

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760194

研究課題名（和文） 福祉機器の操作性を短時間で向上させるサブリミナル
キャリブレーションの実験検証研究課題名（英文） Experimental Evaluation for Subliminal Calibration for
Machine Operation

研究代表者

五十嵐 洋（IGARASHI HIROSHI）

東京電機大学・工学部・助教

研究者番号：20408652

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、人間機械システムにおけるアシスト手法として、操作者にイメージに近づけるように機械ダイナミクスを変化させるサブリミナルキャリブレーションを提案した。さらに、人間の操作熟達の評価として、操作入力コマンドの意思決定に用いた時間を推定する手法提案した。これらを用いて熟達促進効果について検証を行った結果、初心者の操作入力決定パターンが、熟達者の操作入力決定パターンに近づくことを確認した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, a novel assist named “subliminal calibration” is proposed. The technique is to modify the operated machine dynamics approaching to human image. Furthermore, a new evaluation technique for operation skill using time delay of command input decision. Finally, the experimental results show the skill of beginners approaches to the expert’s one by the assisting technique.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：智能機械学・機械システム

キーワード：人間機械システム

1. 研究開始当初の背景

近年、ロボット知能化に関する数多くの研究が行われている。このような研究は、ロボット自身が行動を決定する自律システムと、人間が介在する人間機械システムに大別される。

このうち、自律システムは、特に産業分野

における人間の負担や生産性の向上に主眼を置き古くから行われている。これらは、限定された環境で、事前に人間により設計された作業については、多くの社会的・産業的貢献を果たしている。しかし、事前に設計者が想定していなかった外乱や作業環境の変化に適応して作業を完遂することは、現状の技

術では困難である。つまり、事前にすべての状況や外乱をモデル化することはほぼ不可能である。

一方、人間はこのような予期せぬ外乱や、作業環境の変化に対して、必ずしも最適ではなくとも良好な結果を導く適応性に長けている。また同時に学習・熟達を無意識に遂行し、自身で操作パフォーマンスの向上を図っている。このような人間の能力を發揮させるべく、人間機械システムの研究が注目されている。

多くの人間機械システム研究の主眼は、人間の操作アシストに置かれている。つまり、操作者に適切な機械操作を行わせるために、システムが人工知能や計測技術を駆使して高い操作パフォーマンスを發揮させることが主要な目的である。従来のアシスト手法の多くは、操作者によるコマンドに対し、システム設計者が事前に設計したアシストを加算するものであった。この例として、衝突回避のための障害物からの反力や最適軌道への誘導などがあげられる。システム設計者の想定する特定の作業タスクにおいて、このようなアシストは高いパフォーマンスを發揮することが報告されている。

しかし、操作コマンドに加算する形で実行されるアシストは、自律型システムと同様にすべての想定をモデル化できないことに加え、操作者の学習・熟達能力を阻害することが問題となる。本研究では、特に人間の熟達能力に着目した新しい人間機械システムの構築を目指す。

人間の熟達能力については、脳科学分野で

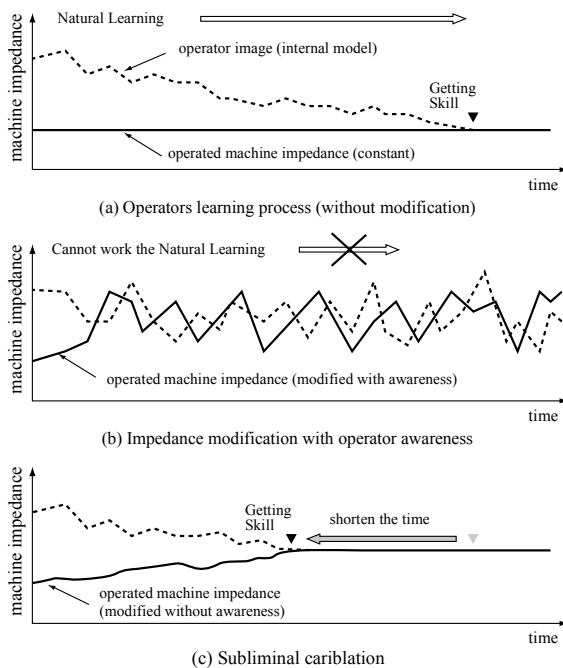


図1: 人間の熟達過程

も研究が行われており、その知見によれば操作対象のイメージの形成に大きく関わっていると考えられる。つまり、図 1(a) に示すように操作者が有する操作対象の挙動モデル (内部モデル) と操作対象のダイナミクスが一致するとき、操作者は思い通りに機械を操作することができ、内部モデルを逐次修正する過程が熟達過程であると考えられる。

