JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	外挿予測を用いた遮へい・発生領域におけるオプティカルフロー推定
Author(s)	今村, 弘樹; 剣持, 雪子; 小谷, 一孔
Citation	電子情報通信学会論文誌 D, J84-D2(8): 1636-1644
Issue Date	2001-08-01
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/4715
Rights	Copyright (C)2001 IEICE. 今村　弘樹, 剣持　雪子, 小谷　一孔, 電子情報通信学会論文誌 D, J84-D2(8), 2001, 1636-1644. http://www.ieice.org/jpn/trans_online/
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

外挿予測を用いた遮へい・発生領域におけるオプティカルフロー推定

今村　弘樹[†]　　剣持　雪子[†]　　小谷　一孔[†]

Estimation of Optical Flow for Occlusion Using Extrapolation

Hiroki IMAMURA[†], Yukiko KENMOCHI[†], and Kazunori KOTANI[†]

あらまし　動物体解析の有力な手法であるオプティカルフロー推定法は，物体が他の物体に隠される遮へい領域，また物体が他の物体の陰から出現する発生領域では，オプティカルフローの推定精度が著しく低下する．本研究は，遮へい・発生領域のフローを高精度に推定するために，まず，初期オプティカルフロー推定によってフローを抽出する，次に，抽出したフローを用いて動きの連続性に基づく領域分割を行い，遮へい・発生領域を抽出する．そして，その領域のフローを周辺領域のフローを用いて遮へい・発生領域のフローを外挿予測する．

キーワード　オプティカルフロー，遮へい・発生，外挿予測，動物体解析

1. まえがき

時間的に連続する画像から物体の動きを解析する有力な手法であるオプティカルフロー推定法の基本的手法は，こう配法とブロックマッチング法に大別される．

こう配法は，物体の輝度値が時空間的に滑らかに変化するという仮定より導出されるオプティカルフロー拘束方程式から画素ごとの動きベクトルを推定する手法である．オプティカルフロー拘束方程式は1画素につき一つの式を得ることができるが，決定しなければならないパラメータが二つあるため，フローを一意に決定できない．このため，ある条件を付加してパラメータを一意に決定している．付加する条件によりグローバル法 [1]〜[3] とローカル法 [4] に分類されている．

ブロックマッチング法 [5], [6] は，前フレームと後フレームにそれぞれブロック領域を設定し，相関の高いブロック領域の中心点を前後フレームにおける対応点とする手法である．

上記のオプティカルフロー推定法における共通の問題点は，物体が次のフレームで他の物体の陰に隠れる遮へい領域，また，物体が次のフレームで出現する発生領域において，こう配法では運動の不連続，輝度値の急激な変化，ブロックマッチング法では，対応点の消失によりフロー推定精度が著しく低下することである．

この問題を解決するための手法 [7]〜[9] が提案されている．しかし，これらの手法は，遮へい・発生領域に対して，その領域の近傍領域のフローを割り当てるために，遮へい・発生領域において動きの空間的な連続性のないフロー推定となる．

本研究では，遮へい・発生領域のフローをその所属領域から外挿予測することにより，動きの連続性を考慮した高精度なオプティカルフロー推定を行う．

2. 従来の遮へい・発生領域におけるフロー推定法

遮へい・発生領域においてフロー推定精度の低下する問題を解決するために従来，以下のような手法が提案されている．

（1）　拘束直線交点のモード [7]

拘束直線の交点のモード（最頻値）により遮へい・発生領域のオプティカルフローを推定する．

（2）　拘束直線のクラスタリング [8]

拘束直線のクラスタリングにより遮へい・発生領域のオプティカルフローを推定する．

（3）　多重オプティカルフロー [9]

n 重の運動透明視の生じている状況に対してフローを推定する．

上記3種類の従来手法は，遮へい・発生領域のフローを推定するために，その領域周辺の拘束方程式を用い

[†] 北陸先端科学技術大学院大学，石川県
Japan Advanced Institute of Science and Technology, 1–1 Asahidai, Tatsunokuchi-machi, Nomi-gun, Ishikawa-ken, 923–1292 Japan

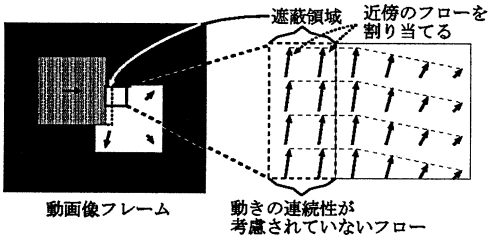

図 1　従来手法の遮へい・発生領域におけるフロー推定のアプローチ
Fig. 1　The approach of optical flow estimation in occlusion by conventional methods.

