

前進後退と跳躍が可能な足踏み型仮想空間移動インタフェース

曹 慶雲[†] 藤田 欣也[†]

Walk-in-Place Locomotion Interface with Stepping Forward, Backward and Jump Functions

QINGYUN CAO[†] KINYA FUJITA[†]

1. はじめに

下肢動作による仮想空間移動インタフェースは、手指で操作するコントローラに比較して自然で直感的であることから、電動トレッドミルを用いて歩行を相殺する方式などが研究開発されてきた。足踏み動作を用いた仮想空間移動は実際の移動を伴わないため、歩行に近い下肢動作での直感的な制御を小型デバイスで実現できる点が特徴である。

足踏み動作の検出法には、デバイスの踏面に圧力センサやスイッチを設ける方式¹⁾と、ユーザの動作を角度センサ等で計測する方式²⁾がある。前者はセンサ装着の必要がないが、計測情報が足接地期間に限定されるため連続的な移動速度の制御は困難であった。筆者らは、股関節角度を用いることでストライドとピッチを反映した連続的な実時間速度制御を実現した³⁾が、歪ゲージを用いた股関節角度計測法はセンサ破損の問題があった。また、いずれの方式も基本的に前進と身体方向を用いた方向転換の制御のみであり、後退やジャンプおよびこれらを自然なインタフェース動作で円滑に切り替える機能を有していなかった。

そこで本研究では、大腿部の加速度から遠心力等の影響を軽減しつつ股関節角度を推定することでセンサ破損の問題を解決するとともに、バックステップとジャンプ動作を用いて後退とジャンプを制御する仮想空間移動インタフェースを提案する。

2. 足踏み型移動インタフェースシステム

システムの構成を図1に示す。システムはユーザの大腿傾斜角度を計測する二つの3軸Bluetooth無線加

速度センサ(ATR社)と、センサ出力から仮想空間移動速度を算出する計算機で構成される。システムは、70ms周期で加速度を計測し、静止状態からの、通常の足踏み動作、後退開始のための一歩バックステップ、ならびにジャンプのための屈み動作を認識して前進、後退、ジャンプを切り替えると同時に、左右の大腿傾斜角度に基づき連続的に移動速度を制御する。

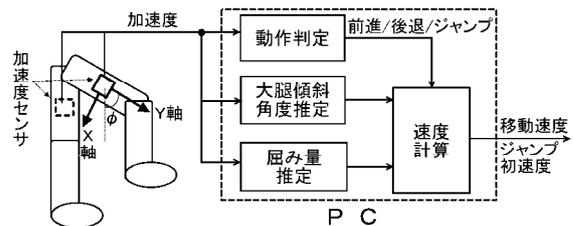


図1 足踏み移動インタフェースシステムの構成

3. 前進後退とジャンプの検出と速度制御

3.1 足踏みからの歩行速度算出法

歩行および足踏み時には左右股関節の角度差 θ が正弦波状になることを利用し、(1)式を用いて歩行速度を推定する。

$$|v| = \frac{l}{\pi} \sqrt{\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 - \theta^2} \cdot \frac{d\theta}{dt} \int \theta dt \quad (1)$$

(1)式は正弦波の周期と振幅を反映する連続式であるため、ストライドとピッチの両者を反映した遅延のない実時間速度制御が実現される²⁾。

3.2 足踏み時の股関節角度の推定

図1のように加速度センサを大腿に装着した場合、原理的には、重力加速度によって大腿部の傾斜角度 θ が算出可能である。しかし、センサは股関節を中心に回転するため、遠心力や回転加速度が重畳して図2実線のような波形となり、実際には大腿傾斜角度を算出できない。そこで、大腿部最大加速時(t1)にはX軸への回転加速度の影響が、股関節最大屈曲時(t2)にはY

[†] 東京農工大学大学院
Graduate School of Engineering,
Tokyo University of Agriculture and Technology

