

慣性航法による携帯端末の相対移動推定に関する一検討

廣田祐馬[†] 藤井 雅弘[†] 渡辺 裕[†]

[†] 宇都宮大学 工学部 情報工学科

1 はじめに

近年、携帯端末によって様々な場所からインターネットアクセスが可能となっている。携帯端末に提供されるサービスの一つとして位置情報を用いたものがあり、現在地を表示する地図や周辺店舗の検索、ソーシャルサービスとの連携などが実現している。端末の位置情報を取得する方法としては、GPS(Global Positioning System)が広く用いられている。GPS測位では地球を周回する複数の衛星から信号を受信することで現在地の測位を行っているが、壁などの障害物による信号の遮蔽や建物による反射・回折により利用できる衛星の数が減少してしまう。この結果、端末が屋内やビル群の近く、高架下などに入ると精度が大きく低下することがある。

一方で、近年普及が進んでいる多くのスマートフォンでは端末の姿勢や挙動を検出するために加速度センサやジャイロセンサが搭載されている。このようなセンサからの情報を基に、基準となる場所からの移動量を計測し、位置を推定する自律航法が知られている。GPSによる測位では精度が低下するような状況でも、自律航法を用いることで端末の相対移動量を測定することができる。

この自律航法の一つとして、加速度センサの値を積算することで移動量を推定する慣性航法がある。慣性航法による移動量推定は周囲の環境に依存しないという利点があるが、センサ系で生じるドリフトによる推定誤差の累積が問題となる。これに対し、足爪先に固定したセンサ群を用いる手法[1]では被験者が歩行しているかの判定を行い、推定値の補正を行うことで誤差を軽減できることが示されている。

本稿では、スマートフォンに搭載されたセンサ群の情報をを用いた慣性航法の実現を目的として、端末の状態を判定して処理を切り替えることで推定誤差を軽減する手法について提案する。

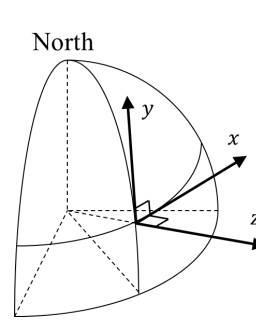


図 1: n 座標系

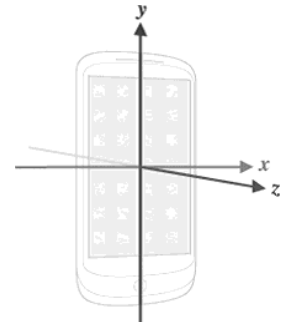


図 2: b 座標系

2 提案手法

2.1 座標系の変換

本研究における座標系として、n座標系(ワールド座標系, 図1)とb座標系(端末座標系, 図2)を定義する。どちらの座標系も端末中心を原点とする右手座標系であり、n座標系ではz軸を地球中心から端末原点に向かう方向、y軸を端末の磁北の方向にとる。また、b座標系ではx軸を端末の画面に向かって右の方向、y軸を上の方方向にとるものとする。

2.2 加速度の積算

運動する移動体において、 ΔT 秒ごとに加速度を計測する。時刻 t における位置を $\underline{l}(t) = [l_x(t), l_y(t), l_z(t)]^T$ 、速度を $\underline{v}(t) = [v_x(t), v_y(t), v_z(t)]^T$ 、n座標系での加速度を $\underline{a}_n(t) = [a_{n,x}(t), a_{n,y}(t), a_{n,z}(t)]^T$ とし、時刻 t から $t + \Delta T$ の間で移動体が等速直線運動する場合、時刻 $t + \Delta T$ では

$$\begin{aligned} \underline{l}(t + \Delta T) &= \underline{l}(t) + \underline{v}(t)\Delta T + \underline{a}_n(t)\frac{\Delta T^2}{2} \\ \underline{v}(t + \Delta T) &= \underline{v}(t) + \underline{a}_n(t)\Delta T \end{aligned}$$

