

## 移動観測系における移動物体検出・呈示システムの検討

古賀 由紀夫\* 片山 明伯\*\* 渡邊 睦\* 山本 美子† 渡部 悠紀‡ 岩田 穆‡

移動観測系に設置したステレオカメラから得られる動画像より、各々オプティカルフローを検出し、局所領域単位で推定した消失点情報を利用することにより、移動物体の存在可能性を判定し移動物体候補領域を検出する。さらに明度の類似性基準を用いて移動物体領域を検出し、ステレオカメラ間でこれらの対応付けを行うことにより、概略の3次元位置を求め呈示する。

移動物体の存在可能性判定の際問題となる誤りフローを抑制するため、局所領域におけるテクスチャ評価、およびエッジ評価を組み込むことにより、対処を図った。

本方式をパソコン上のソフトウェアとして実装し、屋内移動シーンで実験した結果、準リアルタイムで有効に処理できることを確認した。

## Research of moving obstacle detection and indication system established in moving observer

Yukio KOGA\* Akinori KATAYAMA\*\* Mutsumi WATANABE\*  
Yoshiko YAMAMOTO† Yuki WATANABE‡ Atsushi IWATA‡

From stereo cameras established in moving observer, video images are gotten, and optical flows are detected respectively. Then using information of focus of expansion presumed per partial region, moving obstacle's existence possibilities are judged, and detected moving obstacle candidate regions. And also using similarities of brightness, moving obstacle regions are detected. By performing these matching between stereo cameras, in quest of the 3-dimensional position of an outline and indicate that.

In order to reduce error flows, which pose problem in the case of moving obstacle's existence possibility judging, we aimed at management by incorporating texture evaluation and edge evaluation in partial region.

As result of mounting this system as software on personal computers and experimenting on indoor moving scenes, it checked that it could process effectively on semi-real time.

---

\*鹿児島大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering Kagoshima University

\*\*鹿児島大学 工学部 情報工学科

Department of Information and Computer Science Faculty of Engineering Kagoshima University

†株式会社 エイアールテック

Analog and RF Technologies

‡広島大学大学院 先端物質科学研究科

Graduate School of Advanced Sciences of Matter Hiroshima University

## 1. はじめに

クリーンルームなどを移動する無人搬送車を画像認識により制御する移動視覚技術の研究は、1970年頃から人工知能研究の一環として行われてきたが、近年ビデオカメラが小型かつ安価になり、また、パソコンなどの計算機パワーが増大し、画像処理が高速化するに伴い、より活発化している。この中で、移動中に出現する障害物を検出・回避するための画像処理が特に重要性が高く[1]、高性能な方式が強く求められている。

従来のロボットシステムにおいては、超音波センサやレーザによる近接センサを用いて障害物の検出を行っている。この障害物検出が画像処理により実現できれば、例えば、人間や他の無人搬送車が横断していれば、徐行または一時停止するといった制御が実現できる。

本稿では、移動観測系に設置したステレオカメラから得られる動画像より、各々オプティカルフローを検出し、局所領域単位で推定した消失点情報を利用することにより、移動物体の存在可能性を判定して移動物体候補領域を検出し、さらに明度の類似性基準を用いて移動物体領域を検出し、ステレオカメラ間でこれらの対応付けを行うことにより、概略の3次元位置を求め、呈示するシステムの方式について述べるとともに、本方式をパソコン上のソフトウェアとして実装し、屋内移動シーンで実験した結果について報告する。

## 2. 移動物体の検出手法

### 2.1 従来の研究動向

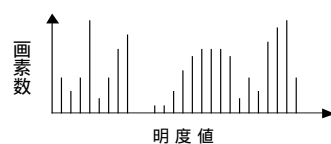
従来の画像を用いた物体検出は、固定カメラで行うものが主である。固定カメラを用いて移動物体を観測する例として、背景画像と時系列的に得られる画像の差分ヒストグラムの変化により移動物体の出現を検知する手法が提案されている[2]。この手法においては、視点が固定で定常背景であるという条件に基づき、差分、処理領域の限定などによる計算コストの低減を行っている。これは、実用化の際には有利であるが、屋外などの複雑環境や、観測系が移動し定常背景の仮定が成立しない状況では十分な性能が確保できなくなる危険性がある。

