

## 1次元オプティカルフローに基づく移動物体の方向の推定

片山 壽二   杉山 岳弘   阿部 圭一

静岡大学大学院 情報学研究科

抄録：本研究は、動画画像から移動物体の移動方向を高速に推定することを目的とし、それを人物検出に応用することを考えている。本手法では、最初に背景画像と入力画像のエッジ点を抽出し、入力画像のエッジ点において画像間の対応する画素のエッジ類似度を算出し、類似度の低いエッジ点を移動物体のエッジ点として抽出する。次に、抽出したエッジ点を物体ごとにグループ分けし、移動物体を構成するエッジ点の中から輪郭部分のエッジ点を抽出する。次に、輪郭部分のエッジ点において、1次元の勾配法を用い、水平・垂直方向の動きベクトルをそれぞれ独立に算出する。最後に、同じエッジ点グループの水平・垂直方向の平均動きベクトルを求め、移動物体の移動方向を推定する。また、実験により、本手法の有効性を確認する。

## Estimation of Moving Directions Using One-Dimensional Optical Flow

Hisaji KATAYAMA   Takahiro SUGIYAMA   Keiichi ABE

Graduate School of Information, Shizuoka University

**Abstract:** We propose a method for estimation of moving directions of objects from video sequences, by using one-dimensional optical flow. First, we extract edge points of the background image and an input image and detect moving edge points by evaluating edge similarities between the background image and the input image on each edge point of the input image. Second, we group those edge points into each moving object and construct a set of moving contour edge points for each object. Third, for each contour edge point we calculate horizontal and vertical motion vectors independently by using one-dimensional spatial and temporal gradients. Finally, we estimate moving directions by averaging horizontal and vertical motion vectors and composing them for each moving object.

## 1 はじめに

近年、防犯と安全性の向上のため、学校をはじめとする公共施設、金融機関・コンビニエンスストアなどの店舗に加え、ホテルや病院など多くの場所に監視カメラが設置されている。しかし、監視業務の大部分は人間の目視判断に頼っているのが現状である。そこで、カメラで撮影された連続画像から移動物体を検出する研究が盛んに行われている [1] ~ [3]。

移動物体の検出には、背景差分法やフレーム間差分法を用いるのが一般的である。特に背景差分法は、室内のような背景がほとんど変化しない整備された環境下では有効な手法といえる。しかし、屋外のような背景が変化する環境下では背景が刻々と変化し、前もって取得した背景画像と入力画像の背景に違いが生じて、検出対象以外のものを誤検出してしまうという問題がある。この問題を解決するために、背景画像を適応的に更新する手法 [4] や背景変化に対応させる手法 [5] などが提案されている。また、フレーム間差分法は時間的に近接した画像を用いるため、環境の変化にある程度対応することができるが、この手法は物体の移動を検出するため、静止した物体を検出することはできない。

上記の手法以外に、オプティカルフローを用いる手法として、オプティカルフローの信頼性情報から移動物体を検出する手法 [6] や画像全体でオプティカルフローを抽出し、空間的にまとまりをもって分布するフローを統合して移動物体を抽出する手法 [7] が提案されている。しかし、上述の差分法より処理に時間がかかり、実時間処理を行うには特別なハードウェアが必要となる。

以上の研究の現状から、本研究では背景が変化する状況、例えば雪が降っていたり木の葉が散っている状況において、動画像から人物検出を行うことを目的とする。本研究では、人物を判定する1つの手段として移動方向という特徴量を用いる。そこで、本稿では、移動物体の移動方向の推定を特別なハードウェアを用いないで高速に行う手法を提案する。

移動物体の移動方向を推定するには、動きベクトル(オプティカルフロー)を求める必要が

ある。従来の手法では、基本的に対応点を求めることにより動きベクトルを求めていたが、この手法には、間違っただ対応付けがされる場合があることや、計算量が多く処理に時間がかかるなどの欠点がある。そこで、本稿では、1次元のオプティカルフローに基づく移動物体の移動方向の推定手法について述べ、実験によりその有効性を確認する。

