

## オプティカルフローを用いた微小移動物体の検出

平位 隆史 笹川 耕一 黒田 伸一  
三菱電機(株) 産業システム研究所

あらまし 本報告では、動画像中の微小な移動物体を検出する方法について考察する。微小な物体が画像上で移動し、異なる画像間で重なりがなくなったときに、移動前の物体の存在位置ではその近傍のオプティカルフローが集中し、移動後の物体の存在位置にはその近傍のオプティカルフローが発散するパターンを持って現れる。本報告では、微小移動物体の位置に現れる、この一対の特徴点を収縮点・拡散点と呼び、それらの点を検出する手法について考察する。さらにこの結果を連続画像に適用し、微小な移動物体を検出する方法について述べる。また画像中に移動物体が存在しない場合の判定についても言及する。

### A Method of Detecting Small Moving Objects Using Optical Flow

Takashi Hirai Kouichi Sasakawa Shin-ichi Kuroda,  
Industrial Electronics and Systems Development Laboratory,  
Mitsubishi Electric Corp.  
1-1, Tsukaguchi-Hommachi 8-Chome, Amagasaki, Hyogo 661, JAPAN

**Abstract** This paper considers a method of detecting small moving objects in an image sequence. Although it is difficult that we recognize the small objects in a single image, if they are moving in an image sequence, it is easy to detect them no matter how small they are. In order to detect the small objects by robotic eyes, we propose a new interpretation of optical flow. If there exists a small moving object in the scene, a pair of feature points appears. We call these points a contraction point and a diffusion point, respectively. This paper deals with an extraction method of these points.

## 1. はじめに

本報告では物体が非常に微小な場合、すなわち画像上では非常に小さな輝点のようにしか見えな  
いときの物体の検出法について考察する。このよ  
うな場合、一枚の画像からでは物体を検出するこ  
とはもとより、物体なのか雑音なのかの判断をす  
ることも不可能である。しかし、連続した画像(動  
画像)を見て背景と異なった動きをするものが存在  
すれば、人間の目はかなり微小な物であってもそ  
の物体を検出することができる。本報告ではこの  
ような微小物体の検出を機械の目で自動的に行わ  
せることを目的とした処理方法を提案する。また  
微小物体を対象とする場合には、物体が必ず存在  
するという保証はなく、背景のみの場合もあるので、  
物体が存在するのかもしれないかの判定につい  
ても考察する。

連続した画像から物体の移動方向・速度を検出  
する方法として、従来から用いられている手法と  
しては差分法[1]やオプティカルフローを用いる方  
法[2]-[5]がよく知られている。

差分法は、時間的に異なる2枚の画像の差分を  
利用して物体の移動を検出する方法で、もっとも  
簡単な方法である。しかし、差分画像から移動物  
体を検出する際の閾値が一意的に決定できないこ  
とや、移動方向を差分画像中の領域の濃度差で判  
定するため、背景と物体の濃度が逆になっている  
場合には移動方向を逆に判定するという欠点があ  
る。

オプティカルフローは、画像中の見かけの速度  
場を表すもので、すでに発表されている数多くの  
文献では、画面内で比較的大きな面積を持った対  
象物体が異なる画像間で共通領域を持ちながら平  
行移動・回転運動をしているときの運動方向の検  
出を目的としている。また、移動カメラによる画  
像から得られたフローより、背景の動きと対象物  
体の動きの相対的な大きさを比較することにより  
移動物体を分離する方法も提案されている[6]が、  
これらはいずれも本報告の目的である微小な物体  
を検出することを目的とするものではない。

我々は、微小な物体が2つの画像間で重なりを

持たないように移動する際には、その物体の近傍  
に現れるフローが特徴的な2つのパターンになる  
ことに着目した。1つは、物体の移動により前画  
像での物体の存在位置が次画像では背景となるこ  
とで、見かけ上物体が消失することにより、フロ  
ーが物体の位置を中心にして内向きに生じる場合  
であり、この点を収縮点と呼ぶ。もう1つは、前  
画像の背景部分に物体が移動してきたことで、見  
かけ上物体が新たに発生することにより、フロ  
ーが物体の位置を中心にして外向きに生じる場合  
であり、この点を拡散点と呼ぶ。