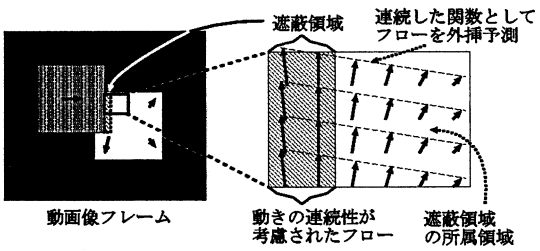

図 2　本手法の遮へい・発生領域におけるフロー推定のアプローチ
Fig. 2　The approach of optical flow estimation in occlusion by our method.

ている．つまり，遮へい・発生領域に，近傍の領域のフローを割り当てる処理を行っている．よって，遮へい・発生領域におけるフローは空間的な連続性が考慮されず，十分なオプティカルフロー推定精度が得られない（図 1）．

3. 遮へい・発生領域におけるフローの外挿予測手法

本手法は，遮へい・発生領域における高精度なオプティカルフロー推定を行うためにフローの空間的な連続性を考慮する．そのために，フロー成分 u, v をそれぞれ座標 (x, y) による関数と考え，遮へい・発生領域のフローを遮へい・発生領域の所属する領域から外挿予測する（図 2）．

本論文で提案する遮へい・発生領域におけるフローの外挿予測手法は，図 3 に示すように五つの step からなる．以下に各 step について詳述する．

3.1　初期オプティカルフロー推定 (step1)

遮へい・発生領域抽出のために，遮へい・発生領域を 1 画素単位で求められる初期オプティカルフロー推定法が必要となる．本研究では，高精度，かつ，ノイズに対するロバスト性の高い投票によるオプティカルフロー推定法 [12] を初期オプティカルフロー推定手法として用いる．なお，step1 では，フロー情報を用いる処理 (step2，step3，step5) のために，画像フレーム 1 と 2，また，画像フレーム 2 と 3 からそれぞれ初期オプティカルフロー推定を行う．

3.2　動きの連続性に基づく領域分割 (step2)

初期オプティカルフロー推定で得られたフロー情報を用いて，フローが類似している画素は同一領域とする領域分割 [12] を行う．

ある座標 (x, y) 上の画素を画素 (x, y) とする．二

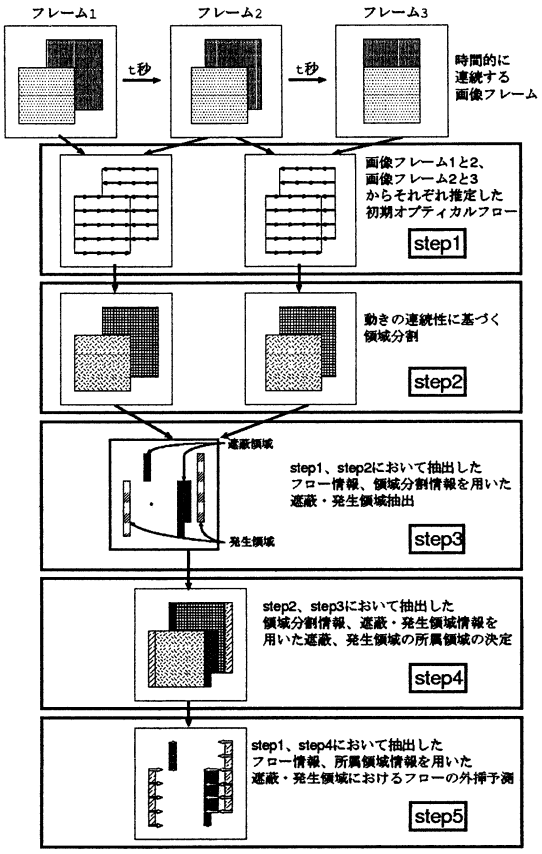

図 3　遮へい・発生領域におけるフローの外挿予測の処理過程
Fig. 3　Process of flow extrapolation in occluded and appearance regions.

つの隣接する画素 (x_1, y_1)，画素 (x_2, y_2) のフローをそれぞれ (u_1, v_1)，(u_2, v_2) とし画素間のフローの相違値を

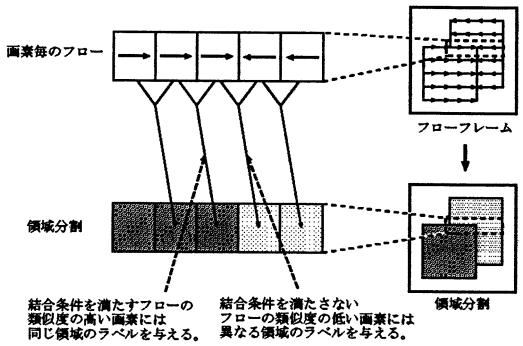

図 4　動きの連続性に基づく領域分割
Fig. 4　Segmentation based on motion continuity.

