

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25871112

研究課題名(和文) Tacit learningによる行動意図推定と義手制御への応用

研究課題名(英文) Estimation of Motion intention by Tacit learning and application to Arm prosthesis control

研究代表者

下田 真吾 (Shimoda, Shingo)

独立行政法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・連携ユニットリーダー

研究者番号：20415186

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：生物規範型の学習則であるTacit learningを用いて、筋電前腕義手の制御アルゴリズムの開発を行った。これまでの前腕義手の多くは手首関節に自由度を持たないものが多く手の向きを制御するために残存する肩関節を用いて制御していたため使用者の負担が大きかったが、提案したシステムでは残存する肩肘関節の動きに、Tacit learningを用いて人工的な手首関節の動きを適応させるため、使用者は手首の動きを強く意識することなく自然に使いこなせることが可能である。普段から義手を使用されている方にご協力いただいた臨床試験により提案するシステムを用いることで効率よく手の姿勢を制御できることが示された。

研究成果の概要(英文)：We proposed a forearm prosthesis control architecture based on bio-mimetic learning called Tacit Learning. The users who use the conventional forearm prostheses have often to trouble to control the posture of hands because the conventional forearm prostheses have rarely wrist joints. We developed the forearm prosthesis with wrist rotation joints. Motions of the wrist rotation were automatically tuned according to the motions of their own shoulder and the elbow joints by tacit learning. We showed through the clinical tests with the forearm prosthesis users' that the proposed system can reduce the motion energy when they gripped the several type of door handles.

研究分野：ロボティクス

キーワード：Tacit learning 義手

1. 研究開始当初の背景

労働災害・交通事故等による高度外傷が原因で前腕切断を余儀なくされる患者は、日本のみならず、急速な工業化が進む新興国などで急増している。上肢は下肢に比べて精密な動きや要求されるため、電動義手の研究開発は義足ほど進んではおらず、障害者の社会復帰を拒む大きな障害の一つとなっている。

現在最も普及している電動義手は指先の開閉のみを筋電位を用いて行う1自由度のものである。これは本来の前腕・手の自由度からは圧倒的に劣るが、使用者は肩や肘などの残存関節を巧みに利用することで多くの作業をこなしている。

しかし残存関節を利用した動作は非効率的でありかつ可能な動作も限られてくる。その問題を解決するために手首にも可動関節を持つ筋電義手も開発されているが、すべての関節を筋電位の強弱を用いて動かすため、使用者の動作意図を義手の動作に正確に反映させることが困難な状況である。

2. 研究の目的

肩や肘などの残存関節の動きから使用者の動作意図を読み取り、使用者の身体や把持対象物の状態に応じた前腕義手の動作を生物規範型学習則である Tacit learning により創発するシステムの開発を通じて、人の動きとロボットの動きを相互に適応させるシステムの開発を目指す。提案システムは義手の制御のみならず、人とロボットの適応的な相互作用が必要な、リハビリテーションロボットやパワーアシストなど幅広い応用範囲を持ち、それら人間-ロボット協調システムの基礎となる学習システムとなりうる。

3. 研究の方法

義手の開発において、実際の前腕切断患者の動作計測では名古屋掖済会病院と、義手の製作では松本義肢製作所と、義手を取り付けた実験では名古屋大学とそれぞれ協力して行う計画である。研究の核となる Tacit learning による制御システムの構築は、動作計測とこれまでの理論検討を基に、義手操作の理論の構築 → 健常者での実験 → 実際に患者に装着しての実験と進めていく予定である。理論検討、実験を通じて実環境での使用における問題を洗い出し、実際の使用に耐えうる、義手のハードウェアと使用者に意図を正確に

