

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：84506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730111

研究課題名(和文) ベル型時間関数発生器に基づく義手軌道生成モデルの提案と筋電義手処方支援の実現

研究課題名(英文) A Human Reaching Movement Model for Myoelectric Prosthesis Control

研究代表者

中村 豪 (Nakamura, Go)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・その他部局等・特別研究員

研究者番号：50707403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、筋電義手操作におけるリーチング軌道生成モデルを構築し、モデルに基づいて模範的なリーチング軌道を訓練者に提示しながら訓練を実施可能な訓練システムを開発した。まず、リーチング軌道生成モデル構築するために筋電義手操作に熟練した義手ユーザー1名と健常者1名を対象とし、リーチング動作計測実験を実施した。その結果、筋電義手操作に熟練した義手ユーザー特有のリーチングの特徴を確認した。また、計測データに基づいて熟練した義手ユーザーと健常者のリーチングの双方を再現可能なモデルを構築した。さらに、ヘッドマウントディスプレイを用いることによって、没入型のバーチャル訓練システムを実現した。

研究成果の概要(英文)：This study proposed a human reaching movement model for myoelectric prosthesis control and a training system capable of providing the trajectory desirable to reach a target based on the proposed model. To observe reaching movements, an experiment was performed with a non-impaired subject and a myoelectric prosthesis user. The characteristics of reaching movements for a myoelectric prosthesis user were identified. The proposed model can generate hand trajectories and hand velocity both for non-impaired subjects and for myoelectric prosthesis users. A high-fidelity virtual training system was developed using immersive head mounted display.

研究分野：ヒューマンインタフェース・インタラクション

キーワード：バーチャルリアリティ 筋電義手 トレーニング 定量評価 リーチング運動 相互学習

## 1. 研究開始当初の背景

上肢切断者(以下、切断者)に対する生活支援の一環として、能動義手や筋電義手など様々な義手の処方が行われている。筋電義手は人間の活動筋から計測できる筋電位信号を制御に利用しており、筋電位信号は操作者の力の入れ具合や意図した動作などの情報を含んでいるため、計測信号からこれらの特徴を抽出・識別することで、自らの手のように操作できる可能性がある。しかしながら、筋電義手の処方には通常、数か月もの長期間の訓練を行う必要がある。筋電義手の訓練では、まず筋電位信号を随意的に発生する訓練が行われ、その後、実際に義手を装着して日常生活を想定した作業の訓練が行われる。このとき作業療法士は義手を使用することで生じやすい代償動作(例えば、体幹が傾く)が起こっていないかや腕に力を入れ過ぎていないかを評価し、体に余分な負荷がかからないように指示している。作業訓練ではタスクを素早くこなすことに加えて、健常肢で物を掴む時のような自然な外観で義手操作するための訓練が行われる。しかしながら、日本において筋電義手を患者1人1人に用意して訓練可能な医療施設や指導スタッフは限られており、訓練者個々に適切な訓練を実施することは困難である。また、義手操作時の運動の質の評価においては、熟練療法士の経験による部分が大きく、熟練療法士がいない医療施設においては、筋電義手の操作時の運動の質の評価を行うことは困難であるという問題がある。

これらの問題に対して近年、バーチャルリアリティ(以下、VR)技術を用いることで筋電義手の作業訓練を行えるシステムの研究開発が行われている。これらの研究では、コンピュータ上に構築した仮想環境の中に筋電義手を代替するバーチャル義手(以下、バーチャルハンド:VH)を作成し、VHを用いて物体を把持、移動させて物体を解放するなどの訓練を実現している。そして、実施した作業の成功度合の向上が確認されている。しかしながら、筋電義手の訓練では、タスクを素早く行えるようになることに加えて、健常肢で物を掴む時のような自然な外観で義手操作を行えるようになることが求められており、従来の訓練システムにおいては、自然な外観での義手操作に関しては十分に考慮されていない。そのため、臨床での作業訓練を支援するために、義手の理想運動をモデル化するとともに義手作業時の操作能力を適切に評価し、評価結果に基づいて適切な訓練規範を提示可能な新たな訓練システムが提案できれば有用であると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、筋電義手操作訓練をより効率的に行えるようにすることである。そのために、本研究では、健常肢で物を掴む時のような自然な外観での義手操作を切断者が

より効率的に習得できるようにするための訓練システムを開発する。このようなシステムを開発するために、まず、熟練した義手ユーザーのリーチング運動をモデル化する。また、訓練者の能力に応じた訓練を行えるようにするために筋電義手操作能力を定量的に評価する手法を提案する。最終的に構築したモデルに基づいて理想的な運動軌道(模範的な動作)を訓練者に提示しながら訓練可能なVR訓練システムを実現する。