本研究ではなるべく簡易なシステムを目標としているので、固定カメラ1台を使用し、回転やズームは行わないものとする。また、対象とする画像は濃淡画像である。

## 2 基本的な考え方

本研究の目指している応用では、移動物体を構成する各点において正確な移動方向を求める必要はなく、物体全体としての移動方向が分かればよいので、1次元の勾配法を用いて近似的に動きベクトルを求めることにする。また、動きベクトルは、濃度が急激に変化する位置において正確に求まるので、移動物体の輪郭部分のエッジ点のみにおいて求めることにする。

本手法の特徴は、1次元の勾配法を用い、明るさの空間的勾配と時間的勾配から、動きベクトルの水平・垂直成分(以後、水平・垂直方向の動きベクトル)をそれぞれ独立に求め、合成することにより動きベクトルを求めることである。つまり、本手法では対応点を求める必要がなく、単純な計算かつ少ない計算量で動きベクトルを求めることができるので、従来の手法に比べて処理速度が速くなる。ここで、本手法の処理の流れを図1に示す。

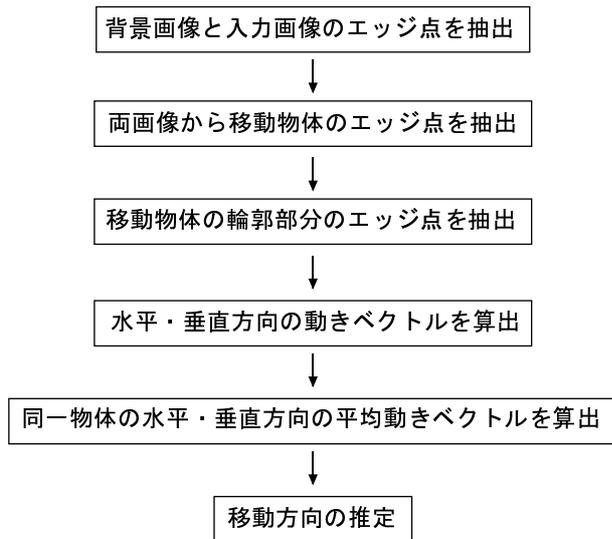


図 1: 本手法の処理の流れ

### 3 手法の説明

#### 3.1 前処理

ここでは、移動物体の移動方向の推定の前処理について述べる。前処理では、移動物体の輪郭部分のエッジ点の抽出を行う。最初に、前処理の流れについて述べる。次に、基本処理である、エッジ点抽出、エッジ選択処理、輪郭生成処理について述べる。

##### 処理の流れ

最初に、移動物体が映っていない画像を背景画像として取得し、エッジ点を抽出する。次に、入力画像を取得し、同様にエッジ点を抽出する。次に、入力画像のエッジ点に注目し、背景画像と入力画像のそれぞれのエッジ画像間でエッジ選択処理を行い、移動物体を構成するエッジ点のみを抽出する。得られたエッジ点に対し、輪郭生成処理を行い、移動物体の輪郭部分を生成する。最後に、生成された輪郭部分において実際に抽出されたエッジ点のみを抽出し、移動物体の輪郭部分のエッジ点を得る。

##### エッジ点抽出

エッジ点の抽出は、まず Sobel オペレータ (3×3) を用いてエッジの強度と方向を算出する。

本稿では、エッジの方向をエッジ点により構成されるエッジに対してその法線方向と定義する。次に、非極大点の消去を行い、エッジ点候補を抽出する。最後に、得られたエッジ点候補に対し、エッジ強度に対するしきい値処理を行い、エッジ点を抽出する。