反映できる制御システムの構築を進めていく。

4. 研究成果

(1) Tacit learning の理論的検討

生物規範型の学習則である Tacit learning は、反射的な制御ループとそのループ内での信号の積分を用いて、動作を環境に適応させることができる。文献[1]では、各関節に Tacit learning を適応することでヒューマノイドロボットの二足歩行を実現した。同様のアルゴリズムを用いて人の動きにロボットの動きを適応させるために階層型の制御アルゴリズム[2]の義手制御への応用の検討を行った。その結果人の制御アルゴリズムは入出力に大きな次元をもち、その間を低次元の信号処理でつなぐ Fig. 1 のような Bow Tie Structure で表現することが可能であり、その一部を人工的な制御アルゴリズムで補う制御メカニズムが適しているという結論を導き、理論的な有効性の検討を行った。そのうえで次のような制御アルゴリズムを提案した。

$$\Theta = k_1\theta_1 + k_2\theta_2 + k_3\theta_3 + k_4\theta_4$$

$$\theta_w = K\Theta$$

$$K = \int q dt$$

$$q = \begin{cases} \Theta & \text{if } |\Theta| > \text{threshold} \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

Angles of shoulder and elbow :

$$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$$

Angle of wrist of forearm prosthesis :

$$\theta_w$$

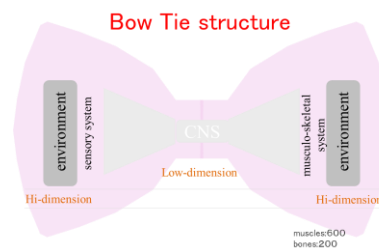


Fig. 1 Bow Tie Structure

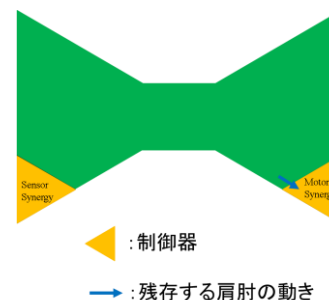


Fig. 2 義手の動作を人の動作に適応させるための制御器の構造

(2) 手首関節を有する義手の開発と肩肘計測システム

提案システムの有効性を検証するため臨床試験で使用可能なデバイスの開発を行った。Fig. 3 に開発した手首関節をもつ義手と肩肘関節の動きを計測するデバイスを示す。義手は手首部分の回転とハンドの開閉の 2 自由度をもち、ハンドの開閉は前腕部の筋電を利用して行う。肩肘動作計測デバイスはゴニオメータ 4 本を用いて肩肘の動きの 4 自由度の計測を行う。



Fig. 3 開発した義手と肩肘動作計測装置

(3) 臨床試験結果

開発したデバイスを、普段から前腕義手を使用されている方 8 名に装着していただき提案手法の有効性の検証を行った。実験では初めに Fig. 4 に示すように横に置かれた棒を縦に置きなおす動作を 10 分ほど行う。その際 (1) 章に示したアルゴリズムにより肩肘動作に義手の手首の動作を適応させる。その際の動作をモーションキャプチャにより計測することで、動作中の筋活動を推定し適応の前後での消費エネルギーを計算する。(Fig. 5 参照)

本臨床試験には普段から義手を利用している 8 名の方にご協力いただいた。Fig. 6 に適応前後の肩の回旋角の変化、Fig. 7 に消費エネルギーの変化を示す。Fig. 6 よりすべての方で、手首の回旋角度が肩肘に動きに適応し、棒の置き換え動作を補助することができるようになることで、肩の回旋角度が減少していることがわかる。8 名の参加者のうちモーションキャプチャデータが良好であった 6 名の方のうち 5 名の方で消費エネルギーも減少しており、少ない運動でタスクを達成できていることがわかる。消費エネルギーは適応前の動作における消費量を 1 に正規化し、適応前後の相対的な値として表現している。

