

令和元年6月19日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02733

研究課題名（和文）バーチャルモデルとの協調歩行に関する研究

研究課題名（英文）Study on cooperative walking with virtual models

研究代表者

矢野 博明 (Yano, Hiroaki)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80312825

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は歩行感覚提示装置における、歩行動作および意図の検出手法および実世界と異なる属性を持つバーチャルなユーザーモデルやバーチャル空間における歩行感覚の生成手法をバーチャルなユーザーモデルとの協調歩行という切り口から明らかにした。協調歩行を実現するには、ユーザの身体の末端の移動軌跡を機械的に制御する効果器、力センサによるユーザの印加力の検出、末端部位の位置および印加力データを入力としたバーチャル世界の物理法則モデル、力のプロフィールデータを用いた機械学習による歩行意図検出・軌跡修正手法、および学習データセットのクラス識別と未知のデータのパラメータ推定・軌跡修正手法が必要であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、個人の特性に合わせて歩行感覚提示装置の出力を変更する手法を提案するものであり、例えば脳卒中による麻痺患者が繰り返し歩行軌跡を体験することで歩行機能の再獲得を行う際に、本人の癖を装置側が読み取って軌道を調整するような新たな歩行リハビリテーションへの応用が期待できる。また、歩行感覚提示アルゴリズムの開発においても自動的にパラメータ調整をするプログラムの実現や、近年研究が行われるようになった身体拡張感技術に関する貢献が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, the method of detecting walking motion and intention, and the method of generating walking sensation in virtual space have been clarified from the perspective of cooperated walking with a virtual user model. In this research, the attributes of a virtual user model of the user and a virtual environment that were different from those of the real world. In order to realize cooperated walking, It is found that an effector that mechanically controls the motion trajectory of the end part of the user's body, detection method of the user's applied force with a force sensor, simulation method of the virtual world by using the position data and the applied force data based on the physical law model of the virtual world, and walking intention detection and trajectory changing method by using machine learning with force profile data are required. In addition, a classification method of datasets and parameter estimation method also useful when unknown data is input.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：バーチャルリアリティ 歩行感覚提示 機械学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究は、バーチャルリアリティ空間を自らの足で歩き回る感覚を提示する歩行感覚提示装置(Locomotion Interface, 以下LI)による歩行感覚提示アルゴリズムに関するものである。研究開発当初はLIの制御は、ユーザ自身の身体重心および足のモデルをVR空間内で定義して、足位置計測センサを用いて計測した足の位置データを先の足のモデルの動作として入力し、それに伴うVR空間内での身体の移動を可能としつつ、実空間では一定の場所に留まるように身体移動を打ち消すようにLIを制御することが一般的であった。この方式では後ろ足による蹴り動作の後の遊脚期にならないとLIの身体移動打ち消し制御が発動しないため、一歩ごとに不自然な加減速が発生しがちであった。特に部分面型歩行感覚提示装置と呼ばれるマニピュレータの効果器に小さな床板を取り付けてその上で歩行するLIにおいては、効果器の追従性の問題から歩幅の調整などが困難で、床板の移動状況を確認しつつユーザが歩行していた。このように、LIはユーザの歩容の違いへの対応、実環境と異なる環境での歩行体験などの実現手法が課題となっていた。

2. 研究の目的

バーチャル空間(VR空間)内を自分自身の足で歩きまわるための歩行感覚提示装置(LI)では、ユーザの身体モデルをVR空間に定義してそれが空間内の地面から受ける力をフィードバックする。この身体モデルをユーザとは異なる体格、歩行スタイル(歩容)のモデルに置き換えることで他人の歩行を体験できる。これにより例えば障害者と同化して建設予定の都市などのVR空間内を歩行し、その知見を実際の都市設計に活かす事などが可能となる。しかし、歩容は体験者によって異なるため、自分がその立場になった時の歩行を体験するには個別のチューニングが必要となる。本研究では手と足の運動をガイドするLIを開発し、バーチャル他者と自分の歩行スタイルが次第に同化して歩行感覚を共有する協調歩行実現のための必要要件を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、ユーザの歩行時の足や手の動作による力入力情報を利用することでユーザの意図を把握し、それに合わせて機械学習アルゴリズムによって装置の動作を微修正することで、協調歩行が実現できるという仮説のもとに、力センサ内蔵型の部分面型LIを試作し、1歩の歩行時間を100分割してそれぞれのフェーズでの力センサの値を機械学習アルゴリズムで判別させることで、LIから提示された動作に対するユーザの反応を推定し、提示動作を変更するシステムを開発し、ユーザによる歩行実験を行なって、人と機械の協調歩行が実現できることを示した。

