

特定筋トレーニングを目的とするニューラルネットワークを用いた運動軌道の設計と評価

Design and Evaluation of Motion Path for Specified Muscle Training Using Neural Network

○糸数建太 (豊橋技科大) 三好孝典 (豊橋技科大) 寺嶋一彦 (豊橋技科大)

Kenta ITOKAZU, Takanori MIYOSHI, Kazuhiko TERASHIMA, Toyohashi University of Technology

**Abstract:** In recent years, ageing of the population has been emerged as a social issue in Japan. Therefore, it is important to regain and maintain muscle strength for care prevention. Specified muscle training is expected for efficient rehabilitation and care prevention. In the present study, design of a motion path is proposed for the specified muscle training using neural network. For training, the load is applied by using a 2-link arm. By using the proposed method to estimate muscle activity level, it is possible to design a motion path that maximizes the activity of agonist muscles and minimizes the activity of other muscles. EMG signal is measured during a training experiment and the degree of muscular revitalization is evaluated by the amplitude of EMG signal. Finally, the effectiveness of proposed approach is demonstrated through experiments.

**Key Words:** Muscle Training, Rehabilitation, Care Prevention, Neural Network, EMG signal

1. 緒言

近年、日本において少子高齢化に伴う要介護者の増加、介護者の減少が問題となっている。また、介護者の高齢化も進んでおり、負担が増加している。このような状況においては、筋力トレーニング等の介護予防による要介護者の減少が重要である。

上肢は日常生活動作 (ADL:Activity of Daily Living) に深く関わっており、運動機能が低下すると生活様式に大きな影響を及ぼす。そのため、高齢者に対するリハビリシステムを構築し、QOL(Quality of Life) の維持及び向上が望める環境を提供することが大切である。

老衰や病気等により寝たきりの状態となった場合、筋力の衰え方は一様ではなく、各筋で異なる。衰えた筋に対してのみ負荷をかけることで、効率的な筋力トレーニングが期待できる。

著者らの従来研究においては、熊本らが提案した3対6筋の筋骨格モデルを使用し、特定筋の筋力増強を目的とした運動軌道の設計を行った<sup>(1)(2)</sup>。軌道設計には、筋活動の推定として、筋骨格モデルに基づいた推定法を用いていたが、本研究では、推定精度の向上を目的とし、筋活動推定のため、ニューラルネットワークを利用し、それを用いて特定筋を活動させる運動軌道を設計する。また、実験時の表面筋電位 (EMG) 信号から、提案手法の評価を行う。

2. システム構成

Fig. 1 に、本研究で使用する2リンクアームを示す。各関節部に DC モータ、ロータリーエンコーダ、手先位置に6軸力覚センサが搭載されている。また、仮定の粘性が設定されており、手先の移動速度に比例した負荷を被験者に与える。

本研究は、2次元平面上の運動を対象とする。実験の際には、被験者の左腕を2リンクアームに沿うように載せる。更に、設計した運動軌道をモニタに表示し、手先位置を示すマーカーがその軌道をなぞるよう2リンクアームを動かす。

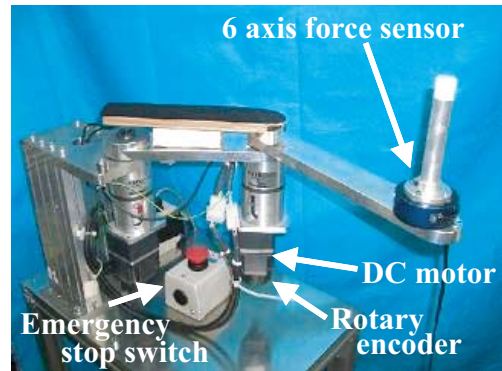


Fig. 1 2-Link Arm

3. ニューラルネットワーク

3-1 概要

本研究で用いるニューラルネットワークの模式図を Fig. 2 に示す。中間層のユニット数は10とした。入力には肩及び肘の関節トルク  $T_1, T_2$ 、関節角度  $\theta_1, \theta_2$ 、関節角速度  $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2$  である。また、出力は各筋の筋活動レベル  $\alpha_i$  である。筋活動レベルは (1) 式により定義される。

$$\alpha_i(t) = \frac{EMG_i(t)}{\max EMG_i} \quad (i = 1 \sim 5) \quad (1)$$

ここで、 $EMG_i(t)$  は、実験中の各筋の EMG 信号であり、 $\max EMG_i$  は各筋の最大随意筋力発揮時の EMG 信号である。 $\max EMG_i$  は予め、等尺性運動にて計測する。(1) 式により、筋活動レベルは 0~1 の値となり、筋活動の度合いを示す。