軸への遠心力の影響がゼロになることを利用し、回転加速度と遠心力の影響を予測して補正することで、大腿傾斜角度を推定した³⁾。

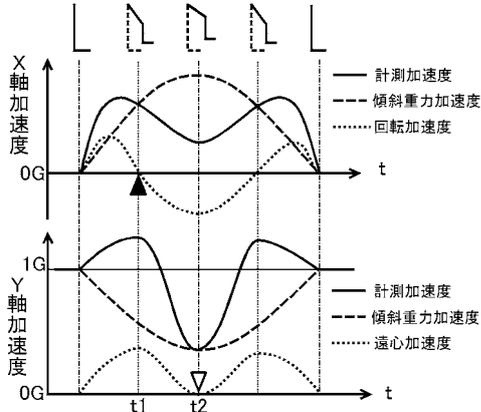


図2 足踏み時の X・Y 軸加速度波形

3.3 後退開始制御 (バックステップの検出)

後退制御は、静止立位からのバックステップによって開始し、その後の足踏み動作によって速度を制御する。バックステップは、図3のように遊脚の後傾(X軸加速度 $-0.1G$ 以下)によって検出可能であるが、早足で足踏みした時の支持脚も同方向に傾斜することがあり、誤検出が発生する。そこで、後傾している脚の反対脚に作用する遠心力がそれぞれ逆方向になることを利用して誤検出を回避した。

後退速度は、後退は位置の微調整が目的である場合が多いと考えられるため、前進と同様の速度推定を行った後に $1/4$ 倍した。

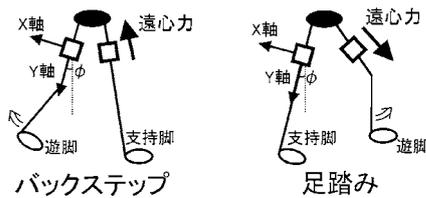


図3 バックステップと足踏み動作における加速度の相違

3.4 ジャンプ制御 (屈み動作の検出)

ジャンプ動作の判定は、予備動作である屈み動作を両脚同位相での連続的な大腿傾斜(Y軸加速度が $200ms$ 以上の間 $1G$ 以下になり、最小値が $0.9G$ 以下)の検出によって行った。

ジャンプの開始は、屈み動作からジャンプへの移行時に発生する上方向への急激な加速(Y軸加速度 $1.2G$ 以上)によって検出した。また、予備実験で、ジャンプの高さが屈み動作時のY軸加速度波形の面積に比例する傾向が見られたため、ジャンプ初期速度は屈みによるY軸加速度波形の面積を用いて制御した。

4. 評価実験

10人の被験者が、ゆっくり、普通、早足の三段階で随意的に速度制御したときの平均前進速度、および、8人が随意的に3段階でジャンプしたときの制御結果を図4に示す。いずれも、意図に応じて速度が変化しており、使用者の意図を反映した前進速度とジャンプ初期速度の制御が可能であることが確認できる。

後退とジャンプの判定率は、98%と100%で、後退の誤判定は、主にセンサ装着位置のずれによるものであった。センサ固定方法の改善と判定アルゴリズムの改善が望まれる。

仮想空間ウォークスルー環境を構築し、 0.3 、 1.0 、 $3.0m$ の前進後に後退し位置制御する実験を実施したところ、平均位置制御誤差は 0.07 、 0.10 、 $0.15m$ で、仮想空間での位置制御実用上十分な精度が得られた。

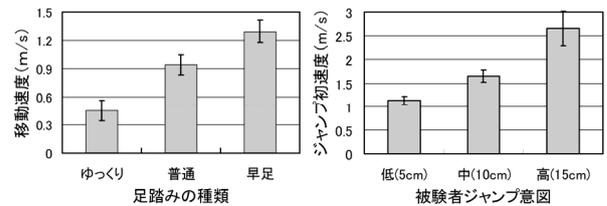


図4 前進速度とジャンプ距離の随意的制御結果

5. まとめ

本研究では、前進後退と跳躍が可能な足踏み型仮想空間移動インタフェースを提案した。今後の課題は、横移動など、より多様な移動機能の実現である。

参考文献

- 1) 岩下ほか，“足踏み動作を用いた移動インタフェースの開発”，電子情報通信学会論文誌, Vol. J87-A, No.1, pp.87-95 2004.
- 2) 雨宮ほか，“足踏式空間移動インタフェース(WARP)の開発と評価”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.3, pp.221-228, 2001.
- 3) 曹，藤田，“後退機能を持つ無拘束足踏み型移動インタフェースの開発”，日本バーチャルリアリティ学会第13回大会予稿集, pp.447-450, 2008.