

協調作業のチームワーク支援システム

Teamwork Assist System for Human Cooperative Works

2041004



研究代表者

東京電機大学
工学部 電気電子工学科

准教授

五十嵐 洋

[研究の目的]

従来の人間機械系研究は、主に個人技能の向上に焦点があてられていた。しかし、複数の人間が介在する協調作業では、個人スキルに加え、互いを考慮したチームワークが必要となる。そこで、本研究はチームワーク支援を工学的に実現することを目指す。

複数の人間が介在する協調作業は、大規模な建設作業や搬送作業、チームスポーツなど多岐にわたる。さらに近年、他者の意図抽出が苦手な自閉症児に対し、簡易的な協調作業を通じた社会スキルトレーニングが行われている。このように複数の人間がかかわる作業では、他者の意図をくみ取り、さらに自分の行動が相手に与える影響を想定しながらの行動決定が求められる。これは、個人スキルとは異なる要因である。例えば、個人スキルの高い人間同士の協調作業が必ずしも高いパフォーマンスを発揮できるとは限らない。

人間と機械システムのつながりに着目した人間機械系とよばれる研究分野がある。従来の人間機械系研究では、主に個人スキルを対象に、いかに作業効率を高め、人為的ミスの低減を図るかに主眼が置かれてきた。このため、上述のチームワークを工学的に論じた例はほとんどなかった。チームワークを数値として評価し、それを支援する枠組みは、世界的に例のない新しいアプローチであると考えられる。

これまでに、教育学やスポーツ科学分野において、チームワークの因子分析を試みた多くの研究報告がある。しかし、これらはアンケートなどの主観評価が中心であり、具体的なチームワーク支援へ応用例は少ない。この原因として、客観的なチームワーク因子の特定が困難である点あげられる。つまり、チームワークを物理的に支援するためには、チームワークの因子を数値として評価する必要がある。

本研究では、このチームワーク因子を「気づかい」とよび、独自に定義した。そして、協調作業パフォーマンスと「気づかい」の相関解析により、チームワークを定量的に評価する。さらに、「気づかい」を用いた新しい協調作業アシスト（チームワークアシスト）に向けた考察を行う。

[研究の内容、成果]

1. 「気づかい」の定義

本研究では、チームワークを工学的に支援する新しいアシストシステムを提唱する。協調作業において、個人スキルと協調スキル（チームワーク）は、それぞれ独立であり、必ずしも個人スキルの高いチームが高い協調パフォーマンスを発揮できるとは限らないと本研究では考える。この協調スキルの要因として、チームワーク因子を定量的に定義する。

図1に、単独作業と協調作業時における操作

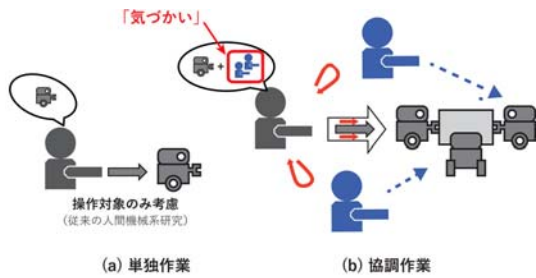


図1 単独作業と協調作業

者の考慮すべき情報を比較したイメージを示す。従来研究が主に対象としていた単独作業では、図1(a)のように、人間は操作対象の機械のみを考慮すればよかった。そのため、操作者からの入力指令値を解析することで、比較的容易に操作者の意図を推定することができる。ところが、複数の人間が介在する協調作業では、他者の意図や自分の行動が他者へ与える影響など、単独作業時に考慮する必要のなかった要因が含まれる。

本研究では、この要因を「気づかい」とよぶ。そして、「気づかい」とは、単独作業時に含まれない協調作業のみで発現する行動と考える。「気づかい」という日本語は、他者を助けるニュアンスが強いが、図1(b)に示した本研究の想定では、必ずしも他者の助けとは限らず、結果的に他者の妨害となる場合も包括する概念である。

このように定義した「気づかい」は、図2に示す実験フローにより定量的に計測することが可能となる。まず、各操作者は事前に単独作業を実施する。このとき、操作者の操作入力パターン（単独操作モデル）をリカレントニュー

