

ジャイロセンサのバイアス同時補正による姿勢推定

Pose Estimation by Simultaneously Estimating and Correcting a Gyro Bias

伊達正太郎¹⁾, 村雲礼惟¹⁾

指導教員 齊藤亜由子¹⁾, 研究協力者 木澤悟²⁾

1) 工学院大学 先進工学部 機械理工学科

2) 秋田工業高等専門学校 創造システム工学科 機械系

キーワード: Bias correction, Gyro sensor, Kalman filter, Pose estimation, Sensor fusion

1. 緒言

MEMS 技術の発達により, 身体部位に直接装着して動作計測可能な小型・軽量の 9 軸モーションセンサが開発されるようになった。9 軸モーションセンサには角速度を計測する 3 軸ジャイロセンサ, 加速度を計測する 3 軸加速度センサ, 磁場を計測する 3 軸地磁気センサが搭載されており, ジャイロセンサ出力に含まれるバイアス誤差を他二つのセンサ出力で補正するセンサ・フュージョンが提案されている。しかし, ジャイロセンサのバイアス誤差は計測環境によって不安定になることも多い。

姿勢推定のためのセンサ・フュージョンにおいて使用されるカルマンフィルタは, ジャイロセンサ出力に基づく予測と, 加速度センサや地磁気センサの出力である観測値を相補的に利用していることから, より精度の良い姿勢推定のためにはジャイロセンサのバイアス誤差自体を逐次推定して補正することが望ましい。

そこで本研究では, ジャイロセンサ・加速度センサ・地磁気センサを用いたセンサ・フュージョンにおいてジャイロセンサのバイアス補正・姿勢推定を同時に行うアルゴリズムを提案する。提案手法による推定結果は, バイアス補正を行わないセンサ・フュージョンの推定結果, およびロータリーエンコーダの計測値と比較することにより精度の検証を行う。

2. 姿勢推定

ロール角 (X 軸周り) とピッチ角 (Y 軸周り) の初期角度は, ジャイロセンサの出力からは得ることができないため, 静止時に加速度センサから得られる重力加速度を用いて式(1), (2)で表すことができる。

$$\varphi_A = \text{atan2} \frac{A_y}{A_z} \quad (-\pi < \varphi_A < \pi) \quad (1)$$

$$\theta_A = \text{atan2} \frac{-A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \quad (-\pi < \theta_A < \pi) \quad (2)$$

ここで, A_x, A_y, A_z は 3 軸方向の加速度センサ出力であり, φ_A, θ_A は加速度センサ出力を用いて算出したロール角, ピッチ角の初期値を示す。

ヨー角の初期値 ψ_m は傾斜誤差を補正した磁場 c_m を用いることにより式(3)で表すことができる。

$$\psi_m = \text{atan2} \frac{-c_{m_y}}{c_{m_x}} \quad (-\pi < \psi_m < \pi) \quad (3)$$

動作中の姿勢算出には式(4)を用いる。

$$\begin{bmatrix} \psi_{t+1} \\ \theta_{t+1} \\ \varphi_{t+1} \end{bmatrix} = \int \begin{bmatrix} \dot{\psi}_t \\ \dot{\theta}_t \\ \dot{\varphi}_t \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \psi_t \\ \theta_t \\ \varphi_t \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここで, $\varphi_{t+1}, \theta_{t+1}, \psi_{t+1}$ は時刻 $t+1$ におけるロール・ピッチ・ヨー角であり, $\varphi_t, \theta_t, \psi_t$ は時刻 t におけるロール・ピッチ・ヨー角を示す。

続いて, 姿勢推定のための拡張カルマンフィルタを構成するために, 非線形状態方程式, 非線形観測方程式から成る非線形離散時間システムを構築する。ジャイロセンサのバイアス誤差は経験的に式(5)に示

すダイナミクスを持つことが知られている。

$$\begin{bmatrix} \dot{b}_{x,t} \\ \dot{b}_{y,t} \\ \dot{b}_{z,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\beta_x & & \\ & -\beta_y & \\ & & -\beta_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{x,t} \\ b_{y,t} \\ b_{z,t} \end{bmatrix} + w_t \quad (5)$$