$$d[(x_1,y_1),(x_2,y_2)] = |u_1-u_2|^2+|v_1-v_2|^2 \quad (1)$$

と定義する．これらの画素の結合条件をしきい値 Th_R により

$$d[(x_1,y_1),(x_2,y_2)] \leqq Th_R \quad (2)$$

と表す．結合条件を満たす画素 (x_1,y_1) と画素 (x_2,y_2) は同一領域であるとし，それぞれの画素に対して同じラベル値でラベリングする．結合条件を満たさない画素 (x_1,y_1) と画素 (x_2,y_2) は同一領域でないとし，それぞれの画素に対して異なるラベル値でラベリングする（図 4）．なお，step2 では，遮へい・発生領域抽出 (step3) のために，画像フレーム 1 と 2 より得られたフローフレームに対する領域分割画像 1，画像フレーム 2 と 3 より得られたフローフレームに対する領域分割画像 2 をそれぞれ生成する．

3.3　遮へい・発生領域抽出 (step3)

従来の遮へい・発生領域抽出手法として，坂ら [10] による拘束方程式の逸脱性を利用した手法は物体の動き情報を用いないために物体の相対的な動きを考慮した遮へい・発生領域の抽出は難しい．また，井関ら [11] による動きの連続性を利用した手法は絶対的な前後判定に基づいて遮へい・発生領域を抽出するので，遮へいする物体と遮へいされる物体の 2 物体のみしか適用できない．本研究では動物体が 2 物体以上存在する実画像に適用できるように遮へい・発生領域の性質に基づいた遮へい・発生領域抽出法 [12] を用いる．ここで，時刻 t における座標 (x,y) 上の画素を画素 (x,y,t) とする．

（1）　遮へい領域の性質：ある画素 (x,y,t) の領域がフロー (u,v) に従って移動した領域と異なる（図 5）．

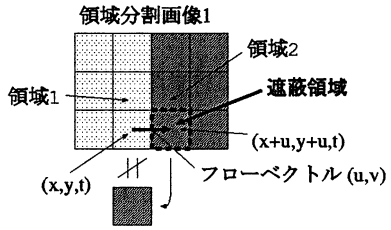

図 5　遮へい領域の性質
Fig. 5　The property of occluded regions.

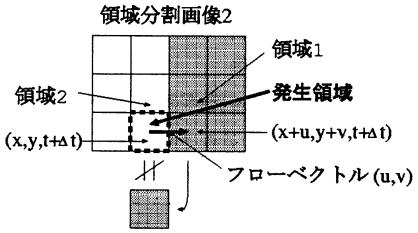

図 6　発生領域の性質
Fig. 6　The property of appearance regions.

上記の性質は，以下のように式で表現できる．

$$a(x,y,t) \neq a(x+u,y+v,t) \quad (3)$$

$a(x,y,t)$ は画素 (x,y,t) のラベル値，また，$u{=}u(x,y,t)$，$v{=}v(x,y,t)$ とする．ここでのラベル値は，画像フレーム 1 と 2 より推定したフローを用いて領域分割した領域分割画像 1 のラベル値とする．

（2）　発生領域の性質：ある画素 $(x{+}u,y{+}v,t{+}\Delta t)$ の領域がフロー (u,v) に従って移動する前の領域と異なる（図 6）．

上記の性質は，以下のように式で表現できる．

$$a(x+u,y+v,t+\Delta t) \neq a(x,y,t+\Delta t) \quad (4)$$

ただし，$a(x,y,t+\Delta t)$ は画素 $(x,y,t+\Delta t)$ におけるラベル値とする．ここでのラベル値は，画像フレーム 2 と 3 より推定したフローを用いて領域分割した領域分割画像 2 のラベル値とする．

式 (3)，式 (4) を満たす画素をそれぞれ遮へい領域，発生領域として抽出する．

3.4　遮へい・発生領域の所属領域の決定 (step4)

遮へい・発生領域のフローを外挿予測するために用いる遮へい・発生領域の所属領域を決定する．領域分

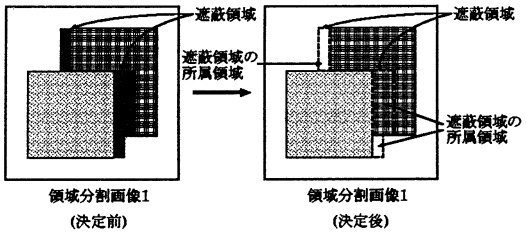

図 7　遮へい領域の所属領域の決定
Fig. 7　Decision of assigned regions of occluded regions.

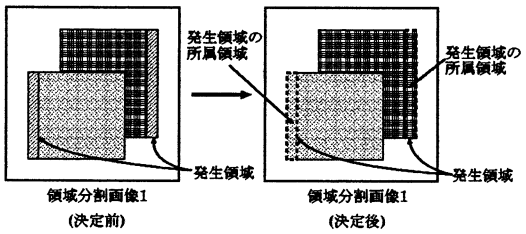

図 8　発生領域の所属領域の決定
Fig. 8　Decision of assigned regions of appearance regions.

