

平成 22 年 6 月 7 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500484
 研究課題名（和文） dsPICによるニューロ・ファジイ機能と両足の筋電信号で制御される能動下腿義足
 研究課題名（英文） Neural networks and fuzzy system based on dsPIC and flexible below knee prosthesis controlled with surface electromyogram from lower extremities
 研究代表者 島田 洋一（SHIMADA YOUICHI）
 金沢工業大学・情報学部・教授
 研究者番号：50113155

研究成果の概要（和文）：下腿切断者の歩行支援用の足関節部位が回転可能で2組の接地センサの状態が拮抗的に配置された2本のエアシリンダの伸縮で底背屈可能な能動下腿義足に対し、義足装着者の意志による歩行開始や歩行パターンの調節を両足の大腿部および健常側の下腿部からの表面筋電図で行わせるためのニューロ機能とファジイ機能を有するシステムをdsPICを用いて改良を加え、健常者のトレッドミル上の実際の歩行実験に適用してシステムの性能評価を行った。

研究成果の概要（英文）：To assist the more easy and comfortable walking of handicapped with below knee prosthesis, newly developed flexible prosthesis with two touch sensors and two air cylinders mounted in prosthesis to activate the flexion and extension was improved to have a function of neural networks and fuzzy system based on dsPIC to detect and process the electromyogram from lower extremities to control the prosthesis. The experimental results show that these systems work well with principal functions for the data processing the surface electromyogram from thigh and gate parameters of normal subjects during walking on the treadmill.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：生活技術支援、能動下腿義足、ニューロ機能、ファジイ機能、dsPIC

1. 研究開始当初の背景

(1) 交通事故や戦争などでどちらか一方の下肢の機能を失い、特に下腿部を切断した障

害者の歩行支援には足関節が固定か、または非常に可動域が狭い可動義足を使用するのが一般的である。しかし足関節部位が固定という様な状態では歩行には心身共に非常

に大きな大きな負担を掛ける。即ち足関節が固定されることで義足を前に蹴り出すためにはその軌跡が外側に膨らむ様なものになり、このために他者への配慮や歩行時の空間的余裕を予め確保する必要があるなどの精神的な負担が掛かる上に、歩行時の左右への重心の大幅な移動もあるので肉体的な負担が大きい。

(2) そこで科学研究費補助金の萌芽研究では足関節部がボールベアリングを組み込んで前後に屈曲する機構を持ち、さらに義足の脚部と足部の間に拮抗筋の位置関係になるように2本のエアシリンダを挿入し、駆動源には圧縮空気を電磁バルブの開閉でエアシリンダに供給する義足を開発した。更に歩行時には義足下面の爪先部と踵部に相当する場所に装着した接地センサの4つの状態(起立時、蹴りだし、遊脚時、着地)に基づいて電磁バルブの開閉を行うことで義足の背屈・底屈を実現した。そして実際の下肢切断者で固定義足を装着している障害者を被験者としてトレッドミル上および廊下をこの能動下腿義足を装着して歩行して貰い、機能評価を依頼した。その結果、重心の左右と上下への移動量は共に減少し、肉体的な負担の軽減になるとの評価を得た。

(3) しかし開発した能動下腿義足に取り付けられた接地センサからの状態のみを判定して電磁バルブシステムを駆動しているために、義足装着者が歩行開始をしようとするれば歩行開始時には自から強く意図して健常足側を蹴り出すことで歩行へ移行してその重心移動により義足の動きを開始するか、または義足側の大腿部を引き上げて義足を蹴り出すような位置に持って行くような行動自らを取る必要がある。接地センサばかりではなく義足装着者の意図を手掛かりとして義足の蹴り出し動作を行わせることで出来るだけ肉体的な負担軽減を図る事が望まれた。また急な歩行パターンの変化等には十分対応しきれない面、或いは歩行中に制御プログラムの変更やパラメータの書き換えなどが容易ではないなどの問題点も存在した。

2. 研究の目的

(1) これまでに試作・開発した能動下腿義足を元に基本的な制御プログラムを核に装着者の歩行開始、停止、起立動作などを円滑にするためのプログラム修正を動作中にも自動的に行えるシステムを開発する。また径

