

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006 ~ 2009

課題番号：18360202

研究課題名(和文) 下肢麻痺者の歩行再建のためのインテリジェントシステムの開発

研究課題名(英文) Development of an Intelligent System to Assist Paraplegics in Walking

研究代表者

宇野 洋二 (UNO YOJI)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10203572

研究分野：生体情報論、ロボティクス

科研費の分科・細目：電気電子工学、制御工学

キーワード：リハビリテーション、下肢麻痺者、歩行再建、歩行補助ロボット、予測的制御

1. 研究計画の概要

脊髄の損傷等で下肢機能が麻痺したために車椅子の生活を送っている患者に対して、二本足での歩行を可能にするシステムの開発を行う。下肢麻痺患者にとっての根源的な問題は、脳からの運動指令が下肢に伝達されないために、自分の意図する動作が実現できないことである。そこで本研究では、ヒトの運動制御の情報システム論的な観点から二足歩行のダイナミクスを検討するとともに、下肢麻痺者の感覚・運動能力を生かした歩行再建システムを構築する。特に、運動学習を積極的に取り入れた訓練システムと学習機能を備えた歩行補助ロボットとを統合したインテリジェントなシステムを開発する。最終的には、各種のセンサを搭載し、センシング情報に基づいて予測的な制御が可能な歩行再建システムを構築する。

2. 研究の進捗状況

センサ・制御系を搭載した動力付き下肢装具(歩行補助ロボット)を構築するとともに、装具歩行の動力学解析と運動計測実験を行った。研究開発の主な成果は以下の通りである。

(1) 予測的な運動補助

初期動作の慣性センサ情報から下肢麻痺者の意図する歩容(運動方向、歩幅、運動時間など)を予測して、下肢の運動を適切にアシストする機構を検討した。ヒトの腕運動をよく再現する「滑らかさの運動規範」に基づいて、腕の加速度情報から意図された歩幅を推定し、その歩幅が実現されるように歩行補助ロボットを制御するシステムを構成した。次に、システムの有効性を検証するために、

移動距離の精度評価、および健常者による歩行補助ロボットの動作テストを行なった。下肢のスイング動作中の足つま先の移動距離とその直前の腕運動における移動距離に対して回帰分析を行ない、両者がほぼ一致していることを確認した。また、健常者が装着した歩行補助ロボットの動作実験では、本システムを用いて、歩幅を調整しながら歩行できることが確認された。

(2) 後方転倒の防止

歩行中の単脚支持期における後方転倒に関して、倒立振り子モデルを用いて動力学的な解析を行った。その結果、足関節の後方から前方に弾道的に運動するためには、離脚時の重心の速度が重心位置と固有振動数の積より大きくなければならないという条件式を導いた。身体の詳細な筋骨格モデルおよび、健常者と対麻痺者の歩行計測実験から転倒条件の検証を行ない、多自由度で複雑な筋骨格系に対しても、この転倒回避条件が妥当であることを確認した。さらに、重心運動の解析から、対麻痺者の安定かつ効率的な歩行補助のためには、歩行中の両脚支持期において弾道歩行の条件が満たされるように重心速度を上げ、単脚支持期において弾道的な歩行パターンに従うように制御することが有効であることがわかった。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

本研究の主たる課題である、下肢麻痺者の初期動作に関するセンサ情報から予測的な運動補助を行うシステムは計画どおり進展している。これによって、患者の自発的な運動とロボットの補助動作とを協調させるこ

とが可能になった。しかしながら、学習機能の研究に関しては、学習モデルのシミュレーションや他のロボットでのテストに留まっている。

4. 今後の研究の推進方策

この3年間に構築したシステムの動作テストと改良を進める。動作テストは基本的に健常者で行なう。被験者に依頼して、センサが搭載された歩行器を使いながら平地歩行、段差歩行、斜面歩行などをしてもらう。そのときの腕と脚の運動を3次元位置計測装置で測定する。計測データから脚と歩行器を操作する腕の運動の協調関係を解析し、意図通りの歩行補助ができているかどうか、さらには転倒防止の機構が正しく働くかどうかをチェックする。また、運動軌道中の必要不可欠な経由点を抽出することによって、学習機能を備えたシステムへと改良する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

香川高弘, 山科秀貴, 宇野洋二: 対麻痺者の歩行補助に向けた歩行の重心運動解析, 計測自動制御学会論文集, Vol.45, No.1, pp.51-59, 2009. 査読有.

香川高弘, 神谷利光, 河村耕造, 宇野洋二: 歩行補助ロボットにおける歩幅予測制御のためのヒューマンインタフェース, 計測自動制御学会論文集, Vol.44, No.11, pp.886-895, 2008. 査読有.

Kagawa T., Fukuda F. & Uno Y.: Stability analysis of paraplegic standing while wearing an orthosis, Vol.44, No.10, pp.907-917, 2006. 査読有.

香川高弘, 福田浩士, 宇野洋二: 対麻痺者の装具歩行の運動学的、力学的解析, 電気学会論文誌 C, Vol.126, No.5, pp.579-588, 2006. 査読有.

〔学会発表〕(計5件)

河村耕造, 香川高弘, 宇野洋二: 起立動作中の床反力と姿勢の計測に基づく重心位置推定法, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2008年11月21日, 仙台.

香川高弘, 宇野洋二: 下肢麻痺者用歩行補助ロボットのヒューマンインタフェースの開発と評価, 計測自動制御学会システム情報部門学術講演会, 2007年11月28日 東京.

Kagawa T. & Uno Y.: A human interface predicting intended strides for a paraplegic locomotor device, The 3rd International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions, 2007年6月15日, Portugal.

宇野洋二: ヒトの運動制御の計算モデルと歩行再建システムへの応用, 計測自動制御学会第39回自律分散システム部会研究会講演, 2006年12月8日, 山口.

宇野洋二: 下肢麻痺患者用の歩行補助ロボットの研究開発, 第24回日本ロボット学会学術講演会付随行事(人間支援型ロボットシンポジウム), 2006年9月16日, 岡山.