

汎用センサを用いた低コスト INS/GPS 複合航法システム

A Low-cost INS/GPS Integrated Navigation System with General-Purpose Sensors

○学 成岡 優 (東大院) 正 土屋武司 (東大工)

Masaru NARUOKA, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo
Takeshi TSUCHIYA, The University of Tokyo

INS/GPS integrated navigation systems, which have been widely used for aircrafts and spacecrafts, have great potential for widespread use. But they have never been used popularly because they use big, heavy and expensive dedicated components. Therefore this paper suggests a new INS/GPS configuration with general-purpose MEMS sensors and a GPS, which have poor precision for navigation, and quaternion algorithm. Making a prototype proves the suggested INS/GPS is far smaller, lighter and more inexpensive than existing ones. In addition, an experiment for comparing with GAIA, a high-precision INS/GPS instrument developed by JAXA, shows it gives precision enough for controlling or monitoring general moving objects.

Key Words : INS/GPS, MEMS, Kalman Filter, Quaterion

1 はじめに

航空機や宇宙機において利用されている INS/GPS 複合航法システム (以下、INS/GPS) は、対象物の位置・速度・姿勢といった移動体の計測や制御には欠かすことのできない情報を高い精度で取得できることから、航空機や宇宙機に限定せずにその利用範囲が拡大されることが期待されている。

しかしながら、既存の航空機・宇宙機用 INS/GPS は性能を最優先しており、特注部品を用いて構成されることが多い。そのため、他用途に採用されるにはサイズや重量、コストにおいて障害が発生している。性能をある程度犠牲にしてもこの問題が解決できれば、INS/GPS がより多くの分野で採用されるであろう。そこで本研究では汎用的な部品を用いて小型・軽量・安価な INS/GPS を構成することを目的とし、その精度を検証するため、プロトタイプを作成し既存の航空用 INS/GPS との比較実験を行った。

2 INS/GPS の構成

INS/GPS はその名前が示すとおり、INS と GPS、2 つの航法システムを統合したものである。本章では本研究の対象となる INS、GPS、また両者を組み合わせた INS/GPS の詳細を述べる。

2.1 INS

INS は、加速度や角速度を検出する慣性センサの出力から運動方程式を解くことにより、現在の位置・速度・姿勢を求める機構である。INS は慣性センサの設置方式により 2 方式に大別できるが、本研究では物理的な機構を必要としないストラップダウン方式を採用した。運動方程式の計算にあたっては計算途中に特異点が発生しない Quaternion を位置・姿勢要素で用いた。

また、INS のシステム全体としての特性の大半は慣性センサに依存する。本研究ではカーナビなどの民生品用として大量に生産される小型・軽量・安価な MEMS センサを用いた。MEMS センサは一般に S/N 比が低く、長時間使用時のバイアス変動が大きいため、既存の INS で採用されるケースはあまりない。

2.2 GPS

GPS は地球上を周回する GPS 衛星からの電波を対象物に取り付けられた GPS 受信機が受信し処理を行うことによって、対象物の位置や速度を出力するシステムである。

GPS の特性は受信する電波帯域などに依存する。本研究ではカーナビ用の 1 万円程度の安価な L1 電波 (1575MHz) を受信す

る汎用的な GPS を用いることにした。

2.3 INS/GPS

本研究では、INS と GPS の統合にあたっては多くの INS/GPS で用いられている Kalman Filter を用い、INS からえられる位置・速度・姿勢情報を、GPS から得られる位置・速度情報によって補正をかける Loose coupling 方式を採用した。具体的な構成を Fig.1 にあげる。