割画像 1 において，遮へい領域と同じ座標にある領域を遮へい領域の所属領域とする（図 7）．同様に，領域分割画像 1 において，発生領域と同じ座標にある領域を発生領域の所属領域とする（図 8）．

3.5　遮へい・発生領域に対するフローの外挿予測 (step5)

フローの u, v 成分をそれぞれ座標 (x, y) による関数 $u(x, y)$，$v(x, y)$ と考え，遮へい・発生領域のフローを外挿予測する．

既知の関数の値から未知の関数の値を内挿補間する手法として以下の手法がある．

- ラグランジュ補間法
- ニュートン前進補間法
- スプライン関数補間法

本手法では，外挿予測に式変形が容易であり，かつ，フローが $u(x, y)$，$v(x, y)$ の 2 次元の関数であるため，ニュートン前進補間法 [13] を 2 次元に拡張したものを用いる．

3.5.1　ニュートン前進補間法の 2 次元への拡張

1 次元離散空間における微分を次のように定義する．

$$\Delta_h f(x) = f(x+h) - f(x) \tag{5}$$

ここで，h を関数 $f(x)$ における x の間隔とすると，n 階微分を以下のように定義できる．

$$\Delta_h^{(n)} f(x) = \sum_{i=0}^{n} (-1)^i ({}_nC_i) f(x + (n-i)h) \tag{6}$$

ただし，${}_nC_i$ は 2 項係数で，${}_nC_i = n!/i!(n-i)!$ である．以上より，1 次元のニュートン前進補間法は次式で表される．

$$f(x+h) = f(x) + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i!} \{\Delta_h^{(i)} f(x)\} (h)^i \tag{7}$$

次に，1 次元のニュートン前進補間法を 2 次元に拡張する．2 次元離散空間における偏微分を次のように定義する．

$$\Delta_{h_x} f(x, y) = f(x + h_x, y) - f(x, y) \tag{8}$$

$$\Delta_{h_y} f(x, y) = f(x, y + h_y) - f(x, y) \tag{9}$$

ここで，h_x，h_y をそれぞれ，関数 $f(x, y)$ における x，y の間隔とすると，n 階偏微分を以下のように定義できる．

$$\Delta_{h_x}^{(n)} f(x, y) = \sum_{i=0}^{n} (-1)^i ({}_nC_i) f(x + (n-i)h_x, y) \tag{10}$$

$$\Delta_{h_y}^{(n)} f(x, y) = \sum_{i=0}^{n} (-1)^i ({}_nC_i) f(x, y + (n-i)h_y) \tag{11}$$

以上より 2 次元のニュートン前進補間法は次式で表される．

$$f(x + h_x, y + h_y) = f(x, y) + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i!} \{\Delta_{h_x} f(x, y)(h_x) + \Delta_{h_y} f(x, y)(h_y)\}^i \tag{12}$$

3.5.2　フローの外挿予測法

式 (12) の 2 次元のニュートン前進補間法に基づき，以下の式を用いて遮へい・発生領域のフローを外挿予測する（図 9）．

$$u(X, Y) = u(x_0, y_0) + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i!} \{\Delta_{h_x} u(x_0, y_0)(h_x) + \Delta_{h_y} u(x_0, y_0)(h_y)\}^i \tag{13}$$

$$v(X,Y) = v(x_0,y_0) + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i!}\{\Delta_{h_x} v(x_0,y_0)(h_x) + \Delta_{h_y} v(x_0,y_0)(h_y)\}^i \qquad (14)$$

ここで，$X = x_0 + h_x$，$Y = y_0 + h_y$ とし，(X,Y) を外挿予測する画素の座標とする（図 9）．

遮へい・発生領域の外挿予測には，以下の条件を満たす画素を用いる．

(1) 遮へい・発生領域の所属領域

(2) ニュートン前進補間の定義式を満たす画素

(2) の条件は式 (13)，式 (14) の微分値の求め方で異なる．微分値の求め方として，

中心差分：$1/2\{f(x+h) - f(x-h)\}$

前進差分：$f(x+h) - f(x)$

後進差分：$f(x) - f(x-h)$

がある．遮へい・発生領域の所属領域における画素が精度的に信頼性の高い中心差分を満たす場合が理想であるが，外挿予測には多くの画素が必要となる．そこで，中心差分を満たさない場合，前進差分，または，後進差分を用いて外挿予測を行う（図 10）．以上の条件を満たす画素がない場合は，外挿予測を行わず，初期オプティカルフローで求めたフローを遮へい・発生領域のフローとして割り当てる．

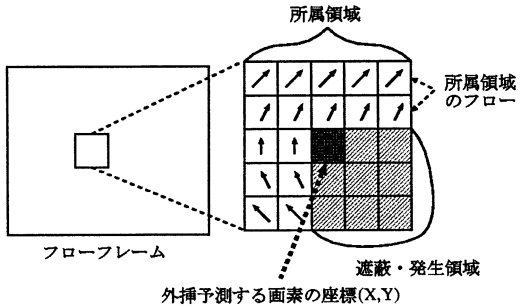

図 9 所属領域からのフローの外挿予測
Fig. 9 Extrapolation of optical flow from assigned regions.

