

知覚共有型ロボット群との協調による生体神経網の 空間的拡張と論理的な身体感覚形成

Spatial Augmentation of Human Perception System and Logical Body Sensation

2151019



研究代表者

慶應義塾大学 環境情報学部

准教授

高 汐 一 紀

〔研究の目的〕

生体固有の知覚機能の解明が進み、コンピュータシステム上で人間の五感を模倣することも可能になりつつある。そのときロボットは、人間と同等の知覚機能を持ち、ネットワークを通してその情報を人間と共有することが可能になるだろう。必要なとき必要なロボットの必要な感覚を適切に選択し、感覚情報の伝達と知覚機能の一部を担う知覚ネットワークをダイナミックに構成、ユーザとロボットが知覚機能を共有することができれば、より密なヒューマン・ロボット・インタラクションを実現できるだけでなく、人間の感覚の空間的拡張、すなわち、物理的な身体構造や物理空間に制約されない、論理的な身体感覚の形成が可能になる。

本研究課題における第1の目標は、人間にとっての遠隔知覚プローブとして機能するロボット、外部レセプタ(exo-Receptor)を設計・実装することにある。併せて、生体神経網をモデルとし、外部レセプタを有機的に結合、知覚情報をユーザに効率的に伝送可能な無線アドホック・ネットワーク、外部知覚共有ネットワーク(exo-Neuronet)を提案する。

本研究課題での第2の目標は、実装されたプロトタイプを用いて、提案手法による論理的な身体性の体感可能性を検証することにある。具体的には、四肢麻痺状況のユーザを想定し、外部知覚共有ネットワークにより顔の微表情とロ

ボットの動作をリンクさせる、会話表現力増強システムを実装し、評価実験を通して本提案の有用性を検証する。

〔研究の内容、成果〕

1. 外部知覚共有ネットワークの構築

“Making robots more acceptable.” ミュンヘン工科大学(TUM)で研究機関ICS(Institute for Cognitive Systems)を率いるGordon Cheng教授の言葉である。報告者は、2012年度の1年間、同研究所にて、マルチモーダル感覚センサの研究に従事していた。ロボットへの装着を想定したパッド型人工皮膚(Artificial Skin Pad)である。次世代のロボットには高度な社会性(Sociality)が求められるが、ロボット自身が持つ知覚能力は、人とのインタラクションの中でロボットの所作を決定する重要なファクターとなる。同センサ・パッドは高度にモジュール化されており、皮下受容細胞に相当する触感センサ(近接、直接の2種)、温感センサ、さらには運動感覚、平衡感覚を受容する高精度な動きセンサを備え、複数のパッドを接続して使用することで、人間の皮膚に近いレベルでの実世界情報収集と状況認識を可能とした(図1)。

本研究課題では、このマルチモーダル感覚センサを受容器として備えたヒューマノイド型の外部レセプタを実装し、それらを有機的に結合

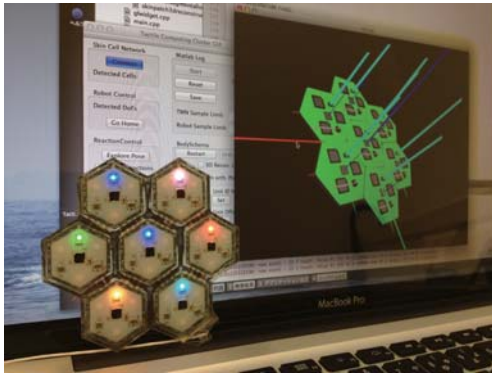


図1 Artificial Skin Pad (ミュンヘン工大)

させる外部知覚共有ネットワークのプロトタイプを設計・実装した。同ネットワークは、KEIO USN SOX (Keio Universal Sensor Network with Sensor-over-XMPP) アーキテクチャ上での実装を意識して設計されており、外部レセプタだけでなく、リンクしたセンサ・ネットワーク上のデータも感覚情報として利用可能である。さらに、クラウド上の多様なサービスを中継ノードとして活用することも可能とした(図2)。

