

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24240023

研究課題名(和文)人間・エージェントの円滑で確実な意思疎通のためのコミュニケーション基盤

研究課題名(英文)A Communication Platform for Fluent and Secure Mutual Understanding among Humans and Agents

研究代表者

西田 豊明(Nishida, Toyoaki)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：70135531

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,300,000円

研究成果の概要(和文)：会話に必要なタスク知識，ドメイン知識，コミュニケーション知識を効率的に獲得できるようにすることにより，人間との間で，タスク構造，状況，状況認識，意図の共有を顕著に高めることを目指している．エージェントの現実的な行動表示を可能にする仮想空間構築支援システムの研究開発，模倣学習の高度化と粒度の大きな会話内容管理方式の実現，グループ意思決定における重視度の動的推定法，オントロジーを用いたタスク共有，志向姿勢誘発に基づく共同意図管理手法の開発，循環的意図更新を用いた情緒的な配慮の誘発，生理指標を用いた心的状態推定などの成果を得た．

研究成果の概要(英文)：This project aimed at significantly increasing sharing the task structure, situation and its recognition, and intention by enabling agents to effectively acquire task, domain and communication knowledge relevant to conversation. Our achievement encompasses a virtual space construction assistance system for agents to demonstrate realistic behaviors, advanced functions of learning by imitation, a dialogue management system with coarse granularity, a method of dynamically estimating emphasizing points for group decision making, ontology-based task-sharing, a method for joint intention management based on inducing an intentional stance, a method of invoking emotional concerns by cyclic intention update, and using physiological indices to estimate mental states.

研究分野：知能情報学

キーワード：会話情報学 会話エージェント 会話基盤 意思疎通 状況理解 共同意図管理 インタラクション分析

1. 研究開始当初の背景

会話エージェントは、会話という人間が日常親しんでいるコミュニケーション様式によってインターネット上の様々なサービスを提供するための有力な存在となりつつある。近年の会話エージェント研究は、コミュニケーションの細部に注目したものが多く、コミュニケーションの品質は高まる一方で、タスク達成能力が十分ではなく、会話エージェントの本来の特長を發揮していないという感が否めない。本研究提案者の研究も例外ではなく、会話エージェントのプレゼンスが弱く、複雑なタスクを長期にわたり人間と共同遂行する能力、人間とのタスク共同遂行に必要な状況共有能力、複雑で継続的な発展性のあるコミュニケーション能力を欠いていた。

2. 研究の目的

本研究では、会話に必要なタスク知識、ドメイン知識、コミュニケーション知識を効率的に獲得できるようにすることにより、人間との間で、タスク構造、状況、状況認識、意図の共有を顕著に高めることを狙う。実空間内の会話ロボット、および、人間と会話エージェントが共有できる仮想的な視聴覚場を構築し、実験と評価を行う。

3. 研究の方法

従来研究で開発した没入型インタラクション環境 ICIE を複数台接続した設備を用いて、その上で WOZ (Wizard of Oz)、会話エージェント、会話ロボットを動作させ、相互に連携する次の6つの研究項目を設定して、研究を推進する。

(1) 場の共有。実世界の静止風景が再現された仮想空間を再現し、人と会話エージェントの様々なインタラクション実験を行う。

(2) 頑健な会話基盤。準教師付の言語・非言語コミュニケーションを研究開発し、ノイズへの耐性の強化、高次元化、インクリメンタル化を行う。また、データ指向の会話内容表現方式とその利用法も検討する。

(3) 状況理解・評価。オントロジー、会話構造知識、感情モデルを統合した視聴覚シーンの解釈・評価アルゴリズムを開発する。

(4) タスク共有。ドメイン・タスクオントロジーを開発し、視聴覚シーンのタスク指向解釈と予測ができるようにする。

(5) 共同意図管理。各タスクに対する共通認識の調整に基づく共同意図の積極的な形成の方式を確立する。

(6) インタラクション分析。従来から用いられてきた質問紙調査とビデオ分析に加えて生理指標を用いた参加者の心的状態の推定に基づく新しいインタラクション分析法を開発し、本研究において用いる。

4. 研究成果

以下では、各研究項目について、得られた

成果について説明する。

4.1 場の共有

従来構築してきた実空間の仮想化システムを進展させ、エージェントが円滑に行動できる現実的な仮想空間の構築を支援するシステムの開発に取り組んだ。

(1) 屋内外のシームレスな仮想空間化

ユーザが屋内・屋外をシームレスに移動しつつ、目的の建物や周りの風景の詳細を把握できるだけの画像をユーザに表示する一方で、エージェントが自由に歩き回ることのできる空間を実現するためにエージェントにはポリゴンメッシュを与え、ユーザには風景を写真で表示する新しいタイプの仮想空間を提案し、この仮想空間を自動構築するシステムを開発した。

