

ロボットハンドを用いた関節拘縮の提示

Display of Arthrogryposis Using Robot Hand

○学 棚橋 真人(岐大院) 正 毛利 哲也(岐大)
青木 隆明(岐大) 正 川崎 晴久(岐大)

Makoto TANAHASHI, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu
Tetuya MOURI, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu
Takaaki AOKI, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu
Haruhisa KAWASAKI, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu

Key Words: < Robot Hand, Rehabilitation, Force Control >

1. 緒言

リハビリテーションを施すセラピストを志す多くの学生は、関節拘縮が発症している関節の抵抗感や可動範囲を経験できる機会が限定されている。学生の教育訓練を目的として、理学療法士を目指す学生の教育訓練用に下肢^[1]や肘の患者シミュレータ^[2]が開発されている。著者らは日常生活に不可欠な手指に着目し、教育現場でリハビリテーション手技を反復練習することで習熟可能な教育訓練用ロボットハンドシステムを開発^[3]している。

本稿では、複数の関節に拘縮が発症している指の模擬と関節拘縮に近いモデルを提案し、実験により有効性を確認する。

2. リハビリテーション教育訓練用ロボット

本研究室では学生が手指の障害を模擬したロボットハンドに対してリハビリテーションを反復して施し、手技を修得することが可能な教育訓練用ロボットハンドの開発を目指している。システムの概念図を Fig.1 に示す。ロボットハンドは4関節4自由度のロボットフィンガが5指、手関節が2関節2自由度あり、全体で22関節22自由度である。Fig.2 にロボットフィンガの各関節に設定した座標系を示す。また、分布型触覚センサ(感圧素子数:1524点、階調数:256)をロボットハンドに装着可能であり、関節トルクは分布型触覚センサにより推定する。ロボットハンドには人工皮膚をつけて触感も人間に近づける。これらの詳細は文献^[3]を参照されたい。従来^[3]はゴム硬度 21.6 の人工皮膚を使用していたが、セラピストより皮膚は人間と比較して硬いと意見を得た。そのため、本稿ではゴム硬度 19.0 の人工皮膚を使用する。

3. 制御システム

リハビリテーションにおいて中節に力を加え MP 関節と PIP 関節を同時に曲げるなど、複数の関節を対象とした動作がある。この動作を実現するために複数の関節を考慮した関節トルクの推定法を提案する。また、関節拘縮における関節角度と関節トルクの関係は曲線^[4]となることが知られている。そのため、トルク関節角度曲線をもとにモデルを作成する。

3.1 複数の関節を考慮した関節トルクの推定法

指根本側の関節トルクは指先側の接触力の影響を受ける。各リンクの接触点位置と接触力より各関節における関節ト

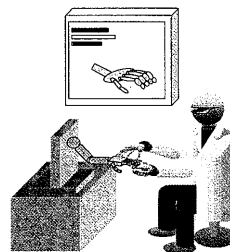


Fig. 1 Concept of the robot hand intended for repeated rehabilitation training

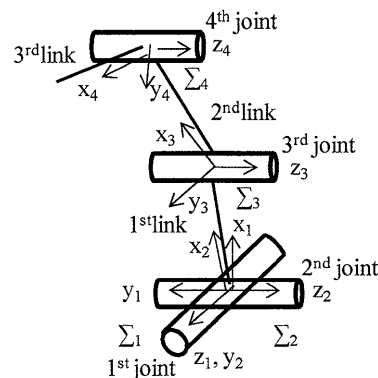


Fig.2 Joint axis coordinate system

ルクを算出し、式(1)を用いて複数の関節を考慮した関節トルク τ_i を推定する。

$$\tau_i = (\mathbf{Z})^T ({}^i\mathbf{n}_i + {}^i\mathbf{n}_{i+1}) \quad (1)$$

ここで、 $i=1,2,3,4$ 、 ${}^i\mathbf{n}_i$ は第 i 関節に接する指先側のリンクにおける接触力と等価な座標系 Σ_i 原点に作用するモーメント、 ${}^i\mathbf{n}_{i+1}$ は座標系 Σ_{i+1} 原点に作用する力とモーメントと等価な座標系 Σ_i 原点に作用するモーメントとする。ただし ${}^4\mathbf{n}_5 = 0$ 、 ${}^1\mathbf{n}_1 = 0$ 、 $\mathbf{Z} = (0 \ 0 \ 1)^T$ である。

3.2 関節拘縮の提示法

Flowers KR 等^[4]は関節拘縮における、トルクと関節角度の関係を示した。この関節拘縮におけるトルク関節角度曲線は指数関数に近い変化をすることが分かる。そこでモデルを式(2)で与えることにした。

$$\tau_d = se^{(q+q_{lim})} + d \quad (2)$$

ここで、屈曲方向を正とし、 q は関節角度、 τ_d は目標トルク、 q_{lim} は関節が正常に動く最終限界、 q_{lim} 、 s 、 d は障害の重度を調整するパラメータとする。各パラメータ ($q_{lim}[\text{rad}]$, $s[\text{Nm}]$, $d[\text{Nm}]$) を (0.6442, -0.0079, 0.03) と設定した。