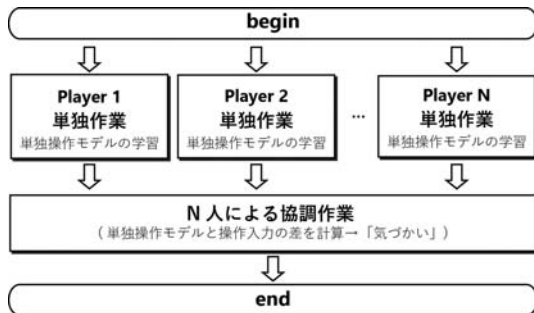


図2 「気づかい」の計測フロー

ラルネットワークにより学習する。学習が完了した単独操作モデルは、あたかも操作者のコピーのようにそのときの作業状況に応じた操作指令予測値を出力することが可能となる。

次に、N人による協調作業を実施する。このとき、事前実験で構築した単独操作モデルは、この操作者が、もし単独作業ではどのような操作指令を送っていたかの予測値を出力する。この予測値（単独操作予測値）とN人協調作業で実際に操作入力された指令値との差が、協調作業で発現した行動指令、すなわち「気づかい」と見なすことができる。本研究課題では、このように抽出した「気づかい」と協調作業パフォーマンスの関係に加え、「気づかい」を考慮した新しいチームワークアシストの可能性について議論する。

2. 実験プラットフォーム

提案する「気づかい」の定量化手法を検証するための協調作業プラットフォームを構築した。本研究で想定する協調作業のイメージを図3に示す。本実験では、協調作業パフォーマンスを定量的に評価するため、単純な協調ゲームを想定する。図4に開発した実験プラットフォーム

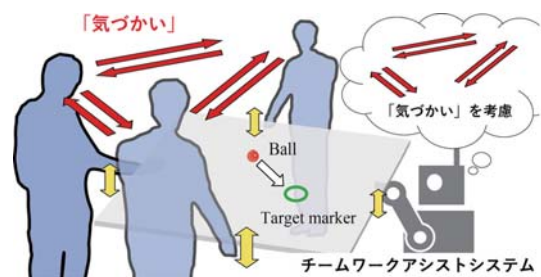


図3 検証タスクのイメージ

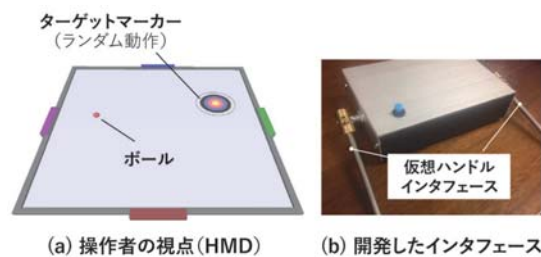


図4 実験プラットフォーム

ムを示す。各操作者は、それぞれの視点に応じて図 4(a) に示すような 3 次元 CG が HMD (ヘッドマウントディスプレイ) に提示される。このタスクの目的は、複数の操作者が協力して、プレート上のボールをランダムに動作するターゲットマーカに近づけるよう制御することである。

この仮想プレートのエッジにはそれぞれ 2 つのハンドルが設置されており、操作者は図 4(b) に示す仮想ハンドルの操作インタフェースを通じて、プレートを操作することができる。今回、操作インタフェースはプロトタイプとして設計されており、現在、力覚フィードバックの実装に向けてテストを行っている。

3. 実験結果

上述した「気づかい」の定量化のためには、単独作業時の操作入力パターンを単独操作モデルとして学習する必要がある。同時に、単独操作モデルの予測精度を高めることが「気づかい」を正確に定量化するために必要である。本研究では、ニューラルネットワークと Prediction based Filtering を用いて、単独操作モデルの高精度化を図る。

図 5 に単独作業学習のブロックダイアグラムを示す。ここで、学習器として人間内部の記憶も考慮したりカレントニューラルネットワークを採用し、その一般的な学習手法として知られる BPTT (Back Propagation Through Time) により学習する。さらに、初心者の操作入力パターンにノイズ成分が多いことを考慮し、Prediction Based Filtering を導入することで、

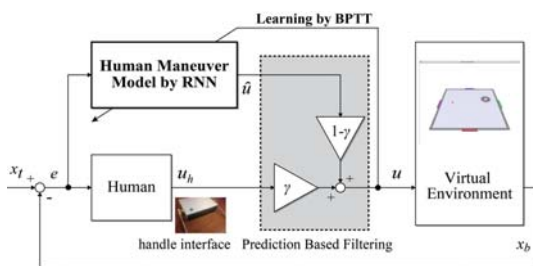


図 5 単独操作モデルの学習

短時間での単独操作モデル学習を実現した。

図 6 に単独操作モデル学習における操作予測値とその精度の一例を示す。単独操作は 60 sec とし、前半 45 sec のみで学習を行い、評価のため残り 15 sec での予測精度の検証を行っている。結果より 45 秒程度の学習でも単独モデルの学習を実現できていることがわかる。また、図 7 に被験者 12 名の単独モデルの予測誤差を示す。図 7(a) は Prediction Based Filtering を用いない場合、図 7(b) は Prediction Based Filtering を用いた場合 ($\gamma=0.8$) をそれぞれ示す。この結果より、Prediction Based Filtering が予測精度向上に寄与していることを確認した。