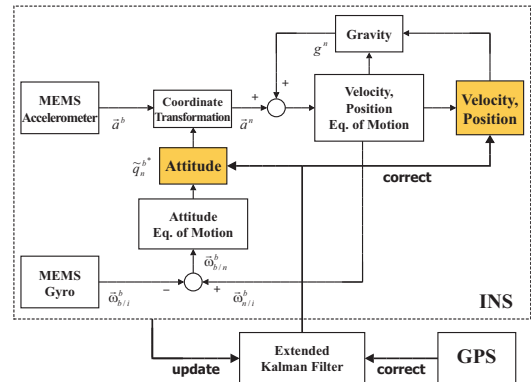


Fig.1 The INS/GPS Configuration

INS の運動方程式は非線形であるため、Extended Kalman Filter(EKF) を適用する。そのために INS の真値に対しての微小差分、いわゆる誤差モデルを作成することになる。しかしながら運動方程式に Quaternion を用いたことにより、Quaternion を $\tilde{q} \equiv \begin{cases} q_0 (\text{スカラー要素}) \\ \vec{q} (\text{ベクトル要素}) \end{cases}$ 、その微小変分を $\Delta\tilde{q}$ と書くならば

$$\begin{aligned} \text{norm. } (\tilde{q} + \Delta\tilde{q}) &= (q_0 + \Delta q_0)^2 + (\vec{q} + \Delta\vec{q})^2 \\ &\approx (q_0^2 + \vec{q}^2) + 2(q_0\Delta q_0 + \vec{q} \cdot \Delta\vec{q}) \\ &> 1 + 2(q_0\Delta q_0 + \vec{q} \cdot \Delta\vec{q}) \end{aligned} \quad (1)$$

となり制約条件 $\text{norm}(\tilde{q} + \Delta\tilde{q}) = 1$ を満足できない。そこで [3] を参考に微小ベクトル要素 \vec{u} を導入し

$$\tilde{q} + \Delta\tilde{q} \equiv \begin{Bmatrix} 1 \\ \vec{u} \end{Bmatrix} \tilde{q} = \begin{Bmatrix} q_0 - \vec{u} \cdot \vec{q} \\ \vec{q} + q_0\vec{u} + \vec{u} \times \vec{q} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

とすれば $\text{norm}(\tilde{q} + \Delta\tilde{q}) = 1$ となることから、EKF ではこの \vec{u} を用いて誤差モデルを構築した。

3 実験

本システムの有効性を検証するため、前章であげた構成にならってプロトタイプを作製し、宇宙航空技術開発機構 (JAXA) 所有の高精度 INS/GPS である GAIA(GPS Aided Inertial navigation Avionics, [4]) との比較実験を行った。実験に際しては同所有の実験用航空機 MuPAL- α を用いた。

3.1 プロトタイプ

プロトタイプについては、外観を Fig.2、構成詳細を Tab.1 にあげる。簡単のため、今回はリアルタイムでデータ取得のみを行い、後に PC にて解析することによって INS/GPS を構成した。初期化は位置・速度については GPS の出力値で行い、姿勢については全てゼロとした。

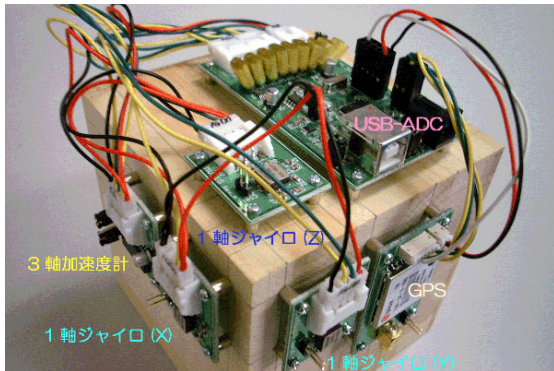


Fig.2 A Look of the Prototype

Tab.1 Components of the Prototype

Item	Description
Accelerometer	1 "LIS3L02AS4" made by STMicroelectronics (3-Axes/1-Package, MEMS)
Gyro	3 "ADXRS150"s made by AnalogDevices (1-Axis/1-Package, MEMS)
GPS	1 "TIM-LA" made by u-blox (L1 GPS, 4Hz update)
A/D Converter	1 "AD7739" made by AnalogDevices (100Hz, 24bit quantization)
Interface	USB ("AN2131" made by Cypress)
Cost	About 30,000 JPY