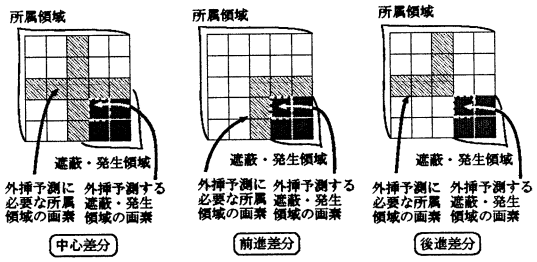

図 10 各差分法における外挿に必要な画素
Fig. 10 Pixels for extrapolation in each difference calculus.

4. 実　　験

4.1 実験に用いるモデル画像

まず，コンピュータグラフィックスにより生成したモデル画像に対し，本手法のフロー推定精度の定量的な評価を行う．次にモデル画像にノイズを付加した画像を作成し，その画像に対して，本手法のフロー推定精度の定量的な評価を行う．最後に実画像への適用を試みる．適用する実画像の性質を考慮して，以下の性質を有するモデル画像を用いる．

- フレーム間において遮へい・発生が生じている．
- 異なる物体間において十分な輝度値の差がある．
- 物体及び背景の輝度値は空間的に滑らかに変化する．

なお，モデル画像の画像サイズは 128×128[pixels]，階調は 8[bits/pixel] のグレイスケール画像（図 11）とする．画像中の二つの物体の運動には，表 1 に示す 4 種類の組合せを考える．

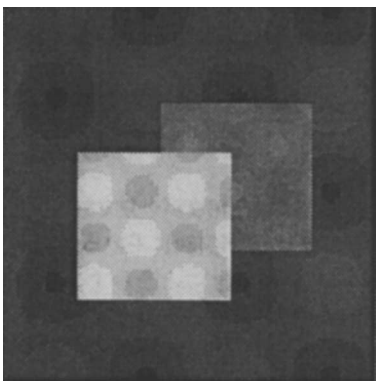

図 11 各実験に用いるモデル画像
Fig. 11 The model image used in each experiment.

表 1 物体の運動
Table 1 Objects motions.

	左の物体	右の物体
並進	右に 2(pixels/frame)	左に 2(pixels/frame)
拡大	1.05(倍/frame)	1.05(倍/frame)
縮小	0.95(倍/frame)	0.95(倍/frame)
回転	右回りに 2(deg/frame)	右回りに 2(deg/frame)

4.2 実験に用いるモデル画像に対する各 step の精度の確認実験

本手法の各 step は前の step で得られた情報に基づき処理を行う．したがって，前の処理で得られた情報が不正確である場合，最終的に外挿予測の精度が低下する．よって，各 step は以下の条件を満たす必要がある．

- 動きの連続性に基づく領域分割の精度が十分である (step2).
- 遮へい・発生領域の抽出精度が十分である (step3).

そこで．本手法の各 step が実験に用いるモデル画像に対して上記の条件を満たすことを示すことにより，実験に用いるモデル画像に対する本手法の各 step の精度が十分であることを示す．

4.2.1 動きの連続性に基づく領域分割の精度

モデル画像に対する動きの連続性に基づく領域分割の精度を調べる．正解の領域分割に対して，初期オプティカルフロー推定によるフローに基づいた領域分割は各動きに対して 100%の正解率が得られた．なお，正解の領域分割は正解のフローを用いて領域分割したものとした．また，正解率は式 (15) を用いて求めた．

$$\text{正解率 [\%]} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} inv(x,y)}{MN} \times 100 \qquad (15)$$

ただし，M，N をそれぞれ縦，横の画素数，$inv(x,y)$ は正解の領域であれば 1 を返し，正解でなければ 0 を返す関数とする．

4.2.2 遮へい・発生領域の抽出精度

モデル画像に対する遮へい・発生領域の抽出精度を調べる．初期オプティカルフロー推定によるフローに基づいた遮へい・発生領域の抽出は各動きに対して 100%の正解率が得られた．なお，正解の遮へい・発生領域は正解のフローを用いて抽出した領域とした．また，正解率は式 (15) を用いて求めた．

以上，本手法の各 step が，実験に用いるモデル画像に対して必要な条件を満たすことを示した．

なお，処理に要する時間は Sun の ss5 にて step1 で 20 分，step2 から step5 が 1 分弱となった．初期オプティカルフロー推定部分の処理コストがほとんどを占めており，この部分の高速化について別途検討が必要と考えている．