そこで、カメラが移動する場合でも出現する物体の検出が可能である手法として、動画像から得られるオプティカルフローを用いて移動物体を検出する手法が提案されている[3]。この手法においては、オプティカルフローを計算する単位である小領域内の明度ヒストグラムを求め、この分

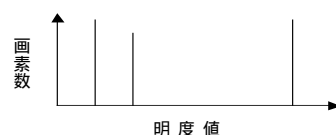
布状態に基づき、小領域内のフロー計算を行うかどうかを判別する。すなわち、画像から図1(a)のような明度ヒストグラムの分布が得られた場合、明度ヒストグラムのヒストデータが一定値以上の明度の個数を求め、この個数が基準値以上の場合には、この小領域中に何かがあると仮定し、フローの計算を行う。また、図1(b)のような明度ヒストグラムの分布が得られた場合には、この小領域内は明度ヒストグラムのヒストデータが一定値以上の明度の個数が基準値に達しないため、単色物体もしくは背景と仮定し、フローの計算を行わないこととする。このテクスチャを評価した改良手法を用いることにより、単色物体・背景などによる誤りフローの抽出を防ぎ、同時に対応点検索を行う処理時間の短縮が可能となる。

一方、この手法においては、物体数を1つと仮定している、フロー誤差が残差の計算誤差につながり、結果的に誤った領域を移動物体領域とみなしてしまう可能性がある、といった問題点がある。

また、ステレオ視による距離情報とオプティカルフローを用いた動物体の実時間追跡方法の一例として、各フレームで目標物体領域を抽出するために、目標物体の領域予測と目標物体上の点の速度、視差の分布に基づいて、各点が目標物体に属する確率を計算し、目標物体領域である確率が高い点の集合を目標物体領域とする手法が提案されている[4]。この手法では、オプティカルフローと距離情報を統合して用いるため、物体領域を安定して抽出することが



(a)小領域内に移動物体が存在する場合



(b)小領域内が単純な背景の場合

図1：小領域内の明度ヒストグラム例

できるだけでなく、フロー、または距離情報のみを用いた従来手法では追跡に失敗するような場合にも目標物体を追跡することができるという利点がある。しかしながら、専用画像処理装置を用いているため、システムが高価となる、カメラは回転台上にあるが、移動は行わないといった相違点がある。そこで筆者らは、上記手法[3]を改良した手法を考案し、検討を行った。

## 2.2 移動物体検出方式

本節では、考案した方式の処理内容について述べる。全体は図2に示すように、オプティカルフロー計算部、移動物体候補領域検出部、移動物体領域検出部、移動物体3D位置算出部、移動物体3D位置表示部の5要素から構成される。

