

## 乗り物の並進加速度を考慮した姿勢推定に関する研究

A study on pose estimation by considering the translational acceleration of a vehicle

村雲 礼惟<sup>1)</sup> 伊達 正太郎<sup>1)</sup>

指導教員 齊藤亜由子<sup>1)</sup>, 研究協力者 木澤 悟<sup>2)</sup>

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: Bicycle, Pose Estimation, Sensor Fusion, Translational Acceleration, 9-axis Motion Sensor

### 1. 緒言

加速度センサを用いた姿勢推定においては、重力加速度以外の加速度の取扱いが推定精度に影響を及ぼす。人間の動作計測において加速度センサを身体部位に装着する場合、計測対象者が静止立位を保っている時には重力加速度のみがセンサ出力に含まれる。しかし、計測対象者が運動を開始すると、センサ出力には重力加速度に加え、並進加速度、遠心・接線加速度が含まれる。そのため、加速度センサを用いて精度よく姿勢推定を行うためには重力加速度以外の加速度を適切に表現する必要がある。

先行研究においては、日常動作の一つである歩行動作を計測し、大腿部、下腿部に発生する遠心加速度と接線加速度を補正して、加速度センサ・ジャイロセンサ・地磁気センサを用いたセンサ・フュージョンを用いることにより膝関節角度を推定した。本研究においては、計測対象者が自転車に乗車している場合を想定し、車体の加速度を並進加速度として考慮した下肢の姿勢推定を行う。

### 2. 並進加速度を考慮した姿勢推定

計測対象者の身体部位と、自転車車体に装着した9軸モーションセンサ出力を用い、自転車の並進加速度を考慮した姿勢推定を行う。具体的には車体に装着したセンサ出力を基準座標系に変換す

ることで重力加速度を除去し、重力加速度を除去した車体加速度を身体部位に装着したセンサ出力から減算することで並進加速度を除去する。

はじめに車体センサ出力から重力加速度を除去するため、車体センサ姿勢を逐次推定する。重力加速度と地磁気センサから得られる磁場を用いて X 軸周りのロール角( $\varphi$ )、Y 軸周りのピッチ角( $\theta$ )、Z 軸周りのヨー角( $\psi$ )の初期値を算出する。X 軸周りのロール角( $\varphi$ )と Y 軸周りのピッチ角( $\theta$ )の初期角度は加速度センサ出力を用いて式(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る。

ヨー角の初期値 $\psi_m$ は式(3)で表すことができる。

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

動作中におけるロール角、ピッチ角、ヨー角は、オイラー角の微分値を式(4)に適用することによって算出することが可能である。

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

ここで、 $\psi_{t+1}$ 、 $\theta_{t+1}$ 、 $\varphi_{t+1}$ は時刻 $t+1$ におけるロー

ル角, ピッチ角, ヨー角であり,  $\psi_t, \theta_t, \varphi_t$  は時刻  $t$  におけるロール角, ピッチ角, ヨー角を示す.

センサの姿勢推定には拡張カルマンフィルタを用いる. 非線形離散時間システムを構成するため, 式(4)を用いて非線形状態方程式, 式(3)と加速度センサ出力を用いて非線形観測方程式を構築する.

さらに拡張カルマンフィルタにより推定したセンサの姿勢を用いて, 加速度センサ出力に含まれる静的加速度を取り除く (式(5)).

$$A_R = A_{orig} - {}^iA \quad (5)$$

ただし,

$$A_{orig} = \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix}, {}^iA = \begin{bmatrix} -\sin\theta_i \cdot g \\ \cos\theta_i \sin\varphi_i \cdot g \\ \cos\theta_i \cos\varphi_i \cdot g \end{bmatrix}$$

ここで,  $A_R$  は導出した動加速度,  $A_{orig}$  は加速度センサ出力を示しており,  ${}^iA$  は加速度センサ出力に含まれる重力加速度を示す.

最後に, 身体部位に装着した加速度センサ出力から, 式(5)により得られた重力加速度を除去した車体加速度を減算し, 並進加速度を除去する. さらに, 並進加速度を除去した身体加速度に式(1)~(4), および拡張カルマンフィルタを用いることで, 並進加速度除去後のセンサ出力を用いて身体部位の姿勢推定を行う.

## 2. 実験

自転車走行計測実験は実験室内, および屋外の直線下り坂にて実施した. 実験室内においては, 自転車のスタンドを立て, 自転車の並進加速度が発生しない環境で計測を行った.

9 軸モーションセンサは被験者の左右大腿部, 自転車サドル下へ合計 3 個装着した(図 1). 9 軸モーションセンサのサンプリング周波数は 100 Hz である.

## 4. 結果

右大腿部に装着したセンサ 1 の姿勢推定結果を図 2, 3 に示す. 図 2 は実験室内での結果, 図 3 は屋外の下り坂における結果である. グラフ横軸は時間, 縦軸は矢状面の角度であり, 黒の実線は自転車の並進加速度を除去しない場合の推定結果,

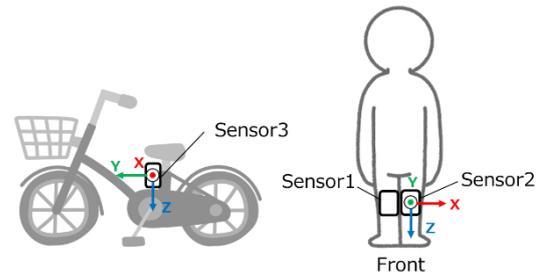


Fig.1 Sensor position

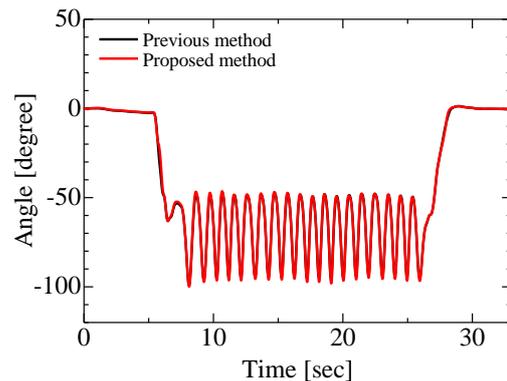


Fig.2 Estimated sensor1 pose (Inside)

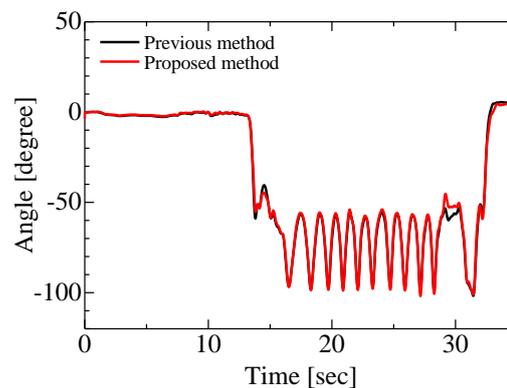


Fig.3 Estimated sensor1 pose (Outside)

赤の実線は並進加速度を除去した場合の推定結果である.

本結果より, 屋内の実験では並進加速度が生じないことから, 2 つの方法での推定結果は一致している. 一方で, 下り坂の結果では 30 秒付近のブレーキ後に大腿部を静止させていた状況が並進加速度を除去した推定結果 (赤) によってのみ適切に示されている. 以上より, 自転車の並進加速度を除去した姿勢推定は, 主に自転車の加速度が急激に変化する局面で役立つことが示唆された.