

研究報告書

「長期インタラクション創発を可能とする知能化空間の設計論」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成21年10月～平成27年3月

研究者: 尾形 哲也

1. 研究のねらい

本研究課題では、人間とロボットを含む実世界の知能システムが互いの予測と適応を繰り返すことで、発展していくコミュニケーション(事象やそれを表すサイン)に着目した。実環境変化を予測する順モデルを構築し、これを能動的な環境認知、言語への変換、さらにインタラクションに適用する。このモデルから、人間と長期に渡って飽きずにコミュニケーションできる知能システムの設計論を構築し、複数のロボットシステムへの適用を図る。

クラウドに代表される計算機上のデータは、現実の物理世界を反映してはいるが、その処理過程は現実世界のダイナミクスとは乖離しており、ロボットのような実世界で稼働するシステムが直接利用する事は難しい。本研究では「物理的な”身体”という拘束条件を介した環境とのインタラクションが、観測データの解釈のための文脈を与える」という視点からの知能システムの実現を目指した。

具体的には以下の3つの研究項目を挙げて取り組んだ。

第一の研究では、実環境データを神経回路モデルにより動的に構造化する手法に取り組む。具体的には、人間型ロボットによる能動的な物体等の知覚プロセスを、神経回路モデルを利用して学習、汎化する事で、感覚運動データからの物体や道具等の表現の獲得を目指した。

第二の研究では、言語を神経回路モデルにより”力学モデル”として表現し、実環境モデルと統合について、神経回路を用いた手法の検証を行う。具体的には、ロボットの感覚運動データとそれに対応する文章の相互連想を神経回路で実現する。ここで重要となるのは、一つの行為を表現する文章は多様に存在し、また逆に一つの文章に対応する行為も多様に存在する、という多義性の問題について、実世界の文脈から如何に一意的な解釈に落とし込むのか、という点にある。

第三の研究では、人間と実世界システムのコミュニケーションに関する研究を行う。ここでは、多感覚・多自由度を有する実ロボットのコミュニケーションに必要な機能の拡充として、多次元のマルチモーダル情報統合、またシステムのフレームワーク、さらに相互適応過程の解析等が重要な研究課題となる。具体的には、画像処理や音声認識機能の拡充と、神経回路モデルによる統合表現の獲得、さらにロボットを初めとする多種のハードウェアとの統合を可能とする開発環境設計を行い、最終的なインタラクション系を構築する。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、実世界と情報世界の統合を目指す上で、大型神経回路モデルによる表現獲得、身体性による実世界とのインタラクションを特に重視した。ここで神経回路として、深層学

習モデル(Deep Learning)、特に Deep Neural Network(DNN)と再帰結合型神経回路網モデル Recurrent Neural Network (RNN)を利用することで、システムが取得するセンサデータを未加工のまま学習し、その適切な表現を自己組織化するとともに、時系列的な文脈を反映した行動生成と言語との統合を行った。さきがけの支援を得て構築した大型の並列計算機を用い、DNNとRNNを実世界学習に応用した。また大量のロボットの行動学習データの取得、および開発した手法を多様なロボットハードウェアに適用するために、特に RT-Middleware を利用した総合システム開発の枠組みを構築した。

本課題では上記の3つの研究項目について、それぞれ以下のような成果をあげている。

まず、能動知覚による環境理解では、身体による能動的かつ探索的な環境理解に着目し、ランダムな身体運動(バブリング)から、その身体モデルと、環境内の物体、道具利用を学習する手法を提案した。特に神経信頼学の概念である「道具身体化」に着目し、神経回路モデルを利用したモデルを実ロボットに導入しその効果を確認した。

言語と運動の統合モデルについては、特に言語の多義性が、実世界の文脈から一意に決定していくプロセスに着目し、実ロボットを利用した実験系とモデルを提案した。特に視野画像、関節角度、文字列という情報から、単語、文法および運動との相互連想を可能とする基礎モデルを提案した。さらにインタラクションに主眼を置き、言語と行為の系列を、RNNの同一リミットサイクルに埋め込む形で学習させる方法を提案、ロボットに実装している。

