

データ同化手法を用いた鉄道駅構内における 人の流れの推定手法に関する研究

Fundamental Study on Data Assimilation to Estimate People Flow in a Railway Station

学籍番号 47096768
氏名 中村 敏和 (Nakamura, Toshikazu)
指導教員 柴崎 亮介 教授

1. 背景と目的, 及び最終目標

近年, 観測技術や情報処理技術の発展により, 人の流れをミクロに把握し, 分析することが可能になってきており, 建物内部の動線設計や, 防犯対策, 混雑の解消などへの活用が期待される.

一方で, コストやメンテナンスの点から, 常時全てを観測し続けることは困難である. そこで, 得られたデータや観測地点の形状などを用いて, 数値モデルを構築し, 人の流れを推定していく必要がある. しかし, 人の流れのような非線形な事象では, その振る舞いを完全にモデルに組み込むことは難しく, 予期せぬ事態により推定結果と実際とでずれが生じる可能性が高いと考えられる.

そこで, 本研究では, 駅構内などでの人の流れを精度良く推定するために, 歩行者モデルを構築するとともに, モデルに対しデータ同化手法を適用し, 観測値によってモデルの推定結果と実際とのずれを補正していく手法を提案することを目指す.

2. 既往研究について

(1) データ同化について

データ同化手法とは, 数値モデルに観測値を与え, その再現性を高めるための手法である. 数値モデルにより確率的に得られる候補から, 得られた観測値に近いものを選択することで, より精度の高い推定結果を得ることができる.

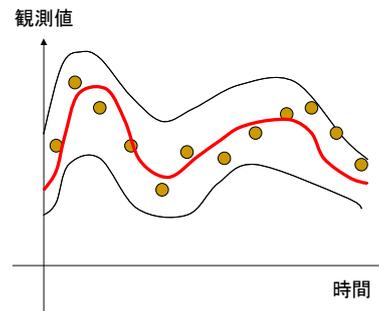


図 1. データ同化について

(2) 観測や行動モデルについて

観測技術に関する研究として, カメラを用いたものやレーザーを用いたものなどが行われている. Snidar¹⁾やYang²⁾は, カメラを用いて, 少数の移動体の観測には成功しているが, 比較的広い観測地点を多くの人が行動している場合などが課題として残っている. また, shao³⁾は, レーザーを用いて, そうした状況でも精度の高い観測に成功しているが, コストやメンテナンスといった点など, 常時観測するには課

題が残っている。

人のミクロな歩行者モデルの構築に関する研究もいくつか行われている。歩行者モデルは、軌跡推定モデルと衝突回避モデルに分けることができる。軌跡推定モデルとしては、歩行空間上にノードとリンクからなるネットワークを設定し経路選択を行うネットワークモデル(塚口ら 5)や目的地までのポテンシャルコストにより経路選択を行うポテンシャルモデル(横山ら 6)などが提案されている。一方、衝突回避モデルとして、Antonini ら 4)は、人の行動選択モデルを CNL モデルや MNL モデルを用いて構築している。また、浅野ら 5)は、衝突回避モデルを構築し、人の流れを推定している。このように、モデルの構築に関する研究は行われてきているが、それらのモデルに対しデータ同化手法を用いて、より再現性の高い推定値を求めるといった研究は行われてきていない。そのため、本研究が目指す推定モデルとデータ同化手法を融合した人の流れを推定するための総合的なフレームワークの提案は、極めて新規性の高いものであると考えられる。

3. 使用するデータについて

中間発表では、Shao らによって、レーザーを用いて得られた、大崎駅構内での人の流れの観測データを用いる。60m×20mほどの広さで、改札口や階段、トイレなど11の出入口が存在する。2つのデータセットを使用し、7:00~7:05のデータ(323人分)を検証用データ、8:00~8:10(2299人分)のデータを軌跡推定モデル用データとして用いる。

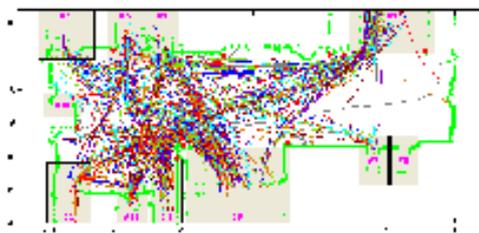


図2. 使用するデータ(7:00-7:05)の軌跡

4. 提案する手法について

(1) 歩行者モデル

軌跡候補生成の際に用いる歩行者モデルについて述べる。本研究では、衝突回避モデルについては考慮せず、ある程度大まかな経路選択モデルを構築することを目指す。経路選択モデルの基本として、ポテンシャルモデルを用いる。前述のように、ポテンシャルモデルには、同じ目的地の歩行者については経路が一意に決まってしまうという問題がある。本研究では確率的に多くの軌跡候補を生成する必要があるため、一意に決まってしまうという欠点を改善したモデルを新たに提案する。

ポテンシャルモデルでは、任意の点から目的地までの移動コストを算出し、移動コストのポテンシャル面を描く。次にこのポテンシャル面に対して勾配の急な方向に向かって歩行者が移動しようとする。本研究では、このように最も急な方向に向かって移動すると、多くの候補を生成できないので、各地点のポテンシャルから確率的に移動方向を決定するモデルを提案する。

まず、対象領域を1m×1m四方のグリッドに分割する。次に出発グリッドから到着グリッドまでグリッドを結んでできる軌跡を生成する。このグリッドでできた軌跡をグリッドトラジェクトリーと呼ぶことにす