## 3. 研究の方法

本研究では、健常肢で物を掴む時のような自然な外観での義手操作を切断者がより効率的に習得できるようにするために熟練した義手ユーザーのリーチング運動を計測し、熟練した義手ユーザーの義手操作時の運動のモデル化を試みる。モデル化においては、空間軌道(手先の移動経路)と時間軌道(手先速度)の双方を同時に制御することが可能なモデルを構築する。また、バーチャルリアリティ技術を用いることによって、実物の筋電義手を用いることなく、日常生活を想定した作業の訓練を行える訓練システムを開発する。また、訓練者の能力に応じて義手操作時の運動指示を与えられるようにするために義手操作能力を定量評価する手法を構築する。そして、義手操作方法の教示用の半透明の仮想ハンド(以下、指示用バーチャルハンド)を新たに開発し、最終的には、構築した運動モデルに基づいて訓練者に義手操作の理想的な運動を教示しながら訓練可能なシステムを開発する。

## 4. 研究成果

本研究では、義手の運動をモデル化し、構築したモデルに基づいて理想的な運動軌道を訓練者に提示しながら訓練を実施可能なVR訓練システムを実現するために、(1)義手の理想軌道モデルの提案と(2)VR空間の構築と日常生活を模擬した訓練の実現および(3)義手操作方法の指示機能を有する訓練システムの構築と筋電義手操作能力の定量評価の提案について検討を行った。

### 研究成果(1) 義手の理想軌道モデルの提案

筋電義手操作におけるリーチング軌道モデルを構築するために、筋電義手操作に熟練した義手ユーザー1名と健常者1名のリーチング動作計測実験を行った。計測実験で対象とした筋電義手操作に熟練した義手ユーザーは筋電義手の使用歴が14年の前腕切断の方を対象とした。対象とした筋電義手ユーザーは、筋電義手の操作能力の評価で用いられているBox and Block Test(1分間に移動することができたブロックの数によって評価)において40個程度のブロックを移動できる方であり、一般的な筋電義手ユーザーと比べて義手操作に非常に習熟した方を対象とした。計測実験では、机の上に置かれたコップ

を掴み、口元まで移動させて再び机に置く動作を行った際の動作をコップの配置を9箇所の異なる位置に変更しながら計測を行った。計測実験より、筋電義手操作に熟練した義手ユーザーにおいては、直線的なリーチング軌道で物体へとアプローチし、またその際の手先の速度プロファイルはベル型の波形となることを確認し、健常者のリーチングと類似した軌道でタスクを行うことができていることを確認した。その一方で、義手装着による関節可動域の制限(手関節が固定されている)が影響することによって、リーチングの終点が熟練した義手ユーザーと健常者において異なる様子を確認した。また、手前のコップを把持する際において、義手ユーザーのリーチング軌道が曲線的な軌道(一旦、肘を後ろに引き、回り込みながらコップにアプローチする動作)となり、健常者とは異なる義手ユーザー特有のリーチングの特徴を確認した。

さらに、ロジスティック関数を用いて熟練した義手ユーザーと健常者のリーチングモデルを構築した。構築したリーチングモデルは空間軌道(手先の移動経路)と時間軌道(手先速度)を同時に制御することが可能である。また、構築したリーチングモデルはわずか2つのモデルパラメータの比率を調整するのみで、人のリーチング動作に見られる3種類の異なる軌道(直線軌道、円弧軌道、S字軌道)を生成することが可能である。さらに、提案するリーチングモデルは、運動時間を指定することが可能であり、訓練者の習熟度に応じて手先速度を容易に調整することが可能である。

提案モデルを熟練義手ユーザーおよび健常者のリーチング軌道を精度よく再現できるかを確認するためのシミュレーション実験を行った。その結果、提案するモデルによって、熟練義手ユーザーおよび健常者のリーチングの空間軌道(手先の移動経路)と時間軌道(手先速度)ともに精度良く再現できることを確認した[Journal of Robotics, Networking and Artificial Life]。

研究成果(2) バーチャル空間の構築と日常生活を模擬した訓練の実現

日常生活を想定し、多様な形状、大きさ、硬さの物体を様々な位置に配置して実環境での作業訓練を仮想的に実施可能なシステムを開発した。開発したシステムでは、VHと物体間の摩擦特性や物体の落下、物体の破壊などの物理特性をシミュレートすることで、現実に近い訓練を可能とした[日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015]。

さらに、現実により訓練環境を近づけるために、ヘッドマウントディスプレイ Oculus Rift DK2 を用いることで、没入型のVR環境を構築した。提案システムでは、仮想環境(3D映像)内に入り込んだ感覚で、訓練を行うことが可能である。開発したシステムの動作検

証として、健常成人男性1名を対象として仮想環境内で、仮想物体(ブロックや球体など)を把持し、移動させて解放する訓練を実施することが可能であることを確認した[APOSM2014&ISRN, i-CREte2016]。

