

# 隠れマルコフモデルによる歩行パターンからの目的地推定

○西村 彬宏<sup>†</sup>, 森下 壮一郎<sup>‡</sup>, 浅間 一<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup>東京大学大学院 工学系研究科, <sup>‡</sup>東京大学 人工物工学研究センター

## Estimation of Destination from Walking Patterns using Hidden Markov Model

○Akihiro NISHIMURA, Soichiro MORISHITA and Hajime ASAMA

<sup>†</sup>School of Engineering, The University of Tokyo, <sup>‡</sup>Research into Artifacts, Center for Engineering

**Abstract:** In order to provide user-focused services to walking persons, we propose the method to estimate their destination from walking patterns. We take trajectory of walking persons by fixed camera. Then, we assume that there are systems which correspond to each movement pattern and a walking pattern is output from one of these systems. They are described with Hidden Markov Model(HMM), and the parameters are decided from walking patterns which its destination is known. We estimate the person's destination calculating likelihood of walking patterns for each HMM with these parameters.

### 1. はじめに

知能化された環境を歩行中の人物に効果的なサービスを提供するためには、その人物の意図を知ることが必要である。特にリアルタイムでサービスを提供するためには、その人物の行動が完了する前に、意図を推定できることが望ましい。

意図推定のために、小川原ら[1]は視線運動から LEGO 組み立てにおける迷いの検出を行い、人間の意図と作業に関する事前知識に合致する適切な行動を推定した。また池田ら[2]は人の表情を客観的かつ定量的に記述する手法を確立し、表情と心理状態を関連づけるための表情評価モデルを提案した。

しかしこれらの方法を、環境内を移動する人物の意図推定に用いるにはカメラ角度などの拘束条件が強すぎるのが問題となる。本稿では、あらかじめ建物に備え付けられた固定カメラにより人の動きを観察し、その移動軌跡からその人物がどこに向かおうとしているかを推定する手法を提案する。

### 2. HMM を用いた歩行パターンからの目的地推定

#### 2.1 歩行パターンと行動パターン

本稿では目的地に向かう人の時系列データを歩行パターン  $(o_1, o_2, \dots, o_t)$  と呼ぶ。また環境内で出発点や目的地の候補となる地点をあらかじめ設定しておき、その内の出発点と目的地の組を行動パターンと呼ぶ。

目的地に到着するまでの歩行パターンを観察すれば、行動パターンを決定できる。しかし、リアルタイムのサービス提供という観点からは、事前に目的地推定を行うことが望ましい。つまり、歩行パターンを途中まで見たときにどの行動パターンに対応するかを考える必要がある。

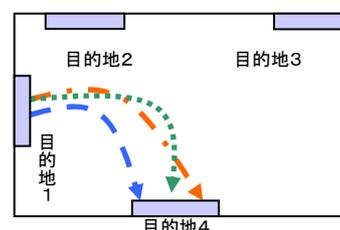


Fig.1 The example of walking patterns of a movement pattern

#### 2.2 隠れマルコフモデル

歩行パターンの特徴として、歩く速さに依存する時間軸方向に伸縮するデータであることが挙げられる。また一つの行動パターンに複数の歩行パターンが対応する。本研究では、このような性質を持つデータを処理するために、音声認識などでよく用いられている HMM (隠れマルコフモデル) を適用する。

HMM とは、状態数、出力数が与えられた時、初期状態確率  $\pi$ 、状態遷移確率  $A$ 、出力確率  $B$  により定められる状態遷移モデル  $\lambda = (A, B, \pi)$  である。

$$A = \{a_{ij} \mid a_{ij} = P(S_{t+1} = j, S_t = i)\} \quad (1)$$
$$B = \{b_i(O_t) \mid b_i(O_t) = P(O_t \mid S_{t-1} = i, S_t = j)\} \quad (2)$$
$$\Pi = \{\pi_i = P(S_1 = i)\} \quad (3)$$

本稿では、各行動パターンに対応した HMM  $\lambda_k$  が歩行パターンを出力するモデルとする。

#### 2.3 目的地推定までの流れ

##### 2.3.1 HMM のパラメータ推定

行動パターンごとに HMM を設定し、モデルパラメータを推定する。Baum-Welch アルゴリズムにより、観測された出力

(本研究においては歩行パターン)に応じたパラメータを求める。

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{\sum_{i=1}^N \alpha_T(i)} \quad (4)$$

