

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870353

研究課題名(和文) タスク遂行における重視要因順位の協調的な推測・形成手法の開発と評価

研究課題名(英文) Development and evaluation of methods to mutually estimate emphasizing points in interaction tasks

研究代表者

大本 義正 (Ohmoto, Yoshimasa)

京都大学・情報学研究科・助教

研究者番号：90511775

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：研究期間全体を通して、エージェントとのインタラクションにおける、(1)受動的場面と(2)能動的場面のそれぞれについて、(1)では、言語・非言語情報によって動的に重視要因を推定する方法を、(2)では、相手と自分の重視要因を循環的につないだネットワークに基づいて意思決定を行うモデルを提案した。さらに、これらの両面で問題となった「志向姿勢」の誘発・維持を踏まえて、(1)と(2)の提案モデルを融合させたエージェントを試作した。全体として、人間とエージェントの重視要因をコンセンサスとしてお互いに理解した行動を誘発することができるインタラクションモデルを示唆することができた。

研究成果の概要(英文)：We proposed methods for smooth human-agent interaction based on mutual respect in passive and active interaction situations. In the passive interaction situations, we proposed methods to induce intentions to examine an agent's proposals about tasks in decision-making. In the methods, we dynamically estimated emphasizing points for the decision-making using verbal and nonverbal information. In the active interaction situations, we proposed a model of alternating propagation of global purposes and local objectives by a two-layered network-connected emphasizing factors. In addition, we found that "intentional stance" was important to realize smooth human-agent interaction. Therefore, we investigated how to induce the intentional stance and prototyped an agent which was integrated our interaction methods and models. On the whole, we can suggest human-agent interaction methods and models to understand intentions of humans and agents through the interaction process.

研究分野：認知科学

キーワード：ヒューマンエージェントインタラクション 意図推定 志向姿勢 共同意図構築

## 1. 研究開始当初の背景

身体性を有し、複数のモダリティを統合して言語・非言語コミュニケーションを行う会話エージェント (Embodied Conversational Agent: ECA) の研究において、人間の思考や嗜好、意図 (以下、内部状態) を推定し、適切なエージェントの振る舞いを生成する要求が高まっている (Becker ら、2005; Prendinger and Ishizuka, 2005 など)。従来の研究では、人間の考えを正しく推測することに注力するあまり、エージェントが人間に従属するインタラクションに研究が偏っている。プロアクティブな情報提示を試みた研究 (Hirayama ら 2010 など) や、ロボットの予備的動作によって次の動作や対象を予測させる研究 (葛岡ら 2005、板原ら 2007 など) も存在するが、興味があることを予測して提案したり、人間からの指示の補完を行うようなものが主であり、人間の考えを正しく反映することを目指していることに変わりはない。このような研究は一定の成果を上げており、Human Agent Interaction (HAI) において重要な役割を担っているが、一方で、インタラクションの円滑さや柔軟性を損なう一因ともなっている。この大きな原因は、推測のための情報収集に時間がかかることである。特に、参加者が協調的にタスクを遂行する場面においては、人間の内部状態がインタラクションの最中に変化することに対応することがタスクの遂行において重要であり、従来の手法ではこうした場面で円滑なインタラクションを行うことは困難である。

研究代表者の大本は、2003 年頃から人間の意図の読み取りとその自動化に注目して研究を進めてきた。2008 年頃からは研究対象を Human-Agent Interaction (HAI) へと広げ、ECA の内部状態モデルに基づく主体的な非言語情報の表出によって、ユーザの心理状態を誘導し円滑なインタラクションが可能になることを示した (Nishida ら 2010、Springer)。こうした研究の中で、目的を共有しながらも、達成の手段が多様に存在するような場面 (例えば、旅行のプランニングなど) における人間同士のインタラクションでは、実際のインタラクション中にお互いの考えを推定して提示された情報を、自らの視座から解釈し直して自分の考えに取り込むことを繰り返し、コンセンサス (common ground) を協調的に作り上げていく、相互適応現象の一種 (ここでは「視座協創」と呼ぶ) が見られることに注目した (図 1)。このような視座協創を仮定することで、参加者の内部状態の正確な推定を仮定せずに、動的な協調的インタラクションモデルを構築することができると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、インタラクション参加者の内部状態が動的に変化するタスクを設定し、コンセンサスを相互適応的に確立することで、