また、ヘッドマウントディスプレイを用いた没入型のVR環境とDesktop型のVR環境では、奥行き感の把握のしやすさやVRの実在感が大きく異なり、訓練効果に影響を与える可能性があると考えられる。そこで、VR環境の違い(ディスプレイの違い)によって、運動にどのような影響があるかについて解析を行った。実験では、健常成人男性4名を対象とし、各VR環境下において、リーチング動作の計測を行った。また、VRの実在感に関するアンケートを実施するとともに、リーチングにかかった時間の比較を行った。実験結果より、ヘッドマウントディスプレイを用いた没入型VRでは、より強い実在感を与えられる可能性およびDesktop型よりも仮想物体の位置をより認識しやすくなる可能性を確認した[第25回計測自動制御学会中国支部学術講演会]。

研究成果(3) 義手操作方法の指示機能を有する訓練システムの構築と筋電義手操作能力の定量評価の提案

訓練を重ねるに連れて訓練者の運動は変化(向上)するため、訓練者の能力に応じて適切な訓練指示を行わなければならない。そのためには、訓練者の能力を適切に把握する必要がある。そこで、訓練者の能力を正確に把握するため、筋電位信号の制御能力に基づいて定量的に義手操作能力を評価可能な訓練システムを開発した。また、義手操作方法の教示用の半透明の指示用VHを新たに開発し、訓練者に運動指示を視覚的に与えることを可能とした[日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会]。

開発したシステムの訓練効果を確認するために切断者1名を含む被験者10名を対象にトレーニング実験を実施した。その結果、被験者の識別率が有意に向上することを示し、開発したトレーニングシステムによって、義手操作能力を向上させられる可能性を確認した[日本ロボット学会誌]。

## 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2件)

芝軒 太郎, 中村 豪, 渡橋 史典, 早志 英朗, 栗田 雄一, 高木 健, 本田 雄一郎, 溝部 二十四, 陳 隆明, 辻 敏夫, “バーチャルハンドを利用した相互学習型筋電義手トレーニングシステム”, 日本ロボット学会誌, 査読有り, Vol. 34, No. 6, pp. 404-410, 2016.

Go Nakamura, Taro Shibasaki, Yuichiro Honda, Akito Masuda, Futoshi Mizobe, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, “A Human Reaching Movement Model for Myoelectric Prosthesis Control”, *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, 査読有り, Vol. 4, No. 1, pp. 22-27, 2017.

〔学会発表〕(計5件)

Go Nakamura, Taro Shibasaki, Keisuke Shima, Yuichi Kurita, Yuichiro Honda, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, “Development of a Virtual Training System for Myoelectric Prostheses”, *The Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting 2014 in conjunction with The Second Meeting of the International Society for Restorative Neurology (APOS2014&ISRN)*, 2014, Taipei International Convention Center, Taipei

渡橋 史典, 芝軒 太郎, 栗田 雄一, 島谷 康司, 長谷川 正哉, 大塚 彰, 中村 豪, 本田 雄一郎, 陳 隆明, 辻 敏夫, パーチャルリアリティを利用した相互学習型筋電義手トレーニングシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2014年5月25 - 29日, 富山市総合体育館(富山市湊入船町), 富山

江藤 慎太郎, 渡橋 史典, 早志 英朗, 中村 豪, 芝軒 太郎, 高木 健, 栗田 雄一, 本田 雄一郎, 陳 隆明, 辻 敏夫, パーチャルリアリティを利用した5指駆動型筋電義手のためのトレーニングシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015年5月17 - 19日, 京都市勧業館「みやこめっせ」(京都市左京区岡崎成勝寺町), 京都

Go Nakamura, Taro Shibasaki, Futoshi Mizobe, Akito Masuda, Yuichiro Honda, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, “A High-fidelity Virtual Training System for Myoelectric Prostheses Using an Immersive HMD”, *10th international Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology (i-CREATE 2016)*, PP5.2, July 25-28, 2016, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok

橋高 允伸, 古居 彬, 江藤 慎太郎, 中村 豪, 早志 英朗, 栗田 雄一, 陳 隆明, 辻 敏夫, 筋電義手トレーニングへの応用を目的とした没入型VR環境下における人間のリーチング運動の解析, 2C-3 pp.128-129, 2016年11月26日, 広島大学 教育学部L棟 (広島県東広島

市鏡山1丁目1番1号), 広島

〔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: なし  
記事: 「G7 神戸保健相会合を前にフェア iPS など紹介」(義手の訓練システムを体験する女性参加者)  
神戸新聞 2016年9月8日  
展示: 国際フロンティア産業メッセ2016 健康・医療特別展示(G7保健大臣会合展示会)  
神戸国際展示場 2016年9月8-11日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 豪 (NAKAMURA Go)  
兵庫県立福祉のまちづくり研究所・その他  
部局等・特別研究員  
研究者番号: 50707403