

| | |
|---------|---|
| 課題番号 | Q20T-03 |
| 課題名（和文） | 教示者を教え上手にする技能伝承システム |
| 課題名（英文） | Skill Transfer System for Enhancing Teaching Skills |
| 研究代表者 | 所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学部電子システム工学科 五十嵐 洋 |
| 共同研究者 | 所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究電子システム工学専攻 高橋 奈央 |

研究成果の概要（和文）

高齢化社会の課題として、熟練工の大量退職があげられる。このため、特に団塊の世代の熟練工から若年の技術者への技術伝承は、今後も社会的にニーズが高まることが予想される。一方、相互作用を伴う技術伝承においては、高い作業スキルを有する熟練者が、必ずしも教え上手とは限らない。

ヒューマンインタフェースの分野において、制御を駆使した技能伝承システムに関する研究は数多く行われている。これまでの技能伝承システムの焦点は、教わる側（学習者）の技能をいかに高めるかであった。しかし、教示者の技能に注目した研究例はほとんどなかった。そこで、本研究課題では、書字作業を想定して、技能伝承効果を高めるための教示者支援を追究した。成果として、相互のカフィードバックゲインを調整することで、技能伝承パフォーマンスが制御できる可能性を示唆した。

研究成果の概要（英文）

This research proposed a novel skill transfer systems considering teaching skill of an expert.

In aging society, skill transfer from elder expert to young beginner would be important in industrial field. There are several approaches for skill transfer with master-slave or bilateral control for the skill transfer system. Conventional skill transfer systems, however, are designed for improve beginner's skill enhancement rather than teaching skill of the expert. Writing task with sharing position and force by teacher and learner is developed in this project. Skill transfer experiments, which employed variable gained bilateral control, are evaluated with 6 participants. Finally, the force gain is a key factor to teaching skill in writing letter task with bilateral control.

1. 研究開始当初の背景

描画動作や書字動作のような技能は言語化やマニュアル化が困難であり、技能の熟達にはコツやカンといった感覚を身につける必要がある。これらの技能は、一般に熟練者の動作を模倣し反復することを通じて習得されてきた。しかし、熟達には経験と時間が必要となる。

この問題を解決するために力覚提示による熟達支援の研究が行われている。力覚とは触覚のうち力で表現できる感覚のことをいう。力覚提示を用いることで、言語化、マニュアル化の困難な技能を効果的に習得できる。力覚提示による熟達支援の多くは熟練者の力覚を学習者にそのまま伝えるものである。しかし、人間には身体的個人差や動作の癖があるため学習者に合わせた教示を行う必要がある。

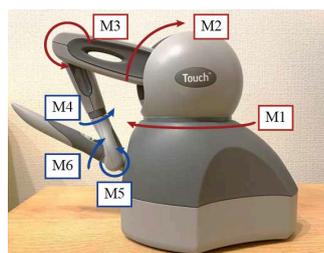


図 1: ハプティックインタフェース Touch USB

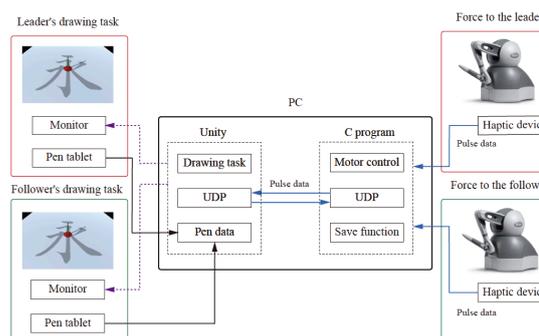


図 2: システム構成

2. 研究の目的

本研究では学習者だけでなく、熟練者の教示能力を上達させることを目的とし、熟練者と学習者で力覚を共有し相補に教示するシステムを提案する。

3. 研究の方法

本稿では力覚提示装置とし図 1 に示す 3D System 社の汎用ハプティックデバイス Touch USB を用いる。6 つのモータより、6-DOF 及び角度検出が行える、モータ部では 3-DOF の力覚フィードバックが可能である。本研究ではデバイスを 2 台用意し、熟練者と学習者がそれぞれにペンを握ることで、X、Y 軸方向に力覚を共有できるシステムを構築する。2 つのモータを後述するバイラテラル制御により、力覚を共有できる。

実験システムでは、Touch のモータ角度を取得し、M1、M2 のモータに対してバイラテラル制御を行う。また、ペンの位置を反映するため、UDP 通信により Touch のデバイス情報を描画タスクに送信する。描画タスクでは、画面上に文字を書くことが可能である (図 2)。

