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

| | |
|---|---|
| Title | 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 |
| Author(s) | 井関,徹; 小谷,一孔 |
| Citation | 情報処理学会研究報告 : コンピュータビジョンとイメージメディア, 97(114): 63-70 |
| Issue Date | 1997-11 |
| Type | Journal Article |
| Text version | publisher |
| URL | http://hdl.handle.net/10119/3301 |
| Rights | 社団法人 情報処理学会, 井関徹／小谷一孔, 情報処理学会研究報告 : コンピュータビジョンとイメージメディア, 1997(114), 1997, 63-70. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan. |
| Description | |

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

コンピュータビジョンと
イメージメディア 108－9
（1997．11．27）

# 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

井関 徹　　小谷 一孔
北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科
〒 923-12 石川県能美郡辰口町旭台 1-1
0761-51-1699 （内線 1384）
t-iseki@jaist.ac.jp　　ikko@jaist.ac.jp

動画像における運動する物体の認識・追跡では、ある物体が他の物体や背景に遮蔽された場合、その認識・追跡の精度が著しく低下する。

本研究では、高精度な認識・追跡をするための動物体の遮蔽判定手法を提案する。ここでは、遮蔽を物体同士の境界における動きの不連続性として捉える。速度空間におけるオプティカルフロー拘束方程式の交点分布の性質に基づきフロー推定を行い、そのフローフレームを分析することで画像内の各領域の前後関係の推定と遮蔽領域の判定を行う。

キーワード　遮蔽判定、オプティカルフロー、速度空間、画像理解

# Estimation for Occluding Situation of Moving Objects Based on Velocity Space and Motion Continuity of Optical Flows

Toru ISEKI　　Kazunori KOTANI
Graduate School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology
1-1 Asahidai, Tatsunokuchi-machi, Nomi-gun, Ishikawa, 923-12, Japan
0761-51-1699 (ext.1384)
t-iseki@jaist.ac.jp　　ikko@jaist.ac.jp

In recognition or pursuit of moving objects in the image sequence, the situation that an object is occluded by the other object or the background deteriorate the accuracy of recognition or pursuit. Therefore, the estimation for occuluding situation of moving objects is required for the accurate recognition or pursuit of them.

In this paper, we regard occluding situation as discontinuity of optical flows around boundaries of moving regions. We estimate optical flows based intersections of constraint equations in velocity space. By analysis of the flow frames, we estimate the spatial relationship and the occluded region in the image.

key words　estimation for occluding situation, optical flow, velocity space, image understanding

# 1 背景・目的

動画像の情報を用いて運動する物体を認識・追跡する手法として、テンプレートマッチングを利用した手法、フレーム間差分・背景差分を利用した手法、動的輪郭モデルを利用した手法などが提案されている。しかし、物体が他の物体や背景に遮蔽された場合、その物体の認識・追跡の精度が著しく低下する。高精度な認識・追跡のためには、動物体の遮蔽判定手法の開発が急務となっている。

坂らは、オプティカルフロー拘束方程式の逸脱性を利用した遮蔽判定法[1]を提案しているが、遮蔽領域（フレーム間で隠される領域）と発生領域（フレーム間で新たに現れる領域）の区別がつかず、また、エッジがある物体では十分な精度を確保できていない。

本研究では、上記の問題点を解決するため、遮蔽を物体同士の境界における動きの不連続性として捉えて動きの方向性を考慮することにより、従来の手法では不可能であった遮蔽領域と発生領域の区別を可能にする。処理の手順としては、オプティカルフロー拘束方程式の速度空間における交点分布に基づき、動き境界において高精度なオプティカルフロー推定を行う。そして、そのフローフレームを、動き境界自体の移動とその境界付近のフローについて分析して、画像領域の前後関係を推定し、遮蔽領域の判定を行う。