4.3 モデル画像に対する遮へい・発生領域におけるフロー推定精度の比較実験

本手法の有効性を確認するために，モデル画像に対して，初期オプティカルフロー推定法と外挿予測を行う手法を適用し，遮へい・発生領域におけるフロー推定精度の比較実験を行った．以後，それぞれの手法を以下のように呼ぶ．

手法 A: 初期オプティカルフロー推定法

手法 B: 外挿予測を行う手法

遮へい・発生領域におけるフロー推定精度を定量的に比較する尺度として，ここでは，

$$\bar{e} = \frac{1}{R}\sum_{i=1}^{R} ||\tilde{\boldsymbol{f}}_i - \hat{\boldsymbol{f}}_i|| \qquad (16)$$

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{R}\sum_{i=1}^{R} (|\tilde{\boldsymbol{f}}_i - \hat{\boldsymbol{f}}_i|^2 - \bar{e}^2) \qquad (17)$$

誤差平均（式 (16)），誤差分散（式 (17)），それぞれを用いた．だだし，$\tilde{\boldsymbol{f}}$ は正解のフローベクトル，$\hat{\boldsymbol{f}}$ は推定したフローベクトル，R は正解のフローを用いて抽出した遮へい・発生領域の画素数を表す．$\bar{e}$，σ_e^2 それぞれの値が小さいほど良好な結果が得られたこととする．

ここでは経験的に，$Th_R = 1.5\times10^{-1}$ とした．また，外挿予測に用いるニュートン前進補間の微分の階数は，1 階微分以降，予測値の変化が見られなかったので 1 階とした．

実験を行った 4 種類のモデル画像について，手法 A，手法 B，それぞれについての誤差平均を表 2，誤差分

表 2　誤差平均 $\bar{e}$
Table 2　Mean of error $\bar{e}$.

	並進	拡大
手法 A	5.19×10^{-2}	4.63×10^{-2}
手法 B	3.43×10^{-2}	4.14×10^{-2}
	縮小	回転
手法 A	4.64×10^{-2}	4.16×10^{-2}
手法 B	4.14×10^{-2}	4.06×10^{-2}

表 3　誤差分散 σ_e^2
Table 3　Variance of error σ_e^2.

	並進	拡大
手法 A	9.30×10^{-2}	4.14×10^{-2}
手法 B	7.65×10^{-2}	4.14×10^{-2}
	縮小	回転
手法 A	4.14×10^{-2}	3.54×10^{-2}
手法 B	4.14×10^{-2}	3.47×10^{-2}

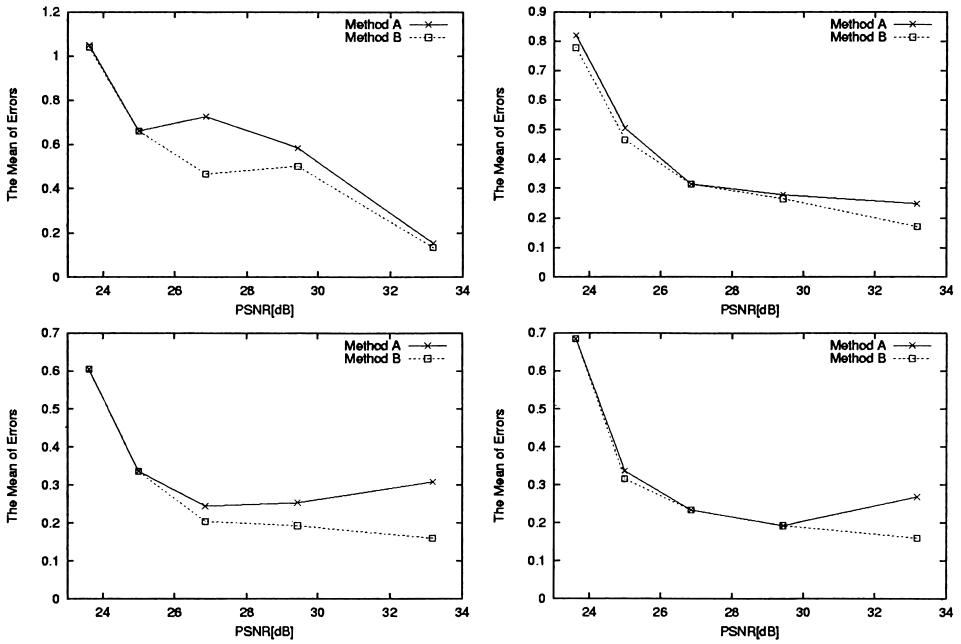

図 12　手法 A，手法 B によるフロー推定の誤差平均
Fig. 12　Comparison method A with method B in mean of error and variance of error.