インタラクションを通してタスクを協調的に遂行する自律エージェントを作成することを目指す。研究全体としては、受動的場面と能動的場面の両面において、HAI において視座協創がインタラクションを通じた協調的なタスク遂行を円滑化することを明らかにすることを目指す。研究期間内には、(1) 能動的なエージェント、と、(2) 受動的なエージェント、の 2 種類のエージェントにおいて、タスク遂行において重視する要因をコンセンサスとして確立する手法を開発し、エージェントを評価する。

## 3. 研究の方法

本研究は、代表者の大本が進めてきた、提案エージェントと知識構造獲得手法の研究を発展させる形で遂行する。タスク遂行能力 (時間、達成度)、インタラクション中の参加者の振る舞い、質問紙による印象評定、生理指標データに基づいて、タスク遂行における重視要因の順位付けを相互適応的にを行い、これをコンセンサスとして確立することで、インタラクションを通じた協調的なタスク遂行を促進することを明らかにすることを目指す。手法の中心的な部分を自動化して実装し、タスク遂行能力、インタラクション中のビデオ、質問紙、生理指標の分析を総合して評価する。(1) 能動的に提案を行うエージェント、と、(2) 異なるエキスパートとして協調作業を行うエージェント、の 2 つを研究対象のエージェントとし、受動的場面と能動的場面の両面において、インタラクションを通じた協調的なタスク遂行を円滑化するエージェントの実現を目指す。

## 4. 研究成果

(1) 能動的に提案を行うエージェント、と、(2) 異なるエキスパートとして協調作業を行うエージェント、および、(3) 融合エージェント、について、それぞれ説明する。

### (1) 能動的に提案を行うエージェント

本研究課題の遂行以前から開発してきた、重視要因の動的推定とそれを実現する対話エージェントに組み込むインタラクションモデルから、人間がインタラクションを通じて判断基準や重視する要因を変化させ、自身の持つ選好構造を形成しつつ意思決定を行っていることが、個人同士の対面インタラクションに限らず、グループにおいても重要であること、こうした重視度の変化を抽象的表現によって制御することで対話領域をコントロールでき、それがポジティブな印象につながることで、提示する情報の順序と量を制御することで、対話相手の積極的な介入を促し、活発な対話を形成する手がかりとなることを、それぞれ実験的に確認した。また、これらの知見に基づき、抽象的な表現による注目範囲制御とシーケンシャルな情報提示手法を統合した、より自然なインタラクションモ

デルを構築できた。

さらに、意思決定場面において人間が持つ重視要因を推定しながら、人間の思考の発散と収束を考慮した応答を行い、収束を促すためにエージェント側からも自らの意見を表出するエージェントを作成した。このエージェントを用いて、発散のみを行うエージェントと比較する実験を行った。その結果、エージェントの発話に対する反応が積極的になり、インタラクション中に人間の重視する要因の変化を促すことができた。主観的評価においても、対話の自然さ、楽しさ、相談者としての適切さ、考えの広がり・深まりの助け、といった広い項目に関して改善が見られた。エージェント側からの意見の表出は、後ろの項目で説明する「志向姿勢」とも密接に関わりがあり、このような意見表出が人間側の積極的な関与を引き出すという知見は重要である。

