

# マルコフ連鎖モンテカルロ法とEMアルゴリズムを用いた 床圧力センサ情報による人物位置追跡

佐藤 哲<sup>†</sup>和田 俊和<sup>††</sup><sup>†</sup> 独立行政法人 情報通信研究機構<sup>††</sup> 国立大学法人 和歌山大学

## 1 はじめに

情報通信研究機構が推進しているゆかり (UKARI: Universal Knowledgeable Architecture for Real-Life appliances) プロジェクト [1] では、多数のセンサを用いて人物と環境をセンシングし、効果的に人物にサービスを提供することを目標としている。センサの中でも床圧力センサは人物の位置を確実に取得可能と期待されるが、実際にはノイズなどの影響があり床圧力センサ情報から人物の位置をロバストに追跡することは難しい。そこで本研究では、人が住む家の中に床圧力センサが設置されていることを前提とし、マルコフ連鎖モンテカルロ法による追跡と共に、EM アルゴリズムによる追跡対象数の推定機構を導入することで、追跡対象数の増減に対応したロバストな人物位置追跡手法を提案する。

## 2 マルコフ連鎖モンテカルロ法による追跡処理

本研究で用いる床圧力センサは、他の多くのセンサが対象物体を計測するために電磁波や音波の反射を利用するのに対し、直接的に対象物体と接触することで物体の存在を計測することから、人物の存在を確実に計測可能であることが期待される。しかし床圧力センサを人物の位置追跡に利用する場合、次のような問題が発生する。

- (1) 異なる人物を計測した場合でも床圧力センサから得られる情報に違いが少なく、識別が困難である
- (2) 床圧力センサは特性上、接触疲労が起こるため、それが元でノイズが発生する

従って床圧力センサを用いる場合、ノイズや対象物体の動きに対しロバストに継続して追跡し続けることが可能なアルゴリズムを適用することが必要となる。そのために本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) に基づくモンテカルロ・フィルタ [2] による追跡アルゴリズムを採用する。

MCMC は追跡のために、対象物体の動きを表すシステムモデルと、対象物体の観測の仕方を表す観測モデルを用いる。本研究ではシステムモデルは次式を用いた。

$$x_{n+1} = x_n + v_n + \omega_n \quad (1)$$

ここで、 $x_n$  は  $n$  ステップ目の追跡対象物体の位置、 $v_n$  は過去の位置から推定した速度、 $\omega_n$  は正規分布  $N(0, \sigma^2)$  に従う白色雑音である。また、観測モデルは次式を用いた。

$$y_n = x_n + \omega'_n \quad (2)$$

ここで、 $y_n$  は観測結果として得られる追跡対象物体の位置、 $\omega'_n$  は  $\omega_n$  と同様の白色雑音である。MCMC は粒子の分布で確率分布を近似するので、図 1 のような床圧力センサ上に人が一人立っている場合は図 2 のような粒子の分布が生成される。図 2 は、人物の両足に対応した 2 箇所の圧力センサが反応している状況を示しており、重なっている 2 個の正規分布が近似されている。この粒子群を、観測値を考慮し再生成し続けることで追跡が成される。

## 3 EM アルゴリズムと MDL 原理による追跡数推定

MCMC を用いることで対象物体をロバストに追跡することができるが、我々が想定しているのは人間の生活空間の中での追跡であるので、追跡対象数が増減する場合がある。そのため本研究では、EM アルゴリズム [3] を用いて追跡対象数を動的に変化させる手法を提案する。



図 1: カーペットの下の  
床圧力センサ



図 2: 人物一人が存在す  
場合の粒子分布

Human Tracking with Floor Pressure Sensors based on a Markov Chain Monte Carlo Method and the EM-Algorithm  
Tetsu Satoh<sup>†</sup>, Toshikazu Wada<sup>††</sup>

<sup>†</sup>National Institute of Information and Communications Technology

<sup>††</sup>Wakayama University

まず、図2のような分布に対しEMアルゴリズムを適用すると、図3左のように分布を生成した確率密度関数が推定される。楕円が確率密度関数の等高線を表す。本研究では、位置  $x$  に粒子が存在する確率を表す密度関数として混合正規分布

$$p(x) = \sum_{j=1}^m \xi_j p_j(x) \quad (3)$$

を仮定する。ここで、 $\xi_j$  は個々の正規分布に対する重み、 $m$  は正規分布の数、 $p_j(x)$  は平均  $\theta_j$ 、共分散行列  $\Sigma_j$  の正規分布である。従って確率密度関数の推定とは、全ての正規分布の平均と分散及び重みを推定することである。同様に、人間が二人の場合は図3右のような推定結果が得られる。しかし、EMアルゴリズムは事前に確率密度関数の個数を指定する必要がある、個数が1又は2と正しく指定した場合は図3のような推定結果が得られるが、指定した個数が人の数に対応していなかった場合は図4のような結果が得られる。