人間と実ロボットのインタラクションに関しては、深層学習モデル(Deep Learning)による感覚運動学習機構の提案を行った。まず要素技術として発話時の唇画像と音響信号を Deep Autoencoder と Convolution Neural Network により学習し、HMMにより統合する音声認識システムを構築しその性能を評価した。さらに複数のDNNを統合した人間型ロボット用のマルチモーダル学習の手法を提案し、実装と評価を行った。この成果は深層学習を実ロボットに応用した先駆的な研究として評価されている。

以上の枠組みを拡張する形で、人間と人間型ロボットアクトロイドのインタラクション発達学習、さらに人間型ロボット NAO による人間との描画インタラクションの研究を展開した。

(2) 詳細

1. 能動知覚による身体・物体の理解と道具身体化

物理的な身体を有する、知能システムは自らの行為を利用した、能動的かつ探索的な環境理解を行う事が出来る。本研究では、身体バブリングからその身体モデルと、環境内の物体、道具のモデルを獲得する手法を提案した。具体的には、神経心理学における道具身体化(人間やサルが道具使用時に道具を自己身体の一部として知覚する現象)を神経回路によりモデル化した。DNN を利用する事で、未加工の多次元視野画像を入力として、RNN の学習を可能とする枠組みを新たに提案した(図1)。

提案モデルでは、①身体バブリングによりロボットの身体モデルを RNN で一旦学習する。その後、遅いダイナミクスを持つニューロン群(②PB ノード)を付加して、身体モデルを変調させる事で「道具を持った身体」を表現させる。RNN の Regression により、目標の視野画像の入力から、その画像を再現する道具を利用した物体操作の連想を実現した。これらの成果は 2 件の国際ジャーナル、4 件の国際会議論文で発表を行っている。

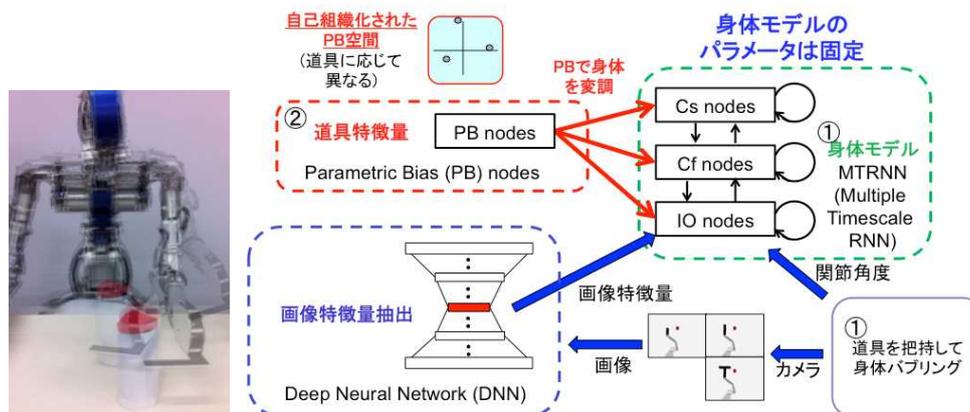


図1 アクトロイドによる実験と提案モデルの概要

以上の研究成果によって、本研究項目の課題であった環境の能動的理解について、多次元のセンサ入力から、身体と環境の内部表現を獲得する基本的な枠組みを構築できたと考える。今後は同様のモデルを多様なタスクに応用できると期待される。

2. 神経回路モデルを利用した言語と運動の変換モデル

実環境データと言語の曖昧な関係性を、身体を有したロボットに獲得させるために、特に再帰結合型神経回路を用いた、動作パターンと文の相互連想モデルをいくつか提案した。初期のモデルでは、視野画像、関節角度、文字列に応じた複数の RNN を統合したモデルである。文章を構成するアルファベット列から単語とその格、および格の構造(文法)を複数の RNN に獲得し、運動との相互連想を可能とした。