さらにこれを進めるために、複数のサブタスクを順次行って全体の目標達成を目指すタスクを設定した。サブタスク間、もしくは、異なる全体目標の間で、お互いのタスクで重視される要因を保持してその影響を伝搬させることで、新しい場面においても、人間の意図をくみ取った提案ができるエージェントを作成し、実験的に有効性を確かめた。その結果、重視要因を保持していたモデルを用いた場合に、有意にエージェントの言うことを聞きやすくなり、また、エージェントへの印象が向上した。さらに、人間側から意見を言う回数が減っているにもかかわらず、主観的には、エージェントの意見には迎合しなかったと感じており、エージェントの発話に信憑性を感じる一方で、自分が言いたいことをいえたという満足感が向上していることが示唆された。

能動的に提案を行うエージェントでは、エージェントの提案を受け入れてもらうと同時に、単純にエージェントに従属するのではなく、人間が提案を吟味する姿勢を作ることが重要である。エージェントの主観的な意見表出や重視要因の保持によって、従属的な提案の選別を超えて、提案の吟味と意見表出を誘発する意思決定を実現できた。

## (2) 異なるエキスパートとして協調作業を行うエージェント

エージェントと人間が対等の立場をとりながら作業を遂行するタスクとして、お互いの認識のギャップや意思疎通のギャップを埋める必要がある状況である、共同的記録タスクを設定して、意思決定場面における重視度推定手法を拡張して適用することを試みた。重視度推定の手法を用い、人間の選考構造を推定しながら共同して撮影を行うシステムを開発し、それを用いて重視度推定の枠組みが共同作業の遂行に与える影響を考察した。実験の結果、人間のように高度なセンシング能力を持たずとも、エージェントが自

分の行動の姿勢を明らかにし、人間の重視点を推定して適応する姿勢を見せることで、作業結果に対する人間の満足感を高め、共同作業を成功に導くことができることがわかった。また、この重視度推定手法が、協調作業場面における互いの意見のすりあわせにおいて有用であることも確認できた。

さらに、同様の共同的記録タスクにおいて、タスクの全体的な目標を、それ達成するためのサブタスクへと分解し、サブタスクとメインタスクについて、エージェントと人間がそれぞれ持っている重視度と、それぞれのサブタスクとメインタスクの間の関係を、二層の重視要因関係性ネットワークで記述することを試みた。その後、このネットワークに基づいて、人間とエージェントの持つ重視要因を、インタラクションを通して循環的に推定する手法を開発し、これの有効性を確かめる実験を行った。その結果、二層重視要因モデルの循環的推定手法によって、タスク全体を俯瞰する視点からの重視要因と、個別のサブタスクを実現する視点からの重視要因において、状況解釈と次の行動生成において適切な助言と行動が可能であることを確かめた。また、実験遂行中に計測した生理指標の変化から、人間にかかっているストレスを評価できることを示唆することができた。加えて、遺伝的アルゴリズムを利用して、人間の主観的な評価基準を学習することで、タスク全体を俯瞰するネットワークを更新するための評価関数を構築し、その評価関数に基づいて更新される重み付けが正常に機能することを確かめた。

異なるエキスパートとして協調作業を行う場合には、作業全体の目標と、個別の作業のサブ目標をすりあわせ、一貫性と連動性を保つことが必要である。二層重視要因モデルの循環的推定手法によって、このような一貫性と連動性を保ったまま、タスクの状況や人間の選好に基づく動的な重視要因の変更を受け入れることができる、意図推定の枠組みを提案することができた。

## (3) 融合エージェント

### 提案に関わる心的姿勢

研究を遂行している段階で、視座協創にはインタラクションに対する能動性と提案を受け入れる受動性の両方を同時に高めなくてはならないことが示唆された。このような問題が、行動デザインが人間に理解されないというエージェント側に原因のあることなのか、エージェントに対するインタラクションの心理的な姿勢という人間側に原因があることなのかを実験的に検討した。その結果、一定の行動デザインのクオリティが必要ではあるものの、特にインタラクションの序盤からしばらくの間は、人間自身のもつ心理的な姿勢として、相手を意思のある存在として扱う心理的な姿勢である「志向姿勢」を持つ場合とそうでない場合で、イン