(2) インタラクティブで簡便な3次元空間構築システム

没入型環境内で、リアルタイムにインタラクションを行いながら、3次元空間を簡便に素早く再構築するシステムを開発した。人物キャラクターの行動を、没入型環境内でリアルタイムに行った動作データを元に、あらかじめインタラクション計測システムにおいて計測しておいた動作とのマッチングと組み合わせによって、簡便に表現できるようにした。

4.2 頑健な会話基盤

会話インタラクションのデータから会話エージェントが所与のロールの行動パターンを推定し実行する模倣学習の高度化と、粒度の大きな会話内容管理の方式の研究を行った。

(1) 模倣学習の高度化

時系列マイニングアルゴリズムの高速化、多次元化、頑健化、焦点機構を導入し、長時間にわたり継続的な学習を行う流動的模倣学習アルゴリズムの総合的な提示と、主要アルゴリズムの実装を行った。模倣学習におけるユーザ側からのエージェント印象評価を推定する研究を行い、人間がロボットを模倣する逆模倣や、模倣し合う相互模倣でエージェントの印象が高まることを見出した。

インタラクションデータからインタラクションのパターンと因果性を推定する一連の模倣学習手法の取りまとめを行うとともに、アルゴリズムをツールボックスとして取りまとめた。

(2) 話題の記憶と回帰に基づく発話生成

過去の話題からの影響と、過去の話題への回帰の2つの原理に基づく発話生成方式の実現と評価を行った。この方式では、発話は状態遷移エッジとしてモデル化する。状態の記述としては多重集合を採用し、状態同士のマッチングには積集合の要素数を用いた。

既存の会話手法よりも「話題展開」「人間らしい会話」において評価の高い手法として話題回帰モデルの有効性を示し、話題記憶モ

デル、話題回帰モデルの提案と実装によって会話生成における新しい方向性を示すことができた。

4.3 状況理解・評価

状況理解に関しては、人が会話で参照される諸事項をどれだけ重視しているかを表す重視度と概念の確立に焦点をあてた。

(1) 抽象表現を用いたタスクにおける重視度変化推定と提案

服装コーディネートを題材として、会話のトピックとなっているものの全体のイメージと個別の要素との調和を、インタラクションを通じて円滑に確立できるようにするために、インタラクションの中で目標イメージに向かいながらユーザの要望や全体イメージを形成していくアプローチで提案プロセスをモデル化した。

提案モデルの有用性を確かめるため、「コーディネート選定タスク」を用いてシステムによる提案および提案プロセスを評価検証した。全体イメージを評価要因に加えた上で、動的にユーザの重視度変化を推定する手法を用いたところ、最終決定案の満足度について高い評価を保ったまま、意図の汲み取り具合について高評価を得ることができた。

(2) 重視度推定に基づくシーケンシャルな情報提示

インタラクションを通じて推定する重視要因に基づいて、提示する情報の量と優先度を制御することで、複数の選択肢から人間の希望するものを選ぶようなタスクにおいて有効なシーケンシャルな情報提示の実現に取り組んだ。実験により、ユーザの発話を引き出し、最終的な決定の満足度を高めるために情報量及び情報提示順序制御を用いることの妥当性が示された。

(3) 人間とエージェントの相互理解を深めるための重視要因の共同構築

互いに共同で重視要因を構築・確認していくプロセスを経ることで、人間とエージェントに相互理解を深める動きがあるという仮説を検証するために、依存関係にある複数のタスクを設定した参加者実験を行った。その結果、重視要因推定・保持モデルを用いた場合に、前のフェーズと比べてエージェントの提案回数が有意に減少したという結果が得られた。また、アンケート結果を解析したところ、エージェントの一生懸命さに有意傾向が見られ、エージェントの人間らしさ、エージェントと意見を合わせるかという点で有意差が見られた。

4.4 タスク共有

人間と会話エージェントの間でのコミュニケーション基盤として、タスク知識を共有することは重要である。オントロジー構築が基本的であるが、タスク知識は暗黙性もあるので対応が必要である。

(1) 社交ダンスを題材としたドメインオ

ントロジーとタスクオントロジー

社交ダンスを例題として、実際の教示シーンに着目して、教示者が学習者に提示する評価指標を抽出することで動作の良し悪しを判断するシステムを構築した。

評価実験の結果、初学者に提示される内容程度の評価指標に対して有効な判断を下すことができるという評価を得た。また、同じ評価指標を持つ異なるステップに判別式を適用した場合にも一定以上の判別率を持つことを確認した。