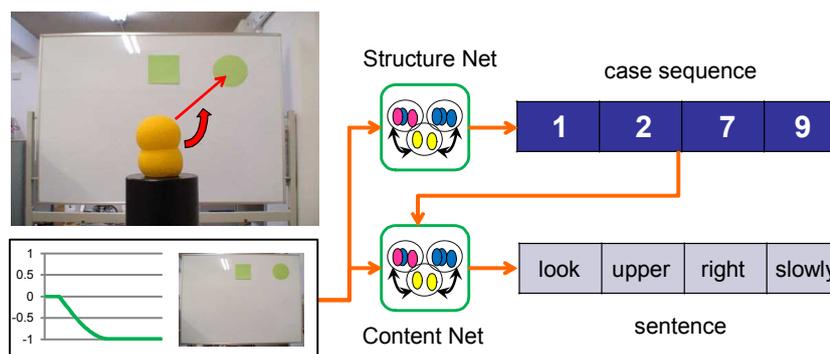


図2 文章生成の例

図 2 に文章の生成例を示す。ロボットは、ボード状の形状と運動、およびそれを表現するアルファベット列(例: "granceatcirclequickly.")を与えられる。これを繰り返し学習する事で、ロボットは単語と文法の表現を獲得する(例えば、"grance at circle quickly."と解釈できるようになる)。このモデルでは、行動と言語の多義性があるケースについて学習をさせた場合も、神経回路モデルが実世界情報を利用することで、ある程度のレベルで一意的な解釈を得られる

ことも示した。本成果は、1件の国際ジャーナルおよび2件の国際会議で発表を行った。

また本モデルをインタラクションに主眼を置いたモデルとして発展させた。具体的には、神経回路モデルに、言語と行為の構造を単一リミットサイクルに埋め込む形で学習させる方法を提案し、その対応を順計算のみで即時的に出力可能なモデルを実現した。

以上の研究成果によって、本研究項目の目的であった、多義性を含む言語と運動の統合の枠組み、およびロボットインタラクションへの道筋を確立できた。今後、3.で述べる深層学習のモデルと統合することで、より多様なインタラクションが可能になると期待される。

3.実ロボットにおける多次元のマルチモーダル情報の統合とインタラクション

特に深層学習モデルを利用した、多自由度・多感覚機能を有するロボットと人間とのインタラクションを目指し、マルチモーダル統合の研究および、インタラクション研究を行った。

基本的な、インタラクションデバイスとして、唇画像と音声を利用したマルチモーダル音声認識を行った。唇画像は Convolutional NN (CNN)、音声情報は Deep Denoising Autoencoder を使い、Multi-stream HMM (MSHMM)により統合した(図3)。孤立単語認識タスクで検証した結果、ノイズ頑健性の向上について確認した。本成果は国際ジャーナル1件、国際会議論文1件にて発表をしている。

