

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 5 月 17 日現在

機関番号：14301
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2010～2011
課題番号：22650026
研究課題名（和文）状況・イメージ・言語を統合したコミュニケーション自律学習メカニズム
研究課題名（英文） Self-initiated Communication Learning Mechanism by Integrating Situation, Image, and Language
研究代表者
西田 豊明 (NISHIDA, TOYOAKI)
京都大学・大学院情報学研究所・教授
研究者番号：70135531

研究成果の概要（和文）：

本研究では、状況・イメージ・言語を統合した言語・非言語コミュニケーションの自律学習メカニズム構成法に関わる基礎的研究を行うことを目的としている。本研究の成果は、共感エージェントのアーキテクチャ、マルチモーダルインタラクションデータからの言語・非言語対応関係の抽出とエージェント行動パターン生成、行動則の段階的獲得による指示パターン学習とタスク学習の実現、能動的な模倣を行う学習アルゴリズムから構成される。

研究成果の概要（英文）：

This research addresses fundamental aspects of a self-initiated mechanism for learning verbal-nonverbal communication integrating situations, images, and language. The result consists of the architecture for empathic agents, a method for extracting verbal-nonverbal associations from multi-modal interaction data and its application to creating agent communication behavior patterns, learning instruction patterns and task structure by incremental acquisition of behavior rules, and algorithms for self-initiated learning by mimicking.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	0	1,900,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,000,000	330,000	3,330,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：学習，知識獲得，言語・非言語コミュニケーション

1. 研究開始当初の背景

人工システムの提供する機能が高度化・知能化すると、インタフェースのデザインが非常に困難になり、サービス提供の隘路となる。会話エージェント研究では、人間同士の会話的インタラクションメカニズムを人工システムに組み込んで人工システムを汎用のコミュニケーション能力を持つエージェント化することにより、人間にとって自然で使い

やすいインタフェースを実現する試みを行ってきた。

我々の研究グループでも、従来の会話エージェントや実世界インタラクションの研究（特に、平成 13～17 年度学術創成研究費研究「人間同士の自然なコミュニケーションを支援する知能メディア技術」、平成 18～22 年度特定領域研究「情報爆発 I T 基盤」計画班 A03「実世界インタラクションの分析・支援・

コンテンツ化)において、会話の詳細な計測と分析に基づく非言語インタフェース構築法の研究を推進している。しかし、このようなアプローチは会話の分析・モデル化・評価を繰り返し試行しなければならず、多大な時間と労力を要する。この問題を本質的に解決するためのブレークスルーとして、人工システムが人間の専門家のように、クライアントとの継続的なコミュニケーションを通して意思疎通のためのプロトコルを自律的に確立できるようにすることが考えられる。

我々は、従来研究において非言語コミュニケーションのための自律模倣学習システムの枠組み EICA を考案し、コミュニケーションプロトコルを協調的に獲得するエージェントを試作した。しかし、EICA は追加学習機能と言語学習機能を備えておらず、コミュニケーションプロトコル獲得能力には限界があった。

2. 研究の目的

本研究では、状況・イメージ・言語を統合した言語・非言語コミュニケーションの自律学習メカニズム (Self-initiated learning mechanism) 構成法に関わる基礎的研究を行うことを目的としている。この目的を達成するために、①このメカニズムを用いた会話エージェントシステムのトータルなデザイン、② 言語・非言語表現を統合したインタラクションデータからの学習アルゴリズム、③ 状況を考慮したインタラクション学習、④ 自律的な学習メカニズム、に焦点を当てて研究を行う。

3. 研究の方法

会話エージェントシステムのトータルデザインを行うために、脳のミラーニューロン、共感メカニズム、McNeill の成長点・キャッチメント理論など、関わりの深い文献を調査し、状況・イメージ・言語の統合的なコミュニケーションに関わりの深い認知メカニズムに関する検討を行い、会話エージェントシステムのアーキテクチャの仮説を構成する。

言語・非言語表現を統合したインタラクションデータからの教師なし学習アルゴリズムの研究を行い、クラスタリングの品質の向上を試みる。その効果を評価実験によって検証する。

現実のコミュニケーションに適用できるようにすることを念頭に置き、指示パターン学習とタスク学習の両方を達成する必要があるタスクを設定する。マルチモーダルデータからエージェントがユーザとのインタラクション状況を推定し、状況に応じた行動を遂行できるようにするための手法について研究する。

自律的な学習メカニズムを実現するため

に、模倣学習の枠組みを拡張し、エージェントがたとえアクティブに教示をしていない場合でも自分自身で学習に対する動機づけを行い、模倣する対象を決定する手法について研究する。