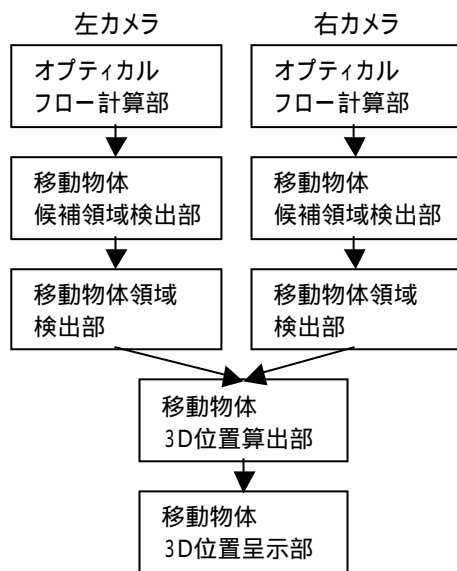


図2：提案手法の全体構成

まず、オプティカルフロー計算部では、カメラから入力された動画像系列より各画素単位の動きベクトル（オプティカルフロー）を求める。次に移動物体候補領域検出部では、このオプティカルフロー情報を用いて画像中の移動物体の候補となる領域を検出する。移動物体領域検出部では、移動物体候補領域を標本とみなし、移動物体候補領域内の明度分布を測定する。そして、検出した移動物体候補領域内の周囲に設定した探索領域において、上記明度分布に含まれる画素を全て検出することにより、移動物体領域を検出し、その画像上での重心座標を求める。ここまでの3要素は、左右両カメラについて並列処理を行う。

移動物体3D位置算出部では、先に得られた移動物体の

左右カメラでの重心座標をステレオ視の原理に基づいて処理し、移動物体の3次元位置を求める。最後に移動物体3D位置表示部では、移動物体の軌跡を3次元表示する。

以下、この各構成要素の処理内容について説明する。

### 2.2.1 オプティカルフローの計算

オプティカルフローの計算法としては、勾配法とブロックマッチング法がある。

勾配法は、画像の時空間微分の拘束方程式による条件からフローベクトルを推定する手法である[5]。この手法は、全検索を行わないため処理時間が短いという利点があるが、明度値が急激に変化するところではフローの誤差が激しい、雑音に弱い、拘束条件以外のことが起こるとフロー結果が大きく乱れる、という欠点がある。

ブロックマッチング法は、画像中の特定の領域をテンプレートのブロックとし、次フレームの画像中を全検索し、前フレームの評価するブロックと次フレームの注目ブロックとの差分評価関数の値を最小とする点を対応点とする手法である。この手法は、明度値の急激に変化するところでもフロー誤差が少なく、雑音にも強いという利点があるが、全検索を行うため計算時間が膨大となる、という欠点がある。

そこで今回筆者らは、[3]のブロックマッチング法を改良した手法を提案する。以下に改良点を述べる。

#### <改良点1>

小領域内の明度のエッジ部分を検出し、エッジが急峻な場合にはフロー計算を行わない。

具体的には、小領域内の水平方向と垂直方向の明度微分値、微分行列成分から最小固有値を計算し、この値が閾値以下の場合にはフロー計算を行わないようにする。

このエッジ評価によって、照明などによる影の境目や、背景物体の水平・垂直エッジ部分の誤りフローの抽出を抑制することが可能となる。

#### <改良点2>

フロー計算の結果得られた、垂直方向のフローベクトルは除外する。

すなわち、通常の移動物体の場合には、垂直方向のフローベクトル以外のフローベクトルが出現するものと仮定する。このエッジ評価により、背景の垂直エッジによる誤りフローの抽出を避ける。

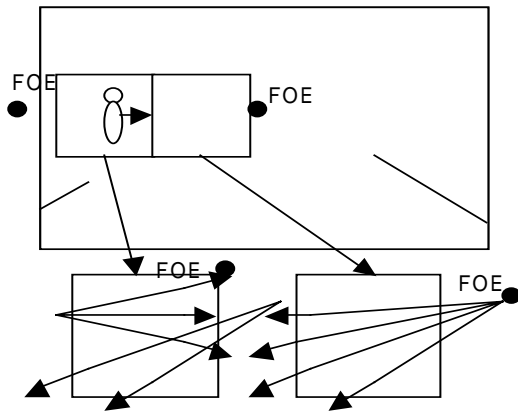
### 2.2.2 移動物体候補領域の検出

観測系が静止している場合は、画像中の変化は主に移動物体の出現によると仮定できるため、背景画像との間の空間差分、または、時間差分により移動物体領域を検出することが可能である。しかし、観測系が移動する場合は、背景も同時に変化するため、単純な差分では移動物体領域を検出することができない。

本節と次節では、観測系が直進移動する場合における移動物体の検出方式について述べる。

移動物体が直進移動する場合、このオプティカルフローを延長した直線は1点で交わる。この点を動きの消失点 (Focus of Expansion: FOE) と呼び、移動方向に応じて定まる定点となる。