外部レセプタは、外部知覚共有ネットワークの末梢ノードとして、皮膚受容器センサ・データや視覚センサ・データ、統合感覚データ、位置情報等を実時間に圧縮エンコーディングする実体として機能する。外部レセプタの筐体としては、ソフトバンクロボティクス社 Pepper 3 台と Aldebaran 社 NAO 3 台の計 6 台を用意し、

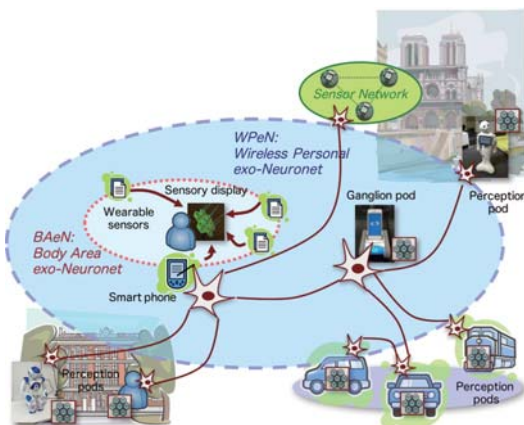


図2 外部知覚共有ネットワーク

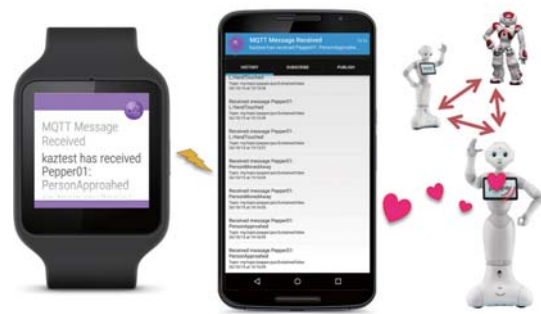


図3 知覚ディスプレイ・プロトタイプ

ベースとなるロボットが個々に持つセンサのデータも、感覚情報として併用することとした。

ユーザ側終端としては、スマートウォッチ (Android Wear 機, Apple watchOS 機) をベースに、ウェアラブル知覚ディスプレイ (Sensory Display) のプロトタイプを実装した(図3)。同ディスプレイは、知覚コンテキスト推論エンジンを実装したスマートフォン (Android 機, iOS 機) を中継ノードとして利用する。中継ノードは、取得された知覚情報ごとに異なる振動パターンを生成し、通知機能を利用して知覚信号ディスプレイを鳴動させ、ユーザに状況を認識させる。

2. 四肢麻痺患者の会話力増強支援

外部知覚共有ネットワークのプロトタイプを、四肢麻痺状況のユーザを想定したコミュニケーション支援システムに適用し、評価実験を実施し、提案手法の有用性を検証した。

事故や退行性の病によって首から下が麻痺している人々は、運動神経の麻痺により身体を使ったコミュニケーションが困難である。「コミュニケーションの 55% は身体表現 (ボディランゲージ) によりなされている」との報告もあるように、運動麻痺を患う人々は、健常者と比較して、他者とのコミュニケーションの自由が著しく損なわれている状況に置かれていると言える。さらに、感覚神経の障害による感覚麻痺 (知覚麻痺) が伴う場合は、触れ合いの欠如という意味でも対話の自由度はさらに下がる。

本検証実験で用意した会話力増強システム

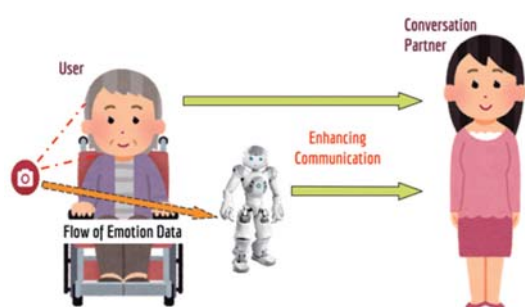


図4 会話力増強システムの概略

(ex-Amp Robot) (図4) は、外部知覚共有ネットワークを双方向に利用したものであり、ヒューマノイド型のロボットが、画像センサからの情報に基づきユーザの表情（感情）を検知し、それを身振りやスピーチといった身体性を持った表現に翻訳し、ユーザの感情表現を増強する。言わば、ヒューマノイド型ロボットをアバタとして使う、身体性の拡張である。これにより、身体表現が困難なユーザでも自分の伝えたいメッセージに適切な動き（ボディランゲージ）を付加することが可能となる。

