

歩行者挙動モデルを導入した人物追跡手法に関する検討*

A Study on Multiple Human Tracking with Pedestrian Behavior Model*

布施孝志**

By Takashi FUSE

1. はじめに

商業施設における顧客動線の取得によるマーケティング分析、駅構内や横断歩道といった公共空間での人物の動きの解析、その結果に基づく施設設計や流動制御への応用等、多岐にわたる分野において、詳細な人物の動きの観測に対する需要が高まっている。これらの応用対象は、比較的狭域において、複数人物が存在している状況での個々人の動きを認識しなくてはならない。

狭域における人物の動きを観測するために、従来は一般的に、ビデオカメラによる観測が行われてきた。ビデオカメラによる観測では、低コスト、多数の設置可能性、目視判定の容易さが利点である一方、取得した色情報のみを用いるため、人物相互の遮蔽（オクルージョン）が発生した場合には、追跡が困難となる。オクルージョンの問題に対処するために、レーザスキャナを用いた距離情報による人物抽出手法も開発されている¹⁾。さらには、色情報と距離情報とを同時に取得可能なステレオビデオカメラによる追跡手法の開発も行われている²⁾。

ステレオビデオカメラを用いた色情報と距離情報の両者に基づく手法では、オクルージョンに対して頑健かつ同一人物の同定が可能であるという優位性をもつ。しかしながら、この手法においては、歩行者の挙動特性等は考慮されていない。ここで、歩行者の挙動特性を導入することにより、より安定した人物追跡が可能となることが期待される。

以上の背景の下、本研究は、ステレオビデオカメラによる追跡手法に対して、歩行者挙動モデルを導入し、複数人物追跡の可能性を検討することを目的とする。

2. 一般状態空間モデル

人物の追跡において、色情報や距離情報を扱い、かつ歩行者挙動モデルを統合することに適した手法が必要と

なる。本要件に合致した手法の一つとして、本研究では、一般状態空間モデル³⁾を基礎手法とする。一般状態空間モデルでは、人物位置（状態量）の推定を、過去の観測値に基づいた予測値と現在の観測値から最適な推定値を求めるパーティクルフィルタ⁴⁾により実現する。パーティクルフィルタは、画像解析の分野においても、動物体認識のための手法として、近年、特に注目されているものである。

一般状態空間モデルは、時刻 t における観測可能な観測ベクトル \mathbf{z}_t （例えば、色や距離等）と観測不可能な（観測できないものとする）状態ベクトル \mathbf{x}_t （例えば、人物の位置等）から構成される。これらは確率変数であり、時刻 $t-1$ から時刻 t の状態ベクトルの関係を表現するシステムモデル、観測ベクトルと状態ベクトルとの関係を表現する観測モデルに従う。時刻 t における観測ベクトルが得られる毎に、パーティクルフィルタにより、逐次、最適な状態ベクトルを推定する。

ここで、時刻1から t までの観測量を $\mathbf{z}_{1:t} = \{\mathbf{z}_1, \dots, \mathbf{z}_t\}$ と表すと、ベイズの法則より、事後確率 $p(\mathbf{x}_t | \mathbf{z}_{1:t})$ は、下記の通り展開される。

$$\begin{aligned} p(\mathbf{x}_t | \mathbf{z}_{1:t}) &\propto p(\mathbf{z}_t | \mathbf{x}_t) p(\mathbf{x}_t | \mathbf{z}_{1:t-1}) \\ &= p(\mathbf{z}_t | \mathbf{x}_t) \int p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1}) p(\mathbf{x}_{t-1} | \mathbf{z}_{1:t-1}) d\mathbf{x}_{t-1} \end{aligned} \quad (1)$$

右辺における、 $p(\mathbf{z}_t | \mathbf{x}_t)$ 、 $p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1})$ がそれぞれ観測モデルとシステムモデルに対応する。

本研究では、観測ベクトルは、ステレオビデオカメラから得られる各画素 (i, j) の画素値 (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}) と対応する3次元座標 (X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}) とする。すなわち、時刻 t における観測ベクトルは、 $\mathbf{z}_t = (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}, X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})$ である。状態ベクトルを定義するために、追跡対象とする人物を楕円体モデルで表現する。楕円体の中心を (x, y, z) 、各軸の長さを (w, h, d) 、さらに、人物の移動速度を (v_x, v_y, v_z) とすれば、時刻 t における状態ベクトルは、 $\mathbf{x}_t = (x_t, y_t, z_t, w_t, h_t, d_t, v_{xt}, v_{yt}, v_{zt})$ で表される。

3. システムモデル

システムモデル $p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1})$ は、時刻 t の状態ベクトル \mathbf{x}_t と1期前の状態ベクトル \mathbf{x}_{t-1} との関係を確率的に表現し

*キーワード：人物追跡、動画像解析、歩行者挙動モデル

**正員、博士（工学）工博、国土技術政策総合研究所

（茨城県つくば市大字旭1、

TEL: 029-864-7492、E-mail: fuse-t92ta@nilim.go.jp）

たものである。このシステムモデルに歩行者挙動モデルを導入する。歩行者挙動モデルとしては、セルオートマトンに基づくモデルや離散選択モデルなどが挙げられる。両者とも、人物の相互作用を考慮した挙動モデルが構築されている。セルオートマトンは、そのモデル化が簡便である一方、離散選択モデルでは、より多くのパラメータにより細かな挙動の再現が可能である。本研究では、システムモデルとして、離散選択モデルを採用する。