具体的には、部分面型歩行感覚提示装置および歩行時の腕振り動作に追従するアクティブハンドルによって、身体の末端(手や足)の動作に影響を与えられるLIを開発した。ユーザの足と接触する可動床面(フットパッド)および手と接触するハンドルにそれぞれ6軸力センサを取り付け、歩行動作時の人体からLIへの力入力を計測することで歩行動作タイミングの検出や協調歩行時のユーザの反応を計測した。また、月面や柔軟床面など実環境とは異なる物理法則に従う世界を歩行する感覚の生成や、片麻痺患者による歩行実験を行い、協調歩行が可能であることを確認した。

4. 研究成果

試作した部分面型LIの全景を図1に示す。ベルトドライブスライダや回転リンクを用いて両手、両足にそれぞれ2自由度のマニピュレータを配置し、フットパッド(図2)は前後方向965

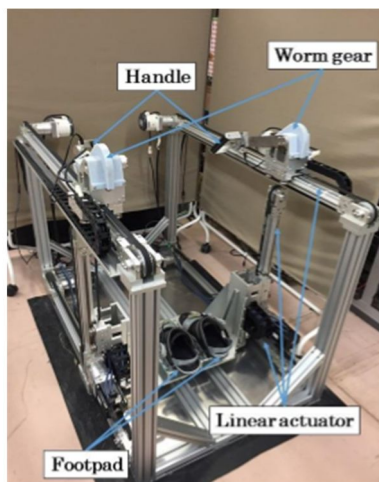


図1 部分面型LI 全景

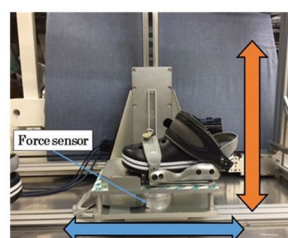


図2 フットパッド

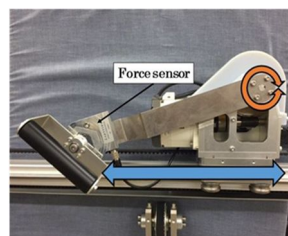


図3 アクティブハンドル

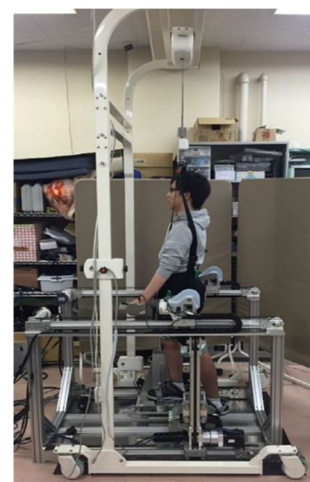


図4 体重免荷LI

mm、上下方向に 300 mm のストロークを確保した。アクティブハンドル（図 3）は手の可動範囲を網羅できるように前後方向 800 mm のスライダ、および長さ 200 mm の回転リンクを用いた。各アクチュエータは AC サーボモータを用い位置制御モードで動作を制御した。フットパッドおよびハンドル先端には 6 軸の力センサを配し、システム全体としては力入力 位置出力方式で運用した。さらに、月面環境の模擬や歩行リハビリテーション実験用に体重免荷装置と組み合わせ使用できるようにした（図 4）。