そこで操作対象の機械ダイナミクス (慣性係数や粘性係数) を操作者の有する内部モデルに近づけるという着想を得た。しかし、操作対象ダイナミクスを変化させることは、図 1(b) のように、あたかも操作対象が暴走しているかのような感覚を与え、操作性の低下および学習を阻害することが問題となっていた。そこで、認知心理学の知見のひとつである閾値弁別指標を導入し、操作者に気づかれない範囲での機械ダイナミクス修正を行う。これにより、図 1(c) のように、短時間での操作熟達を可能となる。これをサブリミナルキャリブレーションと呼び、検証を進めてきた。

2. 研究の目的

本研究課題では、提案したサブリミナルキャリブレーションの実用化に向けた実験検証を目的とする。特に、サブリミナルキャリブレーションが有する熟達促進効果に着目した解析のために、熟達評価指標の提案、熟達プロセスに関する考察を行う。

3. 研究の方法

本研究では、20名の被験者 (健康な20代男子) により、図2に示すように、ジョイスティックによるマニュアル操作で動かすマークを、ランダムに動くターゲットに一致させる追従タスクを実施した。ここで、操作対象のマークは、慣性・粘性のダイナミクスを有しており、思い通りに操るためには熟達が必要となる。

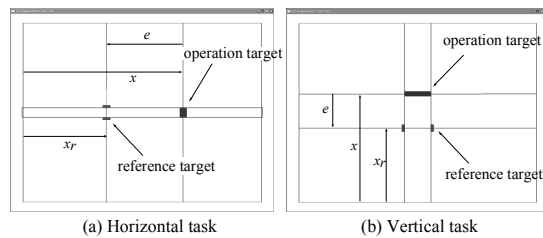


図2: 実験タスク

実験は、作業タスクの方向 (垂直または水平)、サブリミナルキャリブレーションのゲイン (1%, 2%) をそれぞれランダムな順序で行い、その追従精度を観測する。つまり、追従誤差が小さいほど思い通りに操れていると判断し、サブリミナルキャリブレーションがそれを促進しているかを評価する。

サブミナルキャリブレーションの手順は以下の通りである。

- (1) 追従誤差と操作入力コマンドの関係について、学習アルゴリズム (CMAC) を用いてリアルタイムで学習させる。つまり、現在の追従誤差を入力すると、操作者が次の瞬間に入力すると考えられる操作コマンドの予測値を出力する人間モデルを形成する。
- (2) 上述の予測値を用いて、操作追従精度を高める操作対象マーカのダイナミクス特性 (慣性係数, 粘性係数, 操作入力ゲイン) の修正量を計算する。
- (3) (2) で求めた修正量に対し、気づかれない変化量内に収めるようフィルタリングを行い適用する。つまり、修正量を気づかれない範囲内で操作対象マーカのダイナミクス特性を変化させる。

このように、人間モデルによる操作コマンド予測を用いて、追従精度を高めるように操作対象マーカのダイナミクスを操作者に気づかれない範囲で修正することによって、図 1(c) のように、短時間で思い通りに操れるシステムが期待される。

4. 研究成果

図 3 に、サブミナルキャリブレーションを適用しない場合 (アシスト無し) の 20 名の平均追従位置誤差および速度誤差を示す。この結果より、アシストがない場合にも試行中に追従精度が向上することがわかる。つまり、図 1 (a) に示したように、人間の熟達能力が発揮されていることが確かめられた。

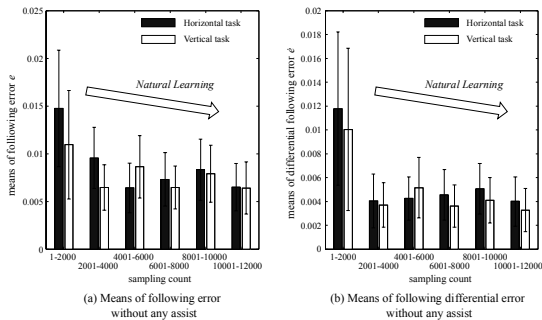


図 3: 実験結果 (アシストなし)

