

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20269

研究課題名（和文）手足の残存能力を反映した歩行支援器具選択のための新しい評価指標の研究

研究課題名（英文）Research on a new evaluation capacity index for selecting walking support devices that reflects the remaining capacity of limbs

研究代表者

井上 淳（Inoue, Jun）

東京電機大学・工学部・教授

研究者番号：20609284

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、手足の残存能力がそれぞれある程度存在する患者を対象とし、片麻痺患者が杖歩行訓練を行うための歩行器の開発を継続して実施した。その中で、転倒を予測することで、症状がより重症で残存能力が低い患者でも使用できるように、身体の各部の加速度から、0.5歩行周期先の移動速度を予測できるようにした。また、手足の麻痺等の障害の程度は個人差が大きい部分があり、それに伴って装具を使用するなど、計測装置を付けられない部位が存在する。これに対して、特定の部位の加速度センサを使用できない状態でも移動速度の予測が高精度になるように、残存能力に併せて、センサの欠損を補うセンサ配置の検討を行うことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、片麻痺患者向けの歩行器の開発を継続し、転倒を予測することで、より重症の患者にも対応できるようにしました。具体的には、身体各部の加速度から0.5歩行周期先の移動速度を予測し、装具を使用する部位でも高精度な予測を可能にするセンサ配置を検討しました。さらに、腿への振動刺激による運動錯覚を利用して歩行運動に介入できることを示し、動作時の刺激周波数が静止時より高いことを明らかにしました。また、靴内の圧力や剪断力を計測する新しいセンサを開発し、振動と圧力、振動と剪断力の関係を機械学習で解析し、推定モデルを構築しました。この技術は医療・福祉用だけでなく、競技用靴や衣服への応用も期待できます。

研究成果の概要（英文）：In this study, we continued to develop a walker for hemiplegic patients to train them to walk with a cane, targeting patients with a certain amount of residual limb capacity. By predicting falls, we have made it possible to predict movement speed 0.5 gait cycles ahead from the acceleration of each part of the body, enabling use even by patients with more severe symptoms and lower residual function. Furthermore, there are large individual differences in the degree of disability, such as limb paralysis, and as a result, there are areas where measuring devices cannot be attached, such as when braces are used. In contrast, we were able to consider sensor placement to compensate for sensor deficiencies in conjunction with residual function, allowing predictions of movement speed to be made with high accuracy even when acceleration sensors at specific locations cannot be used.

研究分野：福祉工学

キーワード：リハビリテーション 支援機器 福祉機器 残存能力 片麻痺

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 高齢化が進む中、様々な高齢者や障害者向けのリハビリ支援機器や歩行支援機器等が開発されています。しかし、これらの支援機器を患者に処方する際、個々の患者に最適なものを現場で定量的に判断するのは非常に難しいとされています。また、片麻痺患者が杖歩行訓練を行う際、障害の程度には個人差が大きく、それに応じて装具を使用するため、計測装置を取り付けられない部位が存在します。このような問題に対し、ユーザーごとの動作モデルを構築し、計測できる部位が減少した場合にも情報を補完してユーザーの状況を把握できるようにすることは、どんな障害を持つユーザーにも対応できる頑健なシステムを構築する上で重要です。

(2) 片麻痺患者は内反尖足や足指の拘縮などの足への影響を軽減するために、足底板やプラスチック装具、靴型装具などを使用しています。これらは患者の状態や生活環境によって細かくカスタマイズされるため、足部の状況は多様です。義肢装具士が作製した装具を使用している場合、麻痺や痙性の状況の変化によって足の形状が変わり、靴や装具と合わなくなる問題が生じます。この状態を放置しておくと、足部に傷ができたり、壊死に繋がったりするため、靴擦れの原因となる靴内の剪断力を定量的に評価することが重要です。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、片麻痺患者が杖歩行訓練を行うための歩行器の開発を例に、ユーザーの歩行速度予測モデルを構築し、その速度を基に歩行器が患者に追従する機能と、左右の歩幅を調整する手法の開発を目指します。

(2) また、足の状況が変化しやすい片麻痺患者のに対する、適正な靴の処方支援を目的として、靴内の剪断力を計測できるセンサーを開発し、既存のセンサーでは難しかった 1mm 以下の厚みのセンサー部を持つ剪断力測定システムの構築を目指します。これにより、靴の中にセンサーを入れた際に、歩行に対して影響を与えずに剪断力を計測することができるようになります。

3. 研究の方法

(1) 患者の 0.5 歩行周期先の歩行速度の予測は、身体の各部に取り付けた加速度センサーのデータを LSTM (Long Short Term Memory) を用いて機械学習することで行います。LSTM は、時系列データを扱えるリカレントニューラルネットワーク (Recurrent Neural Network : RNN) の勾配消失問題を解決した機械学習です。RNN では重みを更新する勾配が消失することで学習が進まなくなる問題があり、LSTM では長記憶変数を用意することで、長期的な依存関係を学習できるようになります。本研究では、歩行の短期・長期的な依存関係を学習し、加速度の周期性から速度を予測するために LSTM を用いました。