本報告では、オプティカルフローのこのような  
性質に着目した新しい応用法として、固定カメラ  
で撮影された連続画像から微小な移動物体を検出  
する方法について考察する。また、移動物体が存  
在するかしないかの判定についても考察する。

## 2. 差分法による検出

まず、時間的に異なる2枚の画像から移動物体  
を検出する方法として、差分画像による方法とそ  
の欠点について述べる。時刻 $t, t+1$ における画像を  
それぞれ $S_t, S_{t+1}$ とする。図2.1は差分画像から移  
動物体を検出する方法である。物体の濃度が背景  
より高い場合、差分画像には濃度が正の領域 $R_+$ と  
負の領域 $R_-$ と0の領域 $R_0$ が現われる。 $S_{t+1}$ から $S_t$   
を差分した場合、 $R_+, R_-$ はそれぞれ $S_{t+1}, S_t$ におけ  
る物体の存在位置であり、 $R_0$ は背景部分である。  
この結果、物体は $R_-$ から $R_+$ へ移動したと判断でき  
るが、この領域を検出するためには2つの閾値を  
設定する必要がある。しかも、物体や背景の濃度  
レベルは時間的に変動することがあり、一意的に  
設定するのは困難である。また、物体が微小で背  
景との濃度差が小さい場合には最適な閾値を設定  
するのは容易でない。さらにこのように移動領域  
の正負で物体の移動方向を判定する方法では、物  
体と背景の濃度が逆転するような場合には移動方  
向を逆に判定するという欠点がある(図2.2)。

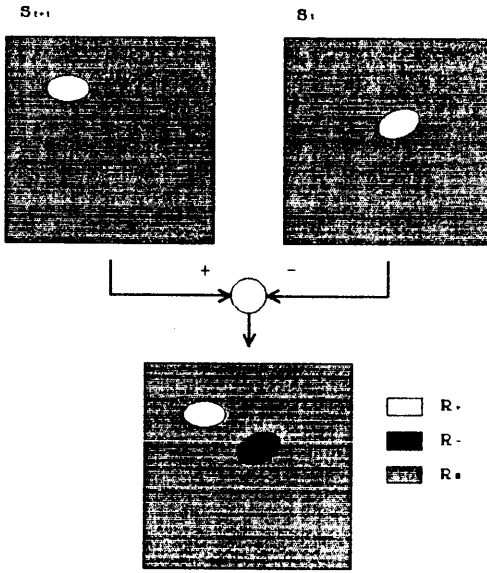


図2.1 差分画像

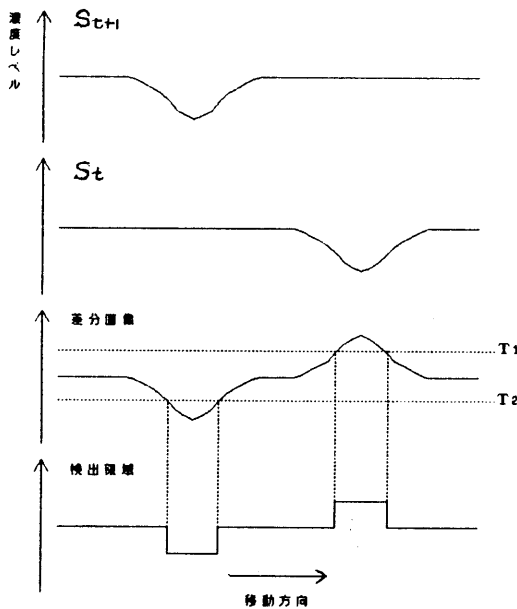


図2.2 誤判定の例

### 3. オプティカルフローに基づく微小物体の検出

#### 3.1 微小物体のオプティカルフロー

時刻 $t$ における画面上の位置 $(x,y)$ の点での濃度値を $I(x,y,t)$ とすると、オプティカルフローは次式で与えられる[2]。

$$u^{n+1} = \bar{u}^n - I_x [I_x \bar{u}^n + I_y \bar{v}^n + I_t] / (\alpha + I_x^2 + I_y^2) \quad (3.1)$$

$$v^{n+1} = \bar{v}^n - I_y [I_x \bar{u}^n + I_y \bar{v}^n + I_t] / (\alpha + I_x^2 + I_y^2) \quad (3.2)$$

