

加速度センサを使った自律位置同定手法の考察*

富永 直樹[†] 安田 絹子[†] 多田 好克[†]
電気通信大学大学院 情報システム学研究所[‡]

1. はじめに

本研究では、小型で低消費電力の加速度センサを使って1次元の加速度を計測し、制約条件ごとに位置同定の精度を確認する。これにより、加速度センサのみによる位置同定の可能性を示し、個人レベルで携帯利用でき、外部装置必要としない位置同定システム実現のための一指標となることを目的とする。

2. 研究の背景

近年、歩行者の道案内や迷子防止、利用者の位置状況に応じた情報配信など、個人が利用可能な位置同定技術が注目されてきている。

2.1 位置同定方法の種類

位置同定方法を分類する基準として外部装置の利用の有無がある。

外部装置を設けることで高い精度を得ている方法に、GPS (Global Positioning System) や PHS などの電波航法型システムがある。これらは、外部装置から送られてくる電波を利用した方法である。外部装置を用いる場合、通信が妨害されるような状況では利用できない、外部装置の設置、維持にコストがかかるという問題がある。

一方、外部装置を用いない、いわゆる自律航法型の方法には、一般的なものとして INS (Inertial Navigation System, 慣性航法装置) が挙げられる。INS は、加速度センサやジャイロなどによって得た加速度を2階積分することによって移動距離を求めるような、慣性系を利用したシステムである。INS の利点は、外部との通信を行う必要が無いため、GPS などに比べ利用場所の制限が少ないことである。しかし、INS では加速度や速度情報を積分する際に誤差が蓄積する欠点がある。

2.2 個人レベルで利用できる位置同定システム

個人用途の位置同定システムとしては、GPS が主流になりつつあるが、これには屋内や地下では位置同定を行えない欠点がある。その問題は、GPS で同定できない場所ではジャイロや加速度センサなどを使用するというハイブリッド型のシステムで対処できる。また、現在では、精度を上げるため磁気センサや気圧計なども同時に用いた方法の研究も行われている [1]。しかしこれらの装置は、個人が手に入れるにはまだ高価であり、規模が大きく携行には適さない。

個人レベルでの携帯利用を可能にするには、システムが安価で、小型、軽量、低消費電力であることが要求される。本研究ではこの点に注目し、他のセンサに比べこれらの点で優位性を持つ加速度センサ ADXL202 を採用

する。そして、この加速度センサのみによる位置同定の有効性について検証を行う。

3. 実験

加速度センサのみによる位置同定の有効性について調べるため、様々な制約条件下での精度を求めたい。そのため、以下のような条件で、1次元の加速度を計測した。

- ランダム移動での計測
- 定期的に停止させ計測
- 1回の移動では進行方向を変えないで計測

また、これらの計測を行う前にセンサの特性を調べるために予備実験を行った。そして、計測時に適用すべき精度改善のための対策案を検討した。

3.1 実験環境

今回用いる ADXL202 は2軸の加速度センサで、測定可能範囲は $\pm 2g$ (g は重力加速度) である。この加速度センサを力学台車に固定し、それをレール (移動可能範囲: 1.2m) 上で走らせた時に発生する加速度を観測した。得たデータは RS232C 経由で定期的 (約 5 ミリ秒ごと) にノート PC に送信し、測定後にオフラインで速度や位置計算の処理をすることとした。加速度センサの分解能は約 3 cm/s^2 で行った。センサの制御プログラムにより分解能を調整できるが、測定周期とトレードオフの関係にあるため、測定周期をより重要と見てこの設定とした。

3.2 予備実験

加速度センサの特性を調べるため、予備実験として、静止状態で10時間観測を行った。その結果、加速度の標準偏差は約 14 cm/s^2 であり、10秒ごとの平均の標準偏差は約 3 cm/s^2 、その変化量の標準偏差は約 1.5 cm/s^2 であった。これは、データの補正をしなければ、10秒あたり速度にして 7.5 cm/s ずつ、距離にして立ち上がりで 25 cm の誤差ができることを示している。また、計測開始時よりも数時間経過後の方が偏差は小さくなった。これは加速度センサの精度が電流による温度変化に影響されるためと考えられる。時間の経過によって温度が安定し、影響が少なくなったため偏差が少なくなったのであろう。よって、測定はセンサを起動させ1時間経過してから行うこととした。

3.3 精度改善のための対策案

予備実験で示されたように加速度センサの出力には雑音が入り、分散が大きくなることや、センサのゼロ基準点 (ゼロを示す値) がずれるランダムバイアスドリフトが存在するといった問題がある。そのため、より正確な同定を行うためには、分散を減らすことや適宜補正を行う必要がある。本研究では以下の方法を用いる。

