

# GPS および磁気センサによる人の移動軌跡の連続推定\*

## Successive estimation of trajectories of persons using the GPS and magnetic sensors\*

多田俊也\*\*・赤羽弘和\*\*\*

By Toshiya TADA \*\*・Hirokazu AKAHANE \*\*\*

### 1. はじめに

近年、携帯電話へのGPS機能の搭載義務化により、測位した位置情報を前提とした各種コンテンツの提供、たとえば、歩行者ナビゲーション、渋滞情報、交通機関の乗り換え案内などの情報サービスが普及しつつある。今後は、パーソントリップ調査などへの本格利用も想定される。このような展開に必須の要件のひとつが、GPS利用が困難な屋内や地下においても、位置推定を継続できることであると考えられる。

本研究の目的は、携帯電話への搭載実績がある磁気センサによる3次元の加速度と姿勢角の自律計測データと、GPSによる測位データとを利用し、GPS測位が困難な屋内および地下空間においても、人の移動軌跡を連続的に推定することである。GPS測位値および磁気センサによる計測値には誤差が含まれ、前者には非測位区間の発生が不可避である。これらを拡張カルマンフィルタにより統合処理して移動軌跡を中断なしに最小二乗推定するものである。

本研究においては、当初は磁気センサを搭載した携帯電話自体を利用して、すなわち、携帯電話本体にデータを一旦蓄積し、それをサーバーに送信して再度蓄積し、さらには分析・処理用一括ダウンロードしていた。そのため、長区間のデータ収集では、携帯電話本体のデータ蓄積容量が不足してオーバーフローし、測位時間間隔が不定となってしまった。

今回は、GPS受信機と上記と同一機種の磁気センサをノートPCに接続し、それぞれの計測データを蓄積することにより、長区間での移動軌跡の連続推定を可能にした。図-1に、本研究で使用した計測・記録システムの概要を示す。携帯電話本体の記憶容量や処理能力に関しては今後の向上を期待することとした。



図-1 計測・記録システムの概要

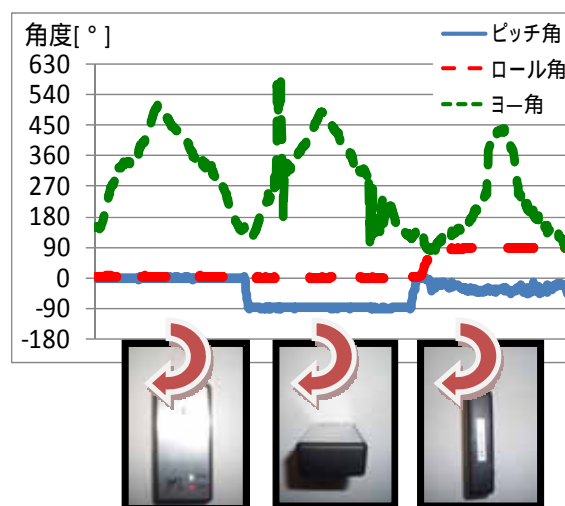


図-2 磁気センサによる姿勢角の計測例

### 2. 姿勢角の計測精度の検証

移動軌跡を推定するにあたり、姿勢角に基づく移動ベクトルの回転変換が、一定精度を達成することが重要である。図-2には、磁気センサを水平に置き、ピッチ、ロール、ヨーの各回転軸回りに、回転させた際の計測例を示す。磁気センサをピッチとロールの軸毎に90度引き起こした際も、一定精度で計測されている。一方で、いずれの軸回りの回転でもヨー角出力が変化している。

図-3には、上記の精度検証の際に出力された加速度を、それぞれの軸の回転角で変換し、重力加速度を算定した結果を示す。図中の加速度Zが、変換後の鉛直方向加速度である。同図の右端部のロール軸回りの回転時に、

