

# 無人航空機の実現を目的とした マイコン間通信の実装と慣性計測装置の利用に関する研究

竹下 隼平

動的システム・ロボティクス講座

March 3, 2025

# 目次

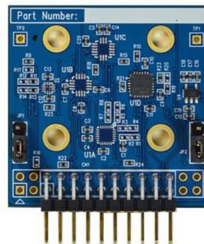
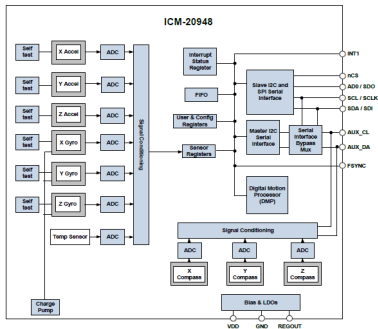
1. 研究背景
2. マイコン間通信について
  - ▶ 全体の構成
  - ▶ 通信インターフェイス
  - ▶ 実験
3. 慣性計測装置について
  - ▶ キャリブレーション
  - ▶ クォータニオン
4. まとめ

# 慣性計測装置について

## 本研究で使用する慣性計測装置 ICM20948

### 原理

- **加速度，角速度**：静電容量方式
- **地磁気**：ホール素子



# 慣性計測装置について

## 慣性計測装置の利用

- ICM20948 によって加速度，角速度，地磁気の測定を行う
- 最終的にこれらのデータを姿勢制御で利用する
- 加速度，角速度に比べ，地磁気センサは外乱による偏りが大きい

# 慣性計測装置について

## 慣性計測装置の利用

- ICM20948 によって加速度，角速度，地磁気の測定を行う
- 最終的にこれらのデータを姿勢制御で利用する
- 加速度，角速度に比べ，地磁気センサは外乱による偏りが大きい

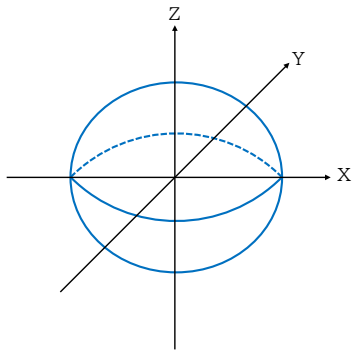


地磁気センサの偏りを補正することが必要

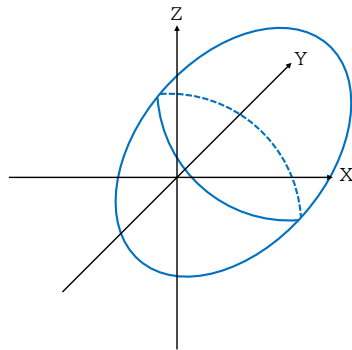
# キャリブレーション

## 地磁気センサの偏り

- Hard Iron Offset : デバイス内の磁性体によって発生する偏り
- Soft Iron Offset : 近くにある金属によって発生する偏り



理想的な地磁気データのイメージ



実際の地磁気データのイメージ

# キャリブレーション

- 最小二乗法

$n$  個のデータ  $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)$  の散布図に対して、二乗誤差が最小となるような係数を推定する方法

## 楕円体の最小二乗法

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \{f(x_k, y_k, z_k)\}^2 \quad (1)$$

$$f(x, y, z) = Ax^2 + By^2 + Cz^2 + 2Dxy + 2Eyz + 2Fxz + Gx + Hy + Iz - 1 \quad (2)$$

係数  $A \sim I$  を求めることで、データから楕円体が推定できる

# キャリブレーション

## 固有ベクトルを用いた方法

- (2) 式を行列式で表現
- 対角化を用いて固有ベクトルを求める
- 回転と平行移動と伸縮を補正

$$P^T A P = \Lambda \quad (3)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_1 & p_2 & p_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$P$ : 直行行列  $p_1, p_2, p_3$ : 固有ベクトル  
 $\Lambda$ : 対角行列  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ : 固有値

## 係数比較を用いた方法

- (6) 式に回転行列  $R$  を適用する
- 回転行列  $R$  を適用した式を展開
- (2) 式と係数比較を行う
- 回転行列, 中心, 半径を求める