##### エッジ選択処理

エッジ選択処理 [8] は、2 枚のエッジ画像を一方のエッジ画像に注目して比較し、注目したエッジ画像には存在するが、もう一方のエッジ画像には存在しないエッジ点を抽出する処理である。通常、画像間の対応する画素のエッジの特徴量 (強度と方向) が似ている場合、それらは同一のエッジ上のエッジ点と考えられる。そこで、画像間の対応する画素のエッジの類似の程度を表すエッジ類似度  $S(x, y)$  を導入し、以下のように定義する。

$$S(x, y) = S_{int}(x, y) \times S_{dir}(x, y) \quad (1)$$

$S_{int}$  はエッジの強度の類似度、 $S_{dir}$  はエッジの方向の類似度であり、以下の式で表される。

$$S_{int}(x, y) = \frac{\min\{h_A(x, y), h_B(x, y)\}}{\max\{h_A(x, y), h_B(x, y)\}} \quad (2)$$

$$S_{dir}(x, y) = \frac{\vec{h}_A(x, y) \cdot \vec{h}_B(x, y)}{h_A(x, y) \times h_B(x, y)} \quad (3)$$

ここで、 $\cdot$  は内積を、 $\vec{h}_A(x, y)$ ,  $\vec{h}_B(x, y)$  はそれぞれ画像 A, B の画素  $(x, y)$  におけるエッジベクトルを表す。エッジベクトルとは、エッジの特徴量をベクトル  $\vec{h}(x, y)$  で表したもので、 $h_x(x, y)$  はエッジの水平成分、 $h_y(x, y)$  はエッジの垂直成分を表す。また、式 (5) が示すように、エッジベクトルの大きさがエッジの強度  $h(x, y)$  を表す。

$$\vec{h}(x, y) = (h_x(x, y), h_y(x, y)) \quad (4)$$

$$h(x, y) = \sqrt{h_x^2(x, y) + h_y^2(x, y)} \quad (5)$$

式 (1) ~ (3) によって決定されるエッジ類似度は、-1 から 1 の間の値をとり、似ている場合ほど 1 に近くなる。エッジ選択処理では、このエッジ類似度に対してしきい値処理を行い、移動物体を構成するエッジ点のみを抽出する。

## 輪郭生成処理

輪郭生成処理は、移動物体を構成するエッジ点から移動物体の輪郭部分を生成する処理である。輪郭部分の生成は、まずエッジ選択処理されたエッジ点に膨張処理を2回加える。次に、穴埋め処理を行い、複数の移動物体を区別するために8近傍連結成分へのラベリングを行う。ここで、各連結成分に対して面積を用いたしきい値処理を行い、雑音によるエッジ点によって生成されたと見なされる小さな連結成分を除去する。最後に、収縮処理を2回行った画像と3回行った画像の排他的論理和をとることにより輪郭部分のみを抽出し、移動物体の輪郭部分を生成する。

### 3.2 移動方向の推定

ここでは、移動物体の移動方向の推定方法について述べる。最初に、動きベクトルの算出に用いる1次元の勾配法の原理を示す。次に、本手法における動きベクトルの算出方法について述べる。最後に、移動物体の移動方向の推定方法について述べる。

#### 1次元の勾配法の原理

勾配法は、「微小空間において輝度勾配が一定である」という前提条件のもと、明るさの空間的勾配と時間的勾配から動きベクトルを算出する方法である。図2は、 $x$ 方向の断面における濃度変化を表しており、 $y$ 方向には濃度一定と仮定する。以下、画素位置 $i$ において動きベクトルを算出する方法を述べる。グラフの2本の直線は、それぞれ時刻 $k-1$ と $k$ での各画素の濃度値を連続的に表したものである。このとき、位置 $i$ においての明るさの時間的勾配は図中のA、空間的勾配は図中のBとなる。よって、動きベクトル $m$ は、次式から求めることができる。