ここで、 $b_{x,t}$ 、 $b_{y,t}$ 、 $b_{z,t}$ は時刻 t におけるバイアス誤差の微分値、 $b_{x,t}$ 、 $b_{y,t}$ 、 $b_{z,t}$ はバイアス誤差、 β_x 、 β_y 、 β_z は定数パラメータ、 w_t は白色雑音である。

式(5)を用いてジャイロセンサのバイアス誤差を状態値として推定するとともに式 (4)を状態方程式へ適用する際、ジャイロセンサ出力からバイアス誤差の推定値を除去することでセンサの姿勢を同時推定する。

3. 実験

提案手法の精度を検証するため、9 軸モーションセンサ (スポーツセンシング社製, SS-WS1792) を用いた 2 条件での計測を行う。条件 1 では、センサを約 30 分間静止。条件 2 ではセンサ Z 軸周りに約 30 分間断続的に約 ± 80 度回転させた。なお、条件 2 においてはロータリーエンコーダを用いて角度変化の真値を計測している。回転速度については、メトロノーム 60bpm に合わせて 1 秒間に 120 度回転するようセンサを回転させる。9 軸モーションセンサのサンプリング周波数は 100 Hz、ロータリーエンコーダのサンプリング周波数は 1Hz である。

4. 結果

図 1 に条件 1 から得られた静止時の結果、図 2 にモーションセンサを断続的に回転させて得られた結果を示す。黒の実線はジャイロセンサ出力を積分した結果、青の実線はジャイロセンサのバイアス推定・補正をしないセンサ・フュージョンによる姿勢推定の結果、赤の実線は提案手法のセンサ・フュージョンによる姿勢推定の結果、緑の実線はロータリーエンコーダの計測結果である。

図 1 より、ジャイロセンサ出力を積分した結果 (黒) は、計測開始 100 秒後から顕著にドリフトしている。一方で、センサ・フュージョンによる 2 つの姿勢推定結果は概ね 0 度を維持しているが、

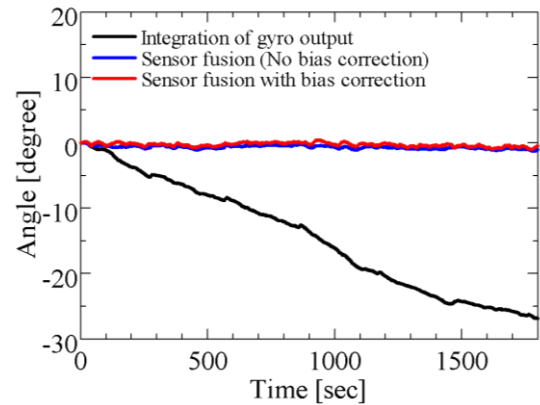


Fig.1 Results for stationary

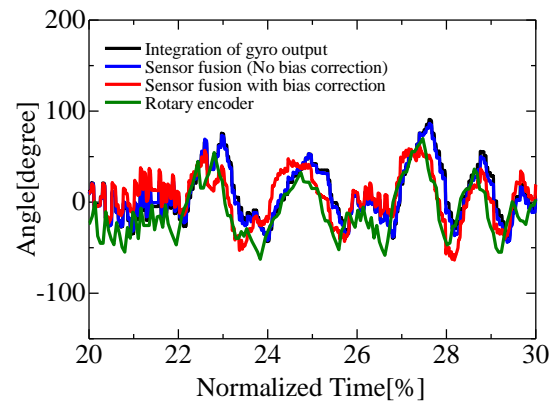


Fig.2 Results for intermittent rotation of sensor

バイアス推定・補正をしないセンサ・フュージョン (青) は提案手法 (赤) の結果よりもマイナス側にオフセットしている。図 2 の各ピーク値に着目すると、ジャイロセンサ出力を積分した結果 (黒) とバイアス推定・補正をしないセンサ・フュージョンの結果 (青) はロータリーエンコーダの結果 (緑) より遅れてピークが来ていることに加えてプラス側にオフセットしている。これに対し、本研究の提案手法であるバイアス推定・補正したセンサ・フュージョンの結果 (赤) は、ロータリーエンコーダ (緑) とほぼ同時にピークを迎えており、値も概ね一致傾向である。

5. 結言

本研究では、ジャイロセンサ・加速度センサ・地磁気センサを用いたセンサ・フュージョンにおいてジャイロセンサのバイアス補正・姿勢推定を同時に行うアルゴリズムを提案し、検証実験により提案手法の有効性を確認することができた。