

姿勢方位基準装置(AHRS)による浮体揺動計測の精度検証

秋田大学 学生会員 小池 郁人

秋田大学 正会員 平川 知明

1. はじめに

我が国では再生可能エネルギーや海域条件の観点から浮体式洋上風力発電の開発が進められており、浮体物の位置、姿勢を計測する技術が求められている¹⁾。現在、浮体揺動の計測にはワイヤ式のポテンショメーターが多く使われている。しかしワイヤ式のため計測機器が独立しておらず余分な外力が加わってしまい、実際の値からずれた値を返す可能性がある。また、3次運動の計測も難しいと考えられる。

そこで姿勢方位基準装置(AHRS)の MPU9250 を用いて無線通信で独立して、位置、姿勢計測を行う方法を提案する。MPU9250 で計測できるのは加速度 $\mathbf{a}_s$ 、磁場 $\mathbf{m}_s$ 、角速度 $\boldsymbol{\omega}_s$ の3つであり、計測した3つの変数にBachnmanらの姿勢計測アルゴリズム²⁾を用いて姿勢を計測し、物体の加速度を計算する。その後、数値積分を用いて、速度、位置を算出する必要がある³⁾。しかし、浮体揺動解析に十分な精度かは分かっていない。本研究ではBachnmanらのアルゴリズムを使った姿勢計測と、加速度計算が十分な精度か検証することを目的とする。

2. 実験方法

2.1 計測装置

本研究では写真-1に示す、MPU6050(加速度センサー、ジャイロセンサー)、AK8963(磁気センサー)から構成されるAHRSのMPU9250を用いる。センサーは、Wi-Fiを搭載したマイクロコンピュータのESP32によって制御し、計測結果は無線通信でPCへ送信される。

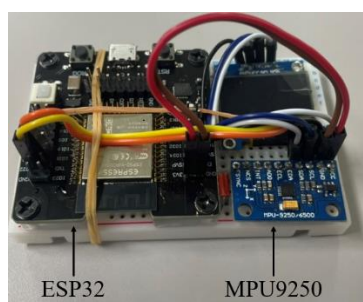


写真-1 計測装置(ESP32 と MPU9250)

2.2 計測方法

計測方法は、初めは x , y , z 軸のそれぞれの軸に対する回転(ロール, ピッチ, ヨー)を反時計回りで回転させ、その後、姿勢を変えずに前後, 左右, 上下に適

当に動かして計測を行う。計測は約 21 秒間である。

3. 姿勢計測の標準アルゴリズム

本研究では Bachnman らの姿勢計測アルゴリズムを用いて姿勢の計測を行う。このアルゴリズムでは複素数を拡張した代数体系で、3次元の回転を表現できるクォータニオン(四元数)を用いて計算を行っている。姿勢を表す $\mathbf{R}_s$ 求める方程式を立てると(1)式になる。

$$\mathbf{f} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{a}_s \\ \mathbf{m}_s \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{R}_s & 0 \\ 0 & \mathbf{R}_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{g}_0 \\ \mathbf{m}_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{a}_b$: 物体の加速度、 $\mathbf{a}_s$: センサーの加速度、 $\mathbf{m}_s$: センサーの磁場、 $\mathbf{g}_0$: 重力加速度、 $\mathbf{m}_0$: 初期の磁場である。(1)を満たすクォータニオンを計算したが、4つの未知変数に対して、6つの方程式があり、さらに非線形方程式なので、このままの形では解くことが難しい。そこで、ガウス・ニュートン法により $|\mathbf{f}|$ を最小にするクォータニオンを計算する。

4. 結果, 考察

4.1 使用する計測データ

計算に用いる計測データについてだが、図-1はリアルタイムで簡易的なローパスフィルターを用いたもので、図-2は予め計測したデータに高度なローパスフィルターを用いた場合の計測結果である。図-2は図-1に比べ低周波成分のノイズが取り除かれていることが分かる。浮体の揺動計測にはリアルタイムでの計測が良いが、本研究ではより計算精度を高めるため、図-2のデータを用いる。