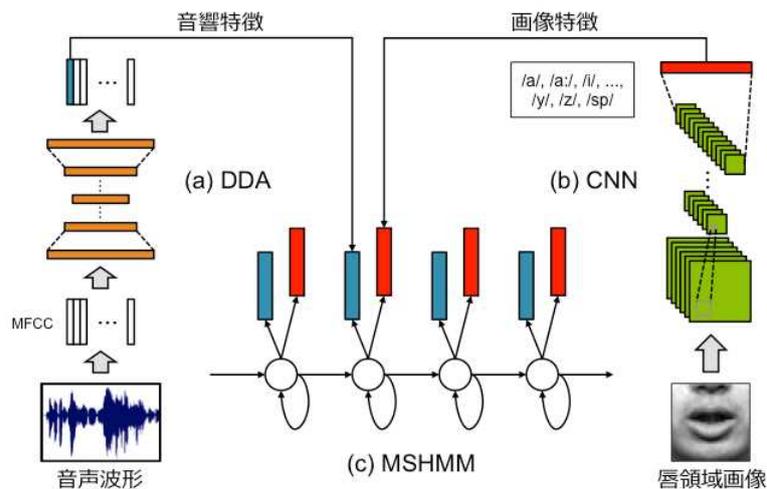


図3 深層学習によるマルチモーダル統合音声認識システム

以上の成果を自律ロボットの行動生成の枠組みに利用するフレームワークを提案した。具体的には、Time-delay 型の Deep autoencoder を、ロボットによる複数物体の操り動作学習(視聴覚運動時系列の統合学習)に適用した(図4)。画像、音響信号などの多次元(3000~4000次元)のデータを Deep autoencoder で30次元に圧縮し、その時系列データをさらに別の Deep Autoencoder で学習する。

このモデルにより、ロボットの複数の動作に対して、その感覚・動作データの系列に対して、感覚特徴量だけでなく運動単位(プリミティブ)を内部に自己組織化する。この内部表現を利用することで、クロスモーダルな記憶想起を実現し、身体運動情報とそれに伴う音響情報から、異なったモーダル間の共起性(予測)を正しく反映した画像情報の復元、さらに運動の生

成が可能となった。また、獲得された内部表現の解析から、提案モデルは視聴覚運動情報の共起性を自己組織的に構造化し、記憶学習していることを確認した。

本成果は1件の国際ジャーナルおよび2件の国際会議論文で発表をした。本成果は国際ジャーナル、Robotics and Autonomous Systems (RAS)において平成26年8月から12月現在迄、同ジャーナルの「トップダウンロード論文」になっている。

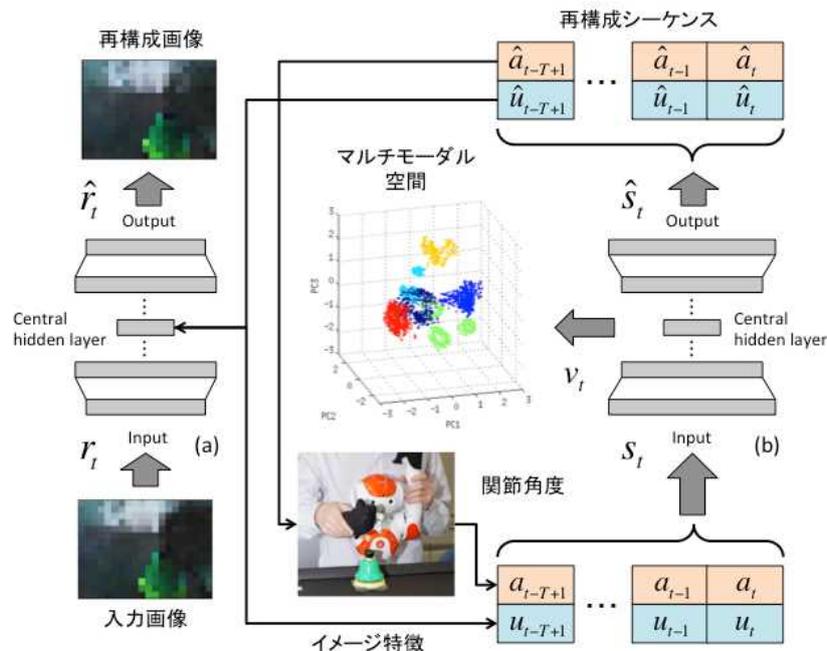


図4 深層学習モデルによるロボットのマルチモーダル統合システム

従来のロボットシステム開発の多くは、リアルタイム制御や割り込み、並列処理等、異なったハードウェアの為に独自のソフトウェアをバラバラに作成しており、Web上のビッグデータ、高次認識や機械学習等のクラウドソフトウェアを直接利用することが困難であった。そこで我々は本研究で開発した神経回路を中心とした機械学習技術を、実際のロボットインタラクションに適応するため、ロボット様のOperating Systemの規格であるRT-Middlewareに準拠したソフトウェアコンポーネントを開発し、Web上に公開した (<http://ogata-lab.jp/ja/> 公開技術.html)。

