

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350669

研究課題名(和文) 超高速統計学習に基づく下肢筋電を用いた立ち上がり動作補助システムの基盤的研究

研究課題名(英文) Basic research on an auxiliary system of Sit-to-Stand motion using lower limb EMG based on fast statistical learning

研究代表者

福見 稔 (Fukumi, Minoru)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：80199265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、足首から取得したEMG(筋肉電位)を用いて自立歩行支援ロボットの改良のために、足首動作の識別と立ち上がり動作(Sit-to-Stand)のモデリングを行うシステムの開発を目的とする。まず、足首の背屈と底屈と何もしない状態(ニュートラル)の3動作の識別を行い、オンライン実験で95%以上の高精度認識を達成した。次に、立ち上がり動作のモデリングを行うために、立ち上がり動作を3分割し、先の3動作を含めた分類を行った。その結果、認識精度は62%程度に低下した。今後はデータの正規化等を含む改善が必要である。

研究成果の概要(英文)：In this research, a system to recognize ankle motions and to model a Sit-to-Stand motion using ankle EMG signals is developed for power-support devices. First, three motions of ankle, neutral, dorsiflexion and plantar flexion using ankle EMG signals are recognized and 95% high accuracy is obtained for on-line experiments. Next, the Sit-to-Stand motion including three motions of ankle is recognized. The Sit-to-Stand motion is then divided into three motions. As a result, 62% accuracy is obtained and it is worse than that of three ankle motions. And also data distribution analysis in eigenspace showed that EMG data of Sit-to-Stand motion and that of three ankle motions measured at ankle are different. In the future, accuracy improvement including a normalization method for ankle EMG data for the Sit-to-Stand motion is needed.

研究分野：情報工学(ヒューマンセンシング, ソフトコンピューティング)

キーワード：筋肉電位 Simple-PCA Simple-FLDA 統計学習 足首動作

1 . 研究開始当初の背景

近年 , 日本国内では急速に高齢化社会を迎え , 65 歳以上の高齢者の割合は , 2011 年 10 月に 23.3% と報告され , 今後も増加すると予想されている . 国内で様々な高齢者対策が検討されているが , 家庭内で寝たきりとなり介護を必要とする高齢者 (以下 , 要介護者と記載) や , 自分の意思で動くこと (排泄も含めて) に不自由な思いをしている高齢者 (要介護者) は増加している . 以上のような背景があり , 寝たきり高齢者 (要介護者) を減らす研究開発が急務である .

一方で , 寝たきり大国の汚名を持つ日本と北欧 2 国 (スウェーデン等) と比較した報告が日本の問題点を浮き彫りにしている . 例えば , 日本は伝統的に畳の上で就寝する高齢者が多いが , 畳の上の寝床で横たわる状況では , 衰弱した要介護者は起き上がる動作が困難で諦めることが多くなる . 養護老人ホームや介護ヘルパー増も重要であるが , 高齢者が自分の意思で立ち上がれることが重要であり , そのサポートを行える機器の開発を行う必要がある . 特に , 介護施設や家庭で容易に実行できるリハビリが重要であり , 簡単に装着と使用を行える機器の開発が必要と考えられる . ベッドや椅子などに座った状態から立ち上がる基本動作のサポートだけでも北欧のように寝たきり高齢者を大幅に低減化できる可能性があると考えられる .

このようなサポートを行えるパワーサポート機器として , ロボットスーツ HAL (筑波大学 , 山海先生開発 , Cyberdyne 社製) が有名である . しかし , 実際に HAL を導入して試用した保健施設等からは , (1) 着脱などの準備に手間取る , (2) HAL の重みでバランスを崩した場合の危険性 , (3) アシスト量のパワー調整の難しさ , (4) 予想を超えるマンパワーの必要性 , が課題として指摘されている . また , 大学医学部からは , 上記に加え , 初期導入費用およびレンタル費用が高額であることが

問題視されており , 簡易版でも良いので低価格で高精度な機器の開発が要望されている .

申請者は , 従来から EMG に基づく次世代インタフェース機器の開発を目指している . 特に , 手首 EMG に基づく手首動作と指動作の識別を高速・高精度に行ってきた . また , 足首 EMG に基づいた足首動作の識別もインタフェース応用の目的のために研究を行ってきた . これらの研究により , 足首の EMG 計測にも乾式センサを用いて比較的良好的な EMG を計測し識別できることが判った . この EMG を超高速にオンライン学習が可能な統計的学習法 (Simple-FLDA : Fisher Linear Discriminant Analysis , フィッシャー判別分析の近似法) により足首動作をオンライン学習し , 高精度識別を実現した . また , 近年の要介護者の増加及び医学関係者等からの強い要望があり , 下肢の EMG に基づいて立ち上がり動作をサポートできる機器の開発に必要な基盤的研究が重要であることが判った . 特に , HAL では考慮されていない足首関節の制御を行うために , 大腿部 EMG 計測だけではなく , 膝関節動作と連動して足首 EMG を計測し足首の動作解析を行いたい .