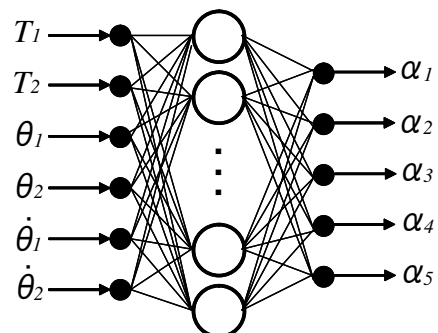


Fig. 2 Neural Network

### 3-2 データ学習

データの学習方法は誤差逆伝播法とし、活性化関数は(2)式で表されるシグモイド関数とした。

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

また、学習データとして、Fig. 3に示す運動軌道で、直線運動を行った場合の各実験値を用いた。実験時は、Table 1で示される筋の表面筋電位を測定した。

Fig. 4~8は、学習後のニューラルネットワークを用いて筋活動レベルを推定した結果である。入力データは、曲線運動を含んだ上肢運動を行った場合の各実験値である。また、学習データを用いて推定した場合の二乗平均誤差は0.04048、任意データを用いた場合は0.04496となり、学習に用いた運動とは異なる入力データにおいても、良好な推定結果を得ることができた。

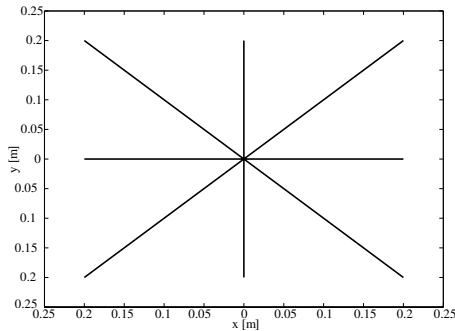


Fig. 3 Motion Path

Table 1 Measured Muscles

	Name
$M_1$	Pectoralis major
$M_2$	Latissimus dorsi
$M_3$	Brachioradialis
$M_4$	Triceps brachii Lateral head
$M_5$	Biceps brachii

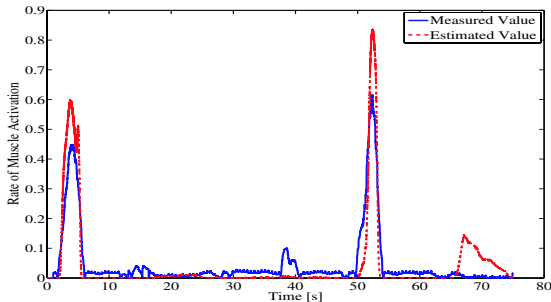


Fig. 4 Estimation Result(M1)

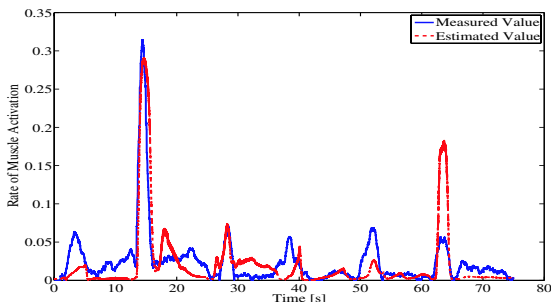


Fig. 5 Estimation Result(M2)

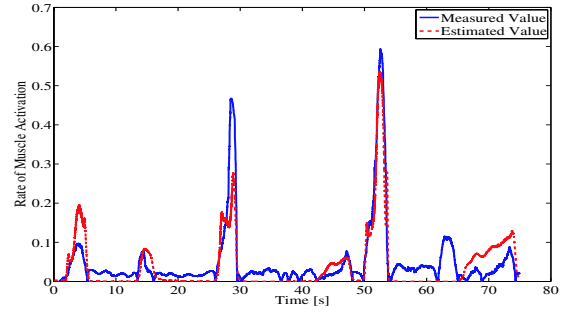


Fig. 6 Estimation Result(M3)