となる。しかしながら、端末で計測できる加速度はb座標系における加速度 $\underline{a}_b(t) = [a_{b,x}(t), a_{b,y}(t), a_{b,z}(t)]^T$ であるため、b座標系をn座標系に変換する回転行列 $\mathbf{R}_n^b(t)$ を用いて $\underline{a}_n(t) = \mathbf{R}_n^b(t)\underline{a}_b(t)$ なる変換を行う必要がある。 $\mathbf{R}_n^b(t)$ は時刻 t での姿勢(n座標系に対するb座標系の回転)に依存するので、慣性航法による移動量推定では、正しい姿勢を推定することが必要である。

A Study on Relative Movement Estimation for Mobile Terminal using Inertial Navigation

Yuma Hirota[†], Masahiro Fujii[†], Yu Watanabe[†]

[†]Department of Information Science, Faculty of Engineering, Utsunomiya University.

2.3 ジャイロセンサを用いた姿勢推定

端末のジャイロセンサで計測した時刻 t での 3 軸周りの角速度を $\omega(t) = [\omega_x(t), \omega_y(t), \omega_z(t)]^T$ とする. 回転量 $\theta(t) = |\omega(t)|\Delta T$, 正規化角速度 $\tilde{\omega}(t) = [\tilde{\omega}_x(t), \tilde{\omega}_y(t), \tilde{\omega}_z(t)]^T = \omega(t)/|\omega(t)|$ とする時, ΔT 間での差分回転行列 $\Delta R(t)$ は

$$\Delta R(t) = \begin{bmatrix} \tilde{\omega}_x^2 q\theta + c\theta & \tilde{\omega}_x \tilde{\omega}_y q\theta + \tilde{\omega}_z s\theta & \tilde{\omega}_x \tilde{\omega}_z q\theta - \tilde{\omega}_y s\theta \\ \tilde{\omega}_x \tilde{\omega}_y q\theta - \tilde{\omega}_z s\theta & \tilde{\omega}_y^2 q\theta + c\theta & \tilde{\omega}_y \tilde{\omega}_z q\theta + \tilde{\omega}_x s\theta \\ \tilde{\omega}_x \tilde{\omega}_z q\theta + \tilde{\omega}_y s\theta & \tilde{\omega}_y \tilde{\omega}_z q\theta - \tilde{\omega}_x s\theta & \tilde{\omega}_z^2 q\theta + c\theta \end{bmatrix}$$

$s\theta = \sin \theta(t), c\theta = \cos \theta(t), q\theta = (1 - \cos \theta(t))$

で与えられる [1]. 但し, 表記の都合上, $\tilde{\omega}$ に関する (t) の表記を省略していることに注意する. 時刻 t での回転行列は $R_n^b(t) = R_n^b(t - \Delta T)\Delta R(t)$ で逐次的に算出可能である.

2.4 重力加速度と地磁気による姿勢推定

静止時に $|\underline{a}_b(t)| = g$ となることを利用して姿勢を推定することも可能である. まず, b 座標系における加速度 $\underline{a}_b(t)$ と地磁気 $\underline{m}_b(t) = [m_{b,x}(t), m_{b,y}(t), m_{b,z}(t)]^T$ を計測し, 東向きベクトル $\underline{h}(t) = [h_x(t), h_y(t), h_z(t)]^T = \underline{m}_b(t) \times \underline{a}_b(t)$ を算出する. 次に, 磁北向きベクトル $\underline{n}(t) = [n_x(t), n_y(t), n_z(t)]^T = (\underline{a}_b(t)/|\underline{a}_b(t)|) \times (\underline{h}(t)/|\underline{h}(t)|)$ を算出する. n 座標系から b 座標系への回転行列が

$$R_b^n(t) = \begin{bmatrix} \frac{h_x(t)}{|\underline{h}(t)|} & n_x(t) & \frac{a_{b,x}(t)}{|\underline{a}_b(t)|} \\ \frac{h_y(t)}{|\underline{h}(t)|} & n_y(t) & \frac{a_{b,y}(t)}{|\underline{a}_b(t)|} \\ \frac{h_z(t)}{|\underline{h}(t)|} & n_z(t) & \frac{a_{b,z}(t)}{|\underline{a}_b(t)|} \end{bmatrix}$$

のように定義でき, 逆向きの回転は回転行列の逆行列によって得られるため $R_n^b(t) = (R_b^n(t))^{-1}$ として回転行列を求めることができる.

