

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報 学)	氏名	徐 涌
論文題目	Developing Mutually Adaptive Human Agent Interface (相互適応的なヒューマン・エージェント・インターフェースの開発)		
(論文内容の要旨)			
本論文は、人間の高度な適応能力を利用して、相互適応学習により人間と自然にインタラクションする能力を獲得できるエージェントを実現することを目的とし、人間同士のインタラクション、および、人間と遠隔操作されたエージェントのインタラクションにおける相互適応現象の観察、計測、分析に基づいて、相互適応能力を持つエージェントを実現するための方法論について論じたものであり、全8章から構成される。 第1章は序章であり、相互適応の直観的説明を与え、ロボットが相互適応能力をもつことによって生じるメリットについて論じた上で、本論文の貢献の骨子と、本論文の構成について述べている。 第2章では、エージェントの適応学習、ヒューマン・エージェント・インタラクション、相互適応に関する従来研究を俯瞰し、その限界を指摘している。 第3章では、本研究を進めるための方略について論じ、人間同士のインタラクションにおける相互適応現象と、人間と遠隔操作されたロボットのインタラクションにおける相互適応現象の観察、計測、分析によって得られる知見に基づいて、相互適応能力を持つエージェントを実現する3段階のアプローチを提案している。 第4章では、人間同士のインタラクションにおける相互適応現象の計測と分析について述べている。相互適応現象の観察と計測を目的とし、正負の報酬に関連づけられた仮想的なオブジェクトが置かれた空間において、仮想的なオブジェクトを知覚できる指示者が、それらを知覚できない行動者に非言語的な指示を与えることにより、指定された経路に沿って移動させるナビゲーションタスク、および、床圧力センサと複数台のビデオカメラを用いて両者の行動を記録する手法について述べられている。報酬を最大化しつつ、可能な限り短い時間でタスクを終了するよう指示された行動者、指示者のペアのタスク遂行時の挙動を分析した結果、得点の高いペアでは初期のジェスチャタイプがインタラクションを行っているうちに淘汰され、有効なジェスチャタイプに単調に収束するが、得点の低いペアではいったんジェスチャタイプが増えてから減少するという現象がみられたことが報告されている。これに基づき、合意形成の機能を持つ下位層のプロトコルが形成されてから、それを拡張してタスク遂行のためのより高度な機能を持つ上位層プロトコルが形成されるという仮説が実験データに整合することが示されている。 第5章は、人間と遠隔操作されたロボットのインタラクションにおける相互適応現象の計測と分析について述べている。遠隔操作される小型ロボットを用いた人間・遠隔操作ロボットインタラクション計測環境を実現し、視点や視野やカメラ位置に着目して操作性を向上させ、実験により、人間・遠隔操作ロボットインタラクションにおいて相互適応が起きるための条件を推定し、わかりやすいジェスチャは淘汰されにくいことなどの知見が得られたことが報告されている。さらに遠隔操作ロボットシステムの改良を行い、加速度センサでジェスチャを検出することにより、ジェスチャでロボットを操作できるようにするとともに、大きい身体を持つ遠隔操作ロボットを用いた実験も行い、ジェスチャインタフェースのほうが相互適応現象を引き起こしやすいこと、大きな身体を持つロボットのほうがジェスチャによって指示をする傾向がより強いこと、停止操作が負の報酬として使用される傾向があり、停止操作の頻度を観察することにより指示者の適応の程度を推定できることなどの知見が得られたことが述べられている。 第6章では、まず、前2段階の実験で得られた知見に基づく相互適応概念の再定式			

化が示されている．次に，人間と自律エージェントの相互適応現象を評価するために設計された協調タスクと実験評価手法について述べられている．協調タスクは，人間も自律エージェントもタスクに関する部分的な情報しか持たず，両者の協調によってよりよくタスクが遂行されるように構成されている．分析においては，適応アルゴリズムを実装した自律エージェントや遠隔操作による評価実験を行い，時系列マイニングによる変化点検出が用いられている．これにより，相互適応現象を引き起こすためには，インタラクションのいずれの参加者も相手との主導権の受け渡しができることや，相手のインタラクションパターンの変化に短時間で応じることなどが必要であること，相互適応が起きると，指示の焦点を変化させることによって相手にフィードバックを与えたり，過去のイベントに言及したりすることが適応を強化することなどを明らかにした．また，相互適応現象が生じるか否かは，自律エージェントに組み込まれた適応学習アルゴリズムの特性にあまり依存しないと推定されることも示した．

第7章は，本論文で得られた成果全体を俯瞰し，達成できたことを明らかにしたうえで限界について議論している．

第8章は結論であり，本論文の成果を総括し，残された課題を示している．

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、人間の高度な適応能力を利用して、相互適応学習により人間と自然にインタラクションする能力を獲得できるエージェントを実現することを目的とし、人間同士のインタラクション、および、人間と遠隔操作されたエージェントのインタラクションにおける相互適応現象の観察、計測、分析に基づいて、相互適応能力を持つエージェントを実現するための方法論について論じたものであり、得られた主要な成果は以下の通りである。

1. 人間同士のインタラクションにおける相互適応現象の観察と計測を行うために、正負の報酬に関連づけられた仮想的なオブジェクトが置かれた空間において、仮想的なオブジェクトを知覚できる指示者が、それらを知覚できない行動者に非言語的な指示を与えることにより、指定された経路に沿って移動させるナビゲーションタスクと、相互適応現象観察計測環境を考案し実現した。実験と分析の結果、相互適応によりジェスチャタイプの淘汰が起きること、得点の高い実験参加者とそうでない実験参加者の間に淘汰のプロセスの違いがみられることなど、相互適応に関わる有用な知見を得た。さらに、相互適応の2層モデルを提案した。

2. 人間と遠隔操作されたロボットのインタラクションにおける相互適応現象に関して、遠隔操作される小型ロボットを用いた実験環境を実現した。実験により、わかりやすいジェスチャは淘汰されにくいことなど有用な知見を得た。さらに遠隔操作ロボットシステムの改良を行い、ジェスチャインタフェースのほうが相互適応現象を引き起こしやすいこと、大きな身体を持つロボットのほうがジェスチャによって指示をする傾向がより強いこと、停止操作が負の報酬として使用される傾向があることなどの有用な知見を得た。

3. 人間と自律エージェントの相互適応現象を評価するために、相互適応現象が発現しやすい協調タスクを設計し、実験評価を行った。その結果、相互適応現象を引き起こすためには、インタラクション参加者の間で主導権の授受ができること、相手のインタラクションパターンの変化に短時間で応じられること、指示の焦点を変化させることによって相手にフィードバックを与えたり、過去のイベントに言及したりすることが相互適応を強化することなどを明らかにした。

以上の成果は、学術上、情報学上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。平成22年2月12日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。