

パーティクルフィルタによる歩行者GPSオフラインマップマッチングアルゴリズム手法*

Off-line Map Matching Algorithm of Pedestrian GPS using Particle Filter Method *

中村敏和**・薄井智貴***・関本義秀***・柴崎亮介***

By Toshikazu NAKAMURA**・Tomotaka USUI***・Yoshihide SEKIMOTO***・Ryosuke SHIBASAKI***

1. はじめに

近年、GPS 測位による行動ログデータの取得が容易になる一方で、収集した大容量のデータを如何に処理し、価値を生み出すかが重要な課題となっている。というのも、GPS 観測データには、観測機器や伝搬遅延、周辺環境によって少なからず誤差や欠損データが含まれており、観測データそのものを利活用することは、その後の結果にも大きな影響を及ぼしかねない。そのため、それら観測データに含まれる誤差を補正し、より現実に即した尤もらしい行動データに変換する必要がある。これまで、こうしたGPS 観測データは道路上を移動する行動履歴とみなし、道路ネットワークに吸着（マッチング）することで概ね妥当な補正を行ってきており、いくつかの研究において手法が確立されている。しかし一方で、公園や細街路、歩行者専用道路など、自由空間を移動する歩行者トリップにおいては、上記マッチング手法では補正精度は低く、より安定した補正技術の検討が望まれている。さらに、GPS 観測データから行動情報を取得するためには、滞留点の判別や行動場所の推定といった、データマイニング手法を用いた行動履歴の意味付けも重要な要素となる。また、GPS 観測データは、わずか数日分の行動データが数GBの容量となることは珍しくなく、これらの膨大なデータを処理するためには、計算コストや蓄積データ容量を必要最低限に抑える必要がある。そこで本研究では、様々なGPS観測データを効率よく、かつ精度の高い時空間情報として利活用するための基盤技術として、歩行者GPS観測データを補正するためのオフラインマップマッチングアルゴリズムの開発を行う。

2. 既往のマップマッチング技術

マップマッチングとは、地図情報を用いてGPS観測データの誤差を補正し、経路や位置を特定することである。

*キーワード：GPS、プローブパーソン、マップマッチング

**学生会員、学士、東京大学大学院 新領域創成科学研究科
(千葉県柏市柏の葉5-1-5総合研究棟、TEL:04-7136-4307、E-mail: ki_ki_gu@csis.u-tokyo.ac.jp)

***正員、工博、東京大学空間情報科学研究センター

これまで主に土木や交通工学においては、日本デジタル道路地図協会提供のDRM¹⁾など道路ネットワークデータをベースとした道路上へのマップマッチング手法について研究されてきている。

朝倉ら²⁾は、各GPS観測データから一定の半径以内の道路ネットワークリンクをすべて抽出した結果をリンク集合とし、リンク集合を用いて起点リンクと終点リンクを結ぶ経路のうち、経路長が短いものから順に評価することでマップマッチングを試みている。各GPS観測データから最近経路までの距離の平均を評価値とし、任意の閾値との比較により経路を特定する。ただ、評価値が許容範囲を満たした場合（評価値が閾値より小さくなった時点）に経路を確定しているため、選択された経路が経路集合の中で最適かどうかは定かではない。

小島ら³⁾は、各GPS観測データに対して最近の道路ネットワークリンクを抽出し、起点から順次暫定的な吸着処理を行い、確定している経路から一定の閾値を超えた段階でこれまでの暫定吸着リンクを最短経路探索することで経路を求めている。この手法は逐次的にリアルタイム処理できることや、シンプルで計算量が大きくならないことからオンライン処理に適した手法であるが、GPS取得間隔や道路形状によっては最短経路探索によるミスマッチングも発生する。

三輪ら⁴⁾は、小島らの手法を改良し、経路探索においてリンクコストを確率的に与えることでマッチングエラーを回避する手法を開発し、タクシープローブデータを用いて精度検証を行っている。

また、情報処理分野において、宮下ら⁵⁾は、GPS観測データを一定の距離と時間において動的に分割し、それぞれリンク間の最短経路を求めた上で経路を組み合わせることにより、折り返しや回遊、往復行動などに対応したマップマッチング処理手法を提案している。

しかし、上記2つの手法は、いずれも道路ネットワークをベースにした処理であり、本研究のような歩行者自由空間でのマップマッチングには適していない。

一方、歩行者GPS観測データを対象としたマップマッチング処理に関する研究もいくつか行われている。

薄井ら⁶⁾は、自由空間での歩行者マップマッチングを目的とし、パーティクルフィルタを用いたGPS観測デー

タの時空間内挿手法を提案している。

以上を踏まえ、本研究では、明らかに道路上を通行している場合は朝倉らの既往研究に改良を加えた道路ネットワークへのマップマッチング手法を用い、また、自由空間（非道路空間）を通行していると思われる場合は、薄井らの既往研究をベースとしたパーティクルフィルタを用いたマップマッチング手法を用いることで、既往研究の利点を活かした精度の高い融合型マップマッチング手法（Mixed Map Matching）を提案する。

3. Mixed Map Matching手法

本研究では、前述の通り歩行者GPS観測データを効率よくかつ精度の高い補正処理を行うために、大きく二つのマップマッチング処理を融合する手法を開発した。この手法を「Mixed Map Matching」と呼ぶ。処理の流れを図1に示す。最初の処理では、まず大きく逸脱した観測データを除去する（外れ値除去）。次に道路ネットワーク上へのマップマッチングを行い、ベースとなる経路を推定する。さらに、一定の分岐判定式により自由空間上に存在すると思われる観測データを逐次処理していく。

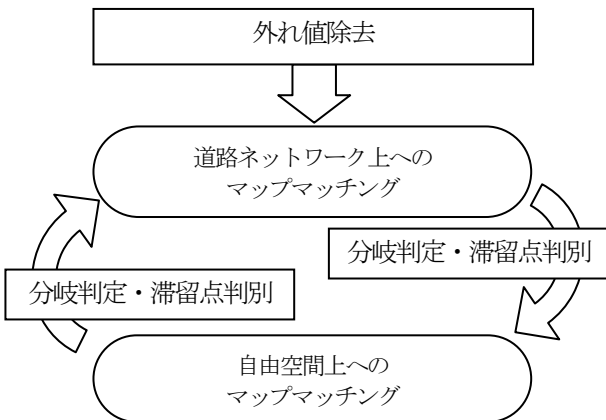


図1 Mixed Map Matching手法の流れ

（1）道路ネットワークへのマップマッチング手法

道路ネットワークへのマップマッチングアルゴリズムを示す。ベースとなるアルゴリズムは朝倉らのものをベースとして改良しており、以下の処理手順で実施する。

Step1：候補道路リンク集合の取得

各GPS観測データに対し、最近道路リンクを検出し、候補リンク集合とする。この時、抽出リンクがそれまでの候補リンク集合と物理的に接続していない場合は、その抽出リンクから直前の観測データの最近道路リンクへの最短経路に含まれる道路リンクをすべて候補リンク集合に加える。

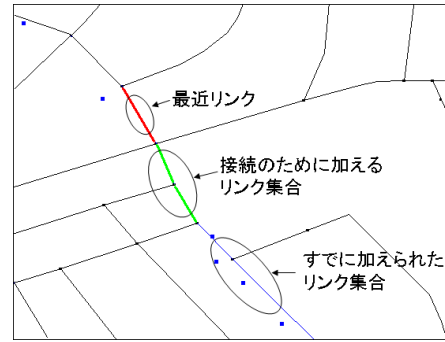


図1 リンク集合の作成

Step2：候補経路集合の取得

抽出された候補リンク集合の中から、最初のGPS観測データの最近道路リンクを起点リンク、最後のGPS観測データの最近道路リンクを終点リンクとし、起点リンクから終点リンクまで候補リンク集合のみを用いて接続できる経路をすべて抽出し、候補経路集合を作成する。

Step3：最適経路の決定

各GPSデータのリンクまでの距離の総和を評価値とするため、式(1)を用い各候補経路 k の評価値 d を計算する。このとき、 l_k は、GPSデータ i の吸着リンク長であり、 x_i, y_i はGPSデータ i の座標値、 x_l, y_l はGPSデータ i から吸着リンクへ垂線を下ろした座標値である。求めた各候補経路の評価値 d のうち、最小値 D を最適経路とする（式(2)）。

$$d_k = l_k \sum_i \sqrt{(x_i - x_l)^2 + (y_i - y_l)^2} \quad (1)$$

$$D = \min.\{d_1, d_2, \dots, d_k\} \quad (2)$$

Step4：道路ネットワーク空間の分岐判定

各GPS観測データに対し、道路ネットワークから自由空間への分岐判定を行い、閾値を超えるデータに関しては後述する自由空間におけるアルゴリズムを適用する。分岐判定には以下の式を設定した。

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_l)^2 + (y_i - y_l)^2} < 10m \quad (3)$$

かつ

$$d_i < d_{i-1}$$

ここで、 d_i は観測データ i の最近リンク l までの距離を表しており、自由空間移動の分岐判定のための閾値は10mを基準としている（式(3)）。

(2) パーティクルフィルタを用いた自由空間におけるマップマッチング

(1) のStep4において、自由空間を移動していると判定されたGPS観測データ列に対し、パーティクルフィルタによるマップマッチング手法を適用し移動経路を推定する。詳細な概念については、薄井ら⁴⁾の論文を参照することとし、ここでは本研究への適用方法について詳しく述べる。以下のStepにおいて、パーティクルフィルタ処理について示す。

本研究においては、1時点後の観測データ（つまり次の観測データ）を目標点とし、以下に示すStepを起点データから順次繰り返し処理を行う。まず、起点観測データ周辺に10個のパーティクルを生成・拡散し、初期値とする。目標点は、2番目のGPS観測データとした。

Step1：パーティクルの生成

直前の段階でフィルタリングされた10個のパーティクルに対し、半径1.0mの円内にランダムにパーティクル1つにつき10個生成・拡散する（図2）。

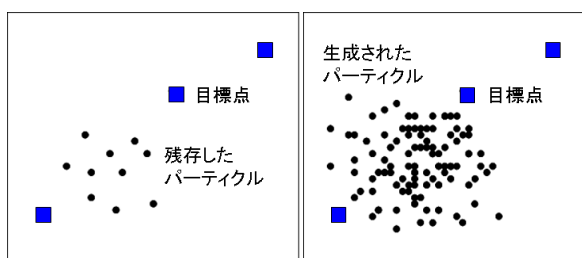


図2 パーティクルの生成

Step2：パーティクルの評価

生成・拡散された10×10個のパーティクルに対して、目標点までの距離の逆数を尤度とし、尤度の高い10個の点以外のパーティクルをフィルタリング（消滅）させる（図3）。

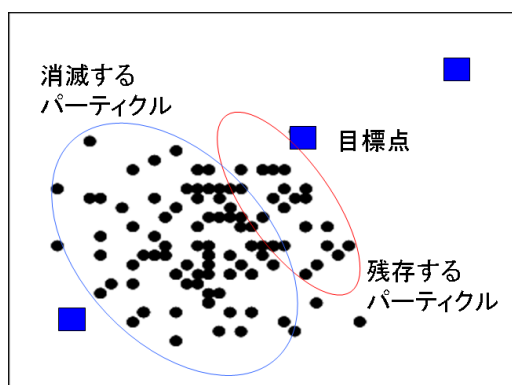


図3 パーティクルの評価

Step3：目標点の切り替え

フィルタリングされた10個のパーティクルの重心と目標点との距離が、基準距離の1/2より小さくなった

とき、目標点を次のGPS観測データに切り替え、基準距離を重心と次のGPS観測データとの距離とする。

以上、Step1からStep3を繰り返すことで、自由空間における経路を逐次確定する。

(3) 外れ値の除去

GPS観測データには、観測環境や機器によって、誤差の非常に大きなデータが含まれる場合がある。それら外れ値データを含んだまま、他の誤差の少ないデータと同様な処理を行った場合、予期せぬ推定結果を招く恐れがある。そのため、本研究では全処理工程の始めに、明らかな誤差データを除去している。1時点前からの移動速度が、20(m/s)よりも大きい場合を外れ値とし除去している。

(4) 滞留点の判別

観測データから滞留点を判別することにより、観測データから被観測者の行動を分析することも可能となる。本研究においては、以下の判別条件にて滞留点の推定を行った。

- 対象となる観測データの前（または後）30秒以内のデータ集合の重心点との距離が閾値（10m）より小さい
- ある滞留点と別の滞留点の時間差が1分以内である滞留点が存在する場合のその間にある全観測データ

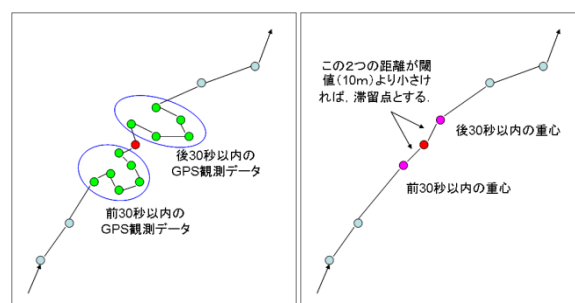


図4 滞留点の判別

4. 歩行者GPS観測データによるマッチング結果

実際のGPS観測データを用い、本アルゴリズムの有効性を示す。利用したデータの概要を表1に示す。

表1 データ概要

移動形態	歩行者(徒歩もしくは自転車)
行動目的	小学校からの下校、放課後
観測日時	2009年5月25日 14:12~22:00
観測ポイント	4620
GPS計測機器	Mobile Action社製「i-gotU」 ⁸⁾
データ取得間隔	5 [sec]
処理時間	20.11[sec]

図5は、今回のマッチングに用いたGPS観測データ（青色ドット）と、マッチング結果（赤色ライン）を道路ネットワーク地図上にプロットしたものである。図6（a）は、道路ネットワーク移動と自由空間移動の分岐判定を行った地点であり、スムーズに分岐されていることが分かる。また図6（b）は滞留点と判定された部分（赤い四角）であり、一部外れ値の影響を受けているものの、概ね妥当な結果となっている。図6（c）は、自由空間内をパーティクルフィルタによる経路補完部分であり、GPS観測データによるばらつきを補正しつつ経路を特定できていることが分かる。

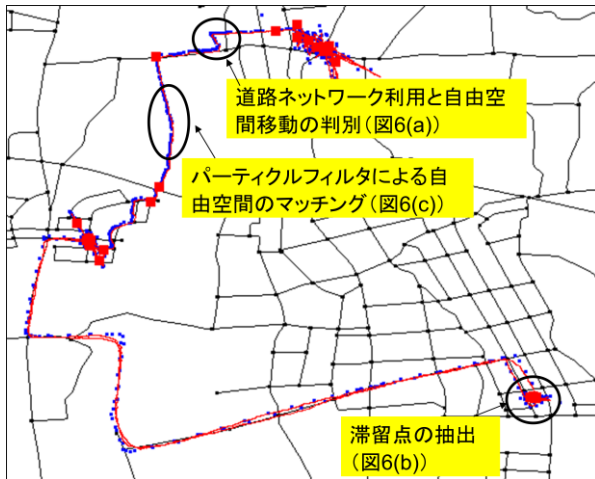


図5 GPS観測データとマッチング結果

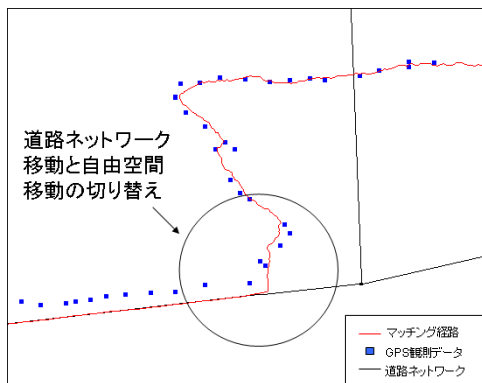


図6（a）道路ネットワークと自由空間の分岐判定

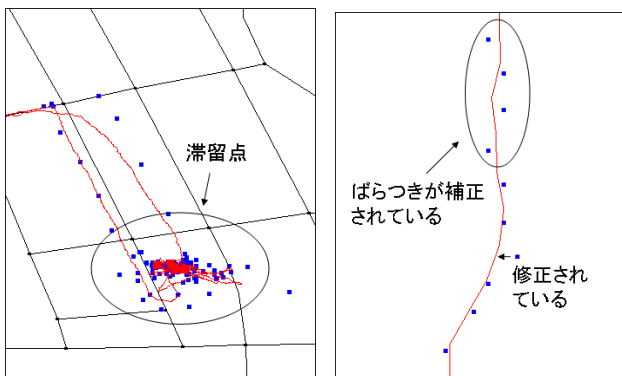


図6（b）滞留点判別

図6（c）パーティクルフィルタ実装

5. まとめ

本研究では、GPS観測データから意味のある情報を得るためのデータ補正手法の一つとして、歩行者GPSオフラインマップマッチングの提案を行った。既往の道路ネットワークを用いたマップマッチング手法と自由空間におけるパーティクルフィルタを用いたマップマッチングのそれぞれの特徴を融合し、歩行者の行動データを適切に補正すると共に、滞留地点の判別も可能とした。今後は、歩行者GPSデータのマッチング精度向上のために、住宅地図など空間情報を活用し、滞留点や行動経路情報をもとに観測データの意味付けを行うとともに、行動履歴データからより多くの有用な情報を生み出す方法について検討を行っていく。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費若手(A)[研究課題番号 21686047]及び科学技術振興機構 平成21年度社会技術研究開発事業研究開発プログラムの補助を受けて実施したものである。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) DRM(デジタル道路地図データ) : <http://www.drm.jp/>
- 2) 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳 : PHSによる位置情報を用いた交通行動調査手法, 土木学会論文誌, No.653/を用いた, pp95-104, 2000.7.
- 3) 小島英史, 羽藤英二 : プローブパーソンデータによるオンラインマップマッチングアルゴリズム, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, CD-ROM, 2004.
- 4) 三輪富生, 木内大介, 山本俊行, 薄井智貴, 森川高行 : 低コストプローブカーデータのオンラインマップマッチング手法の開発,
- 5) 宮下浩一, 寺田努, 田中宏平, 西尾章治郎 : 目的予測型カーナビゲーションシステムのためのマップマッチング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.75-86, 2009.
- 6) 薄井智貴, 三輪富生, 山本俊行, 森川高行 : 歩行者プローブデータ多面的活用のためのデータクリーニング手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM, 2009.
- 7) 加藤丈和 : パーティクルフィルタとその実装法, 情報処理学会研究報告 (CVIM) , 2007.
- 8) GPSロガー「i-gotU」 : <http://www.i-gotu.jp/>