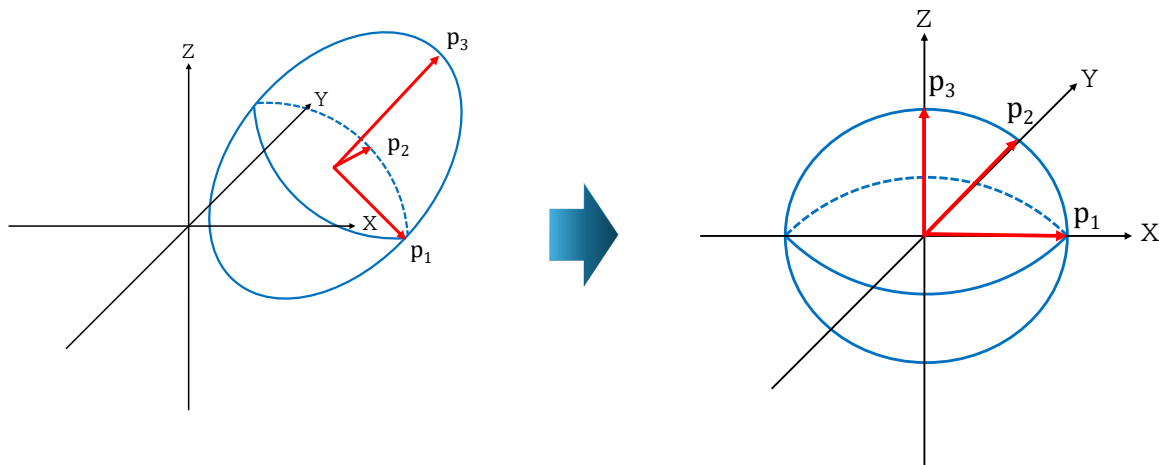
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (6)$$