ここで $I_x, I_y, I_t$ はそれぞれ $x, y, t$ 方向の濃度勾配、 $n$ は繰り返し回数、 $\bar{u}, \bar{v}$ はそれぞれ $u, v$ の近傍の平均である。(3.1), (3.2)式にしたがって異なる2フレーム間でオプティカルフローを算出すれば物体の移動方向を表すフローが得られるが、従来の例としては例えば図3.1に示すように、画面内で比較的大きな面積を占める物体が異なる画面間で共通領域を持ちながら移動する場合のエッジ部分に現われるフローの向きを移動方向とするものがある。図において破線は前フレームにおける物体の位置、実線は後フレームにおける物体の位置、矢印はオプティカルフローを表す。

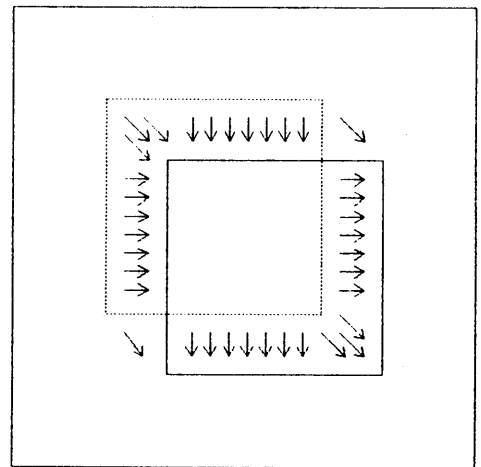


図3.1 オプティカルフロー

本報告で扱うのはこのような例とは違い、微小な物体が異なる画面間で共通領域を持たないように移動する場合である。このような場合のオプティカルフローは図3.2に示すように現われる。すなわち時刻 $t$ の画像において物体の存在する位置の近傍のフローはその点を中心として内向きであり、時刻 $t+1$ の画像において物体の存在する位置の近傍のフローはその点を中心として外向きになってい

る。これは、時刻 $t$ における物体の存在位置が物体が移動した結果、時刻 $t+1$ においては背景となり、見かけ上消失することになるため、その画素の8近傍のフローが画素を中心として収縮する方向に向かうためであり、時刻 $t+1$ における物体の存在位置は時刻 $t$ に背景であった部分に物体が移動してきた結果、見かけ上新たに発生する点であるから、その画素の8近傍のフローが画素から放射状に拡散する方向に向かうためと解釈することができる。本報告はこのような特徴点を収縮点、拡散点と呼び、それらの判定方法について述べるものである。

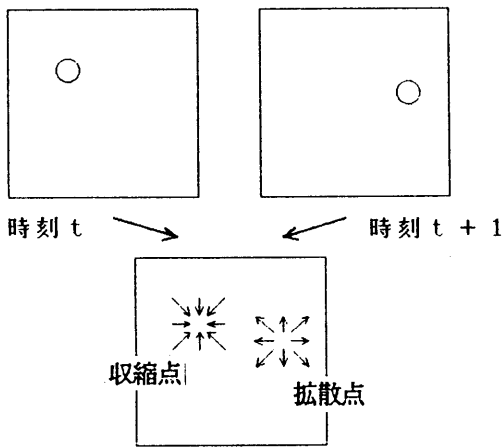


図3.2 収縮点と拡散点

### 3.2 特徴点の判定

まず時間的に異なる2枚の画像から各画素 $(i, j)$ におけるオブティカルフロー $u(i, j), v(i, j)$ を算出する。このとき、得られるオブティカルフローにはカメラのぶれ等に起因する背景の微妙な動きも含まれているが、フローを正規化して一定の大きさ以下のフローは0とみなすことによりこのような微妙な動きは無視することができる。その結果物体の移動によるフローのみが得られることになる。正規化は得られたフローの最大値を1とし、大きさが $1/3$ あるいは $1/4$ 以下のフローを0とした。背景部分のフローに比べて移動物体が存在する画素の近傍のフローは十分に大きいため、このような閾値の決定の仕方でも後の処理の結果には影響

しない。また差分後の2値化の閾値決定に比べても容易である。

次に $\arctan(v(i, j)/u(i, j))$ よりフローの方向を求めた後、8方向に量子化する。このとき近傍にフローの現われている画素に着目し、その画素の8近傍のフローの向きであるフローパターンにより、近傍のフローが内向きである収縮点(contraction point:CP)、近傍のフローが外向きである拡散点(diffusion point:DP)、近傍のフローが同じ方向を向いている移動点(moving point:MP)の3種類に分類する。