時変化や装着者の特性の変更にも素早く対応できるシステムとする。

(2) 新たに開発する能動下腿義足の計測制御システムは義足装着者が携帯して安全に使用するために、

- ①出来るだけ小型である
- ②出来るだけ消費電力が少ない
- ③装着者に負担の少ない形状である
- ④プログラム修正がフィールドで出来る
- ⑤システム暴走等に対する停止対策がある
- ⑥健常者の歩行パターンを再建できるなどの機能を持たせるものとする。

(3) 義足を装着しての歩行時には制御システムの応答スピードが出来るだけ早いことが要求される一方で、義足の目標軌跡に対する実際の軌跡との差分精度はそれ程厳密ではないと考えられる。しかしどの程度の歩行時の健常足と義足との歩行パターンに違いが装着者の歩行の円滑な調節限界を超えるのかが不明である。そこでこの点を明らかにする実験を考案する。

(4) 脚部の表面筋電図、膝や足関節の加速度、足関節や爪先角度などの各種の生体信号を能動下腿義足の制御信号にどの程度活用できるのかを実験的に確かめる。

(5) 歩行中のスピードの変化や歩行パターンのリズム変化にも対応できるように能動下腿義足の制御プログラムのパラメータをニューラルネットワークで推定しながら学習する機能を制御システムに付加する。これにより出来るだけ歩行中における能動下腿義足の円滑な歩行パターンの生成を目指す。

(6) 実際の歩行時に電磁バルブの開閉タイミングの制御で義足の底屈・背屈を実現しているが、接地センサや角度センサ、加速度センサからの信号をAD変換した場合に量子化誤差について考慮する必要がある。また多少の制御信号の違いで能動下腿義足の動きが大きく変化すると義足装着者にとっては自分での歩行調節が根案になるおそれがある。そこでセンサの信号に含まれる誤差を吸収し円滑な制御のためにファジィ機能を組み込んだ制御システムとする。

3. 研究の方法

本研究では以下の課題について実施するものとした。

- (1) ファームウェアニューロンモデル

能動下腿義足の制御システムに学習機能を有するニューロ機能を組み込む場合には、マイクロプロセッサのプログラムによるソフトウェア方式のものと、CR回路とアナログ加算回路およびマイクロプロセッサでの波形処理を行うもの、および完全にハードウェアのみでニューラルネットワークを構成する方法がある。本研究では先ずアナログ演算によりリアルタイム処理が可能で、プログラムの変更で簡単に処理内容も変えられるファームウェア方式のニューロンモデルを作成し、制御システムへの組み込みについて検討するものとした。なお用いるマイクロプロセッサには4チャンネル同時サンプリング機能をもつ28ピンのDIPタイプのdsPIC30F4013を使用する事にした。

(2) 小型二足歩行ロボットによる歩行解析試作開発した能動下腿義足を用いて解析・評価する場合には義足を装着できる被験者の研究への協力が不可欠である。しかし常に協力が得られないので、市販の小型の二足歩行可能なロボットを用いて2つの脚部が正常な場合と一足を固定して(固定義足装着の状態)の歩行制御プログラムを比較することで、能動下腿義足による歩行の定量的な解析手法が可能かの検討を行うものとした。

(3) 脚部からの表面筋電図の導出と応用
能動下腿義足を装着した障害者が歩行を開始する場合、通常は蹴り出しに健常足を用いるものと考えられる。また歩行開始時のパターンには個人差が存在するものと考えられるので、実際の脚部からの表面筋電図の導出に際しては大きい電位波形がとれる部位を選択する。使用する表面電極は市販の使い捨ての銀塩化銀電極であり、トレッドミル上で歩行したときの筋電図を試作した差動増幅器を用いて記録する。この差動増幅器は交流増幅器で遮断周波数帯域は70Hzから1KHzとした。また利得は60dBで有り、4チャンネルの小型筋電計を作成した。なおdsPIC30F3013を搭載した基板であるMDSPIC3013(マルツ電波)により筋電計の4チャンネルの出力を1KHzのサンプリング周波数で筋電図波形をAD変換して1MビットのEEPROMにI²Cを介して保存し、そのデータを用いて詳細な波形解析とパラメータ推定を行うものとした。