# 2 遮蔽と動きの不連続性

一般に遮蔽が起こると、遮蔽に関わる領域同士の境界では動きの不連続が生じる。動画像系列よりフロー推定結果の系列（フローフレーム）を求め、そこでフローの不連続性を評価して遮蔽判定を行う。

不連続性を用いて遮蔽を考えるために、図1のような、“動き境界”および“動き境界の付近のフロー”という2つの要素に注目する。

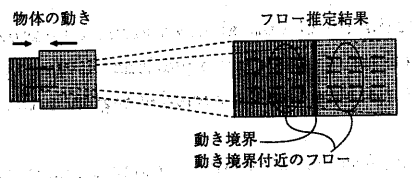



図 1: 遮蔽を考えるための要素

この2つの要素を用いた遮蔽判定手法として、“フローフレーム間における動き境界の移動は、手前の領域のフローに類似する”という考え方を用いる。

例えば、図2（a）では、動き境界の移動は右側の領域のフローに類似しているため、右側の領域が手前になった遮蔽が生じていると推定する。図2（b）では、（a）と同様に互いに向かい合ったフローから動き境界が構成されているが、動き境界の移動は左側の領域のフローに類似しているため、（a）とは異なり左側の領域が手前になった遮蔽が生じていると推定する。また、図2（c）では、

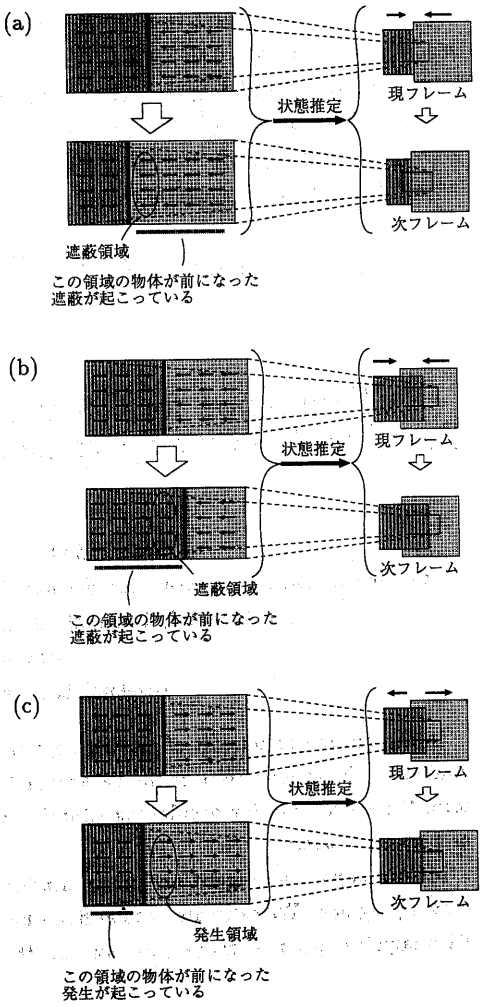



図 2: フローによる遮蔽・発生の考え方

(a) と同じ動き境界の移動をしているが、その付近のフローの向きが逆であるため、領域の前後関係が逆転し、(a) とは異なった左側の領域が手前になった発生が生じていると推定できる。