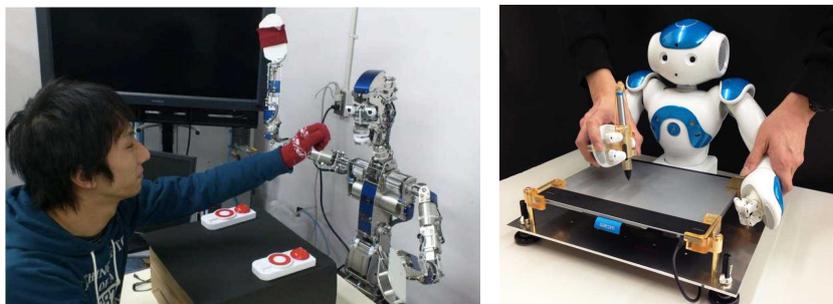


図5 アクトロイドとの模倣インタラクションとNAOとの描画インタラクション

これらのコンポーネントにより、深層学習に必要な多自由度ロボットの感覚運動データを、Open-HRP 等の動力学シミュレータ上で大量に取得可能となっただけでなく、開発したアルゴリズムを複数の異なるロボットに再利用することが容易となった。

これらを利用し、養育者と幼児のモーショニーズ(単純かつ誇張された行為)、さらに神経回路モデルの段階的構造化の概念を組み合わせた模本インタラクション(図 5 左)、また発達のな描画行為の獲得過程を介したインタラクション(図 5 右)等の研究も行った。

本研究項目の目的であった人間とのインタラクションについては、デモンストレーションの段階に留まったが、以上の研究成果から、ロボットに必要となる多次元の感覚入力と運動に関する学習の枠組みを汎用のロボット OS 上に構築できた。この成果により、1. で述べた環境認識モデルとの統合研究では、新たな成果が出始めている。また2. の言語モデルとの統合と多様なインタラクションが可能になると期待できる。

3. 今後の展開

今後は、得られた研究成果を踏まえ、実環境で活躍する知能システムであるロボットと、深層学習に代表される機械学習モデルの統合に向け、本格的な研究を展開していく。

第一の研究項目である、ロボットの身体と環境理解に関連して、柔軟関節を有したロボットのダイナミックな動作制御に機械学習を応用する方法を構築していく。今後、本研究で利用したアクトロイドのような、空気圧もしくは油圧アクチュエータを利用した、柔軟関節を有する多自由度ロボットハードウェア技術の発展が大きく見込まれる。これらのロボットは、ダイナミックかつ効率的な動作生成だけでなく、耐久性や人間とのインタラクションでの安全性に優れているが、現状ではその制御法は確立されているとは言えない。現在、我々は機械学習手法を利用した枠組みに取り組みしており、近い将来に本さきがけの成果として発展させていきたいと考えている。

第二の研究項目である言語と運動の学習に関して、より多機能のロボットに導入する事でタスクを複雑化させていく。RNN を利用したマルチモーダルな言語モデルに関しては、近年、画像を深層学習モデルで処理し、そこから画像の説明文を出力するモデルも提案されている。これらのモデルは本課題で提案した、ロボットの運動と言語の統合モデルと構造上共通する部分が多く、言語モデルの語彙、文法拡張の問題は大きく改善すると期待できる。しかし、実ロボットにおいては、画像や音響等、受動的な感覚だけでなく、それに付随する能動的な運動(経験)のデータが必要であり、本課題の第三の研究項目であるマルチモーダル情報統合、インタラクションの枠組みの成果を生かして取り組んでいく必要がある。