また、センサーを設置できない部位があっても予測できるよう、一部のセンサーのデータを使用しない設定で、全ての組合せで歩行速度予測モデルを構築します。歩行運動への介入については、大腿直筋およびアキレス腱に特定の周波数の振動を加え、関節が曲がっている運動錯覚

を引き起こし、それを修正する人間の特性を利用して無意識下で歩幅を変更させます。

(2) 靴内の剪断力の推定には、接触部位の振動と剪断力の物理的関係を仮説として、0.5mm径のピエゾワイヤセンサーを用いて接触部位の振動を計測し、剪断力を推定する手法を開発します。実験では、既存の剪断力センサーとピエゾワイヤセンサーを使用し、靴の内側素材と靴下素材の間で発生する剪断力と振動を同時に計測し、振動波形の周波数解析を行います。その周波数帯域ごとのパワースペクトルと剪断力を機械学習で結びつけ、剪断力を振動から推定するモデルを構築します。

4. 研究成果

(1) 本研究では、片麻痺患者が杖歩行訓練を行うための歩行器の開発を継続し、転倒を予測することで、症状が重度で残存能力が低い患者にも対応できるよう、身体の各部の加速度から0.5歩行周期先の移動速度を予測できるようにしました。また、特定の部位にセンサーを設置できない場合でも高精度な移動速度予測が可能なセンサ配置を検討しました。さらに、腱への振動刺激を用いて歩行運動への介入が可能であることを明らかにし、運動錯覚を引き起こす刺激の周波数が運動時は静止時より高いことを示しました。この理由として、運動時には腱にかかる張力が高くなることが考えられます。

(2) 新たに開発した0.5mm径のワイヤ型センサーを用いて、靴内の圧力や剪断力を計測し、振動と圧力、振動と剪断力の関係を周波数解析し、機械学習を用いて推定モデルを構築しました。この成果により、今後は医療・福祉用だけでなく、競技用の靴の動的フィッティングやエネルギー効率の良い靴の開発、さらには衣服に応用することで床ずれ防止などにも役立てることが可能です。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kimura Ryota, Iwase Masami, Nakamura Shotaro, Morioka Sakie, Hatakeyama Shoshiro, Inoue Jun	4. 巻 141
2. 論文標題 Realization of Combined Motions by Robot Hand based on Surface and Deep Muscles' EMG	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 130 ~ 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.130	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 井上 淳、林 敏熙、花崎 泉	4. 巻 8
2. 論文標題 足底部背屈可能な短下肢装具による歩行への影響の分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 看護理工学会誌	6. 最初と最後の頁 28 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24462/jnse.8.0_28	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 井上 淳、飯岡 俊光、川村 和也、花崎 泉	4. 巻 7
2. 論文標題 ハーネスを用いて腰部に接続する杖歩行訓練器の歩行者の運動に対する追従性の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 看護理工学会誌	6. 最初と最後の頁 99 ~ 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24462/jnse.7.0_99	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 平石 裕二、樋口 航生、井上 淳
2. 発表標題 振動センサーを用いた圧力計測システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 見目 力哉, 上橋 秀平, 中村 友哉, 井上 淳
2. 発表標題 歩行訓練機制御に向けたSVMによる異常動作の検出
3. 学会等名 日本機械学会学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上橋 秀平, 井上 淳
2. 発表標題 LSTMを利用した複数部位の加速度からの歩行速度の予測
3. 学会等名 第23回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
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村 友哉, 井上 淳
2. 発表標題 SVM を用いた表面筋電位による直進歩行・曲線歩行動作の分類
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林 翼, 柏木 嶺, 井上 淳
2. 発表標題 下肢への振動刺激を用いた歩行支援の研究
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上橋 秀平,井上淳
2. 発表標題 多変量 LSTM を利用した歩行速度の予測
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上淳
2. 発表標題 歩行の計測 3点突起付きインソールを用いた立位・歩行の計測
3. 学会等名 ROBOMECH2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sakie Morioka, Masami Iwase, Jun Inoue
2. 発表標題 Development of EMG-wrist angle model based on Markov process toward user ' s voluntary operation of myoelectric hand
3. 学会等名 2020 IEEE International Symposium on Community-centric Systems (CcS 2020), (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 線状センサ装置、繊維状センサ装置、剪断力の検出方法	発明者 井上淳、樋口航生、 平石裕二	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-201144	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

東京電機大学 研究者情報DB
https://ra-data.dendai.ac.jp/tduhp/KgApp/k03/resid/S000432

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------