このように、動き境界の移動とそれを構成するフローとの類似性を考慮することにより、遮蔽・発生の推定が可能となる。

# 3 遮蔽判定手法

前章で説明した考え方に基づいた遮蔽判定について、具体的な手法の説明を行う。本手法の処理の全体の流れを図3に示す。

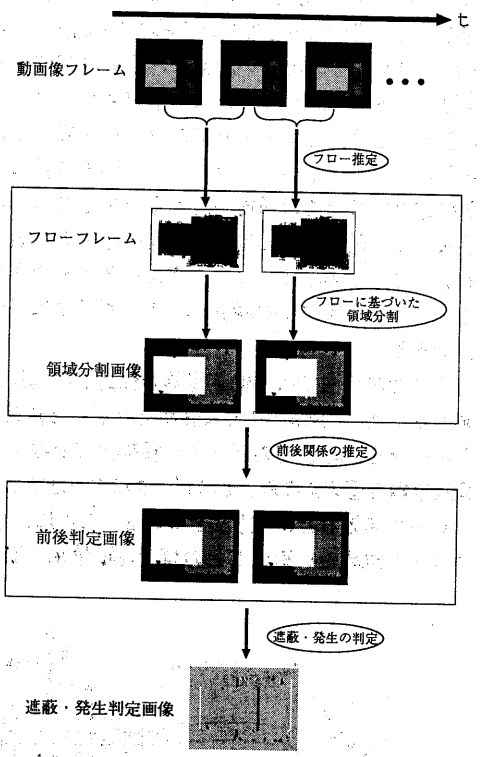



図 3: 本手法の処理の流れ

まず、動画像フレームからオプティカルフローを推定し、フローフレームを求める。次に、そのフローフレームについてフローに基づいた画像の領域分割を行い、動き境界を求める。そして、求めたフローと動き境界の移動との類似性を判定して、前後関係の推定を行う。最後に、その前後推定結果より遮蔽判定を行う。

以下に、各処理プロセスについて詳しく述べる。

## 3.1 オプティカルフロー推定手法

先に述べた解析のためには、動き境界において精度の高い、すなわち、"動き境界自体の位置"、"動き境界の周辺のフロー" の2つの要素を正確に求められるオプティカルフロー推定法が必要となる。オプティカルフロー推定法の代表的な手法としては、主にブロックマッチング法と勾配法とが挙げられる。ブロックマッチング法はブロック内の均一な平行移動を仮定しているため、動き境界では精度が低下する。また、勾配法では、輝度の時空間微分による拘束を表したオプティカルフロー拘束方程式（拘束直線）に加えて何かもう1つの拘束が必要であり、その拘束として画面上でのフローの変化が最小、または、近傍画素の動きが同一であるという拘束を用いる。しかし、これらの拘束では、動き境界の動きが急に変化する領域においてオプティカルフローが鈍る傾向があり、本手法に必要なオプティカルフロー推定法には適さない。

そこで、本研究では動き境界においても高精度なオプティカルフロー推定法として、近傍の複数画素についてオプティカルフロー拘束方程式を速度空間に描き、その直線の交点分布を分析することで、フローを決定する手法を用いる。この節では、本研究で用いるオプティカルフロー推定法について説明する。

### 3.1.1 オプティカルフロー拘束方程式

物体像の輝度値が時間的に変化せず、画像上の輝度変化が運動によってのみ生じる場合には、時刻 $t$ における画像上の点 $(x,y)$ の輝度値を $E(x,y,t)$、微小時間 $\delta t$ 経過後の位置を $(x+\delta x, y+\delta y)$ として、

$$E(x,y,t) = E(x+\delta x, y+\delta y, t+\delta t) \quad (1)$$

が成立する。右辺にテイラー展開を施し、2次以上の項を省略すると、

$$E(x+\delta x, y+\delta y, t+\delta t) = E(x,y,t) + E_x\delta x + E_y\delta y + E_t\delta t \quad (2)$$

を得る。ここで、$E_x = \partial E/\partial x, E_y = \partial E/\partial y, E_t = \partial E/\partial t$ である。さらに、$u = dx/dt, v = dy/dt$ とおいて、オプティカルフロー拘束方程式

$$E_x u + E_y v + E_t = 0 \quad (3)$$

を得る。上式において、オプティカルフロー $(u,v)$

は、その成分$u,v$を座標軸とする2次元空間（以下、速度空間と呼ぶ）上において、(3) 式の直線（以下、拘束直線と呼ぶ）上に存在する。

### 3.1.2 拘束直線の成す交点群の分布の性質

拘束直線は、一画素について一本を得ることができるが、これだけではフローを一意に決定することは不可能である。そこで、近傍の複数画素について拘束直線を描き、それらの画素の動きが等しいと仮定すると、その交点がフローを表していると考えることができる。