次に、アシスト無しにおける追従精度をもとに、図 4 に示すようなグループ分けを行う。ここでは、最上位と最下位を除外し、アシスト無しでも追従精度の高い上位 4 名をグループ H、下位 4 名をグループ L、その他をグループ M とそれぞれ呼ぶ。以下では、このグループ毎にサブミナルキャリブレーションの効果を検証する。

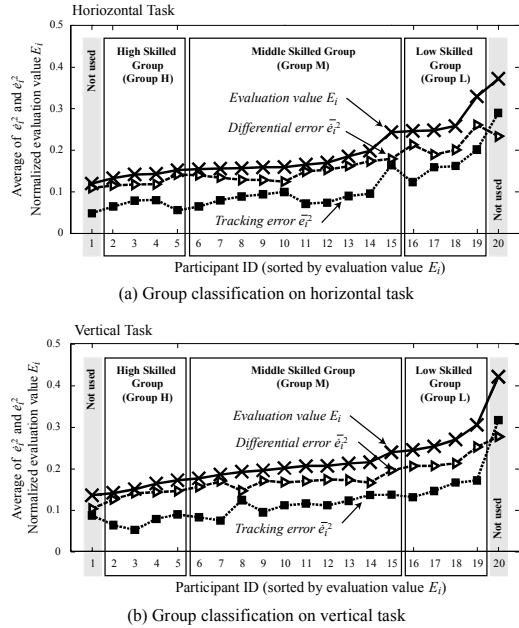


図 4: アシストなし実験結果のグループ分け

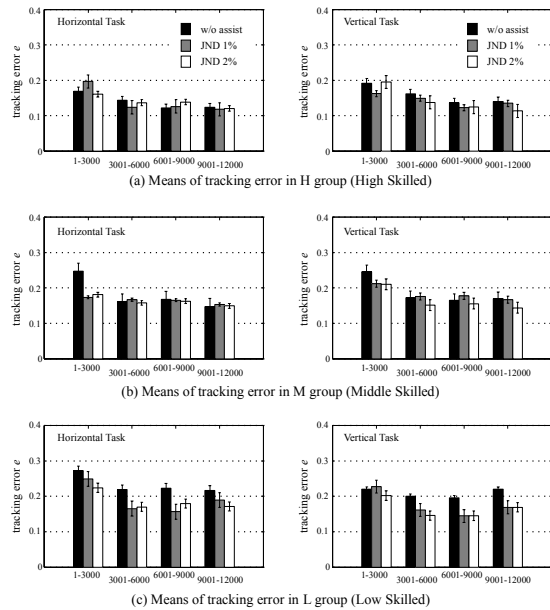


図 5: サブミナルキャリブレーションの効果

そして図 5 にアシスト無しに加え、サブミナルキャリブレーションのゲイン JND 1%, 2% をそれぞれ適用した時の追従位置誤差の平均値を示す。

この結果より、サブミナルキャリブレーションを適用した場合、特にグループ L (アシスト無し時に追従精度の低いグループ) の追従誤差が低減していることがわかる。これは、図 1(c) の仮説に一致した結果であり、サブミナルキャリブレーションが操作者の熟達の促進をしているといえる。

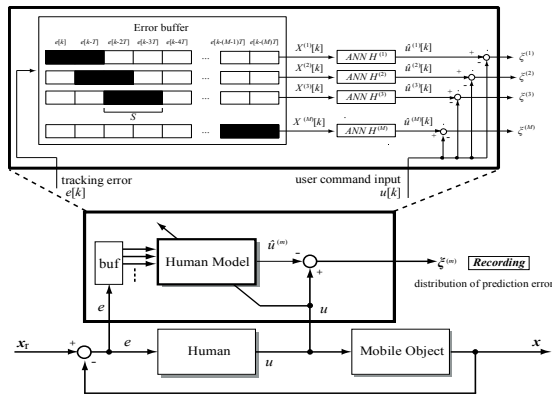


図 6: 熟達評価のための複合人間モデル

さらに、上記実験における操作熟達を定量的に評価するために、前述の人間モデルを応用した熟達評価手法を提案した(図6)。これは、複数のニューラルネットワークに対して、異なる時系列の追従誤差を入力として学習させることで、どの程度過去の情報を用いて操作入力を決定しているかを推定するものである。この指標を用いて操作パフォーマンスの高い操作者と低い操作者の操作特性を比較することで熟達促進効果を検証する。