従来のオブティカルフローに関する論文では、比較的大きな物体の移動方向の検出が目的であったためシミュレーション結果として報告されているオブティカルフローの図には本報告で定義する移動点のみのフローが現われている。本報告ではオブティカルフローの新しい解釈として微小物体の移動により発生する収縮点、拡散点の判定方法について述べる。

まず、図3.3(a), (b)に理想的な収縮点と拡散点の8近傍のフローパターンを示す。図においてCPは収縮点、DPは拡散点を表す。このようなフローパターンになるべく近いパターンを持つ点を収縮点あるいは拡散点として検出すればよい。

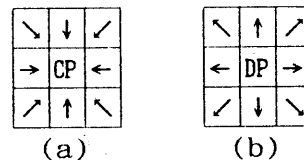


図3.3 収縮点・拡散点の近傍のフロー

そのために図3.4(a), (b)に示すような量子化マスクを考える。これは右方向を0として時計回りに番号をつけた方向コードを図3.3に適用したものである。

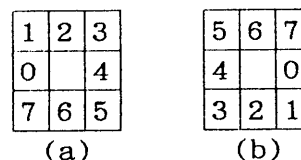


図3.4 量子化マスク

いま着目する画素が収縮点、あるいは拡散点であるかどうかの判定をするために、理想的な特徴点と着目する画素の近傍の方向データをそれぞれ図3.5(a), (b)のように与える。

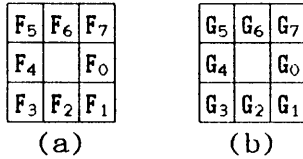


図3.5 方向データ

収縮点に対しては、

$$F_i = \begin{cases} i+4 & (i=0, 1, 2, 3) \\ i-4 & (i=4, 5, 6, 7) \end{cases} \quad (3.3)$$

拡散点に対しては、

$$F_i = i \quad (i=0, 1, \dots, 7) \quad (3.4)$$

である。G<sub>i</sub> (i=0, 1, ..., 7)は着目する画素の方向データである。このとき理想的な特徴点との方向差を次式にしたがって計算する。

$$d(G_i) = \begin{cases} |G_i - F_i| & (|G_i - F_i| \leq 4) \\ 8 - |G_i - F_i| & (|G_i - F_i| \geq 5) \end{cases} \quad (3.5)$$

また方向差の平均Mを

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i \in \Omega} d(G_i) \quad (3.6)$$

で定義する。対象とするフローは正規化され、フローがある一定の大きさ以下の画素は方向データを持っていないので8近傍すべてにフローが現われるとは限らない。そこでΩは近傍画素の内、フローの現われている画素の集合であり、NはΩに含まれる画素の個数であるとする。

ここで収縮点に対するMについて考察する。もし、着目する画素の近傍のフローパターンが理想的な収縮点のフローパターンと一致すればM=0となる。また拡散点のパターンと一致すればM=4となる。したがって、ある画素におけるMが0に近ければ近いほどその画素は収縮点の性質を有しており、逆にMが4に近ければ近いほど拡散点の性質を有していると判定することができる。さらに、近傍画素のフローがすべて同じ方向を向いている点に対してはM=2となることから、Mが

2に近い点は移動点、すなわち異なる2フレーム間で物体の一部が重なりを持って移動している点であると考えることができる。以上より、得られたオプティカルフローからすべての点に対してMを計算することにより特徴点の検出と分類ができる。また、拡散点に対するMについても同様の議論ができる。

#### 4. 連続画像への適用

物体の移動量が小さいときにはとなりあう2フレーム間のオプティカルフローからは移動点しか検出できない場合がある。そこで図4.1に示すようにあるフレームを基準にして処理するフレーム間隔を広げていけば、ある程度間隔が広がると収縮点・拡散点が検出できる。前述した通り、収縮点はフレーム0における物体の存在位置であり、拡散点はフレーム1以降における物体の存在点である。したがって拡散点の位置を追跡することが移動物体を追跡することになる。