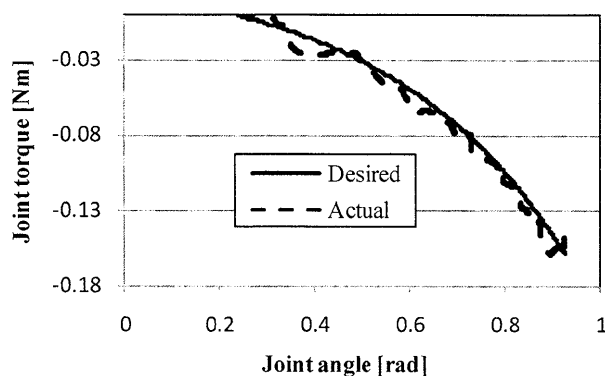


Fig.3 Relation between joint angle and torque

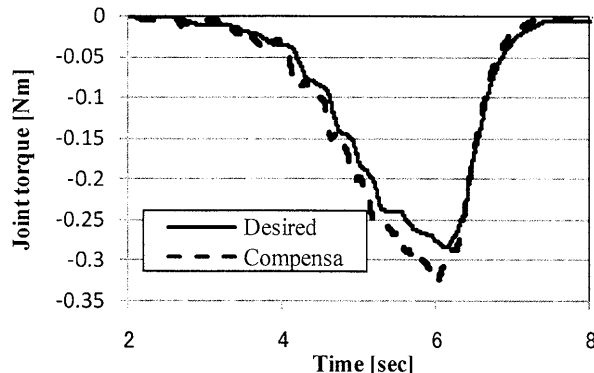


Fig.4 Torque control with many joints (Joint2)

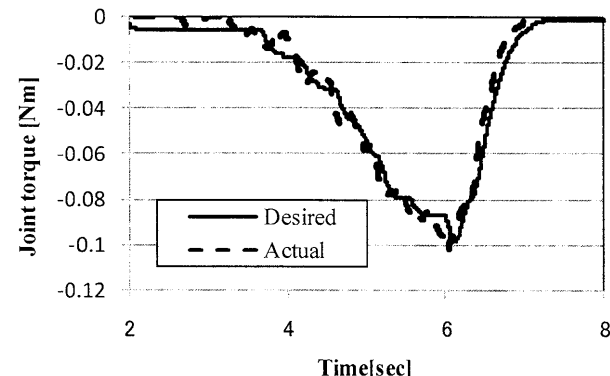


Fig.5 Torque control with many joints (Joint3)



Fig.6 Experiment

4. 実験

複数の関節に関節拘縮がある場合も抵抗感の提示が可能であること、目標トルクに追従していることを実験により確認する。実験はロボットハンドの掌が地面を向く姿勢で行った。また分布型触覚センサのサンプリング周期は従来^[3]と同様 30[msec]である。制御則を式(3)に示す。

$$u = \begin{cases} F_r(\dot{q}) & (\tau_d > -0.001) \\ K_p(\tau_d - \tau_f) + K_i \int (\tau_d - \tau_f) dt + F_r(\dot{q}) + \tau_d & (\tau_d \leq -0.001) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 τ_d は目標関節トルク、 τ_f は触覚センサから推定する関節トルク、 K_p はトルクフィードバックゲイン、 K_i はトルク積分フィードバックゲイン、 $F_r(\dot{q})$ は摩擦補償項である。リンク 2 に力を加え第 3 関節を曲げる実験とリンク 2 に力を加え第 2 関節と第 3 関節を曲げる実験を行った。Fig.3 に第 3 関節における関節角度と関節トルクの関係を示す。そして、Fig.4, 5 に第 2 関節と第 3 関節において、複数の関節を考慮したトルクの応答を示す。Fig.3 より目標トルクに対して追従していることが確認できる。Fig.4, 5 より複数の関節に拘縮がある場合も抵抗感の提示が可能であることを確認した。

5. 評価実験

セラピスト 1 名により障害部での力提示、人工皮膚の触感について評価を受けた。障害部の力提示は従来^[3]の線形モデルと指数関数モデルを使用しており、実験はモデルの名前を伏せて行った。実験の様子を Fig.6 に示す。

指数関数モデルの方が実際の関節拘縮に即していると評価を得た、また人工皮膚の触感において高い評価を得た。

「内外転の動きが不自然、触り方によってだいぶ違う、持ち方に工夫が必要、左右のぶれさえなければ抵抗感はまあまあ」との意見を得た。ロボットフィンガを挟み込むようにして持つ場合、障害部での力提示が振動的になりやすいため、触り方に依存しない関節トルクの推定法を考案する必要がある。

6. 結言

本稿では、複数の関節に拘縮が発症している指の模擬と関節拘縮に近いモデルを提案し、関節トルクに対する応答性の実験とセラピストによる評価実験を行った。実験により複数の関節に拘縮がある場合も抵抗感の提示が可能であること、障害部での力提示は線形モデルより指数関数モデルの方がよいことを確認した。今後の課題は、触り方に依存しない関節トルクの推定法の考案である。

参考文献

- [1] 牧田忍, 浦岡繁宣, 升谷保博, 西村敦, “理学療法士の育成を支援する下肢ロボットの開発”, 第24回日本ロボット学会学術講演会, CD-ROM, 1134, 2006
- [2] 藤澤友浩, 李虎奎, 高橋良至, 井上薫, 寺田尚史, 足立吉隆, 川上幸男, 米田隆志, “上肢疾患シミュレータの開発に関する基礎研究”, ROBOMECH'06予稿集, 2P2-A20, 2006
- [3] T. Mouri, H. Kawasaki, Y. Nishimoto, T. Aoki and M. Tanahashi, “Robot Hand Imitating Disabled Person for Education/Training of Rehabilitation”, Journal of Robotics and Mechatronics, 280-288, 2008
- [4] Flowers KR, Phasant SD, “The use of torque angle curves in the assessment of digital joint stiffness”, J Hand Ther, 69-74, 1988