

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 24日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：23700189

研究課題名（和文）データ同化型ビジョンによる人物行動解析

研究課題名（英文）Data Assimilation based Vision for People Behavior Analysis

研究代表者

川本 一彦（KAWAMOTO KAZUHIKO）

千葉大学・総合メディア基盤センター・准教授

研究者番号：30345376

研究成果の概要（和文）：本研究では、人物行動をコンピュータ上で解析するために、複数人物の行動を模擬する確率的シミュレーションモデルを導入し、そのモデルに含まれるパラメータを実際の画像計測から推定するデータ同化法を開発し、人工データおよび実動画像を用いて性能を検証した。さらに、ウェアラブルカメラを用いた個人行動認識および可視化のための画像系列からの3D地図作成および自己位置推定アルゴリズムを開発した。

研究成果の概要（英文）：We developed a data assimilation method for people behavior analysis. The method estimates the parameters of a stochastic simulation model that mimics people behavior using videos in a space. Furthermore, we developed an activity recognition method using a wearable camera and a structure-from-motion method for visualization of people behavior.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：コンピュータビジョン

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン、シミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

データ同化は、気候・海洋学で現れる非線形でかつ複雑な相互作用を持つ物理現象（津波など）の数値モデルの解法として発展してきた。このような複雑なモデルによる数値シミュレーション結果は、パラメータ、初期条件、および境界条件を適切に設定しなければ、現実世界から乖離してしまうが、その設定は非常に困難である。そこで、データ同化では、実際の観測データを用いて、現実の現象に合うように数値モデルのパラメータを更新することでこの問題を解決する。

本研究では、このようなデータ同化の仕組みを画像計測による人物行動解析に展開する。コンピュータビジョン分野では、近年、アンサンブル学習による物体検出器の発展

を受け、人検出器およびそれを用いた追跡手法の研究が活発である。それらの多くの研究は、現時刻で人が画像中のどこに存在するかを見つけるための技術である。そこで用いられる歩行モデルの多くは単純な線形モデルであり、将来の行動を長期予測したり、なぜそのような行動するかを説明したりすることは指向していない。

一方、流体力学や数理生物学では、対象単体ではなく、対象間の相互作用も考慮して、その背後にある数理モデルを構築することが試みられている。例えば、車両や群衆の流れなどを記述する数理モデルを構築し、渋滞や勢力図などの現象を説明することが試みられている。人の歩行モデルとしては、確率的セルオートマトンモデルなどがある。

人物行動を模擬するシミュレーションモデルのパラメータを、実際の動画から取得される人物位置に基づいて推定することができれば、高精度な追跡アルゴリズムが開発できるだけでなく、予測精度の向上、動的環境に対する時系列行動パターン変化など人行動解析のための基盤技術が構築できることが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、複数人物移動に現れる誘引や反発などの相互作用を確率的セルオートマトンモデルで表現し、そこに含まれるパラメータを移動軌跡データから推定する手法を開発する。このモデルでは、人物は、空間を格子状に区切った「セル」に配置され、セルに埋め込まれた値に基づき確率的に次の移動場所を決定する。その値は、壁や出入口などの静的環境と動的に変化する人物移動軌跡の両者に依存して決定される。静的環境を決めるパラメータとして、目的地からの距離によって誘引の強弱を制御するものと、各人物がどの目的地へ向かっているかを指定するラベルを導入する。これらのパラメータは観測できない隠れ変数であるため、一般状態空間モデルの枠組みで推定問題を定式化し、粒子フィルタを用いて数値的に推定する。

さらに、このシミュレーションモデルの隠れ変数は多くあるため、高次元の隠れ状態の推定問題に取り組まなければならない。そこで、粒子フィルタによるモンテカルロ近似の誤差を抑制するために、ラオ・ブラックウェル化とよばれる計算技法を導入する。ラオ・ブラックウェル化は、隠れ変数の一部に解析的な時系列フィルタを、残りだけに粒子フィルタを適用する技法である。とくに、我々の課題では、離散的なラベルを含むため、離散的な隠れ状態を推定するために、グリッドフィルタを用いて、粒子フィルタをラオ・ブラックウェル化する方法を開発する。