タラクションの行動そのものが大きく変化することが示唆された。

これを受けて、エージェントと人間のインタラクションを通して、「志向姿勢」を誘発・維持する方法を実験的に検討した。まず、あらかじめ用意しておいた「人間らしい行動」をエージェントにさせることで「志向姿勢」を誘発できるかどうかを確かめた。この実験では、エージェントが人間の行動意図を理解しようと試行錯誤しているプロセスを人間に行動として提示し、エージェントの行動とそれを生成する目的（エージェントの意図）を気づかせることで志向姿勢を誘発するよう働きかけた。結果として、目的を達成するために単純に様々な行動を行うだけでは人間の志向姿勢を維持することができず、エージェントの行動に対する人間の反応を踏まえて、一貫した目的志向行動のプロセスを試行錯誤の過程として表出し、その一貫性を確認すること自体が、エージェントの意図理解や共同意図の構築に大きな役割を果たしていることが示唆された。

上述の実験では、インタラクションそのものを目的としていたため、タスク遂行上の目的を持っている場面ではどうなるかが不明であった。そこで、明確な目的（他のプレイヤーから得点を奪う）のあるタスクにおいて、試行錯誤行動が志向姿勢を誘発できるのか、また、試行錯誤行動以外のインタラクション行動の影響がどの程度あるのかを実験的に検討した。その結果、試行錯誤行動を行うエージェントがプレイヤーであった場合には、タスクの目的である高いスコアをとることをある程度放棄して、エージェントのことを気遣うような行動を行う様子が観察された。しかし、一定の静的なルールのみに基づいて行動するエージェントに対しては、ほとんど無視するような行動を行うか、執拗にエージェントから得点を奪うかという偏りが生じた。このことから、試行錯誤行動やそれに付随する働きかけによる志向姿勢の誘発・維持は、人間の行動をタスクの達成度に影響するレベルで変化させる力があることが示唆された。

#### 融合エージェントの検討

(1)で明らかになった対話の焦点を動的にかつ積極的に変更するモデルと、(2)で開発された意図の循環的推定手法を、概念的に組み合わせた循環的意図更新モデルを持つエージェントを試作した。複数の異なるサブタスクを同時並行的に遂行するタスクを複数回連続で実施するような実験設定を行い、このエージェントの有効性を実験的に確かめた。このタスクでは、(1)で想定されているようにエージェントが様々な提案をしてくれるわけではなく、また、(2)で想定されているようにどちらもが作業をエキスパートであるわけでもなく、人間とエージェントが

お互いに自然な役割分担を行いながら、それぞれが個別に持つ目的の達成を目指すタスクになっている。これは、(1)のようにエージェントの提案を受け入れたり、(2)のようにお互いの能力を協調的に活用したりすることを、タスクの設定のためではなく、自発的に行ってもらうことを想定している。実験の結果、循環的意図更新モデルを持つエージェントに対して、主観的評価において、エージェントから人間側に協力しようとしている感じがするという印象を与え、また、人間側からもエージェントの考えていることを気にする、という形で志向姿勢を誘発することができた。さらに、タスク中に行われた、タスクの遂行とは全く関係のないエージェントからの要請に対して、その要請を受け入れる割合が高くなることが確認された。これらの結果から、循環的意図更新モデルによって、人間とエージェントの重視要因をコンセンサスとしてお互いに理解し、その重視要因に配慮した行動を誘発することができたといえる。

#### 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 0 件)

〔学会発表〕(計 14 件)

