

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：30115

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12798

研究課題名（和文）日常的に使用可能な機械学習による転倒防止システムの検討

研究課題名（英文）Research on the real-time fall prevention system using IMU sensors based on machine learning methods which can be used anywhere on daily basis

研究代表者

戸谷 伸之（Toya, Nobuyuki）

北海道情報大学・医療情報学部・教授

研究者番号：00340654

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、高齢者の転倒事故防止のための簡易な歩容判別システムの実現を目指し、ウェアラブルセンサ等で容易に取得できる手首の運動を主な特徴量として機械学習によって歩容を判別する方式を提案した。実際に被験者による歩行実験で「拳上する足上げ高さが不足している歩行」と「ふらつきのある歩行」について提案方式の判別性能を評価した結果、正解率の評価ではすべて0.9以上となった。さらに機械学習による回帰分析で被験者ごとの「拳上する足上げ高さ」を推定し、実測値との相関係数0.67～0.87が得られ提案方式の良好な推定性能が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果によって、手首の加速度データから歩容の判別する提案方式の基本性能と、有効性が確かめられ、この方式を用いた簡易な歩容判別システム実現の可能性が明らかになった。今後提案方式において最適な機械学習アルゴリズムや特徴量を適用することによって、判別や推定の精度をさらに向上させていくことが可能であると考えられる。これにより、屋内外の広い範囲で歩容を確認できる簡易な方式として、高齢者の転倒防止やリハビリテーションへの有効活用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to realize a simple gait identification system to prevent falls among elderly people, and proposed a method to identify gait by machine learning using wrist movements, which can be easily obtained by wearable sensors, as the main feature. Using walking experiment data, we evaluated the identification performance of the proposed method for “gait with insufficient foot-ground clearance” and “staggering gait” and obtained the accuracy rate higher than 0.9 for all cases. Furthermore, we estimated the “foot clearance value” for each subject using regression analysis, and obtained a correlation coefficient of 0.67 to 0.87 with the actual measured value, confirming the good estimation performance of the proposed method.

研究分野：医用生体工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：歩容解析 機械学習 転倒防止

1. 研究開始当初の背景

高齢化の進む現代社会において転倒事故が多発し重大な問題となっている。転倒事故では入院が必要となる損傷を負い日常生活を制限される確率が高いことも明らかになっている。高齢者の転倒状況としては、「つまずき」や「ふらつき」によるものが最も多く、その原因の一つとして高齢者は自ら上げた足の高さを認識することが難しく、引き込む足が低くなることが指摘されている。これらの報告から、転倒予防として日常生活における歩行中の足の高さを把握することが重要であることがわかる。しかし、歩行解析では一般的に専用の施設内において専用のセンサや測定機器を用いる場合が多く、高齢者の日常生活における歩容把握には適しているとはいえない。そこで本研究では、日常的に転倒予防に使用できる、より簡易な歩容把握システムの実現に向けて、まずは歩行者に装着した加速度センサで歩行状態を推定する方式を考え、その性能について調べていく必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では加速度センサを主とする身体装着型のセンサを用いて歩行を観測し、「転倒危険性の有無」の判別を可能とするシステムを提案し、その基本性能となる転倒危険性の判別精度を評価する。また判別の精度を向上させるため、個人差の大きい歩容に対して柔軟に適用可能とするため機械学習による判別方式を導入する。これらの実験・分析をとおして提案システムの有効性を検証する。

3. 研究の方法

本研究では、転倒危険性の有る歩容として主に「挙上する足上げ高さが不足している歩行」と「ふらつきのある歩行」の2種類をとりあげ、これらの歩容を通常危険の無い歩行と判別するシステムを提案し、その判別性能を評価した。歩容を強く反映する部位として上肢の運動に着目し、上肢の運動データを歩容の判別に利用する方式を採用した。特に手首はスマートデバイスを適用する観点からも最適であると考えた。

そこで本研究では歩行実験で得られた被験者のデータから歩容と手首の運動の関係を調べた。実験データは被験者のトレッドミル上や平坦な歩行路上での歩行データを使用した。歩容については主に赤外線センサ、モーションキャプチャシステムを用いて取得されたものを使用し、手首の加速度データは手首に装着した加速度センサで直接測定したものや、モーションキャプチャシステムの位置座標の変位から算出したものを使用した。これらのデータを機械学習にかけて歩容と上肢の運動の関係を分析し、転倒の危険性の有る歩容の判別性能を評価した。図1に水平なトレッドミル(速度調整可能なベルトコンベア式のウォーキングマシン)上でスマートデバイスを用いてデータ取得をする実験システムの例を示し、図2に機械学習による性能の評価の流れを示す。機械学習で用いる特徴量として、加速度データだけではなく、身長や歩行速度等他の指標も導入し、その有効性についても調べた。