\*キーワード：交通情報、磁気センサ、歩行者、ナビ  
\*\*非会員、千葉工業大学大学院  
\*\*\*正員、工博、千葉工業大学工学部建築都市環境学科  
(千葉県習志野市津田沼2-17-3、  
[TEL:047-478-0444](tel:047-478-0444)  
E-mail:akahane@ce.it-chiba.ac.jp)

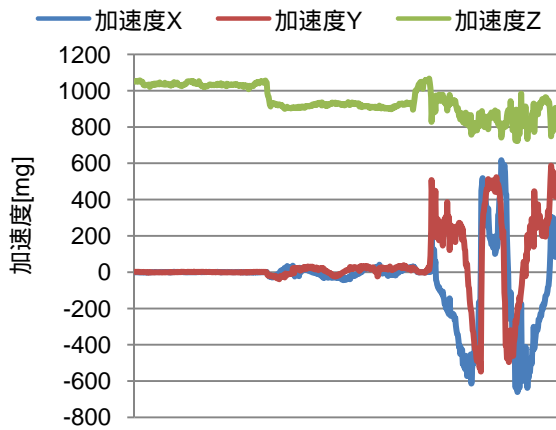


図 - 3 加速度の計測例

水平2軸方向の加速度の計測誤差が大きくなり、鉛直方向加速度に、その影響が現れている他は、ほぼ安定した計測結果が得られている。

### 3. 磁気センサデータのみによる移動軌跡の推定

磁気センサ接続済みのノートPCを携帯し、千葉工業大学津田沼キャンパス周りをGPS測位できない仮想地下空間と想定して周回し、その際の計測データに基づいて移動軌跡を推定した。

加速度の計測に含まれるバイアス誤差を補正するために、次の前処理を行った。すなわち、磁気センサを水平状態で磁北方向に向けたまま10分間放置した後の計測値を、周回移動時の計測値から差し引いた。

その上で、磁気センサにより得られた3軸加速度の計測に含まれるバイアス誤差（低周波成分、主に重力加速

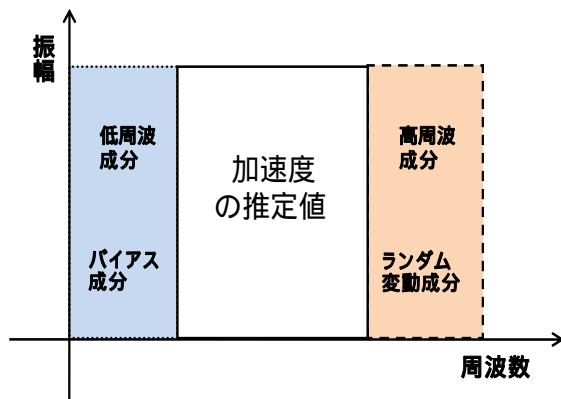


図 - 4 バイアス誤差とランダム誤差の概念

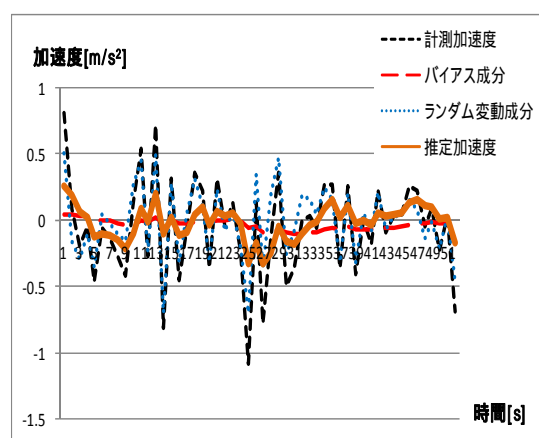


図 - 5 加速度の時間変動

表 - 1 使用データ一覧

GPS 受信機		
RCR	記録条件	
DATE	日時	
TIME	現在時刻	
VALID	衛星状況	
LATITUDE	緯度	
LONGITUDE	経度	
HEIGHT	高度	
HEADING	方位	
PDOP	3D 座標上での位置精度	
磁気センサ		
項目	内容	単位
Ax	X 方向加速度	mg
Ay	Y 方向加速度	mg
Az	Z 方向加速度	mg
Pitch	ピッチ角	(°)
Roll	ロール角	(°)
Yaw	ヨー角	(°)