2 . 研究の目的

本研究の研究期間内に , 立ち上がり動作をサポートできる機器の開発に必要な基盤的研究を実施する . この立ち上がり動作のサポートのためには , 大腿部と足首の連動した動作を EMG で計測して解析する必要がある . また , 立ち上がり動作に必要な下肢の動きと計測された EMG を関連づけて立ち上がり動作をモデル化する必要がある . これを実施する . まずは , Sit-to-Stand (立ち上がり) 動作で解析を行い , 本研究での解析完了後に Sit-to-Walk (歩行開始) 動作の検討を進めたい .

さらに , 本研究では , 下肢 EMG を高速にオンライン学習が可能で高精度に識別でき

る統計的学習法 Simple-FLDA を改良し、膝関節と連動して足首動作の連続的な動作解析を行える学習アルゴリズムを開発する。この Simple-FLDA は非線形空間への拡張と追加学習機能の追加を行っているが、クラス分類を行うためのアルゴリズムであり、連続的な動作識別には適用し難い。本研究では、このアルゴリズムを連続的動作識別と筋力推定に適用するための改良を行いたい。さらに、要介護者の状況は様々であるため、追加学習機能が不可欠である。この効果的な仕組みも開発し、性能を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、下肢 EMG (筋肉電位) を用いて、下肢筋肉が衰えた高齢者の動作補助を行う福祉機器 (パワーアシスト機器) の開発に必要な下肢動作推定システムを構築するために、ベッドや椅子から立ち上がる動作時の大腿部と足首での連動した EMG 計測と解析を行い、さらに超高速・高精度に連続的動作推定を行える統計的学習アルゴリズムの開発を行う。このために以下の研究を進めていく。

(1) 多チャンネル EMG 計測システムで大腿部と足首の EMG を計測し基本的な動作解析

まず、EMG 計測システムで、立ち上がり動作 (Sit-to-Stand) の際に使用する主要筋肉である下記の

足首 EMG: ヒラメ筋, 内側腓腹筋, 前頸骨筋, 長腓骨筋, 大腿部と背部の EMG: 大腿二頭筋, 内側広筋, 大臀筋, 脊柱起立筋など

の EMG を同時計測する。この多チャンネル EMG 計測システムは新たに購入する。乾式センサの取り付け位置は足首 EMG の場合、可能な範囲で足首に近い場所に取り付ける。これは実用性を高めるためである。立ち上が

りや歩行の動作で最も重要視されることは、要介護者が倒れないことである。従来は、下肢の重心位置に制約を設けていたため、足先に体重を掛けた状態での立ち上がり動作が考慮されておらず、要介護者の立ち上がり動作としては不自然な軌道となる可能性がある。本研究では重心位置には制約を設けず、要介護者の関節可動範囲と下肢筋力を考慮して重心位置の変動範囲を検討する。無理のない立ち上がり動作を行う際の下肢動作のモデル化の条件を検討し、基本的な動作の解析を行う。このために、計測した EMG で全周波数成分を用いた主成分分析を行い、立ち上がり軌道 (関節の移動と角度) と筋力の変化を確認し、使用するモデルを検討する。この際、高速版である Simple-PCA (主成分分析の近似版) を用いる。

(2) Simple-FLDA の連続動作推定への改良と線形 ADF での高速化・評価

(1)の解析を行った後、統計的学習法である Simple-FLDA (フィッシャー判別分析の近似法) による学習で立ち上がり動作を分解学習する。このために立ち上がり動作を幾つかの段階に分解し、パターン分類の形式で統計学習を行う。この際に、Simple-FLDA で固有ベクトルを学習し、その固有ベクトルと入力との内積値を線形フィルタである ADF (Adaptive Digital Filter) の入力とするシステム構造を検討する。この仕組みにより、連続動作が推定可能であるか否かを検討する。一方、従来は足裏にかかる圧力を考慮せずに、立ち上がり軌道の最適化を行っている。そのため、下肢の重心位置に制約があり、立ち上がり動作の軌道が不自然になる場合が考えられる。したがって本研究では、要介護者の重心位置を制限しないモデル化を検討する。