(2) ナビゲーションタスクのためのエージェント行動デザイン

エージェントが人間をナビゲーションするための行動をデザインするためのシステムを作成した。本システムは、ナビゲーションにおけるエージェントの行動をデザインするために、エージェントの行動モデルと参照すべき空間情報を分離せず、WOZ エージェントを用いた実際のインタラクションデータから、行動モデルと空間情報を同時に関連づけて獲得するという特長を有する。

(3) 共同記録タスク

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として、共同記録タスクを対象として、人間とロボットがインタラクションを行いながら共同でタスクを遂行する手法を検討した。

その結果、ロボットの持つ物理的制約を考慮してタスク状況を作り込むと、インタラクションを必要とせずに大部分のタスクが遂行できてしまうことが多いことを確認した。一方、タスク状況の自由度を上げると、加速度的に用意すべきオントロジーの空間が拡大していき、観測が難しい人間の内部状態に依存した状況判断が必要になることも同様に確認された。

(4) 教示行動からの時間発展的なドメインオントロジーの構築

社交ダンスの指導を題材として、初心者から始まる習熟過程全体の教示行動および動作データを取得し、教示と関連する動作パターンや時間発展的に習熟する動作のポイント抽出を試みた。2人の習熟過程を分析し、学習段階の収束したタイミングに注目することで、異なる動作パラメータ間の時系列的な依存関係と同時に教えることが困難な動作パラメータを抽出することができた。

(5) ストーリーに基づく連続タスクに対するオントロジー

異なるタスクが一定のストーリーに基づいて連続して行われる状況において、タスク間でオントロジーの重み付けを伝搬させることで、タスク間の話題の発展に対応して対話を発展させることができるエージェントを作成した。

(6) メタオントロジーを暗黙的に保持する二層重視要因モデルの循環的推定手法

重視要因を目的ごとに分離して2層にし、それぞれの要素をメタなオントロジーを通

して循環的に接続し、その伝搬によって重視要因を推定する手法を開発した。シミュレータを用いた実験の結果、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オントロジーと、個別タスクを実現する視点からのオントロジーにおいて、タスク遂行中の人間の反応に基づいて重みを変更し、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。

4.5 共同意図管理

志向姿勢という意図の知覚のレベルまで遡って共同意図を管理する方法を探った。

(1) 意図の表出

タスクオントロジーを手動で可能な限り精緻に構築し、それに基づく対話応答を自動化した上で、フィラーや直前の発話に関連する話題の提案、および、社会的シグナルの表出を用いて、オントロジーに規定されていない現象が出現してもインタラクションを維持するエージェントを作成した。

実際的意思決定タスクにおいて運用したところ、特に、エージェント自らの意見を持っているように振る舞った場合において、会話の楽しさ、説明の適切さ、相談相手としての妥当性などに対するアンケートにおいて「良くも悪くもない」の評価よりも高い評価を得ることができる対話を生成することができたことが確認された。

(2) 志向姿勢誘発

予備実験により、エージェントをコミュニケーションパートナーとなり得る知性や能力を持つと人間に感じさせるためには、エージェントの行動デザインもさることながら、人間自身のもつ心理的なスタンスを変更する必要があることが示唆された。

高鬼を題材とした実験の結果、人間がエージェントへ働きかけたことやエージェントが人間に働きかけたことに対して、理解しようとする姿勢や評価・解釈したことをお互いに提示し合い、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。

ボール当てゲームを題材とした実験の結果、戦略の動的変更を行ったエージェントが、実験参加者に有意に意図を感じさせることができたことがわかった。

以上により、目的志向行動はある程度一般的に人間の志向姿勢を誘発することが可能であり、また、人間の行動に応じてエージェントの行動が変わることが感じられると、インタラクション行動が暗黙的に変化するということが示唆された。

(3) 人間側からのエージェントへの能動的インタラクションの誘発

旅行に行く場所を決める意思決定タスクを題材として、エージェントの社会的シグナルの表出行動によって、会話の参加と離脱に

どのような影響があるのかを実験的に調べた。

実験では、エージェント同士が会話を行っている様子を見せることで、エージェントに対するインタラクションのサンプルを認識させるという手法と、エージェントの頭部方向（視線方向）によって会話の参加を促すという手法を複合させた。