例えば、図3に示す例では、無人搬送車の移動によるFOEが画像の中央付近にあるのに対し、左から出現した人物によるFOEは画像中央左端付近に存在する。つまり、移動物体ごとに独立のFOEを有する。したがって、移動障害物を含む領域において推定したFOEは、背景のみを含む領域で推定したFOE (無人搬送車の移動によるFOE) と大きく変化することになる。



(a) 背景領域 + 移動障害物領域 (b) 背景領域

図3: FOEの推定

具体的には、以下に述べる手順でFOEを推定する。

各フローベクトルから各フローの直線の方程式を求める。

点 $(x_i, y_i)$ においてフローベクトル $(u_i, v_i)$ が得られた

とする。この直線の方程式は、

$$a_i x + b_i y = c_i \quad (1)$$

として与えられる。ここで、

$$a_i = -\frac{v_i}{\sqrt{u_i^2 + v_i^2}} \quad (2)$$

$$b_i = \frac{u_i}{\sqrt{u_i^2 + v_i^2}} \quad (3)$$

$$c_i = \frac{u_i y_i - v_i x_i}{\sqrt{u_i^2 + v_i^2}} \quad (4)$$

である。ここで、

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ \vdots & \vdots \\ a_n & b_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{c} = [c_1 \quad c_2 \quad \dots \quad c_n]^T \quad (6)$$

とおく。ただし、 $n$ はFOEの推定に用いるフローベクトル数である。

方程式

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{c} \quad (7)$$

を解く。このとき、 $\mathbf{A}$ の転置行列を $\mathbf{A}^T$ とすると、

$$\mathbf{A}^T \mathbf{Ax} = \mathbf{A}^T \mathbf{c} \quad (8)$$

となり、

$$\tilde{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{c} \quad (9)$$

により求まる $\tilde{\mathbf{x}}$ がFOE推定結果となる。各小領域について、フローベクトルが閾値以上抽出された小領域内のフローベクトルに対し、式(9)を適用することにより推定したFOEと画像中心との距離 $D$ を求め、この距離 $D$ が閾値以上の場合、この小領域を移動物体候補領域と判定することとした。

### 2.2.3 移動物体領域の検出

2.2.2で得られた移動物体候補領域内の明度の最大・最小値を求め、各移動物体候補領域を中心に一定領域拡大した領域内に対し、領域内の各画素の明度値が前記最大・最小値の範囲内にある場合、その画素を移動物体領域とみなす。

各移動物体領域に対して、その画像上での重心座標

$(x_g, y_g)$  を以下の式で求めておく .

$$x_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (10)$$

$$y_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (11)$$

ここで,  $(x_i, y_i)$  は移動物体領域の画像上の座標値,  $N$

は, 移動物体領域の画素数である .

#### 2.2.4 移動物体3D位置算出

左右の各カメラを光軸平行に設定する . 図4に示すように, ワールド座標系  $(X, Y, Z)$  と, それぞれの画像における画像座標系を定めたとき, 空間中にある点  $P(X, Y, Z)$  が, 各々の画像上  $(x_l, y_l), (x_r, y_r)$  に投影されたとすれば, 以下の関係式が成立する .

$$X = \frac{b(x_l + x_r)}{2d} \quad (12)$$

$$Y = \frac{b(y_l + y_r)}{2d} \quad (13)$$

$$Z = \frac{bf}{d} \quad (14)$$

ただし,  $f$  は焦点距離,  $b$  は基線長,  $d$  は視差で,

$$d = x_l - x_r \quad (15)$$

である . したがって, 既知の  $f, b$  のもとで, 左右の画像上の投影座標から, もとの3次元位置  $(X, Y, Z)$  が計算される .