ここで、EMアルゴリズムに対し指定した個数と、センサ情報から得られた分布が対応していないことが分かれば、それにより追跡対象数が変化したことを検出できることに注目する。床圧力センサの上に人が一人あるいは二人存在する場合に、図4よりも図3の方が確からしいと判断することができれば、確からしい方を採用して追跡対象数とし、その数だけMCMCにより追跡処理を実行することで動的な対象数変化に対応可能である。本研究では、確からしさの判定には、Minimum Description Length(MDL)原理[4]を採用する。

MDL原理は、データの生成モデルからモデルの記述長を定義し、生成モデルの下でのデータの記述長との和が最小になるようなモデルが最も確からしいと判断する原理である。モデル(3)から  $n$  個の2次元データ  $x_i$  が生成されたとすると、MDLの値は次のように表される：

$$MDL(m) = 3m \log_2 n - \sum_{i=1}^n \log_2 \left\{ \sum_{j=1}^m \xi_j p_j(x_i) \right\}. \quad (4)$$

追跡対象数の推定は、正規分布の数  $m$  を変化させてEMアルゴリズムを実行した上で式(4)を評価し、値が最小となった数  $m$  を採用することで実現される。

## 4 システム実装

本研究で用いた床圧力センサはヴェイストン社のセンサフロアシステム VS-SS-SF55 で、圧力がかかっているかどうかを2値で出力し、18cm×18cmの解像度を持つ。NICTのユビキタスホーム<sup>†</sup>にはこ

<sup>†</sup>[http://www2.nict.go.jp/jt/a135/research/ubiquitous\\_home.html](http://www2.nict.go.jp/jt/a135/research/ubiquitous_home.html)

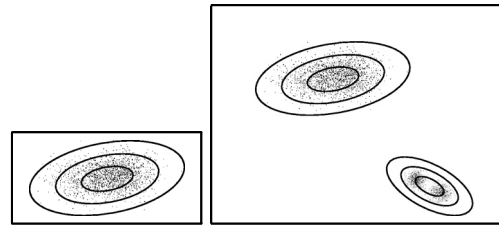


図3: 指定した追跡対象数と粒子分布の個数が一致している場合

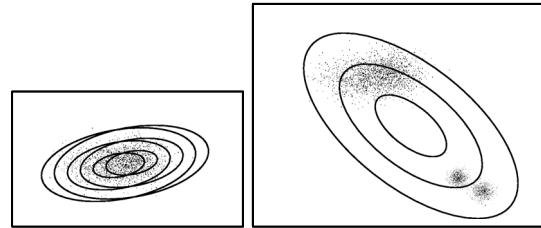


図4: 指定した追跡対象数と粒子分布の個数が不一致の場合

の床圧力センサが敷き詰められており、人間の他に家具等の情報も常時出力される。計算機は Celeron 2.50GHz (メインメモリ 512Mbyte) のPCを用いた。このような環境で、前提として3人程度までの人間が部屋に出入りし各個人が30センチ以上離れているとし、人物位置の追跡実験をした。実験結果の詳細は講演時に示す。

## 5 おわりに

本研究では、2値型床圧力センサから得られる情報から、MCMCとEMアルゴリズムを用いてロバストに複数人物の位置を追跡する手法を提案した。MCMCが出力する粒子分布に対し、EMアルゴリズムとMDL原理を組み合わせることで追跡対象数を推定し、推定した数だけMCMCを実行して対象を追跡することで、追跡対象となる人物の数の動的な変化に対応することができた。今後は複数人物の識別や向き検出に対応するために、カメラ画像処理を組み合わせる予定である。

## 参考文献

- [1] 美濃導彦: ゆかりプロジェクトの目的と概要 - UKARIプロジェクト報告 No.1 -, 第66回情処全大, 3TTC-2 (2004).
- [2] 北川源四朗: モンテカルロ・フィルタおよび平滑化について, 統計数理, Vol. 44, No. 1, pp. 31-48 (1996).
- [3] Redner, R. A. and Walker, H. F.: Mixture Densities, Maximum Likelihood and the EM Algorithm, *SIAM Review*, Vol. 26, No. 2, pp. 195-239 (1984).
- [4] Rissanen, J.: Universal Coding, Information, Prediction, and Estimation, *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. 30, No. 4, pp. 629-636 (1984).