極めて高く誤差を全く出していない。しかし閾値と提案法の組み合わせによっては高信頼度動き推定では生じていなかった誤推定が生じ、平均誤差や最大誤差の上昇を招く場合もある。

#### 4. 終わりに

本報告では従来の動き推定法では推定が失敗していた平坦領域にて動き推定を行うために、動き推定が困難な領域を推定し動き推定を別個に推定し高信頼度動き推定と組み合わせる方を提案した。提案法と従来の動き推定法であるブロックマッチングと高信頼度動き推定と比較を行った結果、従来の動き推定法と比べ平坦領域にて、高い推定率と低い誤差を得られることが確認できた。しかし条件や閾値によっては誤推定を増やしてしまうこともあり、平坦領域での動き推定の信頼度や閾値の判定が今後の課題である。

#### 文 献

- [1] 小林, 青木, "圧縮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] 野辺 昌史, 青木 恭太, "ブロックマッチングと輝度投影相関を用いた動き推定" 2005年電子情報通信学会総合大会
- [4] 青木 恭太, 猪野 裕二, "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", 信学技報, vol. 106, no. 319, IE2006-89, pp. 61-66