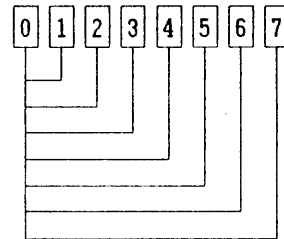


図4.1 連続フレームの処理

図4.2は人工的に作った大きさ64×64(pixel)の擬似画像列である。物体の大きさは3×2, 背景と物体の濃度はそれぞれ100, 180(濃度レベル256階調中)であり、各画像に平均値0, 標準偏差20の異なった正規雑音を加えている。図において、上段3枚はフレーム0の画像、下段は左からフレーム1, 2, 3である。物体の移動量は右方向に2 pixel/frame, 下方向に1 pixel/frameとした。したがってフレーム0の物体の右下1画素とフレーム1の物体の左上1画素が重なり合っている。図4.3は差

分結果であり、(a),(b),(c)はそれぞれフレーム0と1,0と2,0と3の差分である。ここで図4.3(b)の差分画像からフレーム0の物体を検出するために二値化した結果を図4.4に示す。図4.4(a),(b),(c)はそれぞれ二値化レベルが76,81,90の場合である。この結果より、差分法では正しく検出できないことがわかる。図4.5はオプティカルフローによる処理結果で、フレーム0とフレーム1の間では物体が重なりを持っているため移動領域(図中の白い領域)が検出されているが、フレーム0と2、フレーム0と3の間では物体の重なりがなくなるため収縮点(図中のC)、拡散点(図中のD)が検出されていることがわかる。

## 5. 物体の存否の判定

前章までは物体が存在する場合の検出法について考察した。しかし、本報告で対象とするのは微小な物体であり、画像中に物体が存在することは必ずしも保証されず、背景のみの場合もある。そこで、本章では物体が存在するかしないかの判定について考察する。

物体が存在する場合と背景のみの場合でフローのパターンがどのように異なるかを調べてみる。3.2節では、背景の動きの影響を除くために一定値以上のフローだけを残したが、本章では2つの画像から得られるすべてのフローの大きさのヒストグラムについて考察する。固定カメラでの撮影という条件下では背景部分はまったく同じ画像になり、背景部分からはフローは検出されないはずであるが、実際にはカメラぶれなどによる背景の動きからのフローも検出される。ここで、フローの大きさを256レベルに正規化したときのヒストグラムを図5.1、図5.2に示す。図5.1は移動物体が存在する場合のヒストグラムである。この場合、物体の移動によるフローが背景のぶれによるフローに比べて十分に大きいため、背景部分の小さなフローがヒストグラムの左側に集中し、ヒストグラムの傾斜が非常に急になる。一方、図5.2は移動物体が存在しない場合のヒストグラムである。このヒストグラムは背景ぶれのみによるもので

あるが、フローの大きさの差が小さいので、図のようになだらかな傾斜を持つ。微小物体が存在する場合に収縮点や拡散点となる画素は、全画素の高々1~2%であるので、pタイル法によって全画素の例えば98%を越えるレベルがある一定値以下であれば図5.1、それ以上であれば図5.2のヒストグラムであると判定でき、それによって物体の存否を判定する。

## 6. おわりに

固定カメラで撮影された画像列より得られるオプティカルフローから微小物体を検出する方法について述べた。移動物体が存在していれば、差分法に比べて良好に物体を検出できることを示した。また移動物体が存在しない場合にも、カメラが固定され背景がほとんど動かない状態であれば物体が存在しないという判定も行える。今後は、カメラの移動により背景と物体の両方が動く場合の物体の検出法を検討していく予定である。

## 参考文献

- [1] 尾上守夫他, 画像処理ハンドブック, 昭晃堂, 1987.
- [2] B.K.P. Horn and B.G. Schunck "Determining Optical Flow," Artificial Intelligence, Vol. 17, pp.185-203, 1981.
- [3] F. Glazer, "Computing Optic Flow," Proc. 7th-IJCAI, pp.644-646, 1981.
- [4] M.Yachida, "Determining Velocity Map by 3-D Iterative Estimation," Proc. 7th-IJCAI, pp.716-718, 1981.
- [5] 千葉,真下,小沢, "オプティカル・フローに基づく移動物体追跡のための一手法," 情報処理学会第35回全国大会, pp.2063-2064, 1987.
- [6] 八木,浅田,辻, "移動カメラで撮像した環境内の運動物体の検出," 電子通信学会論文誌, Vol.J 69-D, No.5, pp.794-801, May 1986.