最後に、データ同化アルゴリズムの開発と並行して、人物行動を俯瞰的に捉えるカメラ映像だけでなく、ウェアラブルカメラを用いて一人称視点映像からの3D地図作成および自己位置推定アルゴリズムの開発も進める。自己位置推定の結果は、データ同化アルゴリズムの入力として利用することができる。さらに、個人行動の位置だけでなく、行動を認識することで人物行動に属性を持たせることができ、より表現力のあるモデルを構築できる可能性がある。

## 3. 研究の方法

本研究におけるデータ同化は、人物行動を模擬するシミュレーションモデルの開発と実際の人物行動を取得するための画像計測・認識技術の開発の二つに大きくは分ける

ことができる。

まず、確率的セルオートマトンモデルを、代表的な文献[Burstedde et al. 2001]にしたがって実装する。ただし、人物と環境との相互作用をどのように表現するかについては述べられていない。そこで、推定すべきパラメータ数を抑制しつつ、空間全体を滑らかに移動することを念頭に、単純な多項式モデルで表現することにする。また、オフラインで一括処理するか、あるいはオンラインに推定するか両方考えられるため、両者を実装することにする。

この開発と並行して、グリッドフィルタを用いる粒子フィルタの開発を進める。確率的セルオートマトンモデルに直接適用する前に、非線形時系列のベンチマークモデルを用いて実験評価を実施し、その基本的な性能を評価する。

3D地図作成と自己位置推定、そして行動認識については、応用を想定して、屋内環境に限定して、実際にそのような屋内環境をカメラで撮影し、データを収集することにする。これらの課題は、すでに先行研究が多く存在し、公開されているソースコードもあるため、まずは、それらを活用しつつ、我々の環境で性能を検証し、問題点を明らかにし、必要な技術について開発する。

## 4. 研究成果

本研究の主な研究成果は次の通りである。

(1) 確率的セルオートマトンに基づく複数人物行動シミュレーションモデルと画像計測のデータ同化アルゴリズムの開発。

まず、基本性能の評価のために、図1のような空間に出口が1つしかなく、全員が出口に向かって移動するという単純な状況を人工的に再現した。このシミュレーションを生成するパラメータ(多項式モデル)を観測値の系列から推定する実験を行った。パラメータは10組を用意し評価した。

評価では、粗密探索に基づく最尤推定法と粒子フィルタに基づく逐次ベイズ推定法を比較した。その結果、最尤推定法での推定値の方が真値の位置精度との差が少なく、より再現性の高いパラメータを推定したことがわかる。ただし、最尤推定法の計算時間は、逐次ベイズ推定法の数十倍時間が必要となる。図2に二つの方法の計算結果例を示す。

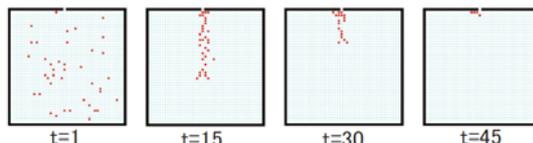


図1. 評価用人工データ.  $t$  はシミュレーションのステップ数

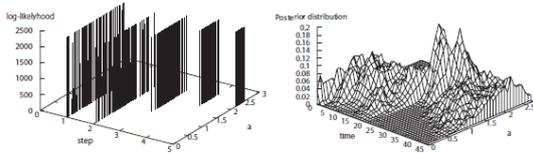


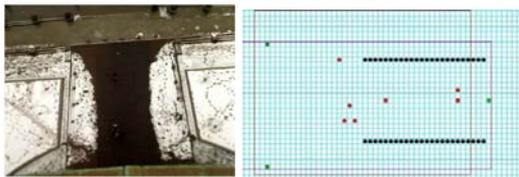
図 2 (左) 粗密探索による最尤推定法のパラメータ探索の結果. (右) 粒子フィルタによる逐次ベイズ推定の推定結果.