3.2 結果

GAIA との比較を Fig.3、Fig.4、Fig.5 に示す。GPS から直接出力が得られる位置や速度については GAIA と一致することが確認された。また GPS から直接出力が得られない姿勢についても、GAIA と比較してロールは一致、ピッチ、ヘディングについては傾向が一致というよい結果が得られた。

4 まとめ

本研究で提唱したシステムが小型、軽量、安価であることをプロトタイプを作成することにより確認し、またその精度を比較実験により示した。実験から得られた結果によると、航空機・宇宙機のような非常に高い精度が要求される分野で利用することは不可能であろうが、汎用的な移動体の監視や制御には十分な性能を有すると結論づけられる。

参考文献

[1] Robert M. Rogers. *Applied Mathematics in Integrated Navigation System, Second Edition*. AIAA Education Series, 2003. ISBN 1-56347-656-8.

[2] D. Choukroun. *A Novel Quaternion Kalman Filter*. Paper 2002-4460 at 42th AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2004.

[3] A. Ude. *Filtering in a unit quaternion space for model-based object tracking*. Robotics and Autonomous Systems, vol.28, pp.163-172 1999.

[4] 張替正敏, 富田博史, 西澤剛志. 高精度 GPS 補強型慣性航法システムの開発. 日本航空宇宙学会論文集, Vol.50, No.585, pp.416-425 2002.

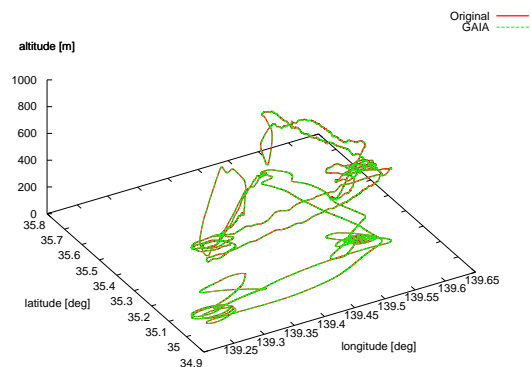


Fig.3 Position History

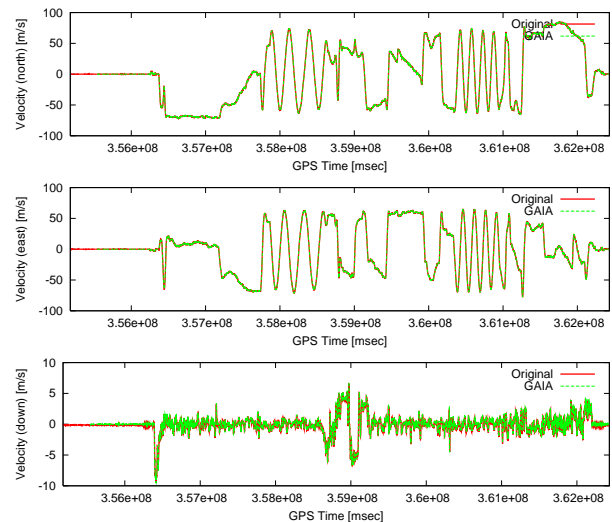


Fig.4 Velocity History

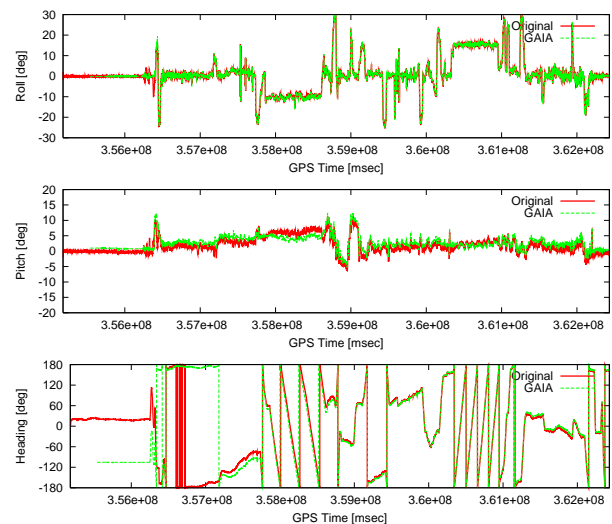


Fig.5 Attitude History