

踵接地時の衝撃のウェアラブル姿勢センサへの影響

知能機械力学研究室

錦戸良太

1. 緒言

人間の運動中の関節モーメントを推定する従来の方法として、設置式の床反力計と3次元動作解析カメラを組み合わせる方法があるが、この推定方法には測定範囲、環境に制限がかかるという問題がある。この問題を解決するために本研究グループでは、着脱可能なウェアラブル姿勢センサを用いて関節モーメントの推定を行っている。このとき関節モーメントの導出に必要な姿勢角の推定では、3軸加速度計、ジャイロ、地磁気センサの出力にカルマンフィルタを適用するが、床反力計に内蔵された姿勢センサでは踵接地時などに衝撃的な加速度が計測され、姿勢角の精度に悪影響を及ぼす可能性があり、この姿勢角を用いて座標変換を行うと、関節モーメントの推定結果の精度低下につながる。

そこで本研究では、歩行した際、踵接地時の衝撃が踵の角度推定にどのような影響を与えるかを検証し、精度向上のための新しい推定方法の提案を行う。

2. 従来の角度の推定方法

ウェアラブルセンサから得られる出力をもとにカルマンフィルタを通して状態の推定を行う。以下にカルマンフィルタの基礎式を示す。

$$x(k) = Ax(k-1) + bu(k-1) \quad (1)$$

$$P(k) = AP(k-1)A^T + Q \quad (2)$$

$$g(k) = P(k)c/(c^T P(k)c + R) \quad (3)$$

$$x(k) = x(k) + g(k)(y(k) - c^T x(k)) \quad (4)$$

$$P(k) = (I - g(k)c^T)P(k) \quad (5)$$

x は状態推定値、 P は誤差共分散行列、 g はカルマンゲイン、 u はシステム雑音、 R 、 Q は誤差係数、 b 、 A 、 c はシステム行列である。

これまで、歩行中の静的加速度、つまり重力加速度をカルマンフィルタを通して推定し、静的加速度の各軸方向から角度を算出している。

しかし、この推定法の場合、踵接地時の衝撃により静的加速度に誤差が生じるため、踵、爪先が接地している状態でも図1点線のように踵の角度が 0° にならない。また、歩行するごとに誤差が蓄積され、高精度な結果を得ることができていない。そこで本研究では、角度誤差を小さくする新たな角度推定方法を検討する。

3. 提案する校正法

従来法では上述のように、計算が増え、さらに誤差が蓄積されていると推察される。そこで、オイラー角の計算式(6)(7)で加速度から角度を算出し、そこにカルマンフィルタをかけ、カルマンフィルタ内で姿勢角算出のための計算を全て行い、歩行時の踵の角度を推定する。進行方向であるヨー角は常に 0° とする。

$$x = -\text{atan}\left(\frac{A_x^2}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right) \quad (6)$$

$$y = \text{atan}\frac{A_y}{A_z} \quad (7)$$

A_x 、 A_y 、 A_z は歩行中の各軸の加速度であり、 x 、 y は角軸の角度である。

簡単のため、今回は歩行の進行方向に垂直、地面に水平な軸についてのみ考える。

4. 検証実験

4-1. 実験内容

センサを装着し、歩幅が一定になるように歩行を行う。計測開始後数秒静止、歩行、最後に静止を20秒の間で行う。サンプリングタイムを0.01秒としてこの測定を3回行った。

4-2. 実験結果

校正により補正した歩行時の踵の角度の計測結果の一部を図1青実線に示す。図1より校正前と校正後の踵角度を比較すると、歩行時の接地タイミングで踵角度が校正後の方が 0° に近づいているのがわかる。接地時の踵角度は 0° になるため、校正により踵姿勢角推定の精度が上がっていることがわかる。

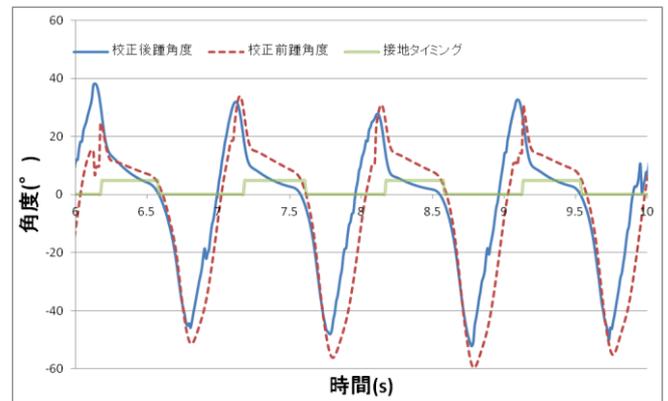


図1 踵角度

5. 結言

本研究では踵接地時の衝撃的な加速度による姿勢センサへの影響を調べ、その校正法を提案した。踵接地時の衝撃は姿勢角推定に誤差を与え、その蓄積により踵角度の精度を落としていた。今回の実験結果からある程度の修正を行うことができた。今後は1軸に限らず3軸の踵接地時の角度修正についても検討し、従来法で求めた関節モーメントとの誤差を小さくしていきたい。