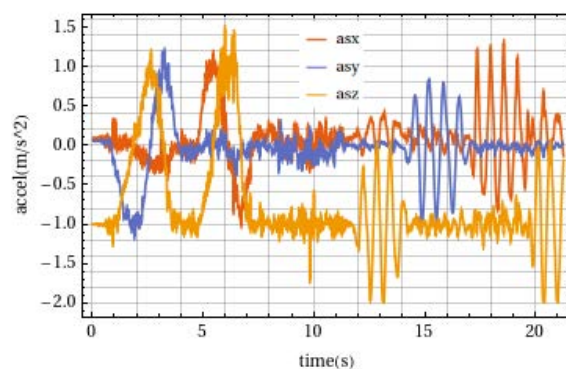


図-1 簡易的なローパスフィルターを用いた加速度の計測結果

キーワード: AHRS, 数値積分

連絡先 (010-8502 秋田県秋田市手形学園町1番1号) TEL 018-889-2884

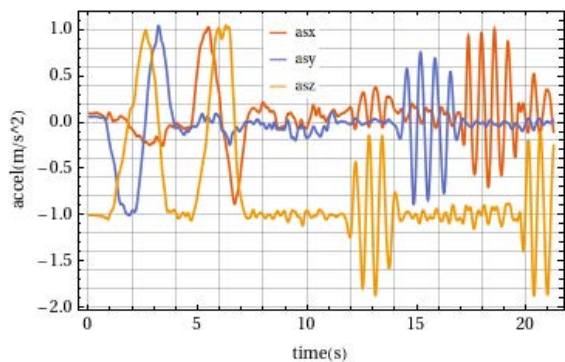


図-2 高度なローパスフィルターを用いた加速度の計測結果

4. 2 姿勢計測について

姿勢計測について考察する．図-3 が姿勢計測の標準アルゴリズムを用いた加速度の計算結果である．計測の初めの約 12 秒間は物体を回転させていたので，加速度はおおよそ 0m/s^2 になるはずである．計算をする前の加速度は重力加速度を計測して図-1, 2 のような結果になっていたが，計算後は回転での加速度は計測しておらず，正しく計算が出来たと考えられる．

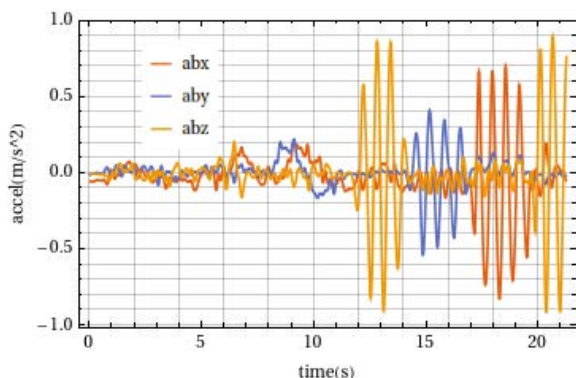


図-3 アルゴリズムを用いた加速度の計算結果

4. 3 加速度について

次に加速度について考察する．約 12 秒後の 3 軸方向の動きに対しての加速度に関しては，重力加速度と同じ z 軸方向の動きはおおよそ正しく計測できていると考えられる．しかし， x , y 軸の動きは実際の加速度の計測結果より過小評価されていることが分かる．これは本研究で用いたアルゴリズムは本来，物体の加速度がゼロの時に成り立つ式であり，また加速度の計測に用いるものではない為である．今回の計測で図-3 のような結果になってしまったのは，アルゴリズムを通して計算した結果，物体は回転していないのに誤って回転したと計算してしまったことが推測できる．図-4 は物体の初期状態の姿勢(左)と，計測を開始して約 14 秒後の物体の姿勢(右)を船に模して，表した図である．姿勢は一切変えずに動かしているのに傾いて計算を行っていることが分かる．これでは正しく加速度を計測できているとは言えず，数値積分をして速度，位置を

求めても正しい結果が得られない．

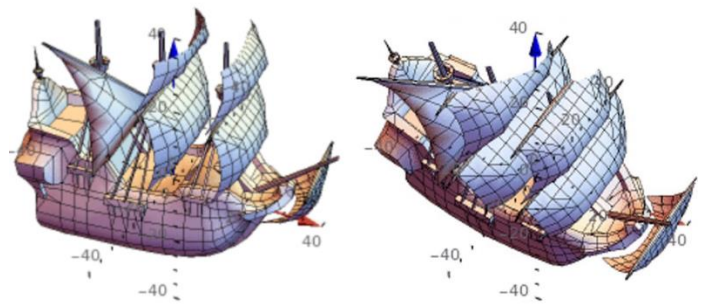


図-4 物体の姿勢計算の結果
(初期状態(左)，約 14 秒後の結果(右))

5. まとめ

本研究では姿勢方位基準装置 MPU9250 と Bachman の姿勢計測アルゴリズムを用いた浮体揺動の計測手法で，その精度検証を行った．その考察の結果を以下に示す．

- ・物体の加速度が小さいときは，姿勢計測はおおよそ正しく行うことが出来る．
- ・このアルゴリズムは物体の加速度が十分に小さい場合，または 0m/s^2 に適用できる．
- ・物体に加速度があると，物体が回転したと間違えた計算をする．その結果，加速度(特に x , y 軸)が過小評価されて算出される．

今後は姿勢計測とともに物体の加速度を直接的に計算できるアルゴリズムの開発とその精度の検証が必要である．

6. 参考文献

- 1) 国立研究開発法人新エネルギー，産業技術総合開発機構(NEDO)：洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップ，2021
- 2) Hang Yan, Qi Shan, and Yasutaka Furukawa : RIDI : Robust IMU Double Integration, 2019, 187-194.
- 3) Bachman, E. R., Duman, I., Usta, U. Y., Mcghee, R. B., Yun, X. P., & Zyda, M. J : Orientation Tracking for Humans and Robots Using Inertial Sensors A Quaternion Attitude Filter. IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, 1999, 187-194.