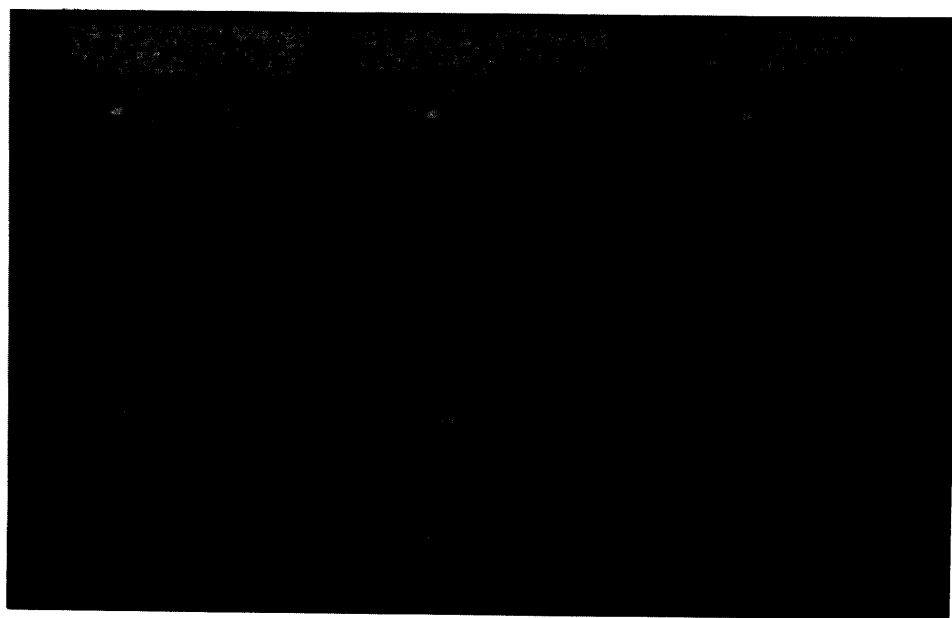


図4.2 処理領域(64×64)