図 - 6 磁気センサのみによる移動軌跡の推定結果

度)とランダム誤差(高周波成分)を、指数平滑により除去した。処理後の3軸加速度計測値を2回積分し、移動ベクトルを算出した。その値を、姿勢角により世界座標系へ回転変換し、移動軌跡を推定した。表-1に使用データ、図-4にバイアス誤差とランダム誤差の概念、図-5に低周波成分、高周波成分の時間変動と推定加速度、図-6にGoogleマップ上に表示した推定結果を示す。

#### 4. 計測データの同期記録方法

拡張カルマンフィルタによる統合処理には、PS測位データと磁気センサ計測データとが高精度に同期している必要がある。そのため、磁気センサを接続するノートPCの内蔵時計をGPS時刻に同期させたうえで、磁気センサの計測データを内蔵時計の時刻とともに出力、記録させた。同様に、GPS受信機の測位データもGPS時刻とともに出力、記録し、GPS時刻をキーとして計測データを照合して同期させた。

#### 5. GPS測位データおよび磁気センサデータの統合処理による移動軌跡の推定

世界座標系における位置と運動量に関する差分方程式に拡張カルマンフィルタを適用し、同座標系における端末位置を最小二乗推定した。なお、加速度計測値に含まれるバイアス誤差も、状態量のひとつとして同時推定し、推定軌跡を自動補正する仕組みとした。

上記方法で千葉工業大学津田沼キャンパス周りにおける移動軌跡を推定した。GPS欠測の影響評価として、一様乱数により無作為的に欠測点を仮想設定し、そこでのGPS計測値は使用しないで移動軌跡を推定した。図-7に、GPS欠測率が90%の場合の推定例を示す。

GPSの欠測にも関わらず、移動距離、進行方向については概ね実軌跡を辿れている。所々で生じている実軌跡と推定軌跡の乖離については、分散値やバイアス項の推定パラメータの最適化等により、改善が期待できる。

#### 6. まとめと今後の課題

本研究の目的である屋内・地下空間等のGPS欠測区間における移動軌跡の推定について検証してきた。

磁気センサのみでの移動軌跡の推定結果については概ね妥当な推定結果が得られた。拡張カルマンフィルタ処理における推定については、一様乱数により無作為的に90%程度のGPS欠測点を仮想設定したケースについては、一定精度の推定結果が得られた。しかし、建物内部等で連続的にGPSが欠測する場合の推定精度は、さらに改善を要する。



図-7 GPS欠測率が90%の場合の推定例

今後は地下空間を含む長区間での精度検証や、多種多様なGPS欠測パターンを設定し、推定精度検証を行う必要がある。計測バイアス項等の推定パラメータの最適化や、拡張カルマンフィルタの観測方程式の改善等も必要であると考えられる。さらに、アンセンチドカルマンフィルタ等の利用も想定される。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、(株)エムティーアイ、および(株)アイ・トランスポート・ラボの小宮粹史氏より多大なる支援を得た。また、千葉工業大学・学生(当時)の前司敏昭氏、河野智英氏、佐藤岳氏、瀬川高弘氏の貢献も大きかった。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 小宮粹史, 大口敬, 赤羽弘和, 堀口良太, 桑原雅夫: 車両間および車両と道路構造との相互作用の連続観測用実験車の開発, 交通工学, Vol.44, No.1, pp.71-80, 2009.
- 2) 東京大学 柴崎研究室 小西勇介: 自律方式による歩行者用ポジショニングシステムの開発, 地理情報システム学会講演論文集, vol.10, pp389-392, 2001
- 3) 河野智英: 地図照合を計測データの統合処理に組み入れた人の移動軌跡の推定, 千葉工業大学修士論文, 2008.