散を表 3 に示す．本手法で用いた初期オプティカルフロー推定法が，フローを求める注目画素とその近傍画素のフローは等しいという付加条件を用いており，これを最も満たす並進において所属領域におけるフローが高精度となり，高精度な所属領域のフローから遮へい・発生領域のフローを外挿予測できるので，並進においてフロー推定精度が大きく向上したと考える．一方，拡大，縮小，回転では手法 B によるフロー推定精度の改善はわずかとなった．これらの動きでは，外挿予測に用いる初期オプティカルフロー推定精度が低くなり，外挿予測による推定精度の改善効果が十分に得られなかったのではないかと考えている．

4.4　ノイズを付加したモデル画像に対する遮へい・発生領域におけるフロー推定精度の比較実験

ここでは，ノイズを付加したモデル画像に対して手法 A，手法 B，それぞれの遮へい・発生領域におけるフロー推定精度の比較を行い，ノイズを付加した画像に対する本手法のフロー推定法の有効性を定量的に評価する．

実験で用いたモデル画像は，表 1 の 4 種類のモデル画像に以下の確率分布

$$P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}} \tag{18}$$

で与えられるガウスノイズ n を原画像 $E(x, y, t)$ に付加した画像 $E'(x, y, t)$

$$E'(x, y, t) = E(x, y, t) + n \tag{19}$$

を用いる．また，原画像に対するノイズの付加量を示す尺度として

$$PSNR[\mathrm{dB}] = 10 \log \frac{255^2}{\sigma^2} \tag{20}$$

を用いる．遮へい・発生領域におけるフロー推定の誤差平均，誤差分散はそれぞれ式 (16)，式 (17) を用いる．

ここでは経験的に，$Th_R = 2.1 \times 10^{-1}$ とした．また，外挿予測に用いるニュートン前進補間の微分の階数は，1 階微分以降，予測値の変化が見られなかったので 1 階とした．図 12 に誤差平均における実験結果を示す．図より，手法 A を用いた場合よりも，手法 B を用いることで，誤差平均値が減少し，遮へい・発生領域におけるフロー推定精度が向上した．誤差分散の評価においても同様の結果が得られた．よって，実画像においても，手法 A よりも，手法 B を用いること

により，遮へい・発生領域におけるフロー推定精度が向上すると期待できる．

4.5 実画像に対する遮へい・発生領域におけるフロー推定精度の比較実験

最後に，実画像フレームに対して手法 A，手法 B，それぞれを適用した．実験で用いた実画像フレーム（図 13）は，画像サイズが 70×157[pixels]，各画素の階調が 8[bits/pixel] のモノクロ画像で，手前の車が左に，奥の車が右にそれぞれ並進運動をしている 3 フレームを用いた．

図 13　実画像フレームにおける遮へい・発生領域（方形領域内）
Fig. 13　Occluded and appearance regions in the real image.

実験結果を図 14 に示す．図 13，図 14 の正方形で囲った左の領域が遮へい領域の一部，正方形で囲った右の領域が発生領域の一部である．手法 A における遮へい・発生領域では並進運動成分以外のエラーフローが目立つが，手法 B におけるエラーフローが修正されている．これは遮へい領域のエラーフローが所属領域のフローからの外挿予測によってフローの連続性が考慮された効果と考えられる．

5. むすび

フロー推定精度の低下する遮へい・発生領域のフロー推定を高精度に推定するために，時間的に連続する画像フレームを入力とし，遮へい・発生領域を抽出し，遮へい・発生領域の所属する領域を決定し，遮へい・発生領域のフローをその所属領域から外挿予測を行うことによって，遮へい・発生領域のフローを推定する手法を提案した．本手法の有効性を確認するために，モデル画像，ノイズを付加したモデル画像，実画像に対して，それぞれ初期オプティカルフロー推定法

