

共創型歩行介助システムへの加速度センサ導入による 多様な歩行障害への対応

東京工業大学 総合理工学研究科 ○下釜 みずき, 三宅 美博

Acceleration sensors in Co-emergence walking support system and its application to gait disorder

○ Mizuki SHIMOGAMA and Yoshihiro MIYAKE Tokyo Institute of Technology

Abstract: To re-create our Walking support system 'Walk-Mate' to have higher wearability and be easier to use, we'll install some new functions in the system. Firstly, to discriminate the walking situation, we see the triaxial acceleration data about some places, and get the characteristics of them. We'll develop the automatic discriminate program from the results.

1. はじめに

主として高齢者を対象にした歩行リハビリの現場においては、介護士と被介護者が向かい合う、あるいは横や後ろに寄り添う形で協調歩行を行う形で歩行支援が行われることが多い¹⁾。この中では、介護士と被介護者の歩行運動が柔軟に適應し合い、適切な歩行リズムが共創出されることによって安定した歩行が実現されている。このような共創出プロセスは高齢者をはじめとする歩行障害の緩和に対して有効であると考えられるが、高齢化がますます進む我々の社会では、要支援者に対する介護者が充足しているとはいえない。

この問題に対する対策としては、転倒などを防止することによって怪我などの危険を低減させることや、福祉機器を使用することで歩行リハビリにおける介護士の代用とすることが考えられる。しかし、従来の歩行介助機器は、人間が一方的に機械や装具に対して適應するか、高機能な機械が一方的に人間に対して介護機能を提供するかのどちらかの形態であった。後者の場合、被介護者が受身になってしまうことによるリハビリ効率の低下や、機械側にあらかじめ用意されたモード以外の機能をリアルタイムに創出することができないという問題、また日常的なリハビリという観点における、機械の高機能化による機械自体の肥大化や高価化、装着や操作の煩雑化などという問題が生じてくる。

このような状況のもとで、我々の研究グループでは介護士による歩行リハビリにみられるような、人間-人間系で両者が相互に適應し合う関係を人間-機械系において再構築した歩行介助ロボットWalk-Mateを製作し、さまざまな実験を行ってきた²⁾³⁾。特に高齢障害者を対象にした歩行実験において歩行状態の向上が確認できたのは大きな前進といえるだろう。しかし、この中で得られるデータは接地時刻およびそこから計算された歩行周期のみであり、歩行状態や障害の状況などは周期の変動などをもとに予測するしかなかった。そこで、本研究では計測データとして左右両脚の三軸加速度を導入することによって従来できなかったそれぞれの脚の動きを取得し、脳神経系の疾患や物理的な筋骨格系の変形などからくるさまざまな歩行障害に対応すること、またあわせて日常的に使用するリハビリ機器として改良するために階段や坂道などの歩行環境に対応することを目的とする。



Fig.1 Walk-Mate



Fig.2 triaxial Acceleration sensor

2. 先行研究

2.1 共創型歩行介助システム

本研究で用いる歩行介助システムWalk-Mateの実体は、共創出モデルを用いて小型汎用PC内に構築された仮想ロボットである。共創出モデルは、人間の歩行リズムと非線形振動子の引き込み現象によって相互作用する身体モデルと、視測された各々の歩行リズムをもとに自他の関係を予測し、身体モデルに変更を加える内部モデルから構成されている。このモデルについての詳細は別論文⁴⁾を参照してほしい。

また、ハードウェア構成としては、小型の汎用PCと人間の歩行を視測するセンサ及びリズム音を人間に出力するためのヘッドホンから成る(Fig. 1)。従来はこのセンサとして圧力センサを用いていたが、今回センサ部にAnalog Devices社のADXL202Eを用いた3軸加速度センサユニットを導入した。これは本来2軸であるが、2個組み合わせることで3軸加速度センサとして利用できるようになった。

2.2 加速度センサを用いた歩行の計測

本論文では、前節で述べた目的を達成するための第一段階として、加速度波形からリアルタイムに周囲の環境を判別するための実験について述べる。この判別を行う利点としては、例えば歩行周期が短縮化し、小刻み歩行になることで転倒の危険が増す下り坂などを平地と区別し、歩行場所に応じた介助機能を提供することが可能になるということがあげられる。