図 8 には、ランダムに抽出した 8 グループのボールコントロール精度と「気づかい」のバランスの相関関係を示す。グループ内での「気づかい」の差と和についてそれぞれ正の相関が認められた。これより、互いの「気づかい」が大

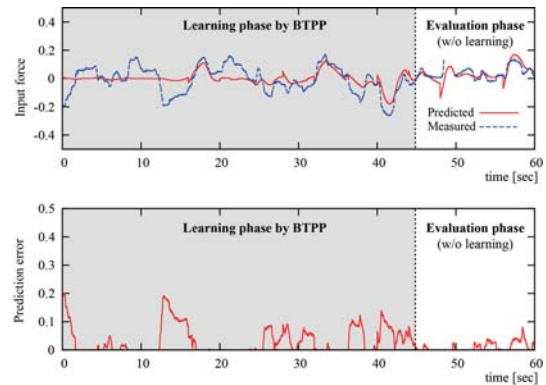


図 6 単独操作モデル学習経過

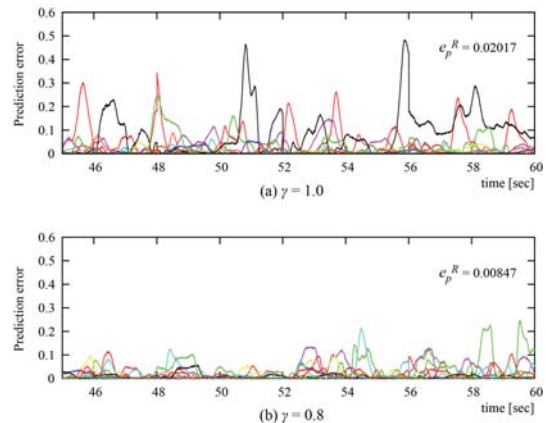
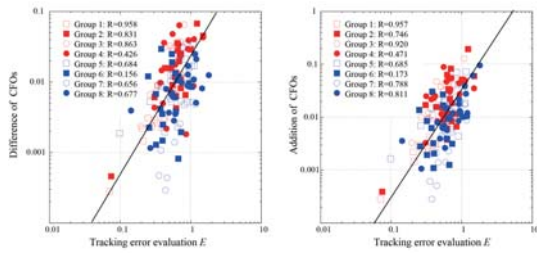


図 7 単独操作モデル検証 (12 名)



(a) Relation between tracking evaluation and difference of CFOS: $|\sigma_1 - \sigma_2|$ (b) Relation between tracking evaluation and addition of CFOS: $\sigma_1 + \sigma_2$

図8 「気づかい」とパフォーマンスの相関

きすぎる場合には、ボールコントロールの制御パフォーマンスが低下する傾向が示唆された。これは、タスクがまだ単純であることや、フォースフィードバックが実装されていないため、「気づかい」がかえってパフォーマンスの低下を招いたと考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

本課題では、実験プラットフォームの構築および単独作業モデルの高精度化に注力した。その結果、リカレントニューラルネットワークとPrediction Based Filteringを併用することで、単独モデルの予測精度が向上することが明らか

となった。今後、フォースフィードバックを実装し、その影響も含めた単独作業モデルを導入する。

また、現段階では「気づかい」と作業パフォーマンスの相関解析が中心であり、その結果を踏まえたアシストの実装には至っていない。今回の実験結果である、過剰な「気づかい」が協調作業パフォーマンスの低下を招くことから、前述のフォースフィードバックを「気づかい」を低減させる方向へ加えた際のパフォーマンス解析が今後の課題である。さらに、タスクの複雑化・一般化により、幅広い応用分野への拡張を目指す。

[成果の発表, 論文等]

〈Proceedings〉

- [1] N. Tsujita and H. Igarashi: "Estimation of Concern for Others and Consideration of Its Evaluation Focused on Individual Skill," 2014 2nd International Conference on Control, Mechatronics and Automation, MA017, 2014
- [2] H. Igarashi: "Teamwork Assist with Concern for Others in Human Cooperative Works," The 1st IEEEJ international workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, IS3-2-4, 2015