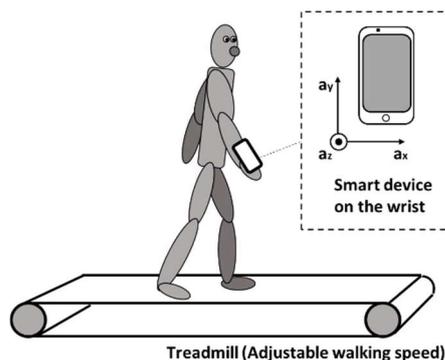


図1 歩行実験システムの例

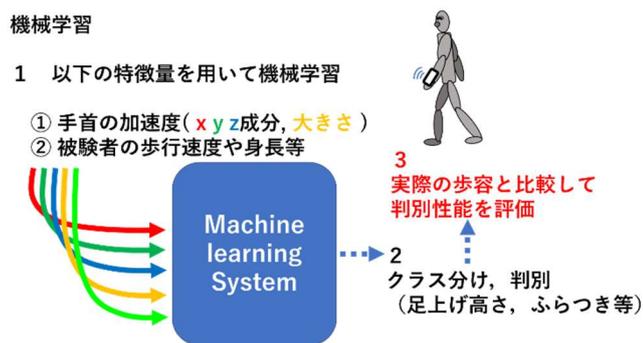


図2 機械学習による評価

4. 研究成果

複数の機械学習アルゴリズムを適用して分析した結果、特定のアルゴリズムにおいて高い判別性能が得られ、提案方式における歩容判別に有効であることが確認された。さらに機械学習を用いた回帰分析によって足上げ高さを推定し、適切な特徴量を用いた場合に比較的高い精度で推定できることが明らかになった。以下に項目ごとの成果を示す。

1) 機械学習を用いて通常歩行 (Normal), 通常より歩幅のある歩行 (Long), 通常より足上げ高さのある歩行 (High) の3種類の歩容について判別を試みた。この際特徴量として被験者の加速度の3軸方向それぞれの成分値に加え、加速度の大きさ、身長、歩行速度を用いた。被験者は20代の若年健康者の男性10人を採用し、被験者ごとに3種類の歩き方で各60歩(3種類総合で

180歩)のデータを用いた。複数のアルゴリズムを用いて評価した結果、最適なアルゴリズムを使用した場合に、判別の正答率がすべて0.93以上となり高い判別性能を達成した。さらに被験者10人の全1800歩分のデータを機械学習でクラス分けした結果においても、高い確率で実際の歩容と一致していることが確認された(表1)。これらの結果から歩容における足上げ高さや歩幅が手首の運動に反映されていることが確認された。

2)「ふらつきのある歩行」についても機械学習を用いて判別を試みた。被験者は20代の若年健康者の男性5人を採用し、初期実験として、被験者ごとにトレッドミル上で歩きやすい速度での通常歩行と、左右にランダムに能動的にふらつきながら歩行した場合の各20歩分データを使用した。「ふらつきのある歩行」では、全ての被験者において手首の加速度の分散値が通常歩行に比べて著しく増加していることが明らかになった(表2)。これを踏まえて機械学習では、特徴量として被験者の加速度の3軸方向それぞれの成分値、加速度の大きさに加え加速度の分散値を用いることとした。この結果、4人の被験者において判別の正解率が0.9~1.0となった。ただし、1人の被験者においては正解率が0.6と低かった。この結果は被験者が能動的にふらついた結果であり、必ずしも実用的な性能を表しているとはいえない。今後はふらつきの定量的な評価が手首の運動にどの程度反映されているかを分析する必要がある。

表1 クラス分けした歩容の歩数

		機械学習による判別結果		
		Normal	Long	High
実際の歩容	Normal	589	6	5
	Long	29	562	9
	High	2	32	566

表2 ふらつきのある歩行の判別

被験者	加速度の大きさ[m/s ²]		判別の精度
	通常歩行	ふらつき歩行	
A	13.58 ± 1.66	15.76 ± 2.24	0.90
B	11.95 ± 1.80	16.54 ± 3.13	0.95
C	10.46 ± 0.57	12.91 ± 1.61	1.00
D	12.90 ± 1.42	12.91 ± 2.14	0.95
E	14.78 ± 1.84	14.75 ± 2.11	0.60