第三の研究項目である、実ロボットのインタラクションは今後も大きな課題である。深層学習モデルや RNN 等の神経回路モデルでは、センサ入力の特徴量を学習過程で自己組織化するアプローチにより、画像、音声等の情報処理分野で大きな成果をあげている。しかしその対象は主に認識(ラベル付け)処理であり、ロボットや自律自動車等の実世界システムの動作制御には直接利用できない。実世界で活動するシステムは、センサ入力だけでなく動作出力という物理的連続量を、環境とのインタラクションから構造化していくことが必要であり、「身体性」の問題の解決が大きな課題になると予想される。我々の研究ではこの問題を直接扱ったが、現状では類似の問題意識を持ったシステム開発研究は少ない。これらの研究にはロボットハードウェアの技術と機械学習の技術の統合環境が必要不可欠である。さきがけの支援を

得て、これらの開発環境が充実してきている。今後さらに研究を押し進めていく。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

ロボットに代表される実世界知能システムと人間とのコミュニケーションをとるための、システム構成について神経回路モデルを基盤とした基礎的な研究を行った。具体的には、さきがけの補助を受けて、多自由度柔軟関節を持つ人間型ロボットアクトロイド、および複数のロボットをプラットフォームとして、環境の能動的な理解、運動学習、言語学習、インタラクション発達等のモデルを提案、実装した。結果として当初の予想より深い形で、それぞれの問題の理解と問題点の明確化を行う事ができた。以上の成果を複数の海外論文誌での発表を行うことで、人間の認知機構の構成論的アプローチに基づく学術的な理解に対する貢献ができた。これらの成果を受け期間3年目に新学術領域研究へ参加することができ、多様な研究者との連携を進めている。

また深層学習を利用した、モダリティ統合、実ロボットの行動生成に関する研究を遂行する事で、提案する基礎モデルのスケラビリティを大幅に拡張するなど、当初計画には無かった成果を得る事ができ、学術誌や招待講演等において高い評価を得ることが出来た。これは深層学習をロボットシステムへ応用に関する先駆的な提案であり、ロボット知能化の分野に対して貢献ができた。現在、この技術を利用して新たな企業との共同研究を進めている。期間3年目に所属を異動したため、当初に予定していた固定した知能化環境の長期確保が難しく、人間との継続的なコミュニケーション研究は十分に行えなかった。しかし実ロボットシステムと深層学習等の機械学習の統合などの実際のフィールド研究に必要となる、ロボットOSに関する技術開発を、当初の計画を超えて進める事ができ、多様なシステムを開発可能な環境構築に対して貢献ができた。

以上を統括すると、人間の認知モデルという学術研究、深層学習によるロボット知能化研究、さらにこれらの機械学習と実ロボット統合する為のロボット OS 開発、という3つ領域において貢献ができた。今後は、このさきがけでの成果を受けて、国内外の研究者および企業とこれらの展開していく。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究では、ロボットの環境への適応や人とのコミュニケーションを、神経回路モデルを用いて実現しようとしている。多自由度柔軟関節を持つ人型ロボットを利用した研究環境を構築し、神経回路モデルを用いた動作学習、道具利用、さらに言語やコミュニケーションに関する研究で成果をあげてきた。また、これらの研究成果を基に認知科学等の研究者と交流を深め、新しい学術領域を開拓しつつある。さらに深層学習に着目し、ロボットに応用している。Deep Neural Network (DNN) と再帰結合型神経回路網モデル Recurrent Neural Network (RNN) を実世界学習に応用し、システムが取得するセンサデータを未加工のまま学習し表現を自己組織化する試みは興味深い。本成果は国際ジャーナル Robotics and Autonomous

Systems(RAS)のトップダウンロード論文となるだけでなく、国内外の学会での招待講演や企業との共同研究等に発展し、研究者としての飛躍に繋がっている。以上の様に、機械学習のロボットへの適用という重要な課題に取り組み、その研究基盤を構築した。今後、これらの成果を国内外の研究者や企業と共同し発展させていくことを期待する。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