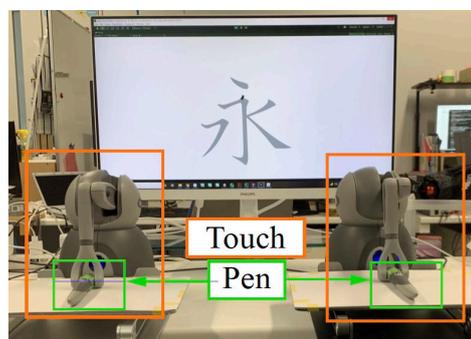


図 3: 実験システムの外観

4. 研究成果

高度熟練技能の習得の支援として、描画、筆記動作における熟達支援に着目し、熟練者と学習者で力覚を共有し相補に教示するシステムを提案した。汎用ハプティックインタフェース Touch USB にバイラテラル制御を実装し、文字の筆記動作について提案する相補教示支援の実験を行った。実験より、技能伝承システムにおける最適なフォースフィードバックについて検討した。筆記動作動作においてフィードバックゲインを最適化することでパフォーマンスを向上させることができる可能性が示唆された。

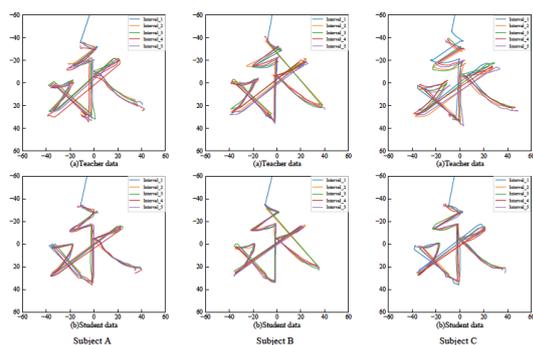


図4：実験結果（X-Z平面）

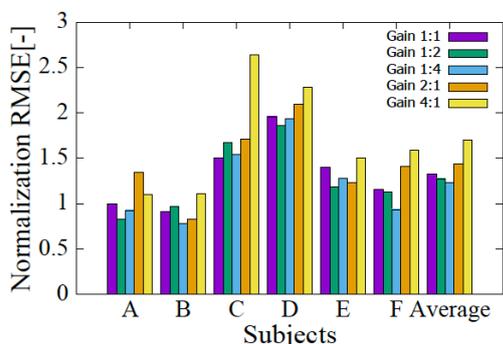


図5：異なるゲインにおける誤差評価

教示者と学習者の各インターバルのX-Z平面上のプロットを図4に示す。この結果、学習者も概ね描画が行えていることが確認できた。また、学習者により教示者の軌跡との差が異なることがわかる。特に、力ゲインの変化により軌跡が変化していることが示唆された。学習者に対して教示者の軌跡が大きくずれているのは、見ている画面が学習者のものであり、修正する力を与える意図によるものだと考えられる。

教示者と学習者のパフォーマンスの指標として二乗平均平方根誤差 (RMSE) を用いて評価を行う。RMSE は以下の式により表す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^T - x_i^S)^2}$$

ここで、 x^T は教示者のペン先座標、 x^S は学習者の座標である。 n はデータ数とする。RMSE が小さいほど教示者と学習者のペン先位置の差が小さ

く、高いパフォーマンスであると評価する。

X, Z 軸について、教示者と学習者の正規化した RMSE を図5に示す。X, Z 軸のデータを30秒ごとに区切り、Y 軸が -60 [mm] 以下のときのみ抽出して各インターバルの RMSE を計算した。従って、文字を書いている時のみの RMSE を縦、横方向について、ゲインごとに評価できる。X, Z 軸それぞれについて、被験者 A の Gain1:1 の結果で正規化を行った。

その結果、学習者全員において、フィードバックゲインの比を変更したときパフォーマンスが変化した。また、パフォーマンスの変化は個人差が大きくゲインとパフォーマンスの関係について全員に共通する傾向は見られなかった。結果より、被験者がゲインの変化を認識し、変化に対しての行動の判断が個人によって違うと考えられる。従って個人により最適なフィードバックゲインが異なり、筆記動作においてフィードバックゲインを最適化することでパフォーマンスを向上させることができる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計2件)

- ① 高橋奈央, 五十嵐洋: “描画動作のための力覚提示デバイスによる相補教示支援-1DOF 力覚提示による描画動作へ影響-”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'20, 2A2-N02, 2020.5.29
- ② 高橋奈央, 五十嵐洋: “力覚提示による描画動作の熟達支援の検討 -2DOF 力覚提示における相補教示支援-“, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21, 1P2-J13, 2021.6.9