3) 機械学習を用い、足上げ高さ(第2中足骨の高さ:以降「フットクリアランス」とする)の回帰分析を試みた。ここでは特徴量としてモーションキャプチャで得られた被験者の手首の位置座標を用いて評価を行った。被験者は年齢23~59歳、平均身長1.73mの10人(男性6人、女性4人)で、各被験者の歩きやすい速さで歩行した際のデータを用いた。この結果として推定された足上げ高さは、実際の高さデータとの相関係数が0.87、RMSE(二乗平均平方根誤差)は0.012mの精度で推定が可能であった。

4) 3)の結果を受けて、機械学習の特徴量として手首の加速度だけでなく歩行速度も取り入れて回帰分析を行い、被験者ごとに「フットクリアランス」を推定した。被験者は年齢21~67歳、平均身長1.73mの10人(男性5人、女性5人)で、各被験者それぞれが歩きやすい速さで歩行した際のデータを用いた。この結果として、各被験者の実際の値と推定値との相関係数は0.669~0.868(表3)、被験者それぞれのRSMEは平均で0.714[%height:身長で正規化した単位](平均身長を考慮すると約12mmの誤差)となり、個人差はあるものの、それぞれの歩行速度に対応して比較的高い精度で推定できることがわかった。さらに、特徴量として歩行速度を使用しない場合との比較では、すべての被験者の推定値において歩行速度を使用した場合の推定精度が向上していた。また、被験者の身長や体重、年齢が推定精度に相関しないことも確かめられた。手首の加速度を用いる提案手法は、現段階では下肢にセンサを装着する方式に相当する推定精度には及ばないものの、簡易な歩容推定法としての有効性が確認された。

表3 推定精度の評価

被験者	フットクリアランスの相関係数	
	歩行速度なし	歩行速度を考慮
A	0.610	0.713
B	0.705	0.754
C	0.751	0.807
D	0.812	0.868
E	0.78	0.852
F	0.564	0.716
G	0.793	0.826
H	0.529	0.669
I	0.682	0.773
J	0.744	0.796
Mean ± S.D.	0.697 ± 0.0941	0.777 ± 0.0613

5) 今後の課題として、さらに提案方式に有効な特徴量を検討・導入することによって推定精度を向上させる余地があることが明らかとなった。また「ふらつき歩行」の定量的な評価など今後さらに詳細に分析を進め、フットクリアランスの推定と統合して歩容を判別する実用的な方法について検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kodai Kitagawa, Chikamune Wada, Nobuyuki Toya	4. 巻 Vol.6, No.1
2. 論文標題 Foot Clearance Prediction using Wrist Acceleration and Gait Speed	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics	6. 最初と最後の頁 pp.32-39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35882/jeeemi.v6i1.345	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Nobuyuki Toya, Kodai Kitagawa, and Chikamune Wada
2. 発表標題 Staggering Gait Detection Method using Wrist Acceleration
3. 学会等名 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE EMBC2023)（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北川広大, 和田親宗, 戸谷伸之
2. 発表標題 手首の加速度を用いた歩行中の足の高さ推定 -高齢者の公開データセットによる基礎検討-
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部第343回研究集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 戸谷伸之, 北川広大, 和田親宗
2. 発表標題 高齢者のための歩容見守り方式の検討 - 慣性センサと無線通信の適用 -
3. 学会等名 信学技報, vol. 122, no. 82, MBE2022-11
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北川広大, 和田親宗, 戸谷伸之
2. 発表標題 シミュレーションによる上肢の加速度情報を用いた足の高さ推定手法の基礎検討
3. 学会等名 Japan ATフォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kodai Kitagawa, Chikamune Wada, Nobuyuki Toya
2. 発表標題 Foot Clearance Prediction Using Wrist Position: A Pilot Study Via Public Dataset
3. 学会等名 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE EMBC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kodai Kitagawa, Chikamune Wada, Nobuyuki Toya
2. 発表標題 Automatic Gait Classification using Arm Acceleration based on Stature and Gait Speed
3. 学会等名 2021 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (IEEE LifeTech2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	和田 親宗 (Wada Chikamune) (50281837)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授 (17104)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	北川 広大 (Kitagawa Kodai) (20965256)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・助教 (51101)	

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