(4) 歩行時データの神経回路網モデル解析
足関節角度、接地センサ、加速度センサか

らの情報を作成したニューラルネットワークに入力とし、誤差逆伝搬法による学習を行わせるものとした。使用したdsPICはRAMおよびPROM容量が大きいdsPIC30F5011で、さらに大量のデータ解析を行うための外部記憶装置にはSDカードを用いるものとした。なお健常者の歩行実験に用いて足関節角度、足指角度、膝部の加速度を検出するための装具を新たに自作して実験に使用するものとした。プログラム開発はC言語(C30)を用いて統合開発環境MPLABで行うことにした。

(5) 歩行時データとファジイ制御機能

これまでに開発した能動下腿義足の制御にはPIC16F876を使用しているので、このプロセッサにファジイ機能を組み込む事を考えて同等のメモリ構成と命令体系を持つPIC16F877を用い、(4)で得られた歩行時の生体信号データを処理対象にするものとした。なおシステムのプログラムはメモリ容量が小さいのと命令数が比較的少ないこと、およびこれまでに開発した電磁バルブの開閉制御のプログラムと組み合わせることを考慮し、アセンブリ言語で記述することにした。また具体的なファジイ機能を応用したシステムに関する文献調査を行い、その結果を参考にするようにした。

4. 研究成果

(1) ファームウェアニューロンモデル

汎用演算増幅IC(LM324N)と抵抗とコンデンサによる積分回路およびdsPIC30F4012を用いて作成したファームウェアニューロンモデルは4チャンネルの神経インパルスを入力で、また積分回路で擬似的に実現したEPSP波形をdsPICで算術加算して閾値を超えると発火するものであり、時間加重・空間加重を手軽に再現できるので教材としても充分使える。しかしこの基板は名刺サイズよりも小さいものであるが、ニューロン数が増えるに従って容積・消費電力・結線数が増大するために、能動下腿義足の制御システムへ組み込むのは得策ではないと判断した。

(2) 二足歩行ロボットでの歩行解析の試み

市販の小型二足歩行ロボット(KHR-2HV、近藤科学)の頭部を取り去り、人間の下肢部の形態に比例するように脚部を延長するように改造した。そして一方の足の動きを止めることで固定義足に対応させ、歩行プ

プログラムを変更して二足歩行させたが、重心が高くなったために移動に伴う不安定さが増した上に歩行速度も遅くなってしまった。また等身大の二足歩行ロボットによっても固定義足装着者の歩行解析の応用には問題点が多いと判断されたので、実際の人間の歩行に伴うデータ解析に研究の重点を移すこととした。

(3) 脚部からの表面筋電図導出とその解析
健康者にトレッドミル上を一定の速度で歩行してもらい、左右の大腿部および下腿部の前面(大腿直筋)と後面(大腿二頭筋)の部位からの表面筋電図を作成した筋電図増幅器により導出し、dsPIC30F3013でAD変換してデータを蓄積し、ホストコンピュータにより解析を行った。その結果、大腿部後面(大腿二頭筋)の部位からの筋電図波形が健常側の大腿部前面(大腿直筋)の筋電図波形と類似であること、および大腿部前面での電極の装着が容易で被験者に対して負担になりにくいと判断された。そこで健常側の大腿直筋の部位からの筋電図と下腿の前面(前脛骨筋)と後面(腓腹筋)、および義足側の大腿部(大腿直筋)からの4チャンネルの筋電図が歩行パターンを決定する最小限の信号であると実験的に結論された。またAD変換された筋電図波形の振幅をグループ分けして、それに対応する複数の出力ポートから持続期間を示すパルス幅として出力する事で制御システムへの制御用入力とする可能性が示された。