- | |
|--|
| 1. Kuniaki Noda, Yuki Yamaguchi, Kazuhiro Nakadai, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Audio-Visual Speech Recognition using Deep Learning, Applied Intelligence, Springer, accepted, IF: 1.853, Nov. 2014. |
| 2. Kuniaki Noda, Hiroaki Arie, Yuki Suga, and Tetsuya Ogata: Multimodal Integration Learning of Robot Behavior using Deep Neural Networks, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 62, No. 6, pp. 721-736, 2014. IF: 1.156, (doi: 10.1016/j.robot.2014.03.003) |
| 3. Tetsuya Ogata, and Hiroshi G. Okuno: Integration of behaviors and languages with a hierarchal structure self-organized in a neuro-dynamical model, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence 2013, pp. 94-100, Singapore, Apr. 16-19, 2013. |
| 4. Wataru Hinoshita, Hinoshita Arie, Jun Tani, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Emergence of Hierarchical Structure mirroring Linguistic Composition in a Recurrent Neural Network, Neural Networks, Vol. 24, No. 4, pp. 311-320, Jan. 12. 2011. IF: 2.076 (doi: 10.1016/j.neunet.2010.12.006) |
| 5. Tetsuya Ogata, Sun Nishide, Hideki Kozima, Kazunori Komatani, and Hiroshi G. Okuno: Inter-modality Mapping in Robot with Recurrent Neural Network, Pattern Recognition Letters 31, pp. 1560-1569, 8 June 2010. IF: 1.062, (doi: 10.1016/j.patrec.2010.05.002) |

(2)特許出願

研究期間累積件数:0件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

招待講演

1. 深層学習によるロボットの感覚運動ダイナミクスの学習、第8回全脳アーキテクチャ勉強会、 Grantウキョウサウスタワー、2014年11月10日。
2. ディープラーニングによるロボットの行動経験の学習、国際ロボットカンファレンス 2014、JA 共済ビル カンファレンスホール、2014年8月29日。
3. 深層学習を用いたロボットのマルチモーダル学習と今後の展開、第3回データ工学ロボティクス研究会公開講演会、国立情報学研究所(NII)、2014年3月28日。
4. ロボット行為と階層型神経回路モデルの段階的発達モデルと言語学習、日本発達心理学会・日本赤ちゃん学会共催シンポジウム、日本発達心理学会 26回大会、京都大学吉田南キャンパス、2014年3月21日。
5. ロボットの感情、自己・他者のモデル、第9回テーマ別創成塾「ロボット工学と倫理」、大阪大学吹田キャンパス、2013年10月28日。

6. 階層型神経回路モデルの段階的な予測学習と生成行為の変化、第2回日本発達神経科学学会、きゅりあん(品川区立総合区民会館)、2013年9月22日。
7. Active Space-Body Perception and Body Enhancement using Dynamical Neural Systems, Workshop on “Cognitive Neuroscience Robotics”, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI2013), 19th April 2013. (Keynote speech)
8. ロボットの発達学習と人間とのコミュニケーション、日本大学総合基礎科学研究科、日本大学文理学部キャンパス、2012年11月20日。
9. 神経力学モデルによる認知ロボティクスの試み、発達原理の科学と発達障害の理解に向けて日本ロボット学会ロボティック・サイエンス研究会、京都大学東京オフィス、2011年7月4日。
10. Toward to HRI based on Neuro-dynamical System, JST-NSF Workshop on HRI (2011), USA. 30th Nov. 2010. (Invited talk)
11. 神経力学系予測モデルによるロボット身体拡張認知への試み、ロボット工学セミナー第59回シンポジウム、人に拡張身体感をもたらすロボティクスの実現に向けて、名古屋大学 VBL セミナールーム、2010年9月21日。
12. Model of Tool-Body Assimilation based on Neuro-Dynamical System, JSPS-DFG Round Table on ‘Cooperative Technology in future: Cognitive Technical Systems’, Organizers: Prof. A. Iriki, Prof. Y. Kuniyoshi, Prof. M. Buss, Prof. Ritter, 9th Feb. 2010. (Invited)

受賞

1. Best paper award (Robotics)、IEEE/SICE International Symposium on System Integration 2011 (SII2011)、2011。

主要な学会発表(国際ジャーナル、査読付き国際学会プロシーディング)