実験の結果、頭部方向の提示によって、人間が比較的スムーズに会話に参加する様子を確認することができた。

これにより、エージェント同士の会話場に人間を招待する場合にも有効であることが示唆された。また、エージェントが会話のサンプルを提示する場合の方が、サンプルを提示しない場合よりも、自分（人間）の方に意識を向けていると感じるという現象が見られた。

(4) 循環的意図更新モデル

ゲームへの勝利という明確な目的のあるタスクにおいて、目的志向性だけではなく、エージェントの意図を推定させることで志向姿勢やエージェントへのエンゲージメント、あるいは、人間への情緒的な配慮を誘発できるのかを検討した。そのために、没入型環境 ICIE を用いた仮想空間で、人間2人とエージェント1体で、お互いにボールを当てることで得られる得点を競うゲームをタスクとして遂行する実験を行った。

実験の結果、アンケートによる主観的報告では、戦略の動的変更を行ったエージェントが、実験参加者に有意に意図を感じさせることができた。

一方、ゲーム内でのインタラクション行動（特に、ボールをぶつけること）を観察すると、動機付け発話のみを行ったエージェントも戦略の動的変更を行ったエージェントも、人間のプレイヤーと同程度のインタラクション行動をとられていることがわかった。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は、ボールをぶつけられる割合が、極端に高くなるか低くなるかで偏りが生じることが観察された。

これらのことから、目的志向行動はある程度一般的に人間の志向姿勢を誘発することが可能であり、また、一定の志向姿勢が誘発されることで、ゲームの勝利とは別に、エージェントに対する情緒的な配慮（ここでは、ボールをぶつける行為を均等にしようとする）が暗黙的に誘発されることが示唆された。

以上の知見を統合するために、目的志向性の提示による志向姿勢の誘発・維持を行うエージェントをベースに、人間側が持つ意図の推定結果から提示する目的志向性を循環的に更新するモデルを持ったエージェントを作成し、実験を行った結果、相互に影響し合いながら意図を推定する手法は、目的志向性提示による志向姿勢の誘発・維持においても有効であることを確認できた。

4.6 インタラクション分析

インタラクションの分析は今回のような研究を通して重要なプロセスである。インタラクション分析を円滑かつ高信頼に行うための手法を開発した。

(1) 事例ベースによるアノテータ間の基準の共有

各アノテータがアノテーション内容から特徴点を抽出し、分析対象に関するデータの要約とまとめて、事例ベースでアノテータ間で基準を共有するというアノテーションプロセスを提案し、各アノテータが、他アノテータの持つアノテーションルールの理解と自己のアノテーションルールの再構築を同時進行で行うシステムを作成した。社交ダンスをアノテーション対象として、評価を行った結果、システムによる他のアノテータの評価基準抽出、提示機能が、アノテータ間での採点基準の一貫性向上に有用に働いていることが確認できた。

(2) 生理指標を用いた心的状態の推定

生理指標（皮膚電気抵抗と心電）の変化を計測して、タスク遂行中の人間の心的状態を推定する方式のプロトタイピングを行った。

継続的インタラクションを行うタスク中に、生理指標（皮膚電気抵抗と心電）を計測し、その反応の変化を用いて、タスク遂行中の人間の状態を評価することを検討した。ゲーム遂行中に行われるエージェントからの（人間の心的状態に依存して変化する）助言のタイミングによって、その後のタスク遂行にどのような影響があるのかを見ることで、タスクの評価として利用できるかどうかを検討した。実験の結果、助言のタイミングによってその後のタスク遂行態度が明確に変化することが示され、しかも、その変化が明らかな生理指標反応パターンの変化として抽出できることを確認した。さらに、その変化の原因が、人間の主体的行動によるものか、外部からの刺激に対する受動的解釈によるものかを分離できる可能性が示唆された。

(3) 生理指標を用いた習熟度推定

タスクや日常的活動の時系列に沿って、詳細で客観的な心的状態の評価手法を開発することを目的として、タスクパフォーマンスと生理指標の時系列データから、技能タスクの習熟段階推定を試みた。

タスクとしてはシューティングゲームを設定し、繰り返しプレイすることによって徐々に習熟していく様子を、1プレイの中のコンテキストと、連続した複数のプレイ間でのパフォーマンス、および、プレイ中の生理指標の時系列パターンの変化から推定することを目指した。各プレイヤーについて延べ4時間にわたるゲームプレイを通して習熟していく様子を記録した。

実験から取得された分析の結果、「習熟曲線」に見られる不調時に新しい法則を考案し、タスクパフォーマンスのフィードバックを

受けて定着していく様子を検出できた。また、パフォーマンスには表れにくい、定着の前段階を生理指標からある程度推定できることが示唆された。

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8件)