たとえば、図4の物体の動きについて拘束直線を描いた場合、理想的には①、③のように同一物体上の画素からなる拘束直線の交点はそのフローを示すある一つの領域に集まり、②の動き境界においては2つのフローを表す速度空間の2点に拘束直線の交点が集まると考えられる。したがって、交点の集まり方を分析することにより、動き境界においても異なったフローを分離・推定することが可能と考えられる。

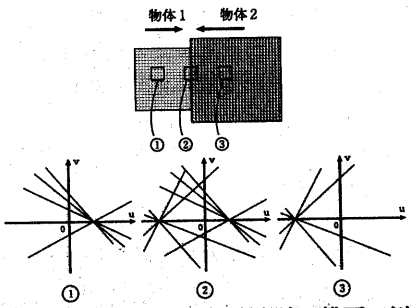


図 4: 物体の動きと拘束直線の描画の例

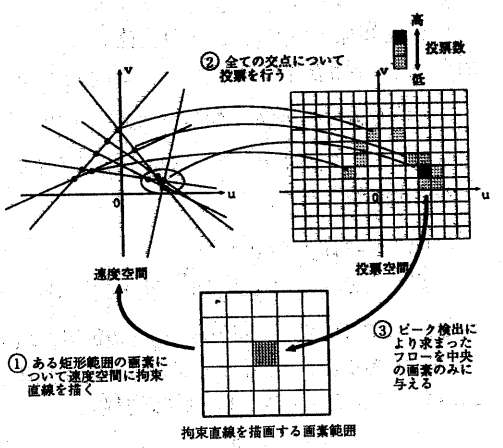


図 5: 中央画素へのフローの割り振り

### 3.1.3 拘束直線の成す交点群の分布からのフロー推定アルゴリズム

このような性質を持った交点の分布から、フローを推定する方法として、図5のように、速度空間を投票空間として拘束直線の交点を投票空間の1マス（以下、セルと呼ぶ）に投票し、その投票値のピーク検出によりフローを推定する手法 [2] がすでに提案されている。この手法は投票を用いることにより、動きに関係のない交点による影響がフローの検出結果に影響しないため、動き境界付近のフローの鈍りが少なく、また、雑音に強いという利点がある。しかし、ピーク検出により決定したフローを、拘束直線の描画に利用した矩形範囲の中央の画素に与えるという単純な処理を行い、また、フローを求めたい画素に対する拘束直線の情報による制約が少ないため、推定されるフローが必ずしも注目している画素のフローを表しているという保証がない。したがって、動き境界の位置推定という点では精度が低くなってしまう。本手法では、動き境界の位置を正確に求める必要があるので、このようにピーク検出により求められたフローを、単に中央画素へ与えるだけでは不十分である。

そこで本手法では、動き境界の位置を高精度に求めるために、図6のように投票を行なった結果からピークを求め、そのピークの投票値に貢献した拘束直線の画素にのみ、そのピークにより求まったフローを与えるという方法を用いる。これにより、フローを求めたい画素ごとの輝度勾配情報を用

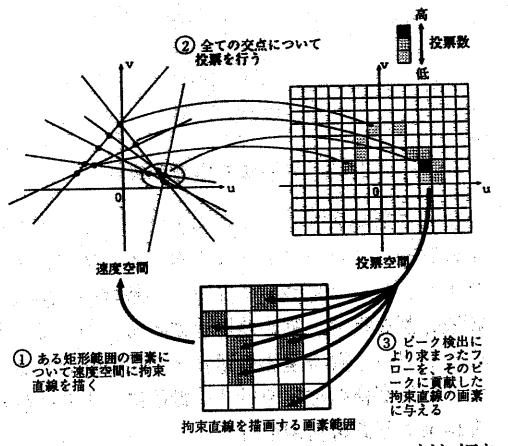


図 6: ピークに貢献した画素へのフローの割り振り

いたフロー推定を行なうことができ、動き境界の位置を高精度に求めることができると考えられる。

#### 3.1.4 投票値の集まり評価

投票空間のセルの密度について考える。本研究では、フローの不連続性を評価するため、フローの精度はできるだけ高くする必要がある。そのためには、投票空間のセルの密度を高くする必要がある。しかし、投票空間のセルの密度を高くしすぎると1つのフローを表していると考えられる交点の投票が複数のセルに分割され、投票値の分散が生じてしまう。