次に、実際の動画を用いて評価を行った。ただし、パラメータの真値は分からないため、推定したパラメータを真値として、観測値を人工的に生成し、それから推定を行った。その結果、人物移動の一期先予測性能を評価し、粒子フィルタに用いる粒子数の増加に伴い推定性能が向上すること、他者との動的な相互作用を組み込むことで大幅に推定性能が向上すること、人物数がある一定以上にならないと推定誤差が大きく、一方で人物数を増加させても推定性能はある一定以上では向上しないことが示された。図 3 にデータ同化アルゴリズムの実験例を示す。

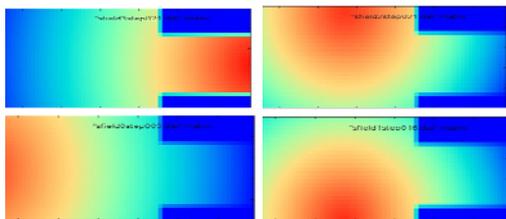
図 3 (c) が、環境から決まる静的なパラメータ（を可視化したもの）で、我々の目的の一つはこのような隠れ変数を推定することにある。この隠れ変数は、この環境で人物はどの方向に移動しやすいかを表現している。このようなパラメータが推定できることで、予測や行動解析へ応用できることが期待できる。

## (2) グリッド法を用いた粒子フィルタのラオ・ブラックウェル化

ここでは、隠れ状態の一部が有限の離散的な集合からなるような状態空間を対象に、グリッド法と粒子フィルタを組み合わせたアルゴリズムを導出し、数値実験によりその効



(a) 入力画像列の例 (b) シミュレーション例



(c) 目的地 (4 つ) ごとの静的環境から決まるパラメータの推定値の可視化

図 3 データ同化アルゴリズムの実験例

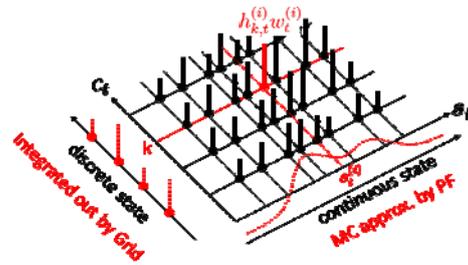
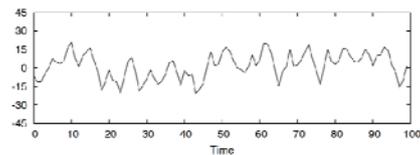


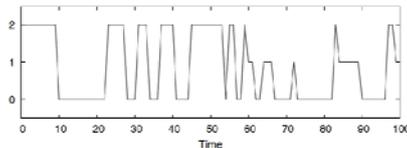
図 4 グリッド法と粒子フィルタを組み合わせたモンテカルロ近似

果を検証した。図 4 は、提案するアルゴリズムで状態空間の事後確率分布をどのように近似するかの模式図である。この例では、横軸が連続変数  $s_t$  を表し、その空間では粒子フィルタによる逐次モンテカルロ近似で事後確率分布が表現されている。縦軸が離散変数  $c_t$  を表し、ここでは厳密に事後確率分布が表現されている。

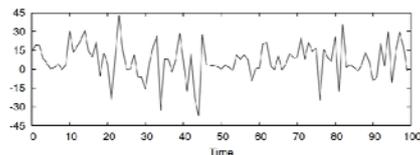
事後確率分布をこのように近似するアルゴリズムを用いて、非線形な動的システムのベンチマーク問題に対して実験的に評価した。図 5 に実験データ例を示す。



(a) 隠れ連続変数



(b) 隠れ離散変数



(c) 観測値

図 5 グリッド法によるラオ・ブラックウェル化の評価用データ例

図 6 に実験結果を示す。一般に、ラオ・ブラックウェル化によってモンテカルロ近似しなければならない状態空間の次元を下げるができるため、推定値の分散を減少させることができ、性能がよくなることが期待される。ここでは、提案手法とラオ・ブラックウェル化しない粒子フィルタをベースラインとして比較対象とした。図 6 (左) は、連続変数の二乗平均平方根誤差を、粒子数を変化させながらプロットしたものである。ただし、赤が従来法、緑が提案手法である。図 6 (右) は、離散変数の最大事後確率推定値の

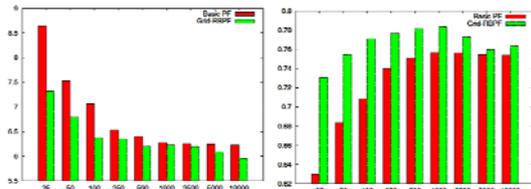


図6 実験結果. 赤が従来法, 緑が提案手法.

正解率を, 粒子数を変化させながらプロットしたものである. この結果より, 粒子数を増やしていけば, 両者の性能差はほとんどなくなってしまうが, 逆に, 粒子数が少ないときほど性能は向上することが確認できた.

