

センサの 1 姿勢/3 姿勢タンブル較正

Andrea Vitali

目的とメリット

この設計ヒントでは、1 姿勢または 3 姿勢タンブル較正によって 3 軸センサ（通常は加速度センサ）のオフセットおよび感度を計算する方法を説明します。アルゴリズムの一般化についても説明します。

メリット：

- 地磁気センサおよびジャイロスコープの較正のみ可能で、加速度センサの較正には対応していない MotionFX ライブライアリが提供する較正機能に対して新たな機能を追加する
- 簡潔ながら必要不可欠な実装によりエンド・ユーザによるカスタマイズや機能強化が容易に可能（MotionFX はバイナリ形式のみで提供され、ソース・コードは付属しない）
- すべてのマイクロコントローラで容易に使用可能（MotionFX は STM32 でのみ実行可能）

適用範囲

この設計ヒントは、ST マイクロエレクトロニクスのすべての加速度センサ、デジタル・コンパス・モジュール、および iNEMO 慣性計測ユニットに適用されます。

仕様

アルゴリズムの仕様：

- 3 軸センサからの入力：姿勢ごとのデータ・トリプレット [x,y,z]
- 1 姿勢タンブル較正の出力：軸ごとのオフセット (Xofs, Yofs, Zofs)
- 3 姿勢タンブル較正の出力：軸ごとのオフセット (Xofs, Yofs, Zofs) および軸ごとの感度 (Xgain, Ygain, Zgain)

1 姿勢タンブル較正アルゴリズムの説明

特に加速度センサを例にアルゴリズムについて説明しますが、地磁気センサなどの他のセンサにも応用できます。本書の最後にある注記を参照してください。

センサの各軸の公称感度が 1 で、他軸感度が無いことが前提です。真の加速度は、測定加速度と次のような関係があります。

$$\begin{bmatrix} \text{AccX} \\ \text{AccY} \\ \text{AccZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{trueAccX} \\ \text{trueAccY} \\ \text{trueAccZ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Xofs} \\ \text{Yofs} \\ \text{Zofs} \end{bmatrix}$$

センサは、1 つの軸のみを刺激し(例えば、Z = 1g)他の軸は刺激に対して直角(例えば、X=Y=0g)になる姿勢に向ける必要があります。: **trueAcc = [0, 0, +1]**

最初に示した方程式から導かれる測定加速度は、上に示した真の加速度の値を代入することによって下記のように計算されます。

1. $\text{AccX} = 0 + \text{Xofs}$, $\text{Xofs} = \text{AccX}$
2. $\text{AccY} = 0 + \text{Yofs}$, $\text{Yofs} = \text{AccY}$
3. $\text{AccZ} = 1 + \text{Zofs}$, $\text{Zofs} = \text{AccZ}-1$

上式からオフセットがすぐに求められます。測定加速度からこのオフセットを差し引くと、真の加速度が得られます。

ただし各軸の感度が前提通りの 1 でない場合や他軸感度が前提通りの 0 でない場合は、計算したオフセットが誤った値になることに注意が必要です。また真の加速度が較正中に[0, 0, 1]を保てない場合も誤った値になります。これはセンサ特性が理想状態でない場合や較正時のアラインメントが不完全な場合に起こり得ます。

3 姿勢タンブル較正アルゴリズムの説明

特に加速度センサを例にアルゴリズムについて説明しますが、地磁気センサなどの他のセンサにも応用できます。本書の最後にある注記を参照してください。

センサに他軸感度がないことが前提です。真の加速度は、測定加速度と次のような関係があります。

$$\begin{bmatrix} \text{AccX} \\ \text{AccY} \\ \text{AccZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Xgain} & 0 & 0 \\ 0 & \text{Ygain} & 0 \\ 0 & 0 & \text{Zgain} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{trueAccX} \\ \text{trueAccY} \\ \text{trueAccZ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Xofs} \\ \text{Yofs} \\ \text{Zofs} \end{bmatrix}$$

センサは、一姿勢につき 1 軸のみを刺激し(例えば、最初に X 軸、次に Y 軸、その次に Z 軸)他の軸は刺激に対して直角になる姿勢に向ける必要があります。

3 姿勢タンブル較正における各姿勢の真の[x,y,z]加速度は、次のとおりです。

1. +X 軸に沿った重力ベクトル: $\text{trueAcc} = [+1, 0, 0]$
2. +Y 軸に沿った重力ベクトル: $\text{trueAcc} = [0, +1, 0]$
3. +Z 軸に沿った重力ベクトル: $\text{trueAcc} = [0, 0, +1]$