る．最後に，このグリッドトラジェクトリーをパーティクルフィルタ法を用いて平滑化し，軌跡を生成する(図 3)．

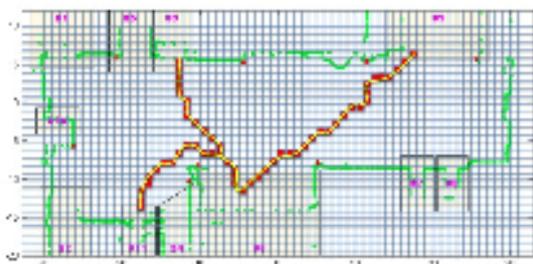


図 3. 生成する軌跡の例

(2) データ同化手法

軌跡推定モデルによって得られる候補の選択確率を観測値によって更新していく．まず，エリア内にある出入口から入った人に対し，軌跡推定モデルに従って，パーティクルとして候補となる軌跡を持たせ，各パーティクルの重みとして， $1/\text{パーティクル数}$ を与える．例えば，6 番出入口から入った人に対しては，361 のパーティクルを重み $1/361$ で生成する．そして，観測値を得るごとに，パーティクルの重みを以下の式で更新する．

$$\hat{w}(i) = \frac{w(i) \times n(t)}{\sum_{j=1}^n w(j)} \quad (1)$$

ここで， $w(i)$ は，パーティクルの重み， $n(t)$ は，時間 t の時の観測値である．

こうして更新されたパーティクルの重みを最後に標準化し，各人ごとにパーティクルの重みの合計が 1 となるようにする．標準化によって，パーティクルの重みが観測値を完全に反映しているとは限らなくなる．

そこで，各パーティクルの重みの値が収束するまで，繰り返し計算する．収束条件としては，以下の式を用いる．

$$\left| \frac{w_n - w_{n-1}}{w_n} \right| < 0.01 \quad (2)$$

ここで， w_n は， n 回目の重みの値である．

5. 結果

(1) 検証用歩行者モデル

検証用歩行者モデルとして，ある出入口からエリアに入った人のある出入口までの軌跡を確率的に与えるモデルを構築する．中間発表では，軌跡推定モデル用データをそのままランダムに与えるというシンプルなモデルを使用し，データ同化手法の効果について検証していく．例えば，軌跡推定モデル用データには，6 番出入口からエリアに入った人の軌跡が 361 あるので，6 番出入口からエリアに入る人には，各軌跡が $1/361$ の確率で与えられる．

(2) 検証

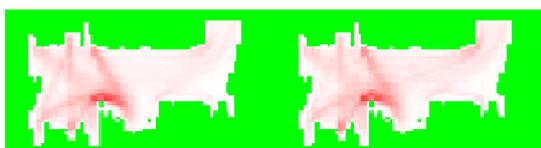
7:00～7:05 までの検証用データを用いて，提案するデータ同化手法について検証する．まず，観測値として，各出入口からエリアを出る人の数を 10 秒間隔で得られたと仮定して検証を行った．

推定した軌跡について検証するために，対象エリアを $1\text{m} \times 1\text{m}$ のグリッドに分割し，各グリッドを通過した人数を計算した．図 4 が実際のデータで，図 5 が検証用歩行者モデルを用いた場合の推定結果，図 6 が提

提案する歩行者モデルを用いた場合の推定結果である。図 5 (a)と図 6(a)を比較すると、提案する歩行者モデルを用いた方がより平均的になっている。これは、実際のデータを軌跡生成用に用いることに比べ他の予備知識なしに軌跡を生成しているためである。またどちらの歩行者モデルでも、右上の部分などがデータ同化を行うことでより実際のデータに近い値となっていることがわかる。実際に、各グリッドの通過人数に対して RMSE を計算すると、歩行者モデルを用いた場合、データ同化を行わなかった場合 258.43 で、データ同化を行った場合は 201.79 であったので、約 20%補正できていることが分かる。



図 4. 実際のデータのグリッド通過量



(a) データ同化なし (b)データ同化あり
図 5. 検証用歩行者モデルを用いた推定値のグリッド通過量



(a) データ同化なし (b)データ同化あり
図 6. 提案する歩行者モデルを用いた推定値のグリッド通過量

6. 結論と今後の課題

提案する歩行者モデルとデータ同化手法を用いることで、精度の高い推定を行うことができた。

今後の課題として、推定手法の改善の他、リアルタイム性の検証や都市圏レベルの人の流れの推定など広範囲における推定への応用などが挙げられる。

参考文献

- 1) Snidaro, L., 2005. Video security for ambient intelligence. IEEE Trans. SMC, Part A, vol. 35, no. 1, pp.133-144.
- 2) Yang, D. B., 2003. Counting people in crowds with a real-time network of simple image sensors. IEEE Conference on Computer Vision, vol. 1, pp. 122-129.
- 3) Shao, X., 2008. Tracking a Variable Number of Pedestrians in Crowded Scenes by using Laser Range Scanners. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2008), pp. 1545-1551.
- 4) Antonini, G., 2006. Dynamic Cell Transmission-Based Pedestrian Model with Multidirectional Flows and Strategic Route Choices. Transportation Research Part B 40 (2006), pp. 667-687.
- 4) Asano, M., 2008. Dynamic Cell Transmission-Based Pedestrian Model with Multidirectional Flows and Strategic Route Choices. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2039, pp. 42-49
- 5) 塚口博司,松田浩一郎,2002. 歩行者の絵色選択行動分析. 土木学会論文集, 2002. 709 IV -56: p.p.117-126.
- 6) 横山秀史,目黒公郎,片山恒雄, 1995. 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用. 土木学会論文集, 1995. 507(I-31): p.p.225-232.
- 7) Nakamura, T., 2010. A Study on Data Assimilation of People Flow. Geospatial Data and Geovisualization: Environment, Security, and Society; Special Joint Symposium of ISPRS Technical Commission V and AutoCarto 2010