そこで、フローの精度を落すことなく分散された投票値を評価するための方法として、投票空間において矩形範囲を設定し、その矩形内の投票値の合計を中央のセルの投票値とする評価を行う。この方法により、密度の高い投票空間において投票値の集まり具合を評価することができ、動きを表す交点分布を正しく評価することができる。

#### 3.1.5 フローの信頼性評価

投票値のピーク検出によってフローを推定する場合、全投票数に対してそのピークが何パーセントの割合で成り立っているかということが、そのフローの信頼性を表すと考えられる。したがって、ある画素範囲において拘束直線を描き交点の投票を行なった時に、そのピークの全投票数に対する割合がある閾値以下ならば、そのピークから推定されるフローを削除する処理を行う。この処理により、信頼性の高いフローのみを扱うことができる。

### 3.2 領域分割手法

動き境界位置を求めるために、フローに基づいた領域分割を行う。画素間の結合条件として、近傍8画素に対して、フローの $(u,v)$ 成分の差の2乗和を閾値処理する。

結合条件:
$$|u1-u2|^2+|v1-v2|^2 < Th \quad (4)$$

この領域分割により、フロー推定誤差が原因で、小さな領域が生成される場合がある。そのため、この閾値処理の後に、面積が小さな領域に対して統合処理を行う。ある大きさ以下の画素数の領域を、隣接する領域の中で最もフローの類似した領域に統合する処理を行う。

### 3.3 前後推定手法

動き境界の移動ベクトルの抽出は、領域分割画像のブロックマッチングにより求める。ブロック位置の設定条件は、

1. ブロックの中心は領域の境界上(境界の動きを求めるだけで良いため)
2. ブロック内に2つの領域のみ含む(判定の単純化のため)
3. ブロック内に含まれる境界が他のブロックと重ならない(処理の冗長を防ぐため)

とする。図7(左)にブロック位置の設定例を示す。

そして、得られた動き境界の移動ベクトル $b_m$ に対して、ブロック内のフロー $f_1$、$f_2$ の類似性を、次のようにそれぞれのベクトルの角度と大きさを用いて判定する。ただし、$\theta_1, \theta_2$ は、$f_1, f_2$ のそれぞれが $b_m$ となす角度(rad)とする。

- $|\theta_1| < \frac{\pi}{2}$ かつ $|\theta_2| > \frac{\pi}{2}$ かつ $|\theta_1| < Th$
  ⇒ 領域1が手前
- $|\theta_1| > \frac{\pi}{2}$ かつ $|\theta_2| < \frac{\pi}{2}$ かつ $|\theta_2| < Th$
  ⇒ 領域2が手前
- $|\theta_1| < Th$ かつ $|\theta_2| < Th$
  ⇒ $b_m$ との成分の差の2乗和の小さな方が手前
- $|b_m| = 0$ または $|f_1| = 0$ または $|f_2| = 0$
  ⇒ $b_m$ との成分の差の2乗和の小さな方が手前
- その他 ⇒ 判定不能