本 UI 上での歩行時の力センサのデータを計測すると、足については剪断方向および鉛直方向の力がユーザの歩き方によって異なることがわかった。特に歩幅を大きくしたり、足の上げ下げの量を変えようとするときにそれに応じて力のプロファイルが変化すること、筆者らがこれまで用いていた標準歩行軌跡と異なる歩行軌跡を持つ歩行者が本人の軌跡で歩いた場合と標準軌跡で歩いた場合では、両者の軌跡の差に応じて力が増減するが、通常の遊脚期での足の空中移動と異なりフットパッドで足が支持されるため、あえて意識しない限りフットパッドに荷重を掛けながら歩行しがちで力のプロファイルも複雑になる傾向があることがわかった。歩行提示アルゴリズムとして、まずフットパッドに加わるせん断力に応じて歩行を開始するアルゴリズムとすることで、遊脚期前に歩行動作を検出することができ、歩行時の不自然な加減速を軽減でき、歩行時の姿勢も実空間のそれに近いものにできることがわかった。しかしながら、人によってその傾向は様々で同じ人でも歩き方の戦略が変化すると一歩毎の力のプロファイルが変化したため、一定の閾値を用いるような単純なアルゴリズムで対応することが難しいこともわかった。そこで、意識して歩容を変化させようとしている状況を検出することに焦点を絞り、サポートベクターマシンを用いて特定のタイミングの力センサの値の歩行軌跡変更意図の有無を判断させ、意図ありの時に歩幅を変更するアルゴリズムを開発し、歩行者の意図通りに歩幅を変更できることを確かめた。しかし、プログラム開発者が対象となる歩行フェーズを指定する必要があり汎用性に欠けるため、最尤推定アルゴリズムを用いて歩幅および足上げ高さを変更できるプログラムに改良した。この手法でプログラムの汎用性は高まったものの、事前に一定軌跡での歩行意図ありとなしの場合の教師データを計測する必要があり、さらに歩行時のフットパッドの軌跡が変化すると推定精度が劣化することもわかった。そこで、逐次学習機能を追加することで、歩行軌跡の変化に対応を可能とした。歩行者実験を行ったところ、8 割程度の精度で歩行意図を検出して歩幅や足上げ高さが可能で、意図に合わせて軌跡変更が可能であることがわかった。また歩数を重ねるごとに足の前脛骨筋や腓腹筋などの筋電位信号の振幅の振動が収まって一定の範囲に落ち着くこともわかった。片麻痺患者による実験でも同様の傾向が見られ、歩行者の意図に合わせて軌跡が変わる協調歩行が実現できていることが確かめられた。全体のスケール変更だけでなく部分的な変形を行うプログラムも作成し、軌跡形状変更実験を行ったところ、被験者の普段の歩行軌跡に近付いていきつつも、中間的な軌跡に収束し、人間と機械の間の協調歩行が実現できていることが確認できた。さらに、Matrix Factorization を基にした未知クラスのためのクラス識別法を開発し、既存の力のプロファイルデータを用いた学習による歩行者の特徴と個性の分類および、学習データセットに含まれない未知のデータが入力された際に、個性のパラメータを推定する手法を開発した。被験者の数が 5 名と実用を考えるとまだ不足しているものの、これによって協調歩行のために必要となる機械学習のアルゴリズムと、学習データセットが自動的に整理されるような体制を構築でき、未知の歩行者に対しても過去に計測した学習データセットから適切なものがあればそれを利用し、無ければその歩行者が歩いているうちに機械側で学習データセットを仮合成する方式への足がかりが出来上がった。

また、月面を歩行した感覚を生成するため、体重免荷装置によって体重を 6 分の 1 にした上で、ユーザのアバターを定義したバーチャルな環境での重力加速度を月面と同じ地上の 6 分の 1 に設定し、ユーザがこのバーチャル環境を歩行中にフットパッドに体重を印加したときのアバターの足の移動量をフットパッドの動作に反映させ、月面同様の加速度での足の動きを再現できた。さらに HMD と UI を組み合わせ、膝くらいまで水が溜まったプールの中を歩いた感覚を提示するために、水中を模擬して空気の粘性抵抗を大きくしたバーチャル環境を構築し、ユーザの足からフットパッドに加わる力データをアバターの足から加わる力として入力し、アバターの足位置の計算結果に合わせてフットパッドを動かすと、視覚情報による臨場感との相乗効果で足だけのフィードバックにも関わらず水位が変わったときの違和感も無く歩行体験ができることがわかった。柔軟床面についても同様に物理モデルを用いることで、柔軟な床面を歩いている感覚が得られることがわかった。

これらの知見より、協調歩行を実現するには、外骨格マニピュレータのように各関節にフィードバックを行わなくても、足や手などの末端部と接触する効果器に力センサとその動きを制御できるシステムを用いて、ユーザから効果器に加わる力を計測し、それをバーチャルなアバターのモデルを通してバーチャル空間に入力し、VR 空間での物理法則を基に計算した結果を効果器を通じてフィードバックするインタフェースを用意すること、バーチャルなアバターが現実のユーザと異なる環境や身体動作をする場合は、効果器の力センサのデータを用いた計測・意図推定アルゴリズムによって動作を補正する仕組みを用意すること、ができれば良いと言える。本研究の残された課題としては、個々のアルゴリズムのブラッシュアップや歩行者数を増やして歩容の個性クラスを充実させることなどが挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Naoki Tanaka, Hiroaki Yano, and Hisako Yanagi, "Efficacy of the Gait Training Using Footpad-Type Locomotion Interface in Chronic Post-Stroke Patients: A Pilot Study", Journal of Novel Physiotherapies, Volume 7:355 (2017)

岩田 洋夫, 木村 優太, 圓崎 祐貴, 矢野 博明, "“BigRobot”: 歩行感覚を拡張する移動型モーションベース", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.22, No.4, pp.457-465, (2017)

〔学会発表〕(計15件)