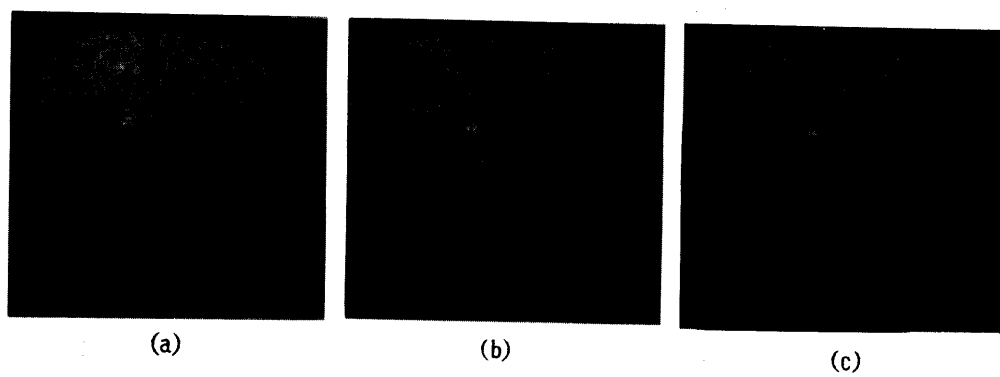


図4.3 差分画像

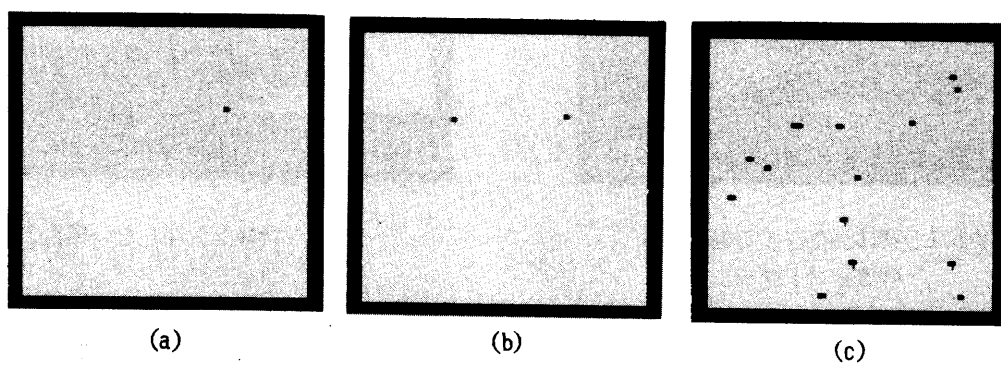


図4.4 図4.3(b)の二値化による検出結果

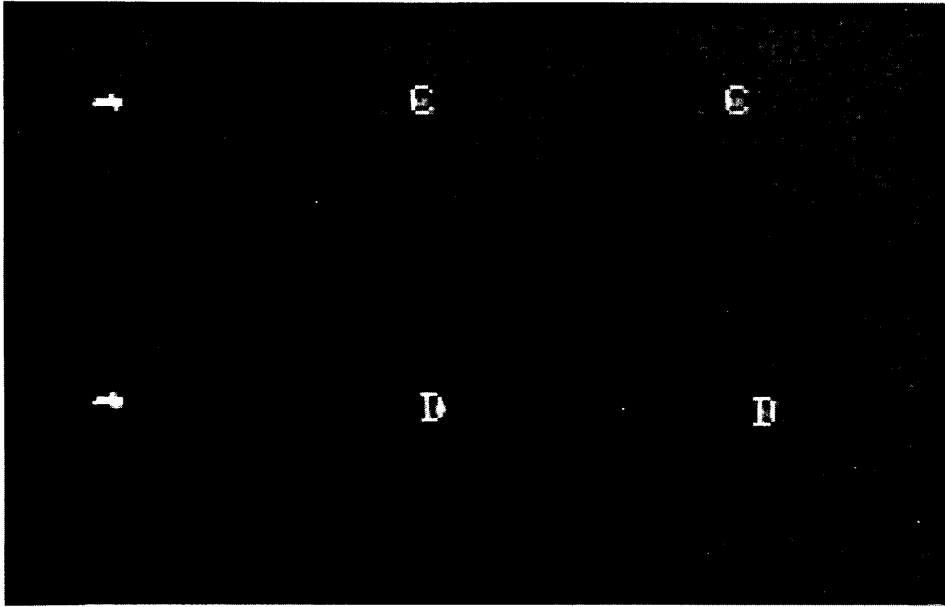


図4.5 オプティカルフローによる検出結果

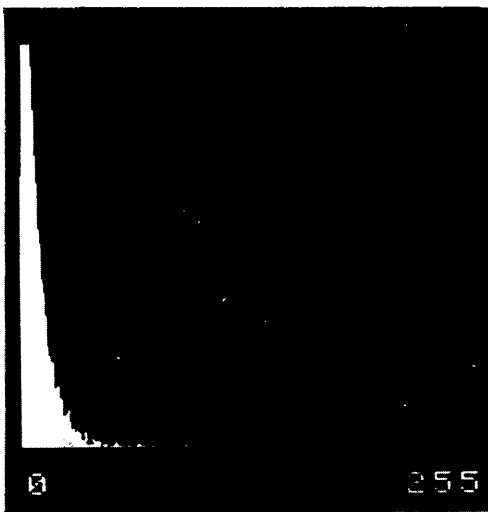


図5.1 物体が存在する場合の  
強度ヒストグラム

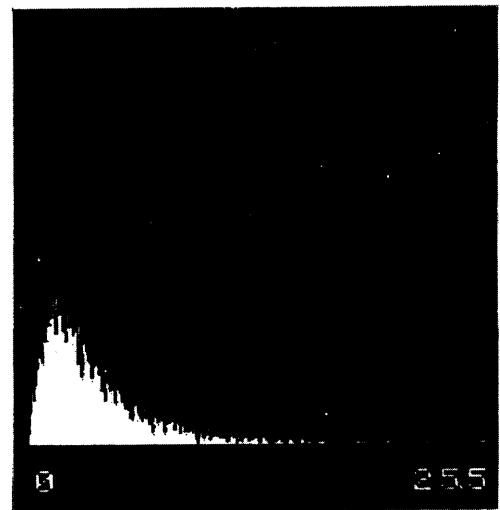


図5.2 物体が存在しない場合の  
強度ヒストグラム