(4) 歩行時データの神経回路網モデル解析
作成した歩行時データ収集用の装具を用いて健康者のトレッドミル上を歩行したときの足関節角度、足指先角度、膝の部位の加速度のアナログ信号をセンサによって変換し、これらのデータをdsPIC30F5011によりAD変換してメモリに格納した。また足の接地状況を接地センサ又は同時に撮影した映像からデータ化したものを作成した。作成した神経回路網モデルは入力層が3ユニット、中間層が5ユニット、出力層が1ユニットのもので、計測した足関節角度を教師信号にして逆誤差伝搬法による学習を逐次修正法で行うものとした。なお、入力信号は膝の加速度、足の接地状態、足指先角度とし、出力には学習により推定した足関節角度とした。また学習回数が1000回を超えたり、推定した角度と教師信号との誤差が2度以内になった時点で計算を終了するものとした。その結果、AD変換したデータを用いて学習を開始して推定結果の出力までの

処理過程を1秒間あたり約8回の実行を繰り返すことが認められた。この処理速度はゆっくりした歩行速度では制御システムへの情報転送速度として問題が少ないと考えられるものの、更に速い歩行速度や急激な歩行パターンの変化に処理速度が不十分であると考えられる。この改善策には浮動小数点演算機能を用いている現在のCプログラムをアセンブリ言語で固定小数点演算に置き換えると同時に、積和演算命令を活用すること高速化を実現することである。

(5) 作成したファジィ制御システム

PIC16F877で作成したファジィ制御システムでは一歩行周期内での各パラメータ(足関節角度、足指先角度、膝の加速度)を用いてメンバーシップ関数を作成した。この関数は計算速度を速めるために直線近似によるものとし、制御量には各エアシリンダの出力(伸展速度)としている。またファジィ推論の方法に単純化と高速化のためにmax-min重心法を用いている。この結果、湯栗とした一定速度の歩行時のAD変換した各パラメータを用いて制御信号を出力するのに平均8m秒掛かるが、複雑な歩行パターンでは更に多くの処理時間が必要なことがシミュレーション結果から判明した。そのため高速処理のためには①高速処理可能なプロセッサへの置き換え、②メンバーシップ関数の簡素化、③歩行中のニューラルネットワーク解析で得られたパラメータを動的に変更、等が対策として考えられる。

なお本研究の遂行過程で得られた個別の課題の成果、即ち①下肢部からの表面筋電図の導出と信号処理によりリアルタイムでの制御信号への応用が可能なること、②歩行中の生体信号からニューラルネットワーク解析で得られた義足へ制御情報の推定、③ファジィ機能の導入による能動下腿義足の円滑な動きの実現性、④強い蹴り出し動作のための電磁バルブの急激な開閉動作に伴う電磁バルブやエアホース内の空気の粘性、さらにエアシリンダ内部の抵抗がエアシリンダの伸展速度を制限すること予め予測した制御方式の確立、等を組み合わせることでより人間に優しい最適なシステム開発が可能なることが示唆された。また処理の高速化と開発効率のために複数の異なるマイクロプロセッサを研究で導入したが、プロセッサ間でのデータの転送方法の簡便化と高速化のためにデュアルポートRAMや新しい通信方式の導入も今後の課題である。

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 3 件)

- ① 島田洋一、d s P I Cを用いた歩行データ収集システムとその応用、日本生理学会雑誌、査読無、72(2)、2010、57-57
- ② 島田洋一、能動下腿義足制御のための d s P I Cを組み込んだ筋電信号計測制御システム、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、MBE2008-103、2009、47-50
- ③ 島田洋一、d s P I Cを用いたファームウェアニューロンモデル、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、NC2007-74、2007、49-52

[学会発表] (計 5 件)

- ① 島田洋一、d s P I Cを用いた歩行データ収集システムとその応用、日本生理学会中部談話会、2009-12-4、金沢音楽堂
- ② 島田洋一、能動下腿義足駆動制御のための d s P I Cを用いた計測制御システムの開発、日本生体医工学会、2009-4-24、タワーホール舟橋
- ③ 島田洋一、能動下腿義足制御のための d s P I Cを組み込んだ筋電信号計測処理システム、電子情報通信学会MEとバイオサイバネティクス研究会、2009-3-11、玉川大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：

国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 洋一 (SHIMADA YOUICHI)
研究者番号：50113155

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：