

松葉杖訓練支援のための動作推定システムの開発

Development of Motion Estimation System for Crutch Training

越智 洋司

Youji Ochi

近畿大学工学部

Faculty of Science and Engineering, Kindai University

ochi@kindai.ac.jp

あらまし: 怪我の治療中やリハビリテーション中に一時的に用いられる歩行補助具の一つに松葉杖がある。急遽使用を余儀なくされた患者は十分な歩行方法の指導を受ける機会が少ないため、歩行獲得のための指導に苦慮するケースがみられる。本研究では松葉杖の動きを加速度センサ、ジャイロセンサ、測距センサを用いて検知し、松葉杖を使用しながら正しい使用方法を学ぶことができるシステムの開発を目的とする。

キーワード: 松葉杖, 動作推定, センサ利用

1. はじめに

怪我の治療中やリハビリテーション中に一時的に用いられる歩行補助具の一つに松葉杖がある。しかし、急遽使用を余儀なくされた患者は十分な歩行方法の指導を受ける機会が少ないため、歩行獲得のための指導に苦慮するケースが見られる。また、松葉杖の3点歩行は不安定な歩行形態であることから、松葉杖の正しい使用方法の知識がない者はバランスの悪い使い方になり、さらなる怪我につながる可能性がある。そこで、センサ類を用いて状態を検出して支援する研究がある⁽¹⁾⁽²⁾。本研究も同様なアプローチを採用し、リアルタイムで松葉杖の使用方法を学ぶシステムの開発を目的とする。本稿では、松葉杖の動きを加速度センサ、ジャイロセンサ、測距センサを用いた検知・推定方法について述べる。

2. 本研究のアプローチ

2.1 本研究のアプローチ

本システムでは、加速度センサ、ジャイロセンサ、赤外線測距センサを松葉杖に取り付けることで前後に振った時の縦幅角度、松葉杖を内側・外側に振った時の横幅角度、松葉杖が地面を突いているかどうか(接地判定とする)を検知し、松葉杖の状態を把握することで上記動作判定を実現する。下記に、松葉杖の縦幅角度、横幅角度、接地判定の原理について述べる。

2.2 松葉杖の縦幅角度、横幅角度の検出

松葉杖の縦幅角度、横幅角度の検出には加速度センサ、ジャイロセンサを用いた。加速度センサの位置と取得する重力加速度の方向から加速度センサから得られる松葉杖の縦幅角度、横幅角度はそれぞれ式(1)、式(2)より得られる。縦幅角度を accYangle 、横幅角度を accXangle 、X軸方向の重力加速度を accX 、Y軸方向の重力加速度を accY 、Z軸方向の重力加速度を accZ とする。

$$\text{accYangle} = \tan^{-1}(\text{accZ} - \text{accY}) \div \pi \times 180 \quad (1)$$

$$\text{accXangle} = \tan^{-1}(\text{accX} - \text{accY}) \div \pi \times 180 \quad (2)$$

ジャイロセンサの位置と取得する角速度の方向から松葉杖の縦幅角度は式(3)より得られる。また、松葉杖の横幅角度は式(4)より得られる。(縦幅角度を gyroYangle 、横幅角度を gyroXangle 、X軸方向の重力加速度を gyroX 、Y軸方向の重力加速度を gyroY 、Z軸方向の重力加速度を gyroZ 、時間を t とする)

$$\text{gyroYangle} = \int \text{gyroZ} dt \quad (3)$$

$$\text{gyroXangle} = \int \text{gyroY} dt \quad (4)$$

式(1)、式(2)より加速度センサで得られる松葉杖の縦幅角度、横幅角度は外部加速度が加わる際に誤差が発生する。また、式(3)、式(4)よりジャイロセンサで得られる松葉杖の縦幅角度、横幅角度は積分によるドリフト誤差が発生する。これらの誤差をなくすため、本研究では加速度センサ、ジャイロセンサより得られる松葉杖の縦幅角度、横幅角度を用いて、カルマンフィルターを実装した。タイムステップが進むたびに、システムは観測(測定)値を入手し、その前のステップで予測した値と比較して予測値を補正(更新)する。そして、その都度次のステップの状態の測定を行う。次のステップでは、新たな観測(測定)値を入手してその予測値を補正する。

2.3 松葉杖の接地判定の検出

本研究では接地判定において、

- ・松葉杖が地面に突いている状態 → 接地状態
- ・松葉杖が地面に突いていない状態 → 非接地状態と定義する。松葉杖の接地判定の検出では、赤外線測距センサを用いた。原理として松葉杖の先端付近に赤外線測距センサを取り付け、松葉杖の縦幅角度、横幅角度が 0° 付近であり、接地状態である場合の地面と赤外線測距センサとの距離 X を測定しておく。松葉杖が非接地状態の場合、地面と赤外線測距センサとの距離は距離 X より大きくなり、松葉杖が接地状態の場合、地面と赤外線測距センサとの距離は距離 X と近似値となる。このことから、松葉杖使