$$R = R_x(\phi) R_y(\theta) R_z(\psi) \quad (7)$$



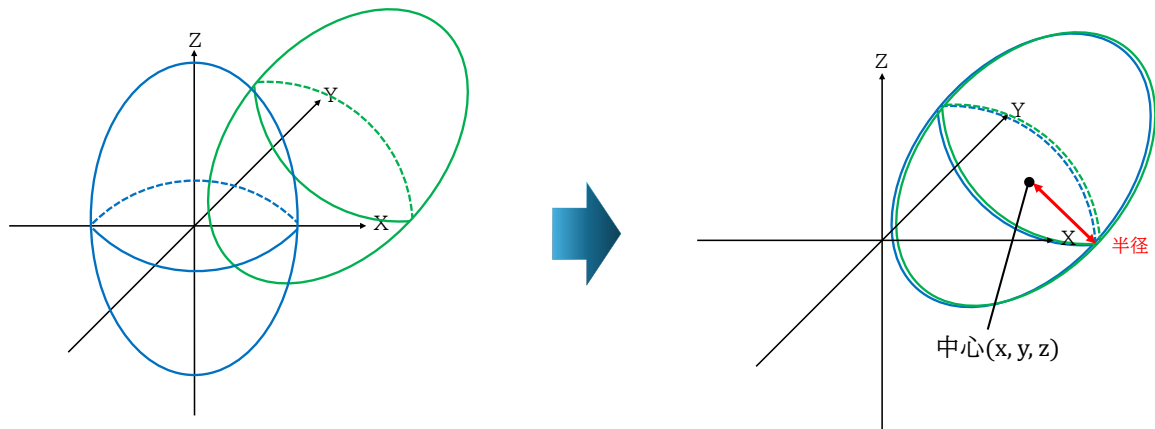
# キャリブレーション

## 固有ベクトルを用いた方法



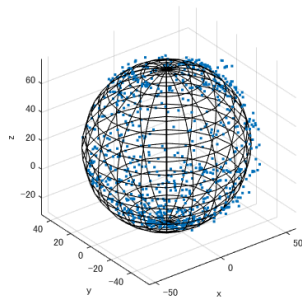
# キャリブレーション

## 係数比較を用いた方法

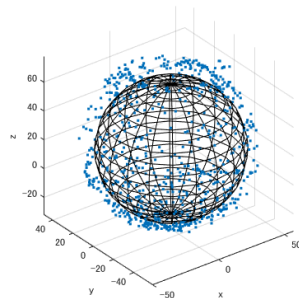


# キャリブレーション

実際に計測したデータを用いて，球の推定を行う．



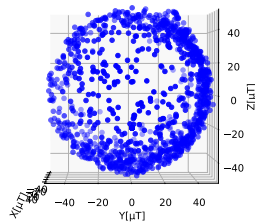
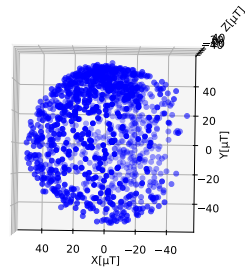
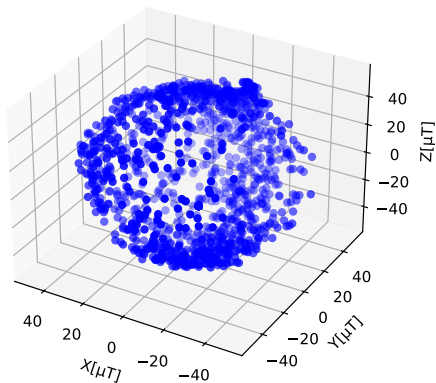
固有ベクトルを用いた方法



係数比較を用いた方法

# キャリブレーション

キャリブレーションを行って取得したデータを用いて、球をプロットする。



# クォータニオン

回転を表現するための手法の一つで、軸を指定するためのベクトルと回転の大きさを表す数字の4つのパラメータを基本として、回転を定義する.

## クォータニオン

$$\mathbf{q} = q_w + q_x i + q_y j + q_z k$$

$$\|\mathbf{q}\| = 1$$

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1$$

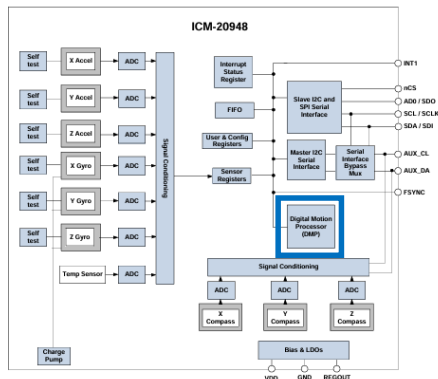
$$ij = k, jk = i, ki = j$$

$$ji = -k, kj = -i, ik = -j$$

# クォータニオン

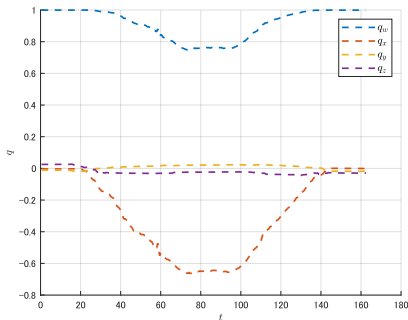
## DMP(Digital Motion Processor)

- ICM20948 の内部で動作する組み込みプロセッサ
- オイラー角やクォータニオンを取得できる

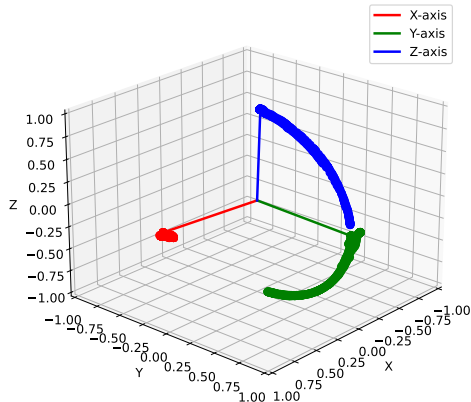


# クォータニオン

DMP を使って,  $x$  軸周りに  $90^\circ$  回転させ, 元に戻すという操作を行う.



取得したクォータニオンのグラフ



クォータニオンの軌跡