1. D. Lala, T. Nishida. A data-driven passing interaction model for embodied basketball agents, *Journal of Intelligent Information Systems*, Online First (2015)
2. Y. Mohammad, T. Nishida. Exact multi-length scale and mean invariant motif discovery, *Applied Intelligence*, 44(2), 322-339 (2015)
3. Y. Mohammad, T. Nishida. Learning interaction protocols by mimicking: Understanding and reproducing human interactive behavior, *Pattern Recognition Letters*, 66(C), 62-70 (2015)
4. Y. Mohammad, T. Nishida. Why Should We Imitate Robots? Effect of Back Imitation on Judgment of Imitative Skill. *Int J of Soc Robotics*, 7(4), 497-512 (2015)
5. D. Lala, T. Nishida. Modeling Agent Interactions using Common Ground Knowledge from a Joint Activity Theory Perspective. *International Journal of Software Science and Computational Intelligence (IJSSCI)*, 5(4), 1-19 (2013)
6. Y. Ohmoto, D. Lala, H. Saiga, H. Ohashi, S. Mori, K. Sakamoto, K. Kinoshita, T. Nishida. Design of Immersive Environment for Social Interaction Based on Socio-Spatial Information and the Applications. *J. Inf. Sci. Eng.* 29(4), 663-679 (2013)
7. Y. Mohammad, T. Nishida. Fluid Imitation, *International Journal of Social Robotics* 4(4), 369-382 (2012)
8. T. Nishida. Augmenting Conversational Environment, *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, 6(4), 103-124 (2012)

〔学会発表〕(計41件)

1. Y. Ohmoto, A. Matsumoto, T. Nishida. The Effect of Alternating Propagation of Local Objective and Global Purpose by a Network-Connected Two-Layer Model of Emphasizing Factors. *EAPCogSci 2015*, Torino, Italy, September 25-27, 2015
2. 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, Quebec City, Canada, July 23-26, 2014
3. D. Lala, C. Nitschke, T. Nishida. User perceptions of communicative and task-competent agents in a virtual basketball game, Proc. ICAART 2015, pp. 32-43, Lisbon, Portugal, Jan. 10-12, 2015.
 4. S. Tatsumi, Y. Mohammad, Y. Ohmoto, T. Nishida. Detection of Hidden Laughter for Human-agent Interaction, Procedia Computer Science, Volume 35, 2014, Pages 1053-1062
 5. Y. Ohmoto, Y. M. Kataoka, T. Nishida, Extended Methods to Dynamically Estimate Emphasizing Points for Group Decision-making and their Evaluation. The 9th International Conference on Cognitive Science, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 97, 6 November 2013, Pages 147-155
 6. Y. Mohammad, T. Nishida, A. Nakazawa. Arm pose copying for humanoid robots. IEEE ROBOT 2013: 897-904
 7. D. Lala, T. Nishida. A Collaborative Pointing Experiment for Analyzing Bodily Communication in a Virtual Immersive Environment, in: K. Sugawara et al (eds). Proc. 11th IEEE Int. Conf. on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC 2012), pp. 50-57, 2012 (The Best Paper Award)
 8. T. Nishida. Conversation Quantization as a Foundation of Conversational Intelligence, Invited Talk, Workshop on Databases in Networked Information Systems (DNIS), University of Aizu, Japan, March 25 - 27, 2013
 9. T. Nishida. Augmenting Conversational Environment. Keynote talk, 2012 11th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC 2012), Kyoto, Japan, August 23, 2012.
 10. D. Lala and T. Nishida. Joint Activity Theory as a Framework for Natural Body Expression in Autonomous Agents, 1st International Workshop on Multimodal Learning Analytics, Santa Monica, CA, Oct. 26, 2012.

〔図書〕(計2件)

1. Mohammad, Y., Nishida, T. Data Mining for Social Robotics: Toward Autonomously Social Robots, Springer 2015.

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

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

西田豊明(Nishida, Toyoaki)
京都大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号: 70135531

(2)研究分担者

中澤篤志(Nakazawa, Atsushi)
京都大学・大学院情報学研究科・准教授
研究者番号: 20362593
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

Yasser Mohammad, Divesh Lala, 神田賢一, 伊豆蔵拓也, 木下和巳, 周藤沙月, 森禎悟, 羅潤萍, 秋友伸也, 片岡操, 古谷純, 笹倉隆史, 丹下雄太, 森本俊成, 小嶋翔太, 吉野真弘, 堀井荘志, 竹末祐二, 武田星児, 陶山昂司, 松本麻見, 松田貴大, 樋口修