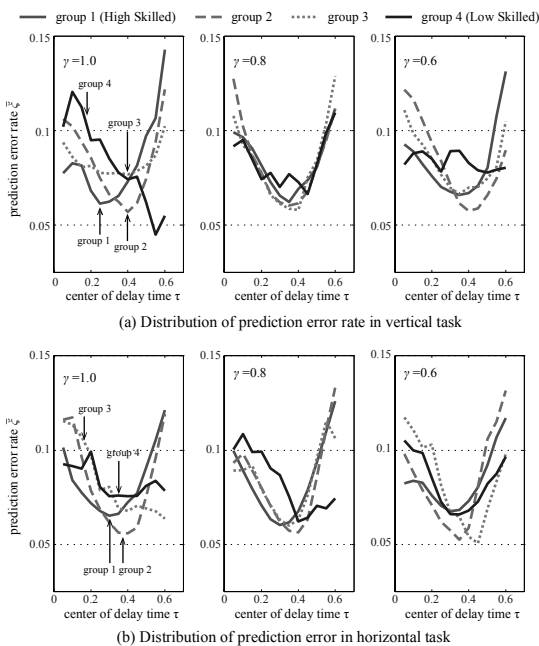


図7: 提案する熟達評価手法の比較

ここでは、アシスト無しの結果を元に5名ずつグループを4つに分けた(グループ1から追従精度の高い順に分割し、グループ4を最も追従精度の悪かったグループとする)。提案する熟達指標の分布について、グループ毎の平均をプロットしたものを図7に示す。この図は、縦軸に複合人間モデルの予測精度、

横軸にそのモデルへの入力のタイムシフト(操作入力に用いていると考えられる時間遅れ)をそれぞれ示している。そして、縦軸の値が小さいほど、その操作者がその時系列情報を用いて操作入力決定をしていると考えられる。

また、 γ は操作入力予測に基づくアシスト量であり、この値が小さいほど追従精度が向上することが予備実験により確かめられている。この結果、操作精度の高いグループほど、その分布はなめらかなU字型を示し、これが熟達の特徴であるといえる。また、適度なアシストにより、特に水平方向タスクにおいてグループ3,4の追従精度の低いグループもU字型に近づいていることがわかる。すなわち、追従精度の悪い初心者の操作入力特性を熟練者に近づけたことを意味する。

しかし、現状の解析ではサブリミナルキャリブレーションに対して、この熟達指標を適用した解析には至っていない。今後、本課題で達成した知見を元に、熟達促進を目的とする新しいアシストへと展開する。

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1件)

[1] H. Igarashi: "Subliminal Calibration for Machine Operation", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, (査読あり), Vol. 16, No. 1, pp. 108-116, 2012.
<http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=JACII001600010014.xml>

[学会発表] (計6件)

[1] H. Igarashi: "Subliminal Calibration for Machine Operation with Prediction based Filtering," Proc. of The 12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, (査読あり), in CD-ROM, 2012/03/27, Sarajevo, 2012

[2] H. Igarashi: "Human Skill Evaluation by Operation Input Characteristics with Multiple Neural Networks", 2011 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, (査読あり), pp.706-711, 2011/09/29, Denver USA, 2011.

[3] H. Igarashi: "Human Skill Evaluation by Input Command Decision Characteristics," 4th International Conference on Human System Interaction, (査読あり), pp. 374-377, 2011/05/20, Yokohama Japan, 2011.

[4] 五十嵐洋: "動的JND指標による操作者に

気づかせない機械操縦操作アシスト”，日本認知科学会第 28 回大会，(査読なし)，in CD-ROM，2011/09/24，東京大学，2011.

- [5] 五十嵐洋: “サブリミナル・キャリブレーションによる機械操作熟達支援”，日本機械学会情報・知能・精密機器部門(IIP 部門)講演会，(査読なし)，2011/03/23，東京，2011.
- [6] 五十嵐洋: “機械操作における熟達評価とその支援”，第 28 回日本ロボット学会学術講演会，(査読なし)，2010/09/23，名古屋工業大学，AC1B3-5，東京，2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

五十嵐 洋 (IGARASHI HIROSHI)
東京電機大学・工学部・助教
研究者番号：20408652