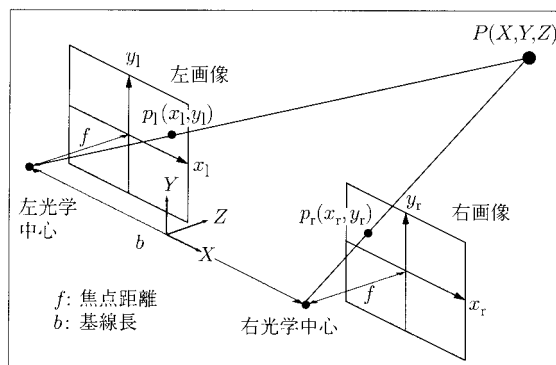


図4 : ステレオカメラの配置と座標系の関係

ここで, 上式(12), (13)の  $(x_l, y_l), (x_r, y_r)$  に2.2.

3で得られた移動物体領域の重心座標を代入すると, 移動物体の3次元位置が求められる .

#### 2.2.5 移動物体3D位置呈示

2.2.4で得られた各移動物体の3次元位置の軌跡を3Dグラフィック表示する .

### 3 実験

#### 3.1 実験環境

実験環境を図5に示す .

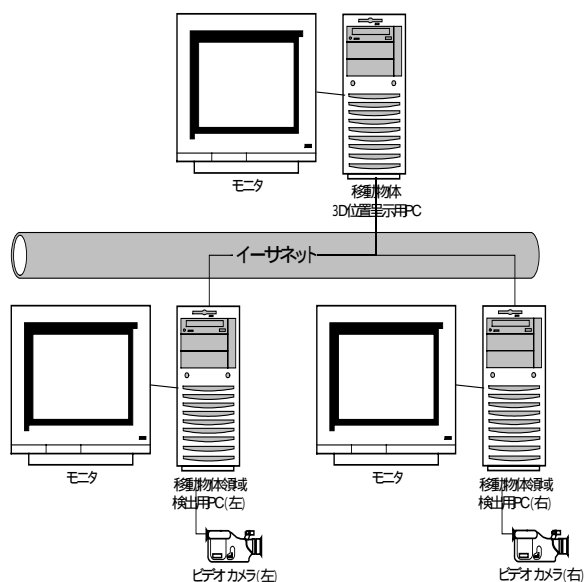


図5 実験環境

使用したハードウェア, ソフトウェアは以下の通りである .

<簡易ステレオ移動画像収集装置：試作>

・カメラ : SONY DCR-TRV30(miniDV) : 2台



図6：簡易ステレオ移動画像収集装置

<移動物体領域検出用パソコン：2台>

- ・パソコン : CPU P4-1.7GHz  
メモリ 512MB
- ・グラフィックカード : Matrox Millennium G450
- ・ビデオキャプチャカード : Matrox Meteor
- ・OS : Windows2000 professional
- ・開発言語 : Visual C++ Ver.6.0

<移動物体3D位置呈示用パソコン：1台>

移動物体領域検出用パソコンと同一仕様。

移動物体領域検出用パソコンと移動物体3D位置呈示用パソコン間は、LAN(100BASE-TX)で接続し、ソケット通信により重心座標値を伝送した。

### 3.2 実験条件

2章で述べた移動物体検出方式の有効性を検証するために、大学実験室内で収集した移動画像4シーンを用いて実験を行った。対象となる移動物体は人物、人物+台車+箱の2種類である。

表1に、各シーンに含まれる障害物の種類と、その移動方向を示す。

シーン番号	フレーム数	障害物種類	移動方向
1	472	人物(赤服)	左 右 左
2	492	人物(緑服)	左 右 左
3	356	人物(赤服)+台車+箱	右 左
4	423	人物(緑服)+台車+箱	右 左