最初に示した方程式から導かれる、3 姿勢タンブル較正における各姿勢の測定加速度は、上に示した真の加速度の値を代入することによって計算されます。

1. $\text{AccX1} = \text{Xgain} + \text{Xofs}$, $\text{AccY1} = 0 + \text{Yofs}$, $\text{AccZ1} = 0 + \text{Zofs}$
2. $\text{AccX2} = 0 + \text{Xofs}$, $\text{AccY2} = \text{Ygain} + \text{Yofs}$, $\text{AccZ2} = 0 + \text{Zofs}$
3. $\text{AccX3} = 0 + \text{Xofs}$, $\text{AccY3} = 0 + \text{Yofs}$, $\text{AccZ3} = \text{Zgain} + \text{Zofs}$

各軸のオフセットは、上記の測定値から適切なものをそのまま取得するか、下記に示すように適切な 2 つの測定値を平均することで計算できます。平均化を使用すると、最終的な推定の精度を高めることができます。

- $\text{AccX2} + \text{AccX3} = 2 \text{ Xofs}$, $\text{Xofs} = (\text{AccX2} + \text{AccX3})/2$
- $\text{AccY1} + \text{AccY3} = 2 \text{ Yofs}$, $\text{Yofs} = (\text{AccY1} + \text{AccY3})/2$
- $\text{AccZ1} + \text{AccZ2} = 2 \text{ Zofs}$, $\text{Zofs} = (\text{AccZ1} + \text{AccZ2})/2$

オフセットを計算したら、次のように各軸の感度を計算できます。

- $\text{Xgain} = \text{AccX1} - \text{Xofs}$
- $\text{Ygain} = \text{AccY2} - \text{Yofs}$
- $\text{Zgain} = \text{AccZ3} - \text{Zofs}$

オフセットを差し引き、感度の逆数を掛けると、測定加速度から真の加速度が得られます。

注記

他のセンサへの応用:

- 既知の重力ベクトルを利用して加速度センサ較正に必要な真の加速度基準値を指定することは可能ですが、3 姿勢タンブル較正の中で姿勢を切り替える際に完全な精度が得られない可能性があります。
- あるいは、必要な真の加速度基準値を測定し確認できるように、較正するセンサと同じ向きのリファレンス用高精度センサを使用して較正する方法もあります。
- 地磁気センサやジャイロセンサなどの他のセンサで必要な真の基準値を指定または測定するには、特殊な機器、準備、または手順が必要になる場合があります。

-
- 地磁気センサの場合:ヘルムホルツ・コイルを使用して必要な真の基準値を指定できます。あるいは、地磁気ベクトルとリファレンス用高精度センサの併用も可能です。
 - ジャイロセンサの場合:1 軸ターンテーブルまたはステッピング・モータ・スピン・テーブルを使用して、必要な真の基準値を指定できます。あるいは、前述のようにリファレンス用高精度センサの使用も可能です。

その他のアルゴリズム:設計ヒント DT0053 で解説している [6 姿勢タンブル較正](#)を用いて、オフセット、感度、他軸感度を推定できます。同設計ヒントでは、[N 姿勢タンブル較正の一般化](#)についても示しています。

サポート資料

関連設計サポート資料
BlueMicrosystem1、STM32Cube 対応 Bluetooth® Low Energy およびセンサ・ソフトウェア開発キット
Open.MEMS、STM32Cube 対応 MotionFX リアルタイムモーション・センサ・フェュージョン・ソフトウェア開発キット
技術資料
アプリケーション・ノート、AN4508:低 G 3 軸加速度センサのパラメータとキャリブレーション
アプリケーション・ノート、AN4615:Fusion and compass calibration APIs for the STM32 Nucleo with the X-NUCLEO-IKS01A1 sensors expansion board
設計ヒント、DT0053: 6-point tumble sensor calibration

改版履歴

日付	版	変更内容
2018 年 8 月 28 日	1	初版発行

重要なお知らせ(よくお読み下さい)

STMicroelectronics NV およびその子会社(以下、ST)は、ST 製品及び本書の内容をいつでも予告なく変更、修正、改善、改定及び改良する権利を留保します。購入される方は、発注前に ST 製品に関する最新の関連情報を必ず入手してください。ST 製品は、注文請書発行時点で有効な ST の販売条件に従って販売されます。

ST 製品の選択並びに使用については購入される方が全ての責任を負うものとします。購入される方の製品上の操作や設計に関して ST は一切の責任を負いません。

明示又は默示を問わず、ST は本書においていかなる知的財産権の実施権も許諾致しません。

本書で説明されている情報とは異なる条件で ST 製品が再販された場合、その製品について ST が与えたいかなる保証も無効となります。

ST および ST ロゴは STMicroelectronics の商標です。ST の登録商標については ST ウェブサイトをご覧ください。

www.st.com/trademarks

その他の製品またはサービスの名称は、それぞれの所有者に帰属します。

本書の情報は本書の以前のバージョンで提供された全ての情報に優先し、これに代わるものです。

© 2022 STMicroelectronics – All rights reserved