(3) 足首 EMG と足裏圧力との関連性解析

下肢の重心位置に制約を設けると、足先に

力を入れてバランスを取る動作を考慮できない。したがって、足裏の圧力計測が必要で、足裏圧力と重心位置、足首 EMG の関係を解析してモデル化する必要がある。足裏の圧力計測のために、圧力センサ（4 個、片足分）の購入する経費を申請している。足裏圧力を計測し、圧力分布と下肢重心位置の関係を解析する。立ち上がり動作の場合は、最初は片足だけで解析を行う。この際に、立ち上がり動作の最適化に必要な下肢重心位置の範囲についての検討を行う。さらに、足裏圧力と立ち上がり軌道（各関節の移動と角度）の関係を分析し、要介護者が倒れずに立ち上がることが可能な軌道の範囲を調べる。立ち上がり動作解析が完了すれば、Sit-to-Walk（歩行開始）解析に進む。この研究のために、足裏圧力を計測可能な簡易圧力計（ニッタ製）を購入したい。

(4)大腿部と背部の EMG 及び足首 EMG の連動した解析とモデル化

上記(3)をさらに進め、立ち上がり動作に必要とされる骨格筋の EMG 同時計測を行う。EMG 変化と筋力関係をモデル化し（図で表示することを含む）、計測された EMG による各骨格筋の連動した筋力推定モデルを構築する。特に、足裏圧力と各骨格筋の筋力（特に足首関連）との関連性を解析しモデル化を検討する。この時、立ち上がり動作を幾つかの段階に分割し、段階毎の複数個のモデルと統一した 1 個のモデルの両者を比較し、どちらを採用するか検討する。また、この際に、サポートベクタマシン（SVM）の使用も検討する。

線形版 Simple-FLDA での筋力推定モデルが不十分である場合には、非線形版 Simple-FDA (Fisher Discriminant Analysis)の使用を検討する。非線形版での連続動作推定モデルでも ADF を出力に用いて学習測度と筋力推定精度を調査する。さらに、追加学習の

効率的な仕組みを検討し、精度改善する方法を検討する。

4. 研究成果

本研究では、足首から取得した EMG を用いて自立歩行支援ロボットの改良のために、足首動作の識別と立ち上がり動作（Sit-to-Stand）のモデリングを行うシステムの開発を目的とする。まず、足首の背屈と底屈と何もしない状態（ニュートラル）の 3 動作の識別を行い、オンライン実験で 95%以上の高精度認識を達成した。次に、立ち上がり動作のモデリングを行うために、立ち上がり動作を 3 分割し、先の 3 動作を含めた分類を行った。その結果、認識精度は 62%程度に低下した。今後はデータの正規化等を含む改善が必要である。以下では具体的に述べる。

(1)足首 EMG に基づく足首動作の認識

認識システムは入力部、信号処理部、特徴抽出部、識別部により構成されている。入力部では 4 つの乾式電極を用いて足首の動作の EMG を採取する。信号処理部では、4 つの電極のうち底屈と背屈の動作においてそれぞれ特徴が現れる ch1 と ch2 の 2 つ分の電極で得られた EMG に対して FFT を行い周波数領域に変換しパワースペクトルを得る。特徴抽出部では得られたパワースペクトルを評価用データと学習用データに分けて、学習用データに対し Simple-FLDA (S-FLDA)を用いて特徴抽出を行う。識別部では、特徴抽出部で得られた学習用データの特徴と評価用の各データとの二乗距離を算出しその距離が最も近いクラスを評価用の各データの属するクラスとして動作を識別している。

次に、そのデータを用いて実際に識別できるかを検証するために、S-FLDA を用いたオフライン時のシステムの有効性を S-PCA（主成分分解の近似法）を用いたシステムと

共に比較・検証した。その結果，ch1 と ch2 の 2ch 分を用いて特徴抽出を行い，識別率を算出したところ両手法とも識別率が 98.3% となった。また，特徴空間上でのそれぞれのシステムのテンプレートの固有値の分布を見ながら考察した結果，各動作の分布がそれぞれ 1 つにまとまっていることが分かった。

リアルタイム認識システムはテンプレート作成部，EMG データ取得部，識別部により構成されている。テンプレート作成部では 2 つの乾式電極を用いて，表面筋電図法により足首の動作の EMG を採取する。得られた EMG データに対して，オフライン提案システム同様に，信号処理，特徴抽出を行い，テンプレートを作成する。識別部では得られたデータと作成したテンプレートとの二乗距離を求め k 近傍法で認識を行った。2 名の被験者に対して実験を行った結果，被験者 A で 98.3%，被験者 B で 100.0% という高い識別率を得ることができた。

(2) Simple-PCA による連続動作推定への改良と評価

入力部では 4 つの乾式電極を用いて，表面筋電図法により足首の動作の EMG を計測する。多チャンネルを用いた計測も行ったが，精度の大きな違いは無かったため，4 チェンネルで実験した。