表1：実験シーン

### 3.3 評価方法

#### 3.3.1 移動物体候補領域検出

移動物体領域検出については、精度とフレームレートを測定した。

精度の計算については、まず、各シーンの処理結果を30フレーム/秒でAVIファイルに記録した。そしてこのファイルを目視測定した。各処理での移動物体候補領域検出の合計と、誤検出の合計と、移動物体が存在するにもかかわらず移動物体候補領域を検出できなかった処理数の合計を、誤り率(=誤検出の合計/移動物体候補領域検出の合計)として求めた。また、見逃がし率(=移動物体が存在するにもかかわらず移動物体候補領域を検出できなかった処理フレーム数の合計/総処理フレーム数)も求めた。ここでいう誤検出とは、背景領域に表示された移動物体候補領域のことを表す。

#### 3.3.2 移動物体3D位置呈示

移動物体3D位置呈示については、軌跡の3次元座標値を3Dグラフィック表示した結果を目視で評価した。

### 3.4 設定パラメータ

各シーンについて予備実験を行い、以下のようにパラメータを設定した。

- ・関心領域(ROI) : 486×432[pixel]
- ・ブロックマッチング基準ブロックサイズ : 5×5[pixel]
- ・ブロックマッチング探索領域 : 9×9[pixel]
- ・明度ヒストグラム明度値個数閾値 : 3[ヒストデータ値]
- ・明度ヒストグラム閾値 : 11[個]
- ・最小固有値閾値 : 3000
- ・小領域サイズ : 27×27[pixel]
- ・小領域内のフロー本数閾値 : 3[本]
- ・FOEと画像中心との距離閾値 : 150[pixel]
- ・カメラ焦点距離 : 4.2[mm]

- ・基線長 : 67[mm]
- ・撮像素子サイズ : 4.5[mm]
- ・入力画像サイズ : 640×480[pixel]
- ・カメラ高さ : 1520[mm]

### 3.5 実験結果

図7, 図8, 図9, 図10に左カメラの移動物体領域検出結果の例を示す. 図中の各色の線および領域は, 以下を表す.

- ・黄色の枠: 関心領域
- ・水色の線: フローベクトル
- ・赤色の枠: 準移動物体候補領域
- ・赤色塗りつぶし: 移動物体候補領域
- ・白色の枠: 拡大移動物体候補領域
- ・青色塗りつぶし: 移動物体領域



(a)第62フレーム (b)第135フレーム



(c)第386フレーム (d)第434フレーム

図7: 実験結果 (移動物体領域検出: シーン1)



(a)第73フレーム (b)第162フレーム



(c)第427フレーム (d)第451フレーム

図8: 実験結果 (移動物体領域検出: シーン2)



(a)第153フレーム (b)第205フレーム

図9: 実験結果 (移動物体領域検出: シーン3)



(a)第253フレーム (b)第340フレーム

図10: 実験結果 (移動物体領域検出: シーン4)

表2に各シーンの精度とフレームレートを示す.

シーン番号	総処理フレーム数 [Frame]	誤り率 [%]	見逃しフレーム数 [Frame]	見逃し率 [%]	フレームレート [FPS]
1	87	0	24	27.6	4.9~6.4
2	83	0	28	33.7	4.9~6.4
3	67	0	32	47.8	4.5~6.6
4	79	0	28	35.4	3.7~6.6

表2: 実験結果

図11にシーン1の移動物体3D位置呈示結果を示す. 図11は, 上方から人物を見た場合を表している. 人物は左から右に移動している. 人物は, 直方体と球で構成して表示している. また, 図中の黄緑色の位置が表示最終位置である.