### (3) 自己位置推定のための 3D 地図作成と行動認識

データ同化アルゴリズムへの入力には人物位置である. ここでは, 小型カメラを身に付けて空間を移動する状況を想定し, そのような画像から自身がどこにいるかを推定するアルゴリズムを開発した.

まず, 自己位置推定のために, 空間の 3D 地図を作成した. 図7に結果例を示す. このような地図作成の過程で得られた位置情報付きの画像データベースを構築し, 入力画像と照合を取ることで自己位置推定を実現した. その手順の模式図を図8に示す.

画像照合に加えて, 粒子フィルタによる時系列フィルタリングも実装した. これにより, 連続して入力される画像に対して, 現実的には起こり得ない結果(棚を飛び越えてのジャンプなど)を防ぐことができる. 図9に実験結果例を示す. 赤点が推定結果となるが, 粒子フィルタを導入することにより, 誤推定を抑制できていることを示している.



図7 3D 地図作成の結果

最後に, 個人の行動を一人称視点映像から認識するアルゴリズムを開発した. 実験では, 屋内環境(大学図書館)において, 3つの行動(moving: 歩いている, searching: 本を探している, browsing: 本を読んでいる)に関

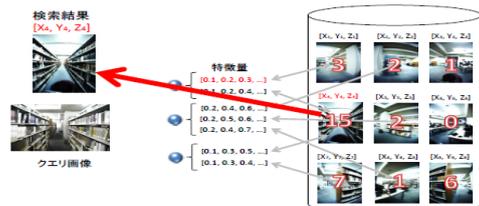


図8 自己位置推定法

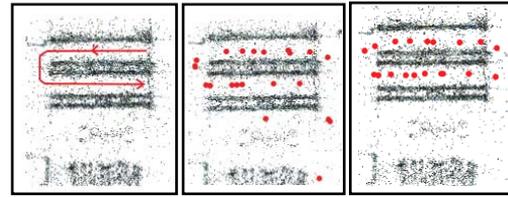


図9 自己位置推定の結果. (左) 実際のルート, (中央) 粒子フィルタなしの結果. (右) 粒子フィルタありの結果.

して評価した. 図10に画像例を示す. 図10左が歩いているときの画像, 中央図が本を探しているときの画像, そして右図が本を読んでいるときの画像例である.

画像を局所特徴量を用いて BoF (Bag of Features) で表現し多クラスサポートベクターマシンで認識させた結果, 平均で 67%の認識率を達成している. まだ改良の余地はあるが, 図書館という限られた空間では, 一枚の画像だけからも行動認識ができる可能性を示している. 本研究の今後の展開として, 監視カメラのような空間を俯瞰する映像とこの例のような一人称視点映像を組み合わせると, 人



図10 行動認識用の画像例

物に行動属性を付与し, 人物行動のシミュレーションモデルをより高機能化することが考えられる.

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

(1) Kazuhiko Kawamoto, Particle Filtering with Switching Observation Models, Proc. 2nd International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 2011 (査読有) <https://toolkit.dialog.com/intranet/cgi/present?STYLE=1360084482&PRESENT=DB=8,AN=1213535728,FM=9,SEARCH=MD>

[学会発表] (計16件)

① Yuji Tashiro and Kazuhiko Kawamoto, Data assimilation of probabilistic cell automaton for crowd modeling, International Workshop on Particle Filters for Data Assimilation, 2012.

② 田代祐志, 川本一彦, 岡本一志, 複数人物の移動軌跡データからの環境モデルパラメータの逐次ベイズ推定, 情報処理学会 CVIM 研究会, 2012.

<http://id.nii.ac.jp/1001/00087096/>

③ Kazuhiko Kawamoto, Vision-based Activity Recognition of Individuals and Group in Libraries, International seminar on Scientific Issues and Trends, 2012 (招待講演).

④ Kazuhiko Kawamoto, Grid-based Rao-Blackwellisation of Particle Filtering for Switching Observation Models, International Conference on Information Fusion, 2012.

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6289798&isnumber=6289713>

⑤ 風間光, 川本一彦, 岡本一志, 画像検索を用いた図書館内での自己位置推定, 情報処理学会 CVIM 研究会, 2012.

<http://id.nii.ac.jp/1001/00082586/>

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川本 一彦 (KAWAMOTO KAZUHIKO)

千葉大学・総合メディア基盤センター・准教授

研究者番号 : 30345376

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :