

第IV部門

移動体通信システムを用いた歩行軌跡測定の精度分析

神戸大学工学部	学生員	○長尾 大
神戸大学工学部	正会員	井料 隆雅
神戸大学大学院	学生員	椿 涼太
神戸大学大学院	正会員	朝倉 康夫

1. はじめに

近年、移動体の行動を捉える方法として、GPSなどに代表される移動体通信システムを用いる手法がある。しかし、それらの移動体通信システムで得られるドットデータは、空間的な誤差を含み、時間の離散化による情報の欠落がある。こういった特徴を持ったドットデータからどのような情報を得ることができるのか、また、どのようにして我々が望む情報を得るかが課題となってくる。

本研究では、評価指標がどれくらいの確率である区間に入るかを推定する区間推定の考え方を導入した。GPSを用いて得られたドットデータより、評価指標の分布を再現し、再現された分布より信頼率 $(1-\alpha)$ となる信頼区間を推定する方法の開発を本研究の目的とする。

2. 誤差モデル

2-1. 誤差の特性

2台のGPSを用いた、約20分間、1秒間隔での定点観測の実測値より、誤差の評価を行った結果、GPSの誤差には以下のような特徴があることがわかった。

- 1) 経度方向・緯度方向の誤差に相関が見られる
- 2) 連続した時間の測定値に正相関が見られる
- 3) 連続した時刻の測定値の差は、連続した時刻について独立であると仮定できる

本研究では、2次元平面上の2つの軸方向の誤差をそれぞれ独立に扱うため、GPSの測定値は座標軸を第1及び第2主成分方向に変換して取り扱うものとする。

また、2)、3)より時刻 $t+1$ における測定値は時刻 t における測定値に依存し、連続した時刻の測定値の差は全ての時刻について独立であると仮定する。

2-2. 誤差モデルの作成

2-1での仮定より、以下の式で表される誤差モデルを作成した。なお、本研究では、第1主成分方向を Z_1 方向、第2主成分方向を Z_2 方向とした。

$$Z_1(T) = z_1(T) + \sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{Z_1,t} \quad (2.1)$$

$$Z_2(T) = z_2(T) + \sum_{t=2}^T \hat{\varepsilon}_{Z_2,t} \quad (2.2)$$

$Z_1(t), Z_2(t)$: 時刻 t において測定された座標

$z_1(t), z_2(t)$: 時刻 t における真の座標

$\hat{\varepsilon}_{Z_1,t}, \hat{\varepsilon}_{Z_2,t}$: 時刻 t の測定値と時刻 $t-1$ の測定値の差

また、 $\hat{\varepsilon}_{Z_1,t}, \hat{\varepsilon}_{Z_2,t}$ は、実測値より、ほぼ正規分布に従うと仮定できる。

3. 区間推定手法

区間推定の対象となる評価指標を f とし、評価関数 F を用いて以下のように表す。

$$f = F(\bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_T) \quad (3.1)$$

$$\bar{z}_t = (z_1(t), z_2(t)) \quad (3.2)$$

また、誤差モデルはベクトルを用いて

$$\bar{Z}_t = \bar{z}_t + \tilde{\varepsilon}_t \quad (3.3)$$

$$\bar{Z}_t = (Z_1(t), Z_2(t)) \quad (3.4)$$

$$\tilde{\varepsilon}_t = \left(\sum_{s=1}^t \varepsilon_{Z_1,s}, \sum_{s=1}^t \varepsilon_{Z_2,s} \right) \quad (3.5)$$

と表される。

ここで、軌跡空間が十分大きく、全ての軌跡の出現確率が均一であると仮定することにより、誤差モデルを以下のように変形する。

$$\bar{z}_t = \bar{Z}_t - \tilde{\varepsilon}_t \quad (3.6)$$

真の座標 \bar{z}_t を確率変数で表すことにより、評価指標 f は確率変数となる。式(3.1)、式(3.6)より

$$\hat{f} = F((\bar{Z}_1 - \tilde{\varepsilon}_1), (\bar{Z}_2 - \tilde{\varepsilon}_2), \dots, (\bar{Z}_T - \tilde{\varepsilon}_T)) \quad (3.7)$$

を得る。式(3.7)より、 \hat{f} は測定値 \bar{Z}_t をパラメータ

とする分布に従うことがわかる。測定値 \bar{Z}_i をパラメータとし、乱数を用いた 10000 回の繰り返し計算により \hat{f} の累積分布を再現する。再現された累積分布の 10 パーセント値から 90 パーセント値までを信頼率 0.8 の信頼区間とする。