- カルマンフィルタ
 - データの最小分散となる値を求めるようなフィルタであり、今回の場合は雑音を軽減することに貢献できる。全ての実験で適用した。

*A Study for Autonomous Positioning Using Accelerometer

[†]Naoki TOMINAGA, Kinuko YASUDA, Yoshikatsu TADA

[‡]Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

- 停止時にゼロ基準点を較正

- 停止 → 移動 → 停止という動きがあったとき、その間の加速度の和が0であることを利用し、センサのゼロ基準点と速度、位置を較正する。

3.4 ランダム移動の計測

制約なしの場合のセンサの性能を調べるため、台車をレール上で1分間ランダムに滑らせる計測を数回行った。結果を見るとどれも移動による速度変化があることは見てとれるが、ドリフトによる誤差が蓄積していき、2 m から 5 m 程のずれが生じた。これは台車自体の移動距離よりもかなり大きいので、このままでの利用は難しく、ドリフトの補正を行う必要がある。

3.5 定期的に停止させ計測

速度とセンサのゼロ基準点を停止のたび較正するため、定期的(10秒間隔, 5秒間隔の2通り)に停止させて計測を行った。結果は、ともに大きな加速度が生じる場合は10 cm 以内の誤差で同定しているが、比較的小さな加速度(現状では約 4 cm/s^2 以下)である場合は精度が悪くなり、10秒間隔で40 cm 以内、5秒間隔で20 cm 以内の誤差であった。しかし、ランダム移動の結果よりも格段に精度があがった。精度は分散やセンサの分解能とも関係し、加速度が大きいほうがより良い測定ができることが確認できた。

3.6 移動中の進行方向をかえず計測

1回の移動で現われる誤差を明確にするため、移動中進行方向をかえず、必ず停止するという条件をつけて計測を行った。そして、停止時の誤差を無くすため、停止した時間を記録しておき、計算時に手動で補正を行った。今回の結果は、どの地点でも誤差は累積で5 cm 以内に納まり、非常に良い結果が得られた。一度の移動ですぐに補正するので、短期間でバイアスドリフトの影響を消せたことが良かったためと推測される。今回は手動で補正を行ったが、このセンサの使用時には実時間処理においても、停止時の信号が送れる状態、または、停止の感知が可能であれば、性能も格段に上がることが分かった。

3.7 結果の考察

加速度センサ ADXL202 を使って様々な測定を行った結果、以下のことが分かった。

- 加速度センサのバイアスドリフトが大きく、適宜補正を行わなければならない
- 加速度が大きい方が誤差が少なく測定できる
- 停止した状態を利用し、ドリフト誤差を修正することができれば短期的な位置同定としては高い精度を得られる
- 分解能は 3 cm/s^2 ほどであったが、 4 cm/s^2 程度の加速度でも正確に感知しており、測定周期が重要であることがみてとれた

また、短い周期で停止して補正を行えば、移動距離もある程度の精度で同定することができる。しかし、バイアスドリフトはランダムに発生するため、速度のずれは修正できても積分により蓄積する位置のずれの修正は難しい。そしてセンサが感知できなかった微妙な加速度

のずれなども存在するため、どうしても位置の誤差は発生する。よって、この加速度センサを使って長期的な位置同定を考えた場合、ある単位、例えば10 cm ずつ固定で移動し、移動ごとに停止して補正することで精度を向上できると推測できる。

今回は事後的に補正を行ったが、実際に取扱う場合には、実時間処理を行うことと、人の手を介さずに補正を行うことを考える必要がある。停止状態でのバイアスドリフトの補正は、サイクル数と加速度の平均値さえ分かれば瞬時に速度や位置の補正値を計算することができるので、実時間処理は可能である。課題としては停止状態の検知方法や、その他のバイアスドリフトの修正方法を考えることが挙げられる。

4. 2次元, 3次元への応用

2次元や3次元では直線的な移動だけでなく、回転を考えることが必要である。関連研究では加速度センサで3次元の位置を同定する研究も行われている [2]。今回使用している加速度センサでも、複数同時に使うことによって回転を含めた2次元3軸, 3次元6軸の測定を行うことが理論的には可能である。

2次元の場合、2軸の加速度センサ2つを離してx軸が同一直線上になるように並べ、中心点を軸とした回転と中心点の移動の組み合わせとして考えて、移動を計測できる。このとき、それぞれのセンサのy軸の値の差を2つのセンサ間距離で割った値がこの系の角加速度であり、x軸の値の差を2つのセンサ間距離で割った値がこの系の角速度の2乗である。つまり角度の精度はセンサの分解能とセンサ間距離に依っている。センサ間距離を20 cm として設定すると、角加速度の分解能は 10° 程になる。1次元の場合と同じように停止状態における補正を頻繁に行い、移動と回転角を一定の値にさせれば回転を含めた2次元3軸の同定が可能であると期待できる。なお、2次元の測定については、複数のセンサを利用するためセンサ同士の同期をどうとるかという問題が存在する。

5. まとめ

本研究では小型、低消費電力の加速度センサを用いて1次元の位置同定を行い、このセンサの有効性と回転を含めた多次元での可能性を示した。実験の結果、頻繁に停止してゼロ基準点を較正し、速度と位置の補正を行えば、5 cm 以内の誤差という高い精度で位置を同定できることがわかった。

参考文献

- [1] 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”, 東京大学大学院工学系研究科修士論文, (2001)
- [2] Sou-Chen Leek and Yu-Chao Huang, “Innovative Estimation Method with Measurement Likelihood for All-Accelerometer Type Inertial Navigation System,” in *Proc. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 38, No. 1, pp. 339–346, (January 2002)