信号処理部では，ニュートラル（なにもしていない状態），底屈，背屈，立ち上がり 1～3 の 4 つのチャンネルそれぞれに対して FFT を行い，振幅スペクトルを生成した。特徴抽出部では，パワースペクトルを学習用データとテスト用データに分けて，Simple-PCA で主成分分析を行う。識別部では，主成分得点の第 1 主成分を用いて，SVM の線形カーネルで識別する。大腿部（太もも）やふくらはぎの筋肉に比べて筋肉が小さく，ノイズが乗りやすい足首から有用な EMG データを計測することができるか検証した結果，乾式電極

を用いて得られた EMG データに対して FFT を行い，パワースペクトルをクラスごとに比較すると，底屈，背屈，ニュートラルは特にはっきりと個別の特徴が現れていた。一方，立ち上がりは他の動作ほどはっきりと特徴を見つけることができなかった。

次に，そのデータを用いて実際に識別できるかどうかの実験を行った。その結果，ニュートラルと底屈は 100%，背屈は 96.6% の識別率を得ることができたが，立ち上がり 1～3 の動作は 56.6%～0% となり，立ち上がり動作の識別は比較的困難であった。主成分得点を見ても，底屈，背屈は他のクラスと大きく離れた位置に分布しており，ニュートラルはクラス内分散が非常に小さかったため，識別率が高くなったと考えられる。その後，計測した全データのパワースペクトルを主成分分析して，立ち上がり動作における主成分得点の時間変化を見ると，立ち上がり動作は，最初はニュートラルよりやや背屈寄りの状態から，さらに背屈に近い動きに近づき，途中から起立完了までの間の足首の動きは底屈に近づくと考えられる。固有空間の生成方法として Simple-FLDA も用いて検証を行ったが，同様に立ち上がり動作の認識は比較的困難であった。一方，これらの方法を用いて手首 EMG を用いた手首と指の動作認識（ジャンケン認識）に適用した結果，90% 以上の高精度認識を達成できることを確認した。

今後の課題としては，立ち上がり動作のより細かな分割方法や特徴抽出部を中心に（データ正規化を含めて）見直す必要がある。

(3) 足首 EMG と足裏圧力との関連性解析

本研究では足裏圧力を計測し，立ち上がり動作のモデリングに役立てる予定であった。しかし，購入を予定していたニッタ製圧力計測システム（FlexiForce ELF システム）が販売の一時停止となり，購入できなかった。

企業に問い合わせたところ，まもなく販売開始との連絡があり，待っていたが，結局，2度の販売開始延期を経て研究期間内に購入できなかった．他社製品も検討したが，価格が高く購入できなかった．そのため，遺憾ではあるがこの部分の研究は実施できなかった．

5．主な発表論文等

(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 1件)

- (1) Yohei Takeuchi, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi : A Nonlinear Learning Algorithm for Large Scale Datasets, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, Vol.2, No.7, pp.407--412, 2013, 査読あり,
URL : <http://www.ijeit.com/>

〔学会発表〕(計 5件)

- (1) Daiki Hiraoka, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi : Japanese Janken Recognition by Support Vector Machine Based on Electromyogram of Wrist, *Proceeding of the 2016 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology*, pp.114--119, Chiang Mai (Thailand), 4th Feb. 2016, 査読有り
- (2) Takahide Funabashi, Momoyo Ito, Shin-ichi Ito and Minoru Fukumi : On-line Recognition of Finger Motions Using Wrist EMG and Simple-PCA, *Proc. of Asian Control Conference 2015 (ASCC'2015)*, pp.2182--2186, Kota Kinabalu (Malaysia), 1st June 2015, 査読あり
- (3) 福見 稔 : 統計的アルゴリズムによる筋電信号の認識, 岩手大学システム理工学系講演会(招待講演), 岩手大学(岩手県盛岡市), 2014年11月6日.
- (4) 山村 祐介, 伊藤 桃代, 伊藤 伸一, 福見 稔 : 足首の筋電による足首の動作の分類, 日本生体医工学会中国四国支部大会, 11頁, 「愛媛大学(愛媛県松山市)」, 2013年10月19日
- (5) 尾山 匡浩, カルンガル ギディンシ ステファン, 柘植 覚, 福見 稔 : BCIのための簡易計測装置を用いた生体信号の解析, 電気学会C部門大会, GS13-3頁, 北見工業大学(北海道北見市)2013年9月6日.

6．研究組織

(1)研究代表者

福見 稔 (FUKUMI, Minoru)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・教授
研究者番号 : 80199265