$$m = \frac{x_i(k-1) - x_i(k)}{x_i(k) - x_{i-1}(k)} \quad (6)$$

$x_i(k)$  は  $k$  フレームにおける位置  $i$  での濃度値である。

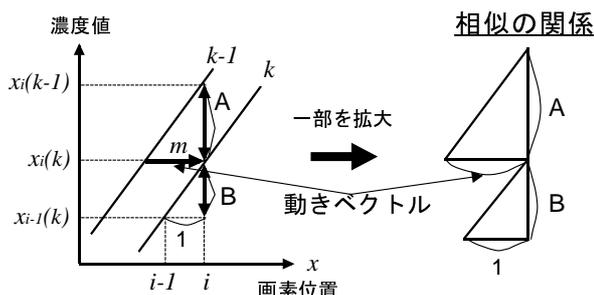


図 2: 1次元の勾配法

#### 動きベクトルの算出

本手法では、入力画像とその前後のフレーム画像から動きベクトルを算出する。まず前処理として、上記の3枚の画像を移動平均フィルタ(5×5)を用いて平滑化する。これは、1次元の勾配法的前提条件に合うように、エッジ点付近で近似的にステップ状になっている濃度勾配を滑らかな勾配にするためである。これにより、算出した動きベクトルの正確さの向上と雑音による影響の減少を図る。次に、Sobel オペレータを用いて明るさの空間的勾配を求める。時間的勾配については、Sobel オペレータを時系列空間に適用して求める。図3, 4は、連続する画像の同じ画素位置の3×3画素分を表しており、両図(b)の中心画素において明るさの時間的勾配を求めるときの重みを示している。

|  |   |  |  |   |  |  |    |  |
|--|---|--|--|---|--|--|----|--|
|  | 1 |  |  | 0 |  |  | -1 |  |
|  | 2 |  |  | 0 |  |  | -2 |  |
|  | 1 |  |  | 0 |  |  | -1 |  |

(a) 前フレーム画像 (b) 入力画像 (c) 次フレーム画像

#### 図 3: 動きベクトルの水平成分を算出する場合

|   |   |   |  |   |   |   |  |          |
|---|---|---|--|---|---|---|--|----------|
|   |   |   |  |   |   |   |  |          |
| 1 | 2 | 1 |  | 0 | 0 | 0 |  | -1 -2 -1 |
|   |   |   |  |   |   |   |  |          |

(a) 前フレーム画像 (b) 入力画像 (c) 次フレーム画像

#### 図 4: 動きベクトルの垂直成分を算出する場合

動きベクトルを算出する画素  $(x, y)$  において、動きベクトルの水平・垂直成分を算出する明る

さの空間的勾配をそれぞれ  $\Delta h(x, y)$ ,  $\Delta v(x, y)$ 、時間的勾配をそれぞれ  $\Delta t_h(x, y)$ ,  $\Delta t_v(x, y)$  とすると、動きベクトル  $\vec{m}v(x, y)$  の水平成分と垂直成分は、次式から求めることができる。

$$\vec{m}v(x, y) = \left( \frac{\Delta t_h(x, y)}{\Delta h(x, y)}, \frac{\Delta t_v(x, y)}{\Delta v(x, y)} \right) \quad (7)$$

ただし、動きベクトルを算出する画素において、エッジの方向が水平方向の場合は動きベクトルの垂直成分の値を、垂直方向の場合は水平成分の値を 0 とする。これは、動きベクトルの各成分を正しく算出できないためである。ただし、エッジの方向の水平・垂直の判定にはそれぞれ  $\pm 5^\circ$  の許容範囲を設ける。

#### 移動方向の推定

本手法では、最初に前処理で抽出した移動物体の輪郭部分のエッジ点において、水平・垂直方向の動きベクトルを算出する。次に、同一の移動物体の輪郭部分において求めた動きベクトルの集合から水平・垂直方向の平均動きベクトルを求め、それらを合成することにより移動物体の移動方向を推定する。

## 4 実験結果

ここでは、本手法の有効性を確認するための円形物体の移動方向の推定実験と、人物と雪の移動方向の推定実験について述べる。

実験結果 (図 5 ~ 図 7) では、それぞれ左側の画像が動画から取り出した連続する 6 フレーム分の画像、右側の画像が実験結果を示す画像である。例えば、frame 15 の結果画像は、frame 15 から frame 16 にかけて移動する物体の移動方向の推定結果を示している。実験結果の黒い点は、本手法で抽出した移動物体の輪郭部分のエッジ点、つまり動きベクトルを算出したエッジ点を表している。また、四角の点から伸びている線分の方向は次フレームにおける移動方向の推定結果を、線分の長さは移動量に比例した量を表している。