用時の地面と赤外線測距センサとの距離を随時測定し、その値が距離 X の近似値(今回は距離 X の +0.5[cm]~-2.0[cm]の範囲を近似値とした)であれば松葉杖は接地状態、距離 X の近似値より大きい値であれば松葉杖は非接地状態と判定する。

3. 試作システム

3.1 システム構成

試作システムは下記の機器により構成する。

- ・松葉杖
- ・Arduino Uno
- ・3 軸加速度センサモジュール(KXR94-2050)
- ・3 軸ジャイロセンサモジュール(AE-L3GD20)
- ・赤外線測距センサモジュール(GP2Y0E02A)
- ・I2C バス用双方向電圧レベル変換モジュール(PCA9306)

センサで検出したデータは、Arduino に集められ、USB 経由で動作推定システムへ転送する。

3.2 動作推定システム

本システムは、センサから得られたデータを元に、2 章で述べた手法により動作推定を行う。Windows アプリケーションとして実装しており、最終的にはタブレット端末でのBluetooth接続での稼働を想定している。ユーザインタフェースを図 2 に示す。

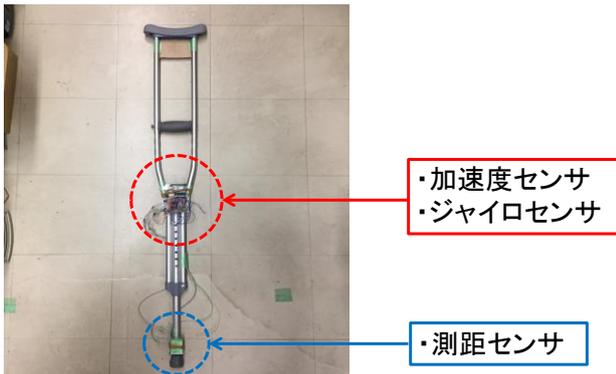


図 1 センサの配置

4. 評価実験

4.1 評価方法

動作推定の精度評価を目的に、研究室所属の四肢が健全な学生 4 名を対象とした評価実験を行った。被験者には実際に松葉杖を使用して、「静止」「前進」「右方向転換」「左方向転換」「階段上り」「階段下り」の動作をそれぞれ 20 回ずつ行い、システムが正しい動作を判定した回数とシステムが判定した正答率を測定した。評価は以下の 3 つの方法に分けて行った。

- (1) 「静止」「前進」「右方向転換」「左方向転換」それぞれの動作をランダムに行い、それぞれ 20 回ずつ行うまで続けた。
- (2) 「階段上り」
「階段上り」のみの動作を 20 回連続で行った。

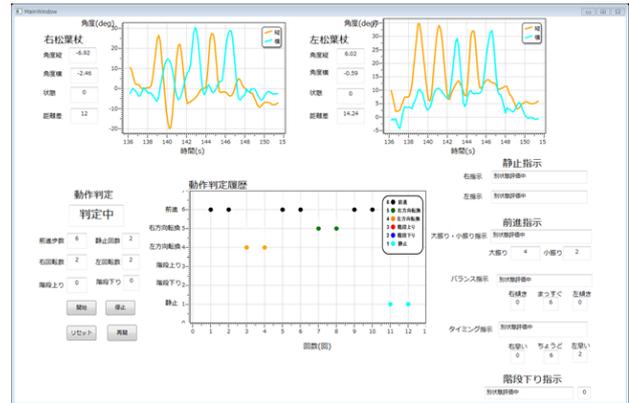


図 2 動作推定システム

表 1 評価結果 (認識成功率)

動作パターン	平均
静止	90.0
前進	91.3
右方向転換	60.0
左方向転換	52.5
階段上り	65.0
階段下り	83.8

(3) 「階段下り」

「階段下り」のみの動作を 20 回連続で行った。

4.2 評価結果と考察

表 1 の結果から各動作の正答率の平均値を比較すると他の動作と比べて右方向転換・左方向転換の精度が低いことがわかる。この理由として測距センサを精度に原因があると考えられる。ユーザーによって方向転換時の非接地状態の松葉杖と地面との距離は接地状態の場合と比べて 1.0[cm]~2.0[cm]しか変化しない場合があった。しかし、今回使用した赤外線測距センサは-0.5[cm]~+0.5[cm]の範囲で誤差が発生していた。そのため、赤外線測距センサの出力した値の誤差から誤った接地判定がなされたことが原因であると考えられる。

5. おわりに

本稿では赤外線測距センサによる接地判定機能と加速度センサ・ジャイロセンサによる松葉杖の縦幅角度・横幅角度の検知手法について述べた。動作判定の精度はユーザーによってばらつきがあるため、精度を向上する必要がある。本研究は JSPS 科研費 JP17K01098 の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) 富永浩太, 津田尚明, 加藤典彦, 野村由司彦: “松葉杖三点歩行訓練器の開発”, 生体医工学, Vol. 47, No. 2, pp. 209-214(2009)
- (2) 津田尚明, 林明音, 東内基, 加藤典彦, 野村由司彦: “松葉杖歩行訓練器における転倒予測のための加速度推定”, 生体医工学, Vol. 47, No. 6, pp.549-553 (2009)