このような判定を1つのブロックに対して1回行い、その判定を全てのブロックについて合計し多数決処理することにより、物体間の前後関係を推定する。

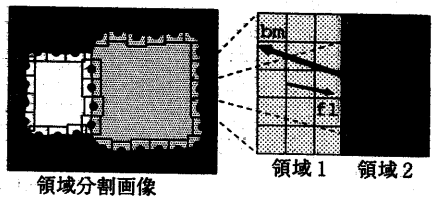



図 7: 領域分割画像に対するブロックマッチング

### 3.4 遮蔽判定手法

前後推定を行った画像フレームに対して、フレーム間での画素の領域変化を調べ、次のように画素単位での遮蔽判定を行う。

- より手前の領域へ変化 ⇒ 遮蔽領域
- より奥の領域へ変化 ⇒ 発生領域
- 変化なし ⇒ 遮蔽・発生領域でない

## 4 実験

まずは、図8に示すモデル画像に対して、本手法で用いるオプティカルフロー推定法の有効性を確認するための実験を行った。モデル画像は、128 × 128[pixels]、256 階調のモノクロ画像で、物体および背景における輝度値は、空間的に滑らかに変化するものとした。物体の動きは、左の物体（遮蔽する物体）が右方向に 2[pixels/frame]、右の物体（遮蔽される物体）が左方向に 2[pixels/frame] である。また、拘束直線描画領域は 7 × 7 [pixels] の矩形領域、投票空間は $(u, v)$ 成分の範囲がともに−6.0〜6.0[pixels] の速度空間を 121 × 121 個のセルに分割した。

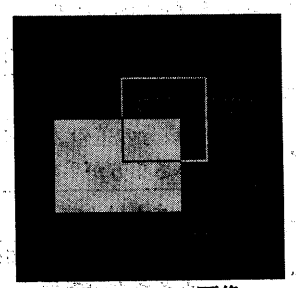


図 8: モデル画像

まず、モデル画像の白い枠で示した領域について、図9にフローを推定した結果を、また表1にフローの大きさと偏角についての推定誤差を示す。

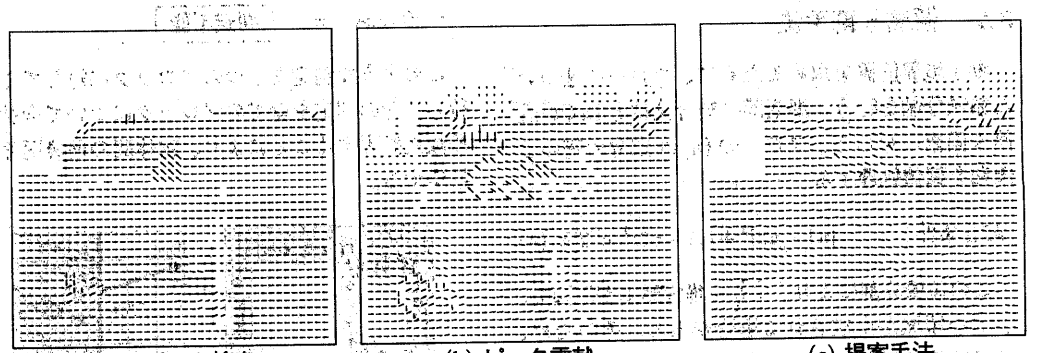
図 9(a) に、投票値のピーク検出によるフロー推定結果を示す。この結果をみると、物体の輪郭が崩れたような位置にフローが推定され、動き境界の位置に対して精度が低いことがわかる。また、主に物体同士の動き境界において、実際の動きと異なったフローが推定されている。

図 9(b) に、投票値のピークに貢献した画素のみにそのピークで決定したフローを与える手法によるフロー推定結果を示す。ピーク検出による推定結果と比べると、実際の動きと異なったフローの影響が周辺に広がり、フローのばらつきが目立つ結果となっている。

図 9(c) に、提案手法によるフロー推定結果を示す。信頼度の閾値は 20%、集まり評価の対象は 3 × 3 セルの矩形領域とした。信頼性の低いフローが除去され、物体の輪郭に沿ったばらつきの少な