田中 直樹, 海老原 一彰, 江幡 安彦, 新井 明香, 福田 将大, 金森 毅繁, 矢野 博明, 柳 久子: "歩行感覚提示装置を用いた歩行トレーニングが回復期脳卒中患者の下肢筋活動に与える影響", 第56回日本リハビリテーション医学会学術集会 (2019)

田中 直樹, 永井 智, 金森 毅繁, 海老原 一彰, 矢野 博明, 伊佐地 隆, 柳 久子: "歩行感覚提示装置による歩行運動が維持期脳卒中患者の筋活動に与える影響", 第55回日本リハビリテーション医学会学術集会 (2018)

Shintaro Koiwa, Daisuke Morita, Yuki Enzaki and Hiroo Iwata: "A Movable Humanoid Robot for Presenting Walking Sensation of a Giant", Proceedings of AsiaHaptics 2018, D2V10(2018)

平井 亜季子, 岩田 洋夫, 矢野 博明: "ワイヤ駆動モーションベースを用いた月面跳躍体験", 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 33E-6 (2018)

米澤 綾恭, 矢野 博明, 岩田 洋夫: "部分面型口コモーションインタフェースを用いた柔軟床面提示", 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 31D-4(2018)

森田 大輔, 圓崎 裕貴, 矢野 博明, 岩田 洋夫: "Big Robot Mk.2を用いた歩行感覚の拡大", 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 31D-2 (2018)

田中 直樹, 金森 毅繁, 矢野 博明, 伊佐地 隆, 柳 久子: "歩行感覚提示装置を用いた歩行トレーニングが健康関連 QOL に与える影響", 第54回日本リハビリテーション医学会学術集会(2017)

Shintaro Enoki, Takeshi Shibuya and Hiroaki Yano, Classification for Sequential Data Involving Human Trial and Error, Proceedings of the SICE Annual Conference 2017, pp.1284-1289(2017)

根本 照久, 矢野 博明, 岩田 洋夫: "歩行移動に対応した没入型ディスプレイにおける力覚提示", 第18回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門 講演会 SI2017 論文集, pp.479-482 (2017)

坂下 史弥, 澁谷 長史, 矢野 博明: "部分面型歩行感覚提示装置における最尤推定を用いた歩幅変更", HCG シンポジウム 2017, A-7-4(2017)

村上 康秀, 矢野 博明, 岩田 洋夫: "微小重力環境下での小型歩行体験システム", 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 34F-06(2016)

夏神 龍之介, 矢野 博明, 澁谷 長史, 岩田 洋夫: "最尤推定法による部分面型 LI の歩幅変更意図の検出", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 論文集, pp.303-308(2016)

古家 和樹, 矢野 博明, 澁谷 長史, 岩田 洋夫: "部分面型口コモーションインタフェースにおける歩幅変更意図の検出" 信学技報 115(354), pp.47-52(2015)

夏神 龍之介, 矢野 博明, 岩田 洋夫: "歩行時の床へのせん断力を考慮した歩行感覚提示", 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.110-113(2015)

田中 直樹, 高尾 敏文, 渡邊 大貴, 金森 毅繁, 矢野 博明, 柳 久子: "歩行感覚提示装置を用いた歩行トレーニングの有用性の検討 ～体重免荷トレッドミルトレーニン
グと比較して～", 第50回日本理学療法学会学術大会(2015)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計1件)

名称: 歩行動作教示装置

発明者: 矢野 博明, 田中 直樹, 横須賀 則之, 中島 友紀子

権利者: 筑波大学, つくば記念病院, 巧企画, 宮本製作所

種類: 特願

番号: 2015-198232

出願年: 2015

国内外の別: 国内

取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://intron.kz.tsukuba.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：岩田 洋夫
ローマ字氏名：IWATA HIROO
所属研究機関名：筑波大学
部局名：システム情報系
職名：教授
研究者番号(8桁)：70221041

(2)研究分担者

研究分担者氏名：田中 直樹
ローマ字氏名：TANAKA NAOKI
所属研究機関名：筑波大学
部局名：医学医療系
職名：研究員
研究者番号(8桁)：40754601

(3)研究分担者

研究分担者氏名：足立 和隆
ローマ字氏名：ADACHI KAZUTAKA
所属研究機関名：筑波大学
部局名：体育系
職名：准教授
研究者番号(8桁)：70221041

(4)研究分担者

研究分担者氏名：澁谷 長史
ローマ字氏名：SHIBUYA TAKESHI
所属研究機関名：筑波大学
部局名：システム情報系
職名：助教
研究者番号(8桁)：90582776

(5)研究分担者

研究分担者氏名：柳 久子
ローマ字氏名：YANAGI HISAKO
所属研究機関名：筑波大学
部局名：医療医学系
職名：准教授
研究者番号(8桁)：10241811

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。