4. 研究成果

本研究の成果は、共感エージェントのアーキテクチャ、マルチモーダルインタラクションデータからの言語・非言語対応関係の抽出とエージェント行動パターン生成、行動則の段階的獲得による指示パターン学習とタスク学習の実現、能動的な模倣を行う学習アルゴリズムから構成される。

(1) 共感エージェントのアーキテクチャ

会話エージェントシステムのトータルデザインを行うために、今後の人間とテクノロジーの間の関わり方について根源に遡って考察してみると、テクノロジーとその活用法をパッケージ化したエージェントが人間と共感的関係を作り出し、それを維持する能力を持たせることが本質的であるという結論に至る。その主たる理由として、情報爆発がやがて引き起こすテクノロジー爆発に起因する、テクノロジーの乱用、責任の破たん、モラルの崩壊、テクノロジーへの過度の依存の4つの問題があげられる。はじめの二つの問題は、公的なメディアータによる人間間のインタラクションの媒介によってかなり回避できると考えられるが、残りの二つの問題はむしろ悪化し、想定しない原因によるテク

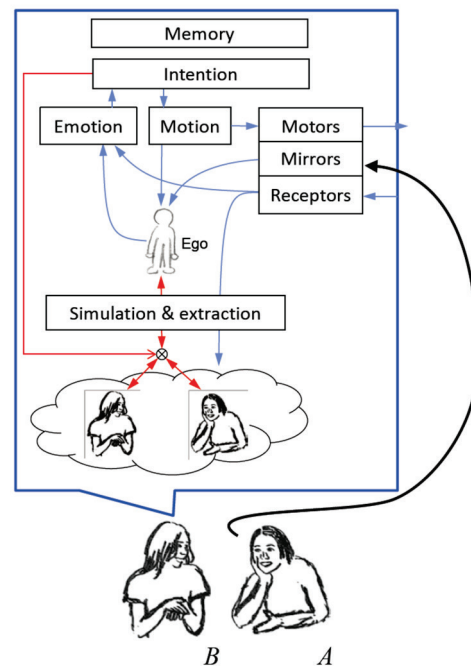


図 1: 共感の計算モデル

ノロジーのブレークダウンが生じた場合に深刻な問題を引き起こすことが懸念される。そのような事態に至るシナリオを生じさせないようにするためには、常時から共感・モラルとテクノロジーの相乗的な強化、つまり、テクノロジーによって人間の共感能力とモラルを培い、ブレークダウンからの回復力を高めることが必要であると考えられる。共感もモラルも互恵的なものであることを勘案すれば、テクノロジーとその活用法さらには学習法までをパッケージ化したエージェントに共感する能力とモラルを賦与することが、テクノロジーに潜在する問題へのソリューションになりえることが帰結される。

認知脳科学などにおけるミラーニューロン仮説に基づく共感のメカニズム、さらに、認知科学におけるコミュニケーション行動の発生に関わる仮説を総合すると、図1のような共感の計算モデルを仮定することができる。

このモデルは、コミュニケーションにおける共感は、参加者がミラーニューロンなどの手助けによって生成する自分と他者イメージにもとづく行動生成メカニズムとそれを統制する、感情・意思決定・記憶およびその学習メカニズムから構成される。

このモデルに従えば、共感の強さは、このモデルがどの程度機能するかによって規定される。別途研究開発してきた没入型インタラクティブ環境は、相手の視点からの状況の再認知を支援するとともに、エージェントに共感能力とモラルを賦与するための、基本的なエンジンとして位置づけることができる。

本研究では以上の骨子に基づく言説をとりまとめ、共感エージェント実現への道を示した。

(2) マルチモーダルインタラクティブデータからの言語・非言語対応関係の抽出とエージェント行動パターン生成

ロボットナビゲーションタスクにおいて言語・非言語の組み合わせによる指示を連続インタラクティブデータから学習するシステムを用いたロボットナビゲーションパターン獲得実験を行った。インタラクティブデータは、人間の指示行動とそれに対応するロボットの行動をWOZで模倣することによって得られたものであり、人間の手に取り付けたマーカー位置をモーションキャプチャによって計測して得られた3次元座標データからなる連続時系列データ、発話内容を書き起こしたラベルデータの離散的な時系列データ、ロボットに取り付けたマーカーからモーションキャプチャの計測値から算出したロボットの向きと位置座標（各3次元）から構成される。実験に用いたシステムは、セグメンテーションを行うコンポーネントと、ク