表 1: フロー推定誤差

| 手法 | 大きさ (pixels) | | 偏角 (rad) | |
|---|---|---|---|---|
| | 誤差平均 | 誤差分散 | 誤差平均 | 誤差分散 |
| ピーク検出（図 9(a)） | 0.1533 | 0.2531 | 0.1662 | 0.4448 |
| ピーク貢献（図 9(b)） | 0.2091 | 0.2685 | 0.2211 | 0.4897 |
| 提案手法（図 9(c)） | 0.1474 | 0.1008 | 0.1393 | 0.1848 |



(a) ピーク検出　(b) ピーク貢献　(c) 提案手法

図 9: フロー推定結果

いフローが推定されている。フロー推定および動き境界の位置推定において、信頼度処理と集まり評価処理の有効性を確認することができた。

次に同様のモデル画像に対して、提案している遮蔽判定手法を適用し実験を行った。

図10に、連続したフレームに対してオプティカルフロー推定を行った結果を示す。また、図11にその各々に対する前後推定画像を示す。前後判定画像は、輝度値が高いほど手前の領域であることを表している。この図より正しく推定されていることがわかる。

図12に遮蔽判定画像、そして、表2にその判定精度を示す。遮蔽判定画像は、遮蔽領域を黒、発生領域を白で表している。図12(a)は、拘束方程式の逸脱性を用いた手法[1]による結果を示している。この結果をみると、発生領域が遮蔽領域であると誤判定されている。また、図12(b)は本手法による結果を示している。本来、遮蔽・発生が生じている領域に対して、両者を正しく区別した判定がされている。しかし、遮蔽・発生が生じていない領域において、遮蔽・発生の誤判定がされている。これは、フロー抽出の誤差が原因と考えられる。

## 5 むすび

遮蔽をオプティカルフローの不連続性として捉え、抽出したオプティカルフローから、動き境界におけるフローと動き境界自体の動きの両者の類似性に基づいた、物体の前後関係の判定および遮蔽判定を提案し、その有効性の確認のための実験を行った。

速度空間を投票空間として拘束直線の交点群の投票を行い、投票値の集まり具合や信頼性を評価することにより精度の高いフローを抽出し、そして、そのフローを投票値のピークに貢献した画素に与えることにより、動き境界自体の位置とその周辺のフローについて精度の高いオプティカルフロー推定を行うことができた。

また、物体の前後関係の推定は正確に行うことができた。そして、その結果に基づいた遮蔽判定は、従来手法では不可能であった遮蔽領域と発生領域の区別をした判定を行うことができた。しかし、遮蔽・発生が起こっていない領域に誤判定が多くみられた。これは、フローの物体輪郭部分の誤差が原因と考えられる。

今後の課題としては、遮蔽判定精度を上げるためのフロー精度の向上に加えて、一部分のみ動いている物体にも対応するためにフローの不連続な部分のみの局所的な領域分割手法や、動き境界の位置検出精度を上げるために投票空間の状態のみを用い大局的な視点から動き境界を探索する手法などを検討する予定である。また、本手法の実画像に対する適用も考えている。

謝辞　本研究を進めるにあたり日頃から熱心に御指導して頂きました本学 宮原誠教授、阿部亨助教授に深く感謝致します。

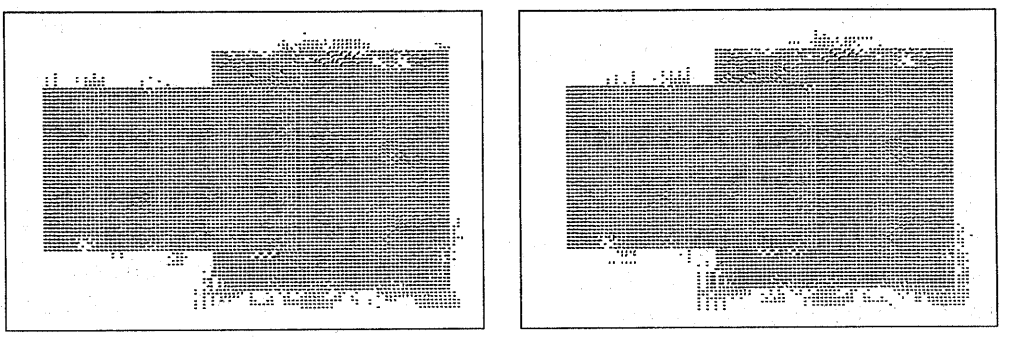
## 参考文献

[1] 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方法に関する研究”, 電子情報通信学会技報, PRMU96-171,pp.7-13,1997