### 4.1 円形物体の移動方向の推定

移動物体の輪郭部分のエッジ点が正確に抽出できる状況において検討するために、折り紙で作成した円形の物体を移動させて移動方向の推定実験を行った。実験結果を図 5 に示す。

実験の結果を目視で判断すると、移動方向を正確に推定できていると言える。ここでは、移動物体の形状が円形のものについて示したが、正三角形と正方形のものに対しても同様の実験を行い、移動方向を正確に推定できることを確認した。

### 4.2 人物の移動方向の推定

人物以外はすべて静止している室内において、横方向に移動する人物の移動方向の推定実験を行った。実験結果を図 6 に示す。

移動方向の推定結果には、最大約  $\pm 30^\circ$  の誤差が生じてしまった。これの主な原因は、人物は歩くときに足を動かすため (実験条件として手は静止) であると考えられる。これを考慮に入れて実験の結果を目視で判断すると、移動方向を推定できているといえる。

移動方向の推定の精度が落ちる原因として、人物の影によるエッジ点を人物のエッジ点として分類し、足の輪郭部分において動きベクトルを算出できていないことも原因と考えられる。また、frame 16 の結果において移動方向の推定結果が 2 つあるのは、足の輪郭部分のエッジ点が正確に抽出できていないため、人物が上半身と下半身に分断され、それぞれの移動方向を推定した結果である。これは、膨張・収縮回数を増やせば解決できる問題ではあるが、回数を増やすと余分なエッジ点も人物のエッジ点に含めてしまうので、移動方向の推定結果に悪影響を及ぼすという弊害が生じる。これらの問題を考えると、人物は上半身のみで移動方向を推定した方が正確な結果が得られると推測できる。

### 4.3 雪の移動方向の推定

風があまり吹いていない日の屋外において、雪の移動方向の推定実験を行った。ただし、地

理的に雪がほとんど降らないので、雪は手芸綿で代用した。実験結果を図7に示す。

実験の結果を目視で判断すると、雪が地面付近にある場合はある程度正確に移動方向を推定できているが、雪が画像上部の白い空付近にある場合は移動方向の推定の精度が落ちている。これは、白い空付近では雪と空の濃度にあまり差がなく、明るさの時間的勾配と空間的勾配が正しく得られないため、移動方向の推定の精度が落ちると考えられる。

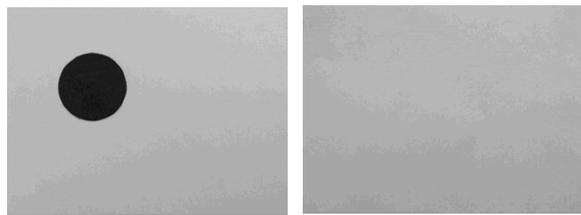
## 5 まとめ

本稿では、1次元のオプティカルフローに基づく移動物体の移動方向の推定手法を提案した。実験の結果、移動物体の輪郭部分のエッジ点を正確に抽出でき、その点において動きベクトルを算出することができれば、本手法は移動物体の移動方向の推定に有効であることを確認した。

今後の課題は、手法を改良し、移動方向の推定の精度を向上させることと、物体が交差する場合に対応させることである。さらに、さまざまな状況における人物検出に応用することである。