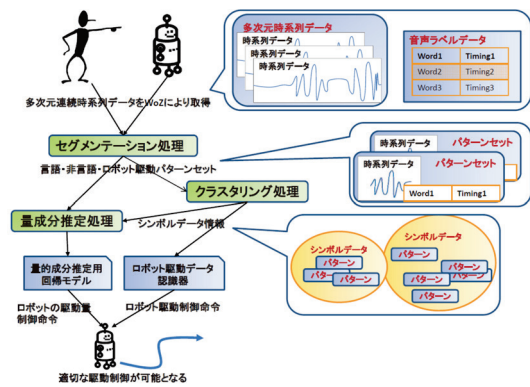


図 2: 回帰モデルを用いたモーターコマンド獲得

ラスタリングを行うコンポーネントから構成される。セグメンテーションを行うコンポーネントでは、ジェスチャ系列の極値と変化量に基づいてセグメンテーションを行ってジェスチャ系列、アクション系列（離散時系列）を生成する。クラスタリングコンポーネントは、ジェスチャ、言語ラベル、アクションの3つ組の系列を受け取り、クラスタリングを行う。

仮定した実験により得られたデータでシステムを評価し、クラスタリングについて従来手法と比較を行い良い精度が得られることを確認した。そして、実際に求めるべき言語・非言語の統合指示パターンがある程度得られることを確認した。

次に、各シンボルのデータに対して、ロボットを駆動するための量的な情報を得るために、回帰モデルを構築する研究を行った。この研究では、シンボルの言語・非言語表現を入力とし、ロボット駆動のためのモーターコマンドを出力とし、その対応関係を学習させる。学習の結果、ある言語・非言語指示が入力された場合に適切だと推測するモーターコマンドの定量的情報が出力される。回帰モデル構築に際しては、言語・非言語パターンをそれぞれに無相関な説明変数とし、モーター制御信号をその予測値として回帰分析のモデルに投影する。時系列データと性的データの両方を変数として学習する2段階の回帰モデルを提案した。

予備実験の結果、構築した回帰モデルごとに最適な変数を用いたAR(Accuracy Rate)モデルは異なっているため、交差検定を用いて学習データ取得時に正解率が最良となるARモデルを選択する方式を採用した。これにより、訓練データに適した、比較的高い正解率をもつモデルを得られることがわかった。

(3) 行動則の段階的獲得による指示パターン学習とタスク学習の実現

マルチモーダルなデータをもとに作業内

容に関する知識構造とそれに紐づく行動則を獲得する段階的行動則獲得システムを提案する。このシステムでは、事前のタスク分析で得た知見を元に WOZ (Wizard of Oz) を用いてロボットを操作して行動則を得る Woz フェーズ、その知識と行動則を元に半自律的に動く OJT フェーズという段階を経ている。

本研究ではユーザの手芸作業を撮影するタスクを対象とし、タスク分析によりおおまかな撮影モードを調べ、WOZ フェーズではモダリティの組み合わせと撮影モードを関連付けた行動則を構築し、OJT フェーズではそれぞれの状況ごとの詳細なロボット制御パラメータと相関性の高いモダリティを明らかにする。最初はタスク分析や WOZ 操作など人間の負担が大きい、行動則を追加するたび負担が少なくなり、最終的には自律で動く知識を持ったユーザがロボットを WOZ 操作することで、複雑な作業の知識や行動則も追加していくことができる。

実験では手芸作業をする人間の様子を撮影するタスクを行った。タスク分析では撮影モードがズームの度合いによって手先モード、軌跡モード、全体モードの3つに分けられることが分かった。WOZ フェーズでは使った道具・素材や両手の距離、頭部方向といった複数のモダリティの組み合わせと撮影モードを関連付けた。OJT フェーズでは、ロボットカメラのズームやパン・チルトの制御用パラメータと相関性の高いモダリティを明らかにした。また、ロボットが実験を通じて構築した手芸の知識と、人間の持っている手芸の知識を比較して評価を行い、本システムの有用性を示した。

(4) 能動的な模倣を行う学習アルゴリズム

多次元時系列としてとらえられたインタラクションログに繰り返し出現するパターンの因果関係を推定し、人間とのインタラクションを介して一定のミッションを果たすエージェントのコミュニケーションモデルを生成する手法として提案した学習アルゴリズムについて、いくつかの検討と拡張を加えた。

第一に、変化点検出アルゴリズム RSST を汎化することにより、同じ原理に基づくほかの2つのアルゴリズム (SST, MZ) をインスタンスとして含む Singular Spectrum Analysis 型のアルゴリズムファミリーとして定式化できること、このファミリーにはさらに30個の変種が含まれること、新たに導入した Equality of Sampling Ratio (ESR) という尺度で測ったとき、これらの変種の中にも既知のアルゴリズムより性能の高いアルゴリズムが6個あることを示した。