加速度を用いた人間の歩行パターン分析に関する先行研究としてはMorrisらによるもの⁵⁾があるが、これは歩行状態のものに関する情報は豊富であるが、身体に影響を及ぼし歩行パターンに変化を加える可能性のある周囲の環境に関する言及がなされていない。また、歩行環境を加速度から推定する研究は関根らによるもの⁶⁾、小川らによるもの⁷⁾などがあるが、これらは一旦取得した加速度波形を信号処理することによって行っており、本研究の目指すリアルタイムでの判別とは方向性を異にしている。

3. 実験

3.1. 実験概要

20代の健康な大学院生7名を対象に歩行実験を行った。実験の目的は健康者の歩行における足首の加速度データを得ることである。歩行環境は平地、階段上り、階段下りの3種類、センシング周期は2[ms]で各々30秒の試行とし、平地については試行開始の5秒後から、階段については3段目からを解析対象とした。実験に用いた加速度センサの検出範囲は±2[G]であり、-2[G]のとき0、+2[G]のとき1023の1024段階の数値データとしてPC側に入力される。なお、各軸の設定はFig. 2の通り、前後方向をX軸、上下方向をY軸とした。

3.2. 実験結果

Fig. 3a ~ 3c にそれぞれの歩行における片足のXY軸加速度波形の一例を示す。グラフから読み取れるように、平地歩行

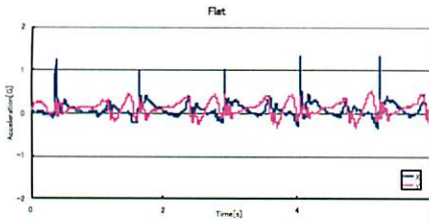


Fig.3a XY-axes acceleration (Flat)

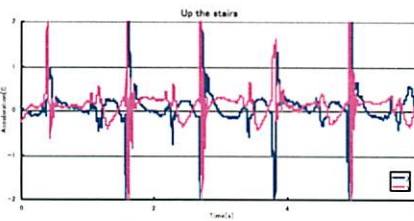


Fig.3b XY-axes Acceleration (Up)

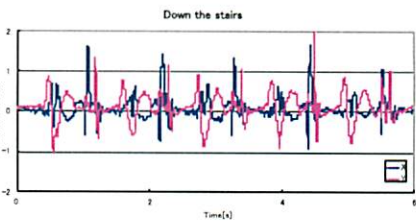


Fig.3c XY-axes acceleration (Down)

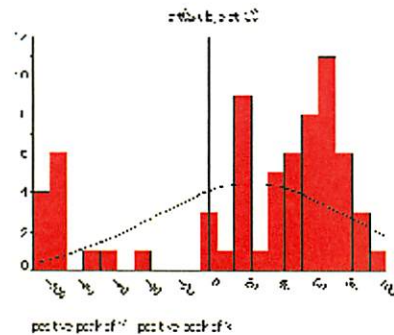


Fig.4a Histogram of timelags(Flat)

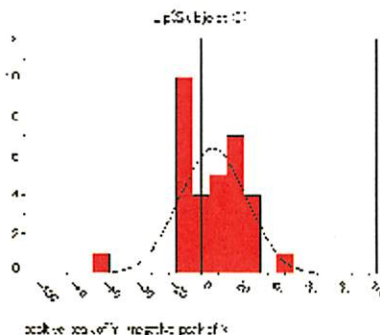


Fig.4b Histogram of timelags(Up)

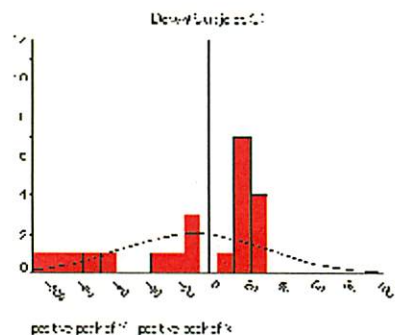


Fig.4c Histogram of timelags(Down)