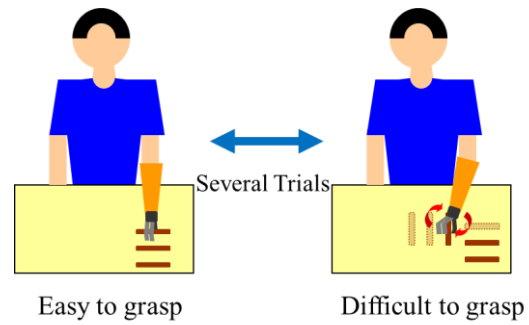


Fig. 4 義手適応実験

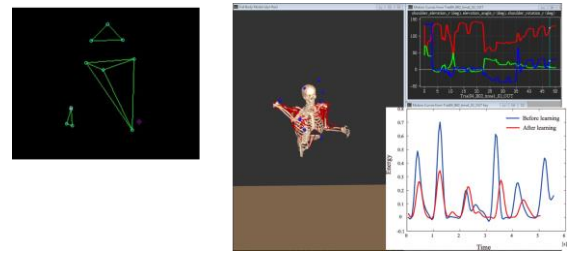


Fig. 5 モーションキャプチャデータと筋活動の推定

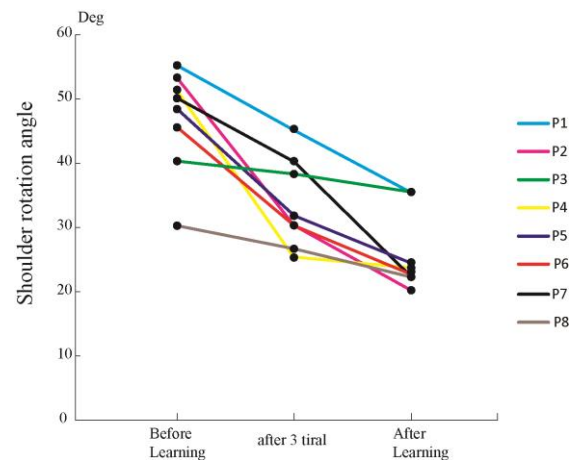


Fig. 6 適応前後の肩の回旋角度の変化

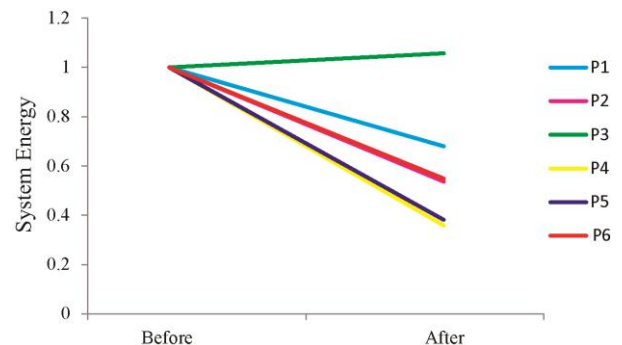


Fig. 7 適応前後の消費エネルギーの変化

(4) 学習効果の汎化

Fig. 4 に示す方法で適応した義手の動作は極めて高い汎化性を示すことが、Fig. 8 に示す傾きの違う取っ手を開ける実験を行うことで示された。Fig. 8 の実験では Fig. 4 の棒の置き換え実験で義手の動きを適応させたのち、そのパラメータを維持しながら戸棚の開閉を行った。その結果被験者らは特に困難なく自然な動作で異なる角度の取手を握ることができた。



Fig. 8 行動の汎化実験

(5) 臨床試験のまとめ

臨床試験を通じて、ほぼすべての被験者の肩肘の動きに手首動作を適応させることができ、その結果肩の運動やそれに伴うエネルギー消費が減少した。これは Tacit learning により人の動作に上手く義手動作を適応させることができたことを示すとともに、階層型の制御アルゴリズムがより人の制御系に近いことを資させていると考えている。

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 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

1. “Behavior coordination between human and prosthetic devices”, *International Workshop on Wearable Robotics*, Spain, 2014, 9.18

[図書] (計 1 件)

1. Shingo Shimoda, “Tacit learning -Machine learning paradigm based on the principles of biological learning - in Intelligent Assistive Robots”, *Springer*, 2014, 216-222

[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 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
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

下田 真吾 (SHIMODA Shingo)
独立行政法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・連携ユニットリーダー
研究者番号：20415186

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：