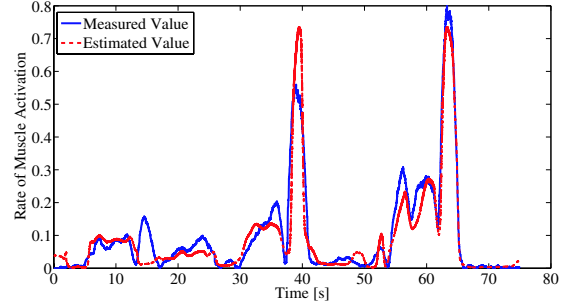


Fig. 7 Estimation Result(M4)

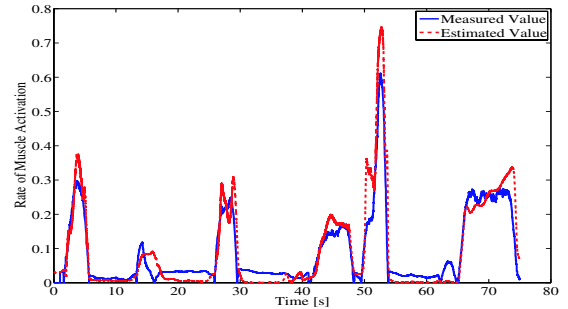


Fig. 8 Estimation Result(M5)

### 4. 運動軌道設計

本研究は、特定筋肉の筋力増強を目的としているため、対象筋肉のみが活動し、その他の筋の活動が最小となるような運動軌道を設計する。軌道設計には、ニューラルネットワークを使用し、最適な力方向を探索することで前述の目的を達成する。

まず、初期姿勢で、水平面上の全方向に手先出力を30[N]発揮する場合において、(3)式の多目的最適化問題を解き、最適な力方向を求める。ここで、 $\alpha_n(\theta)$ は、筋力トレーニング対象筋の筋活動レベル、 $\bar{\alpha}(\theta)$ は、対象筋以外の筋活動レベルの平均、 $\sigma^2(\theta)$ は対象筋以外の筋活動レベルの分散である。また、 $\theta$ は力方向を表す。

$$\begin{aligned} & \max && \alpha_n(\theta) \\ & \min && \bar{\alpha}(\theta), \sigma^2(\theta) \\ & \text{subject to} && 0 \leq \theta < 2\pi \end{aligned} \quad (3)$$

次に、(3)式で得られた力方向に、手先位置を1[cm]移動させた姿勢において、上記手順を繰り返すことで運動軌道を得る。

今回は、Table 1で示す筋を筋力トレーニングの対象とした。 $M_1 \sim M_5$ に関して、得られた運動軌道をFig. 9に示す。

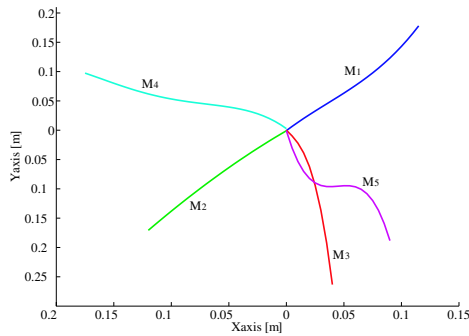


Fig. 9 Designed Motion Path

## 5. EMG 測定実験

今回新たに設計した運動軌道と従来研究における運動軌道を用いて EMG 信号の測定実験を行った。被験者は左腕を 2 リンクアームに沿うように乗せ、水平方向に力を発揮するよう実験を行う。実験の際は、運動軌道の多項近似曲線をモニタに表示し、手先位置を示すマーカーが表示された軌道をなぞるように動作させる。

実験結果を Fig. 10~14 に示す。縦軸は筋活動レベル、横軸は各筋である。比較のため、筋活動レベルは各実験における最大値で正規化した。Fig. 10~14 はそれぞれ、 $M_1 \sim M_5$  をトレーニング対象筋としている。

Fig. 10~13 においては、今回設計した運動軌道を用いた方が、対象筋以外の筋活動を抑えられている。 $M_3$  を対象筋とした Fig. 12 では、新軌道を用いると  $M_3$  の活動が低くなるものの、他の筋の活動が大幅に抑えられている。 $M_1 \sim M_4$  は一関節筋であり、これらの筋に対しては、本研究の目的を概ね達成したといえる。

一方、Fig. 14 に示す通り、二関節筋である  $M_5$  をトレーニング対象とすると、他の筋も同時に活動している。二関節筋のトレーニングに関しては改善の余地がある。