ではYの正のピークの後にXの正のピークが、階段上り歩行ではYの正のピークとほぼ同時にXの負のピーク、その直後にXの正のピークが、階段下り歩行ではYの正のピークの直後にXの正のピークが観測される。そこで、Fig. 4a～4cにYの正のピークが観測された前後それぞれ100[ms]の期間におけるXの正負のピークの生起時間をヒストグラム化したものの一例を示す。なお、時間差はYの正のピークが観測された時点基準とし、XのピークがYのピークの後に観測されたときに正となる。このグラフからわかるとおり、平地では+20～+80[ms]間に大半の時間差がおさまる、階段上りではおおむね0[ms]前後に集中する傾向が見られる。階段下りでは、生データを見る限りXのピークのほうが先に生じる傾向が見られるものの、これだけでは有効な情報とはなりえない。

4. 考察および自動判別に向けた課題

前節の予備実験の結果、平地歩行と階段上り歩行については比較的特徴が抽出しやすいが、階段下り歩行については、他の状態と比べていくつかの差異は認められるものの、有効な特徴が抽出できているとはいえない。これは、階段下り歩行の接地時におけるノイズが大きいこと、実験データに踊り場の歩行時のデータが含まれているために、平地歩行時の特徴が混入していることなどが原因として挙げられる。

これより、自動判別に向けた課題が2点あげられる。まずは加速度センサからのデータをリアルタイムにかつ正確に処理するアルゴリズムの開発である。従来の圧力センサに代わる、接地検出のためのセンサという面だけで見れば、3軸の加速度の変化がもっとも大きい点を接地とすればよいが、本研究では接地の瞬間に重力方向と運動方向の違いから生じる各軸のピーク時間差を得ることを目的としているため、性格なピーク抽出技術が欠かせない。また、ON/OFFだけではない連続した数値データが得られることにより、接地の強さなど接地にまつわる他の情報、接地していない間の脚の動きや移動速度などの情報を取り出し、利用することができる。今後は、判別アプリケーションの開発に向けて、ピーク間時間差に加えてどの情報を用いればより正確な判別が行えるか、様々な先行研究をもとに考察していく予定である。

今後の予定としては、歩行環境判別のほかに歩行障害状態の判別を目指すため、膝関節固定による擬似障害者、また実

際の歩行障害者の歩行パターンの取得実験を行い、あわせて日常用リハビリ機器としてのハード面の改良に積極的に関わっていく予定である。

参考文献

- 1) 今井基次：介護技術1, 中央法規
- 2) 三宅美博, 宮川透, 田村寧健, “共創出コミュニケーションとしての人間-機械系,” 計測自動制御学会論文集, vol. 37, NO. 11, pp. 1087-1096 (2001)
- 3) Miyake, Y. & Miyagawa, T.: Internal observation and mutual adaptation in human-robot cooperation, Proc. of 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'98), San Diego, USA., 3685/3690 (1998)
- 4) 三宅美博：共生成過程としての人間-機械コミュニケーション, ヒューマンインタフェースシンポジウム2000, 81-84S.
- 5) J. Morris, J. A. Paradiso: Shoe-integrated sensor system for wireless gait analysis and real-time feedback, Proceedings of the 2nd Joint Meeting of IEEE EMBS (Engineering in Medicine and Biology Society) and BMES (the Biomedical Engineering Society), Houston TX, Oct 23-26, 2002, pp. 2468-2469.
- 6) 関根正樹, 小川充洋, 田村俊世, 戸川達男, 福井康裕: 加速度波形を用いた歩行の識別, ライフサポート学会誌1996; 8:1318-1325.
- 7) Akiko Ogawa, Yusuke Konishi, Ryosuke Shibasaki: IDENTIFICATION OF HUMAN ACTIVITY MODES WITH WEARABLE SENSORS FOR AUTONOMOUS HUMAN POSITIONING SYSTEM, Proc. ACRS 2001-22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore. Vol. 2, pp. 1275-1278.