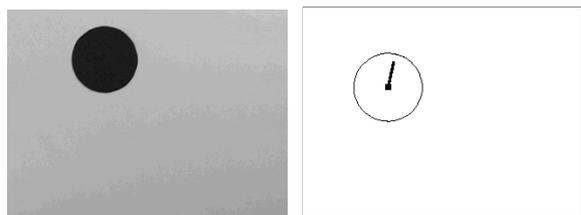
## 参考文献

- [1] 江島, 馬場, 松尾, 林, 郷原, “頭部検出システム HeadFinder を用いた人物追跡”, 信学技報, PRMU2000-102, 2000.
- [2] 高嶋, 蓬原, 大橋, 乃万, 江島, “実時間人物追跡システム Ptracker”, 信学技報, PRMU99-33, 1999.
- [3] 波部, 和田, 松山, “照明変化に対して頑強な背景差分法”, 情処研報, CVIM-115-3, 1999.
- [4] 島井, 三島, 栗田, 梅山, “移動物体検出のためのロバスト統計を用いた適応的な背景推定法”, 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2000 Vol.II, pp.391-396, 2000.
- [5] 山田, 伊藤, 上田, “背景差分法における波の誤検出抑制法の検討”, 信学技報, PRMU98-109, 1998.
- [6] 太田, “信頼性情報をもったオプティカルフローからの形状復元とその移動物体検出への応用”, 信学論 D-II, Vol.J76-D-II, No.8, pp.1562-1571, 1993.
- [7] 長井, 久野, 白井, “複雑背景下における移動物体の抽出”, 信学論 D-II, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1086-1095, 1997.
- [8] 杉山, 渡辺, 中谷, “エッジベクトルとエッジの信頼度を用いた移動物体の検出”, 信学技報, PRMU2001-16, 2001.



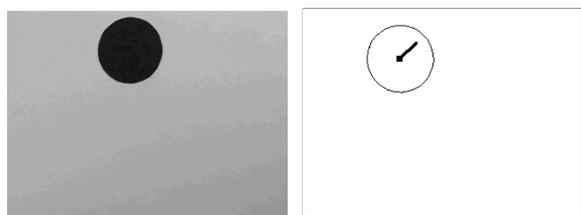
frame 25

背景画像



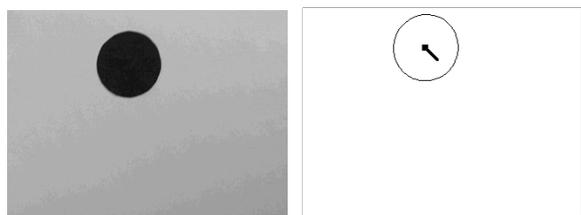
frame 26

frame 25 の結果



frame 27

frame 26 の結果



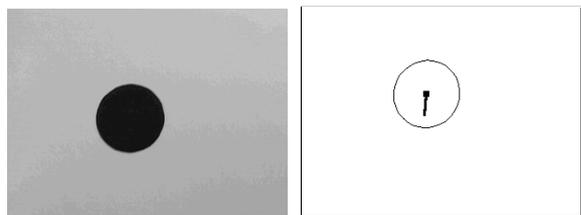
frame 28

frame 27 の結果



frame 29

frame 28 の結果



frame 30

frame 29 の結果

図 5: 円形物体の移動方向の推定結果



frame 15

背景画像



frame 16

frame 15 の結果



frame 17

frame 16 の結果



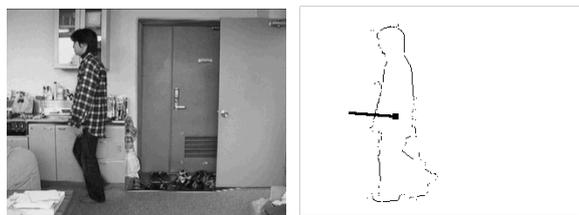
frame 18

frame 17 の結果



frame 19

frame 18 の結果



frame 20

frame 19 の結果

図 6: 人物の移動方向の推定結果



frame 257

背景画像



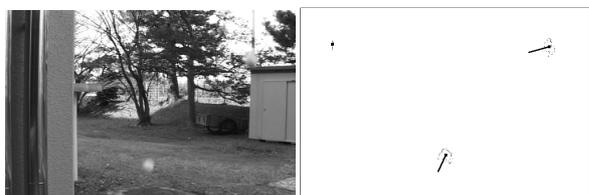
frame 258

frame 257 の結果



frame 259

frame 258 の結果



frame 260

frame 259 の結果



frame 261

frame 260 の結果



frame 262

frame 261 の結果

図 7: 雪の移動方向の推定結果