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i, j) \quad (5)$$

ただし、 $\alpha_t(i)$ は時刻 $t$ で状態 $i$ にありその時刻までの系列を出力する確率、 $\beta_t(i)$ は時刻 $t$ で状態 $i$ にありその時刻以降の系列を出力する確率とする。

$$\hat{\pi}_i = \gamma_1(i) \quad \hat{a}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \quad \hat{b}_j(k) = \frac{\sum_{t: O_t=k} \gamma_t(j)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)} \quad (6)$$

以上の更新式により、パラメータが収束するまで更新をおこなう。また本稿では、複数の歩行パターンによるパラメータ推定をおこなうため、それぞれの出力ごとに求められる $\alpha_t(i), \beta_t(i), \gamma_t(i)$ を用いた。

### 2.3.2 未知の歩行パターンについて尤度計算

Viterbiアルゴリズムにより、パラメータ既知のHMM  $\lambda_k$ において、観測された歩行パターンが各行動パターンに適合するとした時の尤度 $p(o_i(i=1, \dots, t) | \lambda_k)$ を求める。

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(O_1) \quad (7)$$

$$\alpha_{t+1}(j) = \left[ \sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1}) \quad (8)$$

$$p(o_i(i=1, \dots, t) | \lambda_k) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i) \quad (9)$$

### 2.3.3 行動パターンの推定

上記で求めた尤度の最大値 $\max(p(o_i(i=1, \dots, t) | \lambda_k))$ をとるHMMに対応した行動パターンを推定結果とする。

## 3. 目的地推定実験

### 3.1 目的地推定実験環境

東京大学柏キャンパス図書館玄関口にカメラを設置し、歩行中の人物の移動軌跡から目的地推定を行った。出発点や目的地の候補として{入り口, 階段, 右奥, カンファレンスルーム, 廊下(左)}の5つを設定した。今回は入り口から入ってくる人の目的地推定を行った。

HMMの状態数は3, 構造はleft-to-right型モデルとした。また下図のように、環境を適当な大きさのセルに分け、歩行パターンを単位時間ごとに離散化している。



Fig.2 Entrance of Kashiwa Library

### 3.2 目的地推定実験

行動パターンごとに事前に分類した歩行パターンを用いてHMMのパラメータを推定した。そして行動パターンが未知の歩行パターンの目的地を推定した。

### 3.2 目的地推定実験結果

観測された行動パターンは次の4通りであった。

- A) 入り口→カンファレンスルーム (8人)
- B) 入り口→右奥 (7人)
- C) 入り口→階段 (5人)
- D) 入り口→廊下(左) (3人)

完全な歩行パターンからは、すべて正しい目的地が得られた。したがって目的地に到着するまで歩行パターンを観察すれば行動パターンを決定できることが確認できた。

一方、行動が完了する前の歩行パターンでは正しく推定できない場合があった。例えば、『入り口→右奥』という行動パターンをとった歩行パターンが{QQQQQQQQQQRR...}であったとき、最初Qが続いている間では目的地は正しく推定されるが、Rに移ったときに『入り口→階段』という行動パターンに対応する尤度が高くなった。

## 4. 終わりに

本稿では、歩行中の人物に効果的なサービスを提供するための、歩行パターンからの目的地推定手法を提案した。完全な歩行パターンからは正しい目的地が得られることを確認したが、行動が完了する前の歩行パターンでは正しい結果が得られない場合があった。今後、推定に必要な歩行パターンの条件や、歩行パターンを生成するためのセルの大きさや分割の仕方についても検討する必要がある。

## 5. 参考文献

- [1] 小川原光一, 崎田健二, 池内克史, 視線運動からの意図推定に基づいたロボットによる行動支援, インタラクシオン2005 情報処理学会シンポジウム, pp.103-110, Feb.2005.
- [2] 池田和外, 有馬正和, 細田龍介, 表情による快適性の評価に関する研究(第4報)ー表情の特徴抽出による基本感情の評価ー, 関西造船協会論文集, 第243号, pp.153-158, 2005.