2.5 移動判定

ジャイロセンサによる姿勢推定では初期姿勢の設定と逐次の回転行列演算に伴う累積誤差が問題となる. 一方で, 重力加速度と地磁気による姿勢推定では端末が静止しているという条件が必要である. そこで本研究では, ジャイロセンサで計測した角速度ベクトルの大きさ $|\omega(t)|$ と閾値を比較することで端末の移動を判定し, その判定結果に基づいて姿勢推定手法を切り替える方法を提案する. 提案手法では閾値 λ を用いて, $|\omega(t)| \leq \lambda$ の時刻では端末が静止しているものとして重力加速度と地磁気による姿勢推定を行い, $|\omega(t)| > \lambda$ の時刻ではジャイロセンサを用いた姿勢推定を行う. また, 静止と判定した時刻では, 強制的に $\underline{v}(t) = \underline{0}$ とする. この手法により, 移動と静止が混在するような移動体の挙動に対して, ジャイロセンサを用いた姿勢推定の誤差の累積を軽減しつつ, 移動中の姿勢推定が可能であると考えられる.

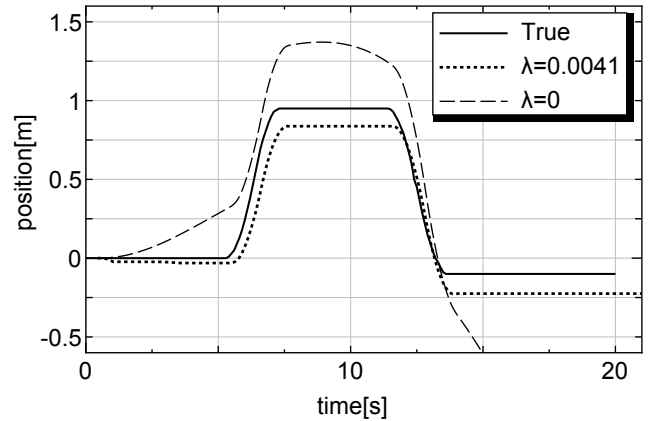


図 3: 実験結果

3 計測実験

本節では, 提案手法を用いた慣性航法による移動量の推定精度の検証を行う. 使用した端末は NTT ドコモ L-05D (LG エレクトロニクス製, Android4.0.4), サンプルレートは 50[Hz] とした. 本実験では, 端末を車両型ロボットに載せた状態で以下に示す移動動作を行い, 実際の移動量と推定値を比較する.

1. 5.3[s] 間静止
2. $+x$ 方向に 45.2[cm/s] で 95[cm] 移動し, 4[s] 間停止
3. $-x$ 方向に 43.8[cm/s] で 105[cm] 移動し停止

事前のキャリブレーションにおいて, 30[s] 間端末を静止した時の $\max_{0 \leq t \leq 30} |\omega(t)|$ を採用し, $\lambda = 0.0041$ [rad/s] とした. ただし, この閾値は使用する端末などに依存するので, 今後詳細に検討を行う必要がある. また, 本実験では, 端末が静止している時に磁北を向いていると仮定して実験を行った.

実験結果を図 3 に示す. $\lambda = 0$ の場合, 提案する移動判定を行わず, 初期値を除いて常にジャイロセンサを用いた姿勢推定を行なっているため, 累積誤差の影響により推定位置が大きくずれている. これに対して, 移動判定を採用した場合, 真の移動に近い位置推定が可能である.

4 まとめ

本稿では, スマートフォンにおける慣性航法において問題となる姿勢推定の累積誤差を移動判定による処理の切り替えによって軽減する手法を提案した. 提案手法を適用することにより, 簡易な端末の移動実験において, 高精度な位置推定が行えることを示した. 今後は, より適切な閾値の設定法や複雑な動作における推定精度などを検討する予定である.

参考文献

- [1] 佐川貢一, 煤孫光俊, 大瀧保明, 猪岡光: 足爪先加速度積分による歩行経路の 3 次元無拘束計測, 計測自動制御学会論文集, Vol. 40, No. 6, pp. 635-641 (2004).