第二に、従来開発していた制約付きモチー

フ発見プログラム CMD を拡張し、モチーフ長の上限と下限をパラメータとして指定する必要のないモチーフ発見プログラムアルゴリズム G-SteX を開発した。

第三に、従来開発していた変化点発見とモチーフ発見プログラムを核とし、さらに評価用信号生成ルーチン、評価ルーチンを含むツールパッケージを開発し、公開し、論文も刊行した。

第四に、複雑なシステムに含まれる複数のプロセスの挙動から因果関係をグラフ構造として抽出するアルゴリズムを開発した。提案したアルゴリズムは、SSA に基づく変化点検出、PCA をもちいた次元圧縮、プロセス変化における因果関係の抽出に基づく遅延の整合性のテストを組み合わせたものである。このアルゴリズムはまた、原因と結果の間の遅延の分布を求め、それに基づいて確信度を算出する。

第五に、時系列解析と因果性検出の技術を組み合わせて、自己創発型模倣学習エンジンを構成した。このエンジンは、模倣対象の行動のどれを模倣すべきか決定するために、環境内にあるオブジェクト、高次認知、模倣対象の知覚と行動からの情報を統合的に使用する。この手法の有効性をロボットおよびそのシミュレーション版を用いて確認した。

第六に、センサ・モータ単一空間表現と個別空間表現を用いた自己創発型模倣学習の比較評価を行い、単一空間表現を用いたアプローチの方が高精度・敏感であり、かつ、異なる提示における参照枠や初期値の効果を除くための前処理も不要であるという優れた性質を持つことを実験的に示した。

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1件)

- ① Toyoaki Nishida: Towards Mutual Dependency between Empathy and Technology, 25th anniversary volume, AI & Society, 2012 (online first)

[学会発表] (計11件)

- ① Yasser Mohammad and Toyoaki Nishida, Discovering Causal Change Relationships Between Processes in Complex Systems, IEEE SII 2011, pp. 12-17
- ② Yasser Mohammad and Toyoaki Nishida, On Comparing SSA-based Change Point Discovery Algorithms, IEEE SII 2011, 938-945 (The Best Paper Award).

- ③ Toyoaki Nishida: An Engineering Approach to Conversational Informatics, Invited Talk, International Workshop on Multimodality in Multispace Interaction (MiMI), Takamatsu, Japan, December 1-2, 2011.
- ④ Toyoaki Nishida: Talking with Uncertainty, Keynote Speech, the International Symposium on Integrated Uncertainty Management and Applications (IUKM 2011), October 28-30, 2011.
- ⑤ Toyoaki Nishida: Towards Conversational Artifacts, Keynote Speech, The 2011 International Conference on Active Media Technology — AMT-2011, September 7-9, Lanzhou, China
- ⑥ 岡田将吾, 伊豆蔵拓也, 西田豊明: 二段階モチーフ発見アルゴリズムに基づく連続インタラクションデータからのジェスチャパターンの抽出とロボットナビゲーションへの応用, 人工知能学会全国大会, 2011
- ⑦ 坂本佳愛, 岡田将吾, 西田豊明: 時系列マルチモーダルデータマイニングを用いたロボットの撮影行動則の獲得, 人工知能学会全国大会, 1G3-4, 2011
- ⑧ 伊豆蔵拓也, 岡田将吾, 西田豊明: 回帰モデルに基づく言語・非言語指示パターンによる移動ロボットのための制御則の獲得, 人工知能学会全国大会, 3B1-OS22b-3, 2011
- ⑨ Toyoaki Nishida: From observation to interaction. Keynote Talk, SSPW 2010: ACM Workshop on Social Signal Processing, Florence, Italy, October 2010.
- ⑩ Toyoaki Nishida: Social Intelligence Design for Cultivating Shared Situated Intelligence, Keynote Talk, The 2010 IEEE Conference on Granular Computing (GrC 2010), Silicon Valley, USA, 14-16 August 2010.
- ⑪ 坂本佳愛, 岡田将吾, 西田豊明: 連続インタラクションデータからのインタラクションコンテキストの変化点の検出, 3E2-1, 人工知能学会全国大会, 2010年6月

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

受賞 1件

1. December 21, 2011. Yasser Mohammad and Toyoaki Nishida received SII2011 Best Paper Award (Control) from 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, December 20-22, 2011, Kyoto Japan. Yasser Mohammad and Toyoaki Nishida, On Comparing SSA-based Change Point Discovery Algorithms, IEEE SII 2011, 938-945.

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

研究協力者

大本義正, 岡田将吾, Yasser Mohammad, 名
 淵博人, 伊豆蔵拓也, 坂本佳愛