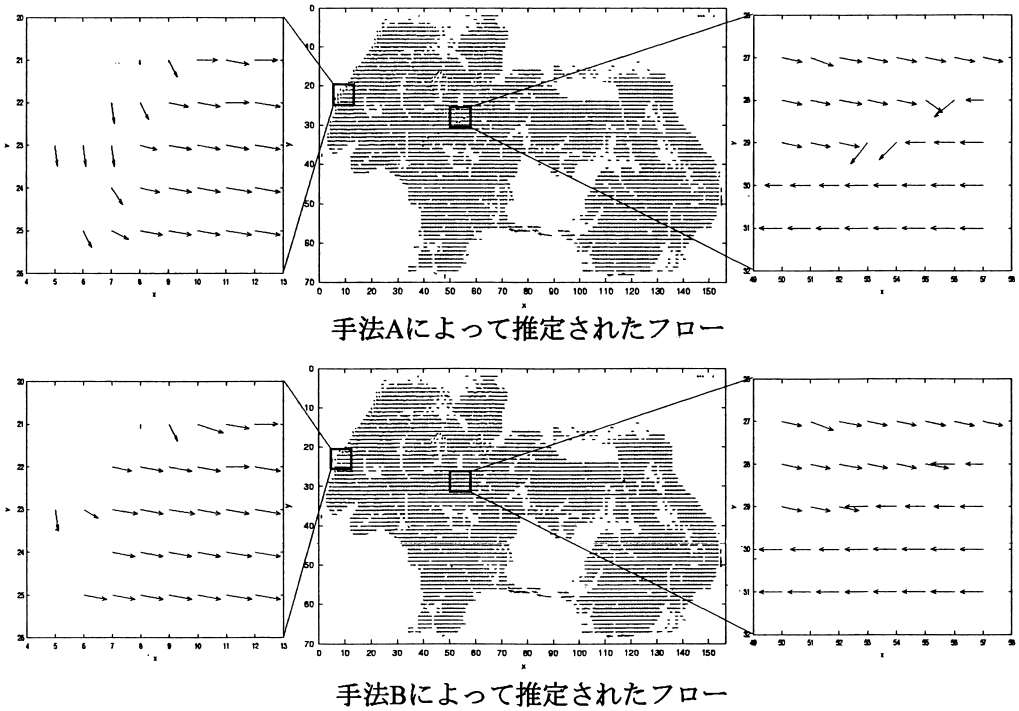

図 14　手法 A，手法 B による実画像に対するフロー推定結果
Fig. 14　Results of flow estimation by method A and B.

と外挿予測を行う手法を適用し，遮へい・発生領域におけるフロー推定精度の比較実験を行った．その結果，遮へい・発生領域のフローを外挿予測することにより，フロー推定精度が向上することを確認した．

今後は，従来手法 [7]〜[9] に対して外挿予測を適用し，その有効性を検証する．また，遮へい・発生領域のフロー推定精度は所属領域のフロー推定精度に依存するので，所属領域のフロー推定精度の向上が必要となる．このため，所属領域における高精度なフロー推定法を検討する必要があると考える．

文　献

[1] B.K.P. Horn and B.G. Schunck, “Determining optical flow,” Artif. Intell., vol.17, pp.185–203, 1981.

[2] M. Yachida, “Determining velocity maps by spatio-temporal neighborhoods from image sequences,” Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol.21, pp.262–279, 1983.

[3] H. Nagel, “Displacement vectors derived from second-order intensity variations in image sequence,” Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol.21, pp.85–117, 1983.

[4] J.K. Kearney, W.B. Thompson, and D.L. Boley, “Optical flow estimation: An error analysis of gradient-based methods with local optimization,” IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., vol.PAMI-9, no.2, pp.229–244, 1987.

[5] 富永英義，小松尚久，宮下壮史，花村　剛，“階層画素情報を用いた動画像における動き量検出方式,” 信学論 (D-II), vol.J72-D-II, no.3, pp.395–403, March 1989.

[6] 金丸利文，北島秀夫，白川智昭，小川吉彦，“ブロック・マッチング法による画素毎の動きベクトル検出法,” 信学技報，CS92-69, IE92-91, 1992.

[7] 千葉昌孝，小沢慎治，“明度拘束式のモードによるオプティカルフローの検出,” テレビ誌，vol.45, no.10, pp.1199–1206, 1991.

[8] B.G. Schunck, “Image flow segmentation and estimation by constraint line clustering,” IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., vol.11, no.10, pp.1010–1027, 1989.

[9] 志沢雅彦，間瀬健二，“多重オプティカルフロー—基本拘束方程式と運動透明視・運動境界検出の統一理論,” 信学論 (D-II), vol.J76-D-II, no.5, pp.989–1005, May 1993.

[10] 坂　貴志，小谷一孔，“オプティカルフロー拘束方程式による物体遮蔽判定法に関する研究,” 信学技報，PRMU96-171, 1997.

[11] 井関　徹，小谷一孔，“速度空間と動きの連続性に基づいた物体遮蔽判定方法に関する研究,” 情処学 CVIM 研報，CVIM108-9, pp.63–70, 1997.

[12] 今村弘樹，剣持雪子，小谷一孔，“フロー外挿による遮蔽，発生領域のオプティカルフロー推定,” 信学技報，CS98-123, IE98-103, 1998.

[13] 島内剛一，有澤　誠，野下浩平，浜田穂積，伏見正則，アルゴリズム辞典，共立出版，1994.

（平成 12 年 9 月 29 日受付，12 月 14 日再受付）

今村　弘樹

平 9 創価大・工・情報システム卒．現在，北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程に在学中．動画像解析の研究に従事．

剣持　雪子

平 10 千葉大大学院博士課程了．現在，北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手．工博．ディジタル幾何学，ディジタル画像解析，コンピュータビジョンの研究に従事．情報処理学会会員．

小谷　一孔　（正員）

昭 58 長岡技術科学大学修士課程了．同年日立製作所家電研究所に勤務．平 2 長岡技術科学大学博士課程了．同年長岡技術科学大学工学部助手．平 3 同助教授．現在，北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授．工博．画像の高能率符号化，画質の評価モデル，表情解析，CG の研究に従事．IEEE，映像メディア学会，日本顔学会各会員．