1. Kuniyuki Takahashi, Tetsuya Ogata, Hadi Tjandra, Yuki Yamaguchi, Shigeki Sugano: “Tool-body Assimilation Model Based on Body Babbling and Neuro-dynamical System,” Mathematical Problems in Engineering, Article ID 837540, (IF: 1.383), Accepted, 2014.
2. Yang Zhang, Tetsuya Ogata, Shun Nishide, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, “Classification of Known and Unknown Environmental Sounds based on Self-organized Space using Recurrent Neural Network,” Advanced Robotics, Special Issue on Dynamical System Involving Symbol Processing, Vol. 25, No. 17, pp. 2127-2141 (2011).
3. 日下航, 尾形哲也, 小嶋秀樹, 高橋徹, 奥乃博: RNNを備えた2体のロボット間における身体性に基づいた動的コミュニケーションの創発, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 4 (ロボティックサイエンス論文特集号), pp. 532-543, May, 2010.
4. Kuniaki Noda, Yuki Yamaguchi, Kazuhiro Nakadai, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Lipreading using Convolutional Neural Network, Proceedings in Interspeech, Sep.

- 2014, Singapore.
5. Kuniyuki Takahashi, Tetsuya Ogata, Hadi Tjandra, Shingo Murata, Hiroaki Arie, and Shigeki Sugano: Tool-body Assimilation Model based on Body Babbling and a Neuro-dynamical System for Motion Generation, In Artificial Neural Networks and Machine Learning – ICANN 2014, LNCS8681, pp. 363–370, 2014 (Proceedings of the 24th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2014), Hamburg, Germany, September 2014)
 6. Kuniaki Noda, Hiroaki Arie, Yuki Suga, and Tetsuya Ogata: Multimodal Integration Learning of Object Manipulation Behaviors using Deep Neural Networks, Proceedings of IEEE-RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013), pp. 1728–1733, IEEE/RSJ, Tokyo, Nov. 3–7, 2013.
 7. Keita Mochizuki, Shun Nishide, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Developmental Human-Robot Imitation Learning of Drawing with a Neuro Dynamical System, Proceedings in IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2013), pp. 2336–2341, Oct. 2013, Manchester, UK. 財団法人 原総合知的通信システム基金 第44回 国際会議論文発表者助成
 8. Harumitsu Nobuta, Kenta Kawamoto, Kuniaki Noda, Kohtaro Sabe, Hiroshi G. Okuno, Shun Nishide and Tetsuya Ogata: Body area segmentation from visual scene based on predictability of neuro-dynamical system, Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN-2012), June 10–15, 2012, Brisbane, Australia.
 9. Kenri Kodaka, Tetsuya Ogata, Shigeki Sugano: Rhythmically Adaptive Localization in Incomplete RFID Landmark Environments, Proceedings of IEEE-RAS International Conference on Robotics and Automation (ICRA-2012), pp. 2108–2114, May 14–18, 2012, St. Paul, MN.
 10. Kenri Kodaka, Tetsuya Ogata, Hirotaka Ohta and Shigeki Sugano: Exploring Movable Space using Rhythmical Active Touch in Disordered Obstacle Environment, Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2011), pp. 485–490, Dec. 20–22, 2011, Kyoto, Japan. Best Paper Award (Robotics)
 11. Hiromitsu Awano, Shun Nishide, Hiroaki Arie, Jun Tani, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Use of a Sparse Structure to Improve Learning Performance of Recurrent Neural Networks, Proceedings of 18th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2011), Part III, pp. 323–331, LNCS7064, Springer-Verlag, Shanghai, Nov. 13–17, 2011.
 12. Zhang Yang, Shun Nishide, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata: Cluster Self-organization of Known and Unknown Environmental Sounds using Recurrent Neural Network, Proceeding of the International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2011), LNCS6791, pp. 167–175, Oral, Espoo, Finland, June 14–17, 2011.