離散選択モデルによる歩行者挙動モデルは、既往の研究⁵⁾に基づくものとする。このモデルでは、図-1のように空間を離散化し、歩行者が次の瞬間に向かう角度と歩行速度を選択肢とし、Cross-Nested Logitモデルを用いる。選択肢集合 C に存在する選択肢 i の選択確率は、次式となる。

$$P(i|C) = \frac{\sum_{m=1}^M \left(\sum_{j \in C} \alpha_{jm}^{\mu_m/\mu} y_j^{\mu_m} \right)^{\mu}}{\sum_{n=1}^M \left(\sum_{j \in C} \alpha_{jn}^{\mu_n/\mu} y_j^{\mu_n} \right)^{\mu}} \frac{\alpha_{im}^{\mu_m/\mu} y_i^{\mu_m}}{\sum_{j \in C} \alpha_{jm}^{\mu_m/\mu} y_j^{\mu_m}} \quad (2)$$

右辺前半部分が M 個のネストからのあるネストの選択確率であり、後半部分があるネストを選択した場合のその中に存在する選択肢を選択する条件付確率である。この選択確率をシステムモデルとする。

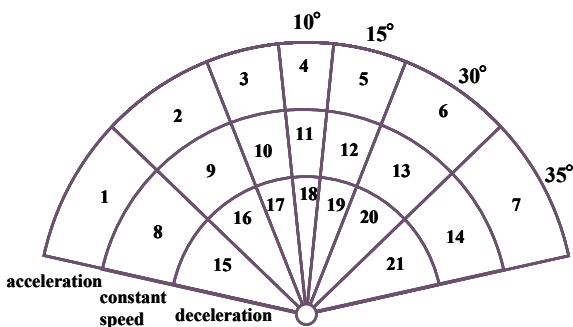


図-1 離散選択モデルにおける選択肢の定義

4. 観測モデル

観測モデル $p(\mathbf{z}_t|\mathbf{x}_t)$ は、観測ベクトルと状態ベクトルの関係を確率的に表現したものであり、尤度に相当する。本研究では、色情報を用いた観測モデルと距離情報を用いた観測モデルをそれぞれ定義し、それらを統合することにより、観測モデルを決定する²⁾。

色情報を用いた観測モデルでは、時刻 $t-1$ における人物位置周辺の色分布と時刻 t において予測された人物位置周辺の色分布との類似度に従って確率を与えるように設定する。ステレオビデオカメラにより、各画素に対応する3次元座標が得られているため、楕円体モデル内

部に存在する地点に対応する画素を判別することが可能である。時刻 $t-1$ における楕円内部の色分布と時刻 t において予測された楕円内部の色分布を比較することにより、色情報を用いた観測モデルを計算する。追跡対象人物には、オクルージョンが発生していることから、色分布の比較には、カラーヒストグラムの相関係数である Bhattacharyya 係数を採用する。

距離情報を用いた観測モデルを計算するために、楕円体モデル内部に存在する地点の3次元座標と楕円体モデル表面の3次元座標を比較する。ステレオビデオカメラより得られた距離画像より、時刻 t における楕円体モデルの内部に存在する地点を抽出する。また、楕円体中心から抽出された点方向への線分を延長し、楕円体モデル表面と交わる地点を求める。楕円体中心から两点の距離の差分をの総和を距離情報の観測モデルと定義する。

色情報を用いた観測モデルと距離情報を用いた観測モデルが得られたならば、両者の積をとることにより、最終的な観測モデルとする。

5. おわりに

本研究では、色情報と距離情報を統合した複数人物追跡手法に対し、歩行者挙動モデルを導入した。適用結果は、発表時に公開する予定である。本研究で提案した手法は、あくまで基礎手法に過ぎない。今後、実際の駅構内や横断歩道といった、更に多数の人物が存在している公共空間における適用を考えた場合、例えば、人物の出現・消失を考慮した手法への発展などが考えられる。具体的には、人物の出現・消失には、画像周縁部における距離情報の変化を計算することにより、その判定が可能であることが予想される。更には、人数をも状態量として含めた手法への発展も考えられる。

参考文献

- 1) 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴木尚毅: 複数のレーザレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-D-II, No.7, pp.1143-1152, 2005.
- 2) 布施孝志, 母里明陽: ステレオビデオカメラによる複数人物追跡の可能性, 応用測量論文集, Vol.20, pp.15-22, 2009.
- 3) 伊庭幸人, 種村正美, 大森裕浩, 和合肇, 佐藤整尚, 高橋明彦: 計算統計II: マルコフ連鎖モンテカルロ法とその周辺, 岩波書店, 2005.
- 4) 北川源四郎: 時系列解析入門, 岩波書店, 2005.
- 5) 松山宜弘: 離散選択モデルを用いた歩行者挙動分析, 東京工業大学土木工学科卒業論文, 2009.