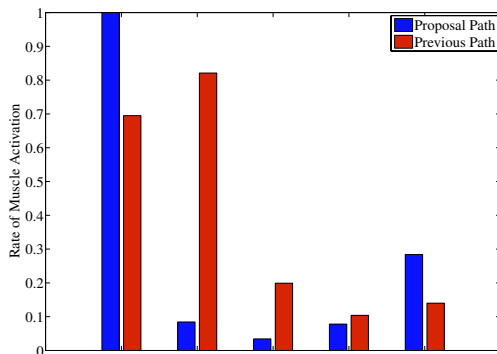


Fig. 10 Experiment Result(M1)

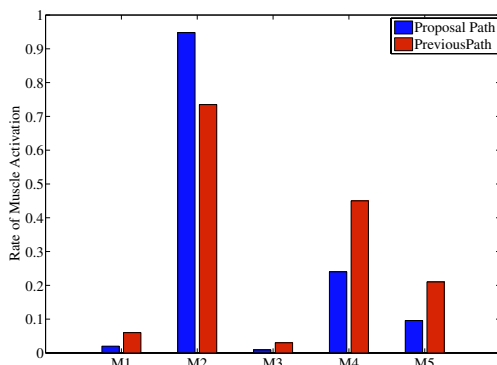


Fig. 11 Experiment Result(M2)

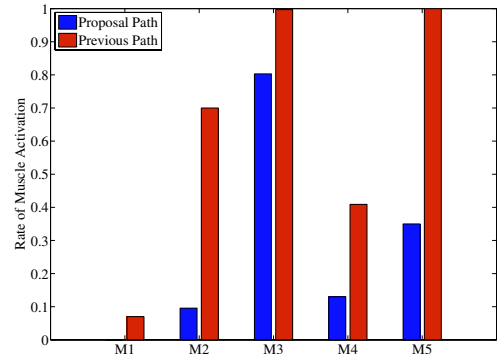


Fig. 12 Experiment Result(M3)

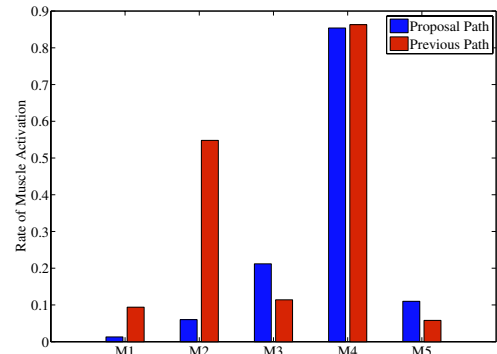


Fig. 13 Experiment Result(M4)

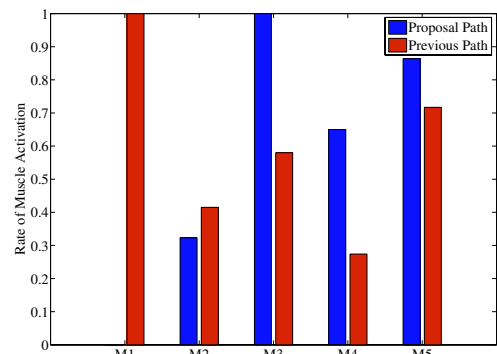


Fig. 14 Experiment Result(M5)

## 6. 結言

今回、筋活動推定法として新たにニューラルネットワークを用いることで、特定筋力増強のための運動軌道設計を行った。その結果、従来手法で設計された軌道を用いた場合と比較して、一関節筋に関しては改善が見られた。一方、二関節筋に関しては他の筋の活動があり、課題が残されている。

現在、全ての運動軌道の初期姿勢を固定しているが、これを各筋毎に変えることで、運動軌道の自由度が向上し、結果が改善される可能性がある。また、今後、本手法の下肢に対する適用や、3次元運動への拡張等も行う。

## 参考文献

- (1) T. Okada, T. Imamura, T. Miyoshi, K. Terashima, Y. Yasuda, T. Suzuki, Muscle Strength Estimation Using Musculo-Skeletal Model for Upper Limb Rehabilitation, Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 20, no. 6, pp. 863-871, 2008.
- (2) 糸数, 三好, 寺嶋, 特定筋トレーニングを目的とする拮抗筋を考慮した運動軌道の設計と評価, 日本機械学会東海支部 第 61 期総会・講演会, pp. 126-127, 2012.