[2] 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”, テレビジョン学会誌, Vol.45,No.10,pp.1199-1206,1991

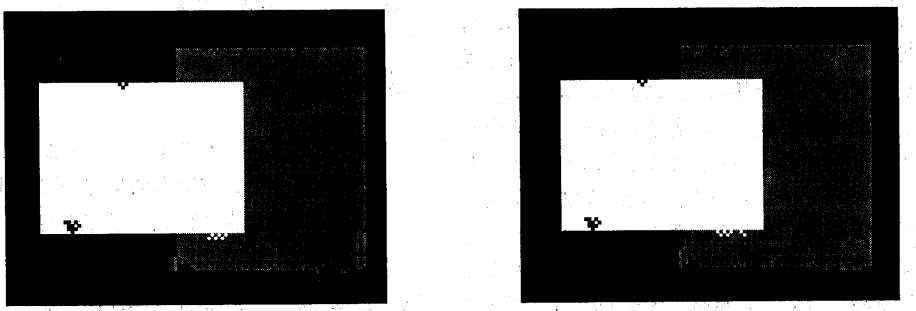
[3] 天野 晃、美濃導彦, 池田克夫“拘束線の分布を利用した並行移動物体のオプティカルフロー推定”, 画像電子学会研究会予稿,1994.04.03

[4] Horn 著,NTT ヒューマンインターフェース研究所 プロジェクト RVT 訳 “ロボットビジョン-機械は世界をどう視るか-”, 朝倉書店, pp305-318



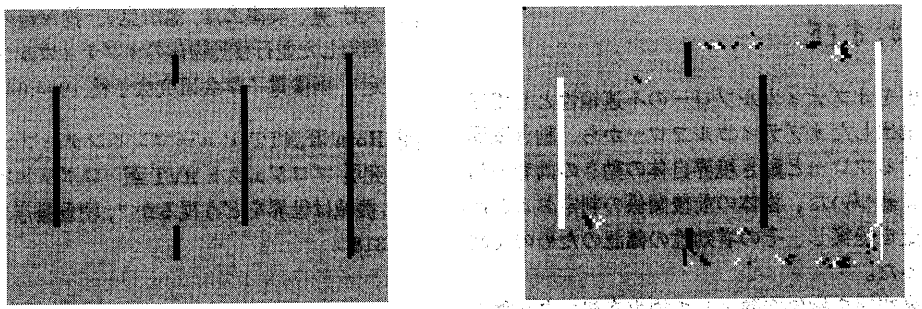
前フレーム　　後フレーム

図 10: フロー推定結果



前フレーム　　後フレーム

図 11: 前後判定画像



(a) 拘束方程式の逸脱性を用いた手法　　(b) 提案手法

図 12: 遮蔽判定画像

表 2: 遮蔽判定精度

(a) 拘束方程式の逸脱性を用いた手法

| 推定 / 正解 | 遮蔽 | 発生 | 何もない |
|---|---|---|---|
| 遮蔽 | 99.2% | 0.0% | 0.8% |
| 発生 | 99.2% | 0.0% | 0.8% |
| 何もない | 0.0% | 0.0% | 100.0% |

(b) 提案手法

| 推定 / 正解 | 遮蔽 | 発生 | 何もない |
|---|---|---|---|
| 遮蔽 | 93.2% | 0.7% | 6.1% |
| 発生 | 0.0% | 90.9% | 9.1% |
| 何もない | 0.7% | 0.6% | 98.7% |