1. 片岡操, 周藤沙月, 大本義正, 西田豊明. テーマ表現提示による目標明確化機能を持つ対話型提案システムの実現. 第 27 回人工知能学会全国大会, 2013, 富山国際会議場 (富山).
2. 大本義正, 笹倉隆史, 周藤沙月, 西田豊明. 提示情報の質と量の制御による対話的意思決定への影響. 信学技報 (ヒューマンコミュニケーション基礎), 2013, 立命館大学朱雀キャンパス (京都).
3. 大本義正, 秋友伸也, 西田豊明. 人間とロボットの共同作業における重視度推定の役割の分析. 信学技報 (ヒューマンコミュニケーション基礎), 2014, 沖縄産業支援センター (沖縄).
4. 大本義正, 片岡操, 西田豊明. 社会シグナルに基づくエージェント対話リズムモデル化によるユーザの対話姿勢誘発. 第 28 回人工知能学会全国大会, 2014, ひめぎんホール (愛媛).
5. Y. Ohmoto, M. Kataoka, T. Nishida. The effect of convergent interaction using subjective opinions in the decision-making process. Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, CogSci 2014, 2014, Quebec City (Canada).
6. Y. Ohmoto, J. Furutani and T. Nishida, Induction of Intentional Stance in Human-Agent Interaction by Presenting

- Goal-Oriented Behavior using Multi-modal Information. The Seventh International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications, 90-95, 2015, Nice (France).
7. 松本麻見, 大本義正, 西田豊明. 目的意図と作業意図間の関係性ネットワークを用いた循環的推定. 第 77 回情報処理学会全国大会, 2015, 京都大学 (京都).
  8. Y. Ohmoto, A. Matsumoto and T. Nishida, Effect of Alternating Propagation of Local Objective and Global Purpose by Network-Connected Two-Layer Model of Emphasizing Factors. Proceedings on the EuroAsianPacific Joint Conference on Cognitive Science (EAP CogSci 2015), 15-27, 2015, Torino (Italy).
  9. 松本麻見, 大本義正, 西田豊明. 目的意図と作業意図間の関係性ネットワークを用いた循環的推定. 第 29 回人工知能学会全国大会, 2015, 公立はこだて未来大学 (北海道).
  10. 堀井荘志, 大本義正, 西田豊明. 連続タスクにおける重視要因の発展的推定によるエージェントへの信憑性印象の向上. 第 29 回人工知能学会全国大会, 2015, 公立はこだて未来大学 (北海道).
  11. 陶山昂司, 大本義正, 西田豊明. ユーザの状態観測に基づく戦略行動の動的変更によるエンゲージメント向上. 第 29 回人工知能学会全国大会, 2015, 公立はこだて未来大学 (北海道).
  12. Y. Ohmoto, S. Horii and T. Nishida, The Effects of Extended Estimation on Affective Attitudes in an Interactional Series of Tasks. The Eighth International Conference on Advances in Human-oriented and Personalized Mechanisms, Technologies, and Services, 62-67, 2015, Barcelona (Spain).
  13. Y. Ohmoto, T. Suyama and T. Nishida, Effect on The Mental Stance of An Agent's Encouraging Behavior in A Virtual Exercise Game. The Eighth International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications, 10-15, 2016, Rome (Italy).
  14. 陶山昂司, 大本義正, 西田豊明. 志向姿勢誘発・維持のための循環的意図更新モデル. 第 30 回人工知能学会全国大会, 2016, 北九州国際会議場 (福岡).

〔図書〕(計 1 件)

1. Nishida, T., Nakazawa, A., Ohmoto, Y., Mohammad, Y. Conversational Informatics -A Data-Intensive Approach with Emphasis on Nonverbal Communication, Springer 2014, 317.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大本義正 (Ohmoto, Yoshimasa)

京都大学・大学院情報学研究科・助教

研究者番号: 90511775

研究協力者

西田豊明 (NISHIDA, Toyoaki), 周藤沙月 (SUTOU, Satsuki), 秋友伸也 (AKITOMO, Shinya), 片岡操 (KATAOKA, Misao), 古谷純 (FURUTANI, Jun), 笹倉隆史 (SASAKURA, Takashi), 堀井荘志 (HORII, Soushi), 陶山昂司 (SUYAMA, Takashi), 松本麻見 (MATSUMOTO, Asami)