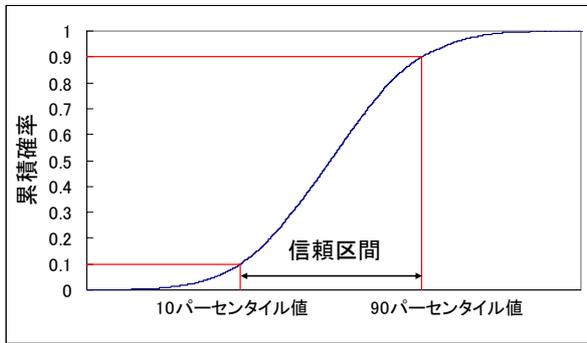


図 3.1 区間推定結果出力図

4. 実証実験および区間推定結果

4-1. 実験概要

データを取得するため実験を行った。実験概要については表 4.1 のとおりである。

表 4.1 実験概要

項目	内容
実験日時	2005年1月26日 11時から15時まで
実験場所	神戸大学大学院自然科学研究棟3号館前広場
使用器具	GPS2台
被験者	女子大学生2名
取得データ	GPSによる被験者の移動データ ビデオカメラによる広場の歩行者軌跡座標

4-2. 区間推定結果

実験より得られたデータを用いて 2 種類の評価指標に対して区間推定を行う。

- 1) OD 間の総移動距離
- 2) 離れた時刻における二点間の直線距離

なお、本研究ではビデオ画像によって得られた軌跡座標を真値として用いることとする。

- 1), 2)の指標の区間推定結果を表 4.2, 表 4.3 に示す。

表 4.2 OD 間の総移動距離の区間推定結果

	信頼区間に 入ったケース	信頼区間に入らなかったケース		合計
		真値より小さく推定	真値より大きく推定	
GPS1号機	2	0	7	9
GPS2号機	1	0	4	5
合計	3	0	11	14

表 4.3 二点間の直線距離の区間推定結果

	信頼区間に 入ったケース	信頼区間に入らなかったケース		合計
		真値より小さく推定	真値より大きく推定	
GPS1号機	7	1	3	11
GPS2号機	7	0	2	9
合計	14	1	5	20

結果を見ると、OD 間の総移動距離の区間推定ではほとんど信頼率 0.8 の信頼区間に入っていないことがわかる。また、信頼区間に入らなかった全てのケースで、信頼区間は真値よりも大きく推定されている。二点間の直線距離の区間推定は 7 割が信頼率 0.8 の信頼区間に入った。信頼区間に入らなかったケースを見ても、真値より小さく推定されているケースもあった。

また、どちらの指標も、測定値に異常点と見られる誤差を含むケースや、被験者の滞在をうまく観測できていないケースでは真値は信頼区間に入らなかった。

2 種類の評価指標で結果が異なる理由として、総移動距離を推定する際の推定誤差の積み重ねが考えられる。本研究では全ての軌跡の出現確率が均一であると仮定を置いたため、連続した時刻の点列間の直線距離を推定する際に真値より大きく推定される確率が高くなる傾向を持っている。総移動距離は連続した時刻の点列間の直線距離を足し合わせて計算されるため、推定された結果が大きくなったと考えられる。

5. おわりに

本研究で提案した手法では二点間の直線距離についてはある程度区間推定できていたが、OD 間の総移動距離をうまく区間推定することはできなかった。

これは、全ての軌跡の出現確率が均一であるという仮定が人の行動規範に沿うものではないためであると考えられる。ある人が広場平面を目的地まで歩く場合、その人は蛇行しながらよりも、ほぼ直線的に歩くことのほうが確率的には高いと考えられるので、全ての軌跡の出現確率は均一ではないと考えられる。

今後の課題として、人の行動規範を仮定として取り入れた誤差モデルを作成し、より実用的な評価指標の区間推定手法を提案することがあげられる。

【参考文献】 1)坂井丈泰；GPS 技術入門，東京電機大学出版社

2) MapInfo HP；<http://www.mapinfo.jp/>

3) David L. Wilson's GPS Accuracy Web Page；
<http://users.erols.com/dlwilson/gps.htm>

4) Integrated Site of Statistical Science for Research and Education；<http://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/~stat/>

5) 薩摩順吉；理工系の数学入門コース 7 確率・統計，岩波書店