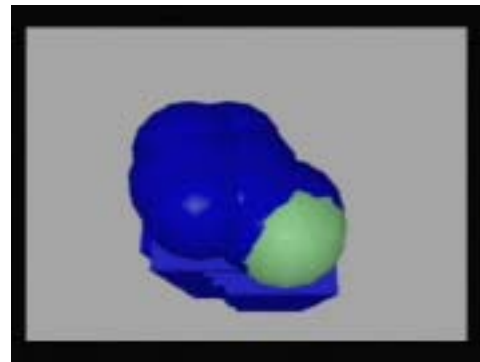


図11: 実験結果 (移動物体3D位置呈示: シーン1前半部分)

#### 4. 考察

表2からわかるように、誤り率は4シーンとも0%であった。これは、エッジが急峻な場合にはフロー計算を行わないようにした改良点の効果が現れたものと考えられる。

また、フレームレートについては、3.7~6.6 [FPS]であり、準リアルタイム処理が実現できていると考える。

さらに、図11のような移動物体の3D位置の呈示方法は、立体的に人物の移動経路がわかるため主観的に有効と考える。

一方、表2からわかるように、移動物体候補領域の検出は、52.2%~72.4%となった。この原因としては、オプティカルフローを求める際の、ブロックマッチング法の改良点による雑音抑制効果がやや効きすぎたためと考えられる。

また、図8(b)などからわかるように、移動物体内の明度の最大・最小値で拡大領域を塗りつぶしているため、一部背景部分をとりこんでしまう場合がある。これについては、明度の分布推定結果を使用して、移動物体領域を検出するといった対策が考えられる。

さらに、拡大移動物体候補領域が重なり合った場合の処理を今回は組み込んでいないため、図7(c)のように同一人物が複数の領域に分かれてしまい、3次元の重心位置が不安定になる場合があった。これについては、今後重なりをチェックを行う必要があると考える。

#### 5. まとめ

移動観測系における移動物体の検出手法として、オプティカルフローを用いた検出法を提案し、屋内で収集した実画像系列を用いて、移動物体の検出およびその3次元位置の呈示を行った。

提案手法は、ブロックマッチング法を改良した手法を使用しているため、明度値の急激に変化するところでもフロー誤差が少なく、雑音にも強いという性質を持ち、かつ処理速度が高速であるという利点がある。

今後は、移動物体検出方法の改良、屋外での性能評価実験、および、移動物体の剛体/非剛体の識別を行っていく。

#### 謝辞

本研究は、財団法人広島県産業技術振興機構 広島県産業科学技術研究所「リアルタイム物体・空間認識システムの開発」プロジェクトの開発成果である。

ここに深謝します。

#### 参考文献

- [1] 渡邊:“自律移動ロボットの視覚”, 先端画像テクノロジー 第2部 画像認識 第2章, pp.62-69, 1993.
- [2] M.Kaneta. et al.:“Image processing Method for Intruder Detection around Power Line Towers”, ICICE E76-D, No.10, pp.1153-1161, 1993.
- [3] 大迫, 渡邊:“明度ヒストグラム解析による動きベクトル抽出精度向上の検討”, 平成13年度電気関係学会九州支部連合会大会論文集, p.517, 2001.
- [4] “オプティカルフローと距離情報を用いた動物体追跡”, 大阪大学 白井研究室ホームページ [http://www-cv.mech.eng.osaka-u.ac.jp/research/tracking\\_group/tracking-j.html](http://www-cv.mech.eng.osaka-u.ac.jp/research/tracking_group/tracking-j.html)
- [5] 渡邊, 武田, 小野口:“主成分分析を用いた移動障害物認識法の検討”, 情報処理学会コンピュータビジョン研究会報告, 99-8, pp.51-58, 1996.
- [6] 渡邊:“オプティカルフローによる動物体の認識アルゴリズムの研究”, (財)広島県産業技術振興機構 広島県産業科学技術研究所, 平成12年度研究成果報告書, リアルタイム物体・空間認識システムの開発, pp.56-70, 2001.
- [7] 渡邊, 古賀:“3次元・動画処理による移動物体の自動認識に関する研究”, (財)広島県産業技術振興機構 広島県産業科学技術研究所, 平成13年度研究成果報告書, リアルタイム物体・空間認識システムの開発, pp.58-71, 2002.
- [8] 奥富:“ステレオ視”, コンピュータビジョン 技術評論と将来展望(松山, 久野, 井宮編)第8章, 新技術コミュニケーションズ, pp.123-137, 1998.