同時に、ネットワークに接続されたロボットは、外部レセプタとして機能する。ロボットが取得した感覚情報は、中継ノードを介して知覚ディスプレイの振動パターンとしてユーザに通知される。本機能により、ユーザと対話者の会話の中での触れ合いを擬似的に実現することになり、論理的な身体感覚の形成を意識することが可能になると期待できる。

図5に検証実験のレイアウトを示す。ソファ



図5 検証実験の様子

に座った被験者には、体を使って感情を表現できないという設定で会話を進めてもらい、対話相手は、被験者とロボット（外部レセプタ）の両方を正面に見る位置に座ってもらった。表情認識用画像センサとして、そして外部知覚共有ネットワーク中継ノードとして機能するスマートフォンは、被験者の視界の妨げにはならないように設置した。ロボットは対話相手の目の高さに合う位置に設置した。被験者は7名（女性6名／男性1名）で、全員にロボットに仲介された対話者との会話を5分間ずつ経験してもらい、個々の実験セッションの終わりにアンケートによるユーザ調査を実施した（表1）。

結果、「被験者（四肢麻痺患者役）にとって会話がエンハンスされたと感じた」、「対話者として相手の意図理解に役立った」との一定の評価を得た。一方で、一部の被験者からは「話し相手の立場になったとき、どこに視線を置けばよいか迷った」とのコメントもあったが、総じて、会話力増強支援システムとして、外部知覚共有ネットワークとその付随システムを利用することには肯定的であり、アバタ・システムという側面からは「身体性が拡張された」と感じ、知覚の共有システムという視点からは「論理的な身体感覚の形成を意識できた」と感じていることが明らかとなった。

表1 ユーザ評価（抜粋）

質 問	平均値
ユーザとしてコミュニケーションの質が高まったと感じましたか？	7.5
会話パートナーとして相手の発言内容が分かりやすくなったと感じましたか？	6.0
システムに煩わしさを感じましたか？	2.8
会話を楽しむことができましたか？	8.1
ロボットの動作・言動は会話の内容に適切であったと思いますか？	4.0
ロボットの動作・言動が会話内容から外れたことはありましたか？	4.3
再びこのシステムを使いたいと思いましたか？	7.5
システムの反応速度は適切だと感じましたか？	9.3
会話の流れを中断する形でロボットの動作・言動にコメントをする必要があると感じましたか？	7.5
表情認識の正確さについてどのように評価しますか？	7.8

[今後の研究の方針，課題]

ロボットを身体性拡張のツールとして使用する代表的な事例としては、サイバネティクス（Cybernetics）やサイバニクス（Cybernetics）が存在する。しかし、ロボットと人との感覚の共有、知覚能力の空間的拡張に関しては、まだまだ未知の要素も多く、神経工学の分野で大がかりな侵襲式のブレイン・マシン・インタフェース（BMI）がようやく実験段階にある状況である。我々は、人間と同等の感覚を持ち、周囲の状況を正しく認識し、個体同士だけでなく人ともその情報を正しく共有し、個々の行動・動作に反映できるロボットを、ソーシャル・ロボット（Sociable Robot）と呼び、今後のロボティクス・デザインの目標としている。

今後は、生体神経網をモデルにネットワーク上での知覚処理アルゴリズムの見直しを進め、システム・アーキテクチャとして完成、その有用性をより実証的に検証したい。上記した成果に加え、生体神経網をモデルとする「ネットワーク内中継ノードにおける知覚反射機構」の詳細を実装、より一般化された問題下にあっても、外部レセプタの適切な選択により、感覚情報の伝達と知覚機能を効率的に提供可能なシステム・アーキテクチャを完成させ、遠隔コグニティブ・システムとしての完成度を高める。

本研究の意義は、提案した外部レセプタ実装技術と、外部知覚共有ネットワーク構築技術、さらにウェアラブル知覚ディスプレイ実装技術のいずれもが、ロボットへの知覚能力の付与のみならず、人間そのものの知覚の空間的強化をも可能にする技術であるという点にある。今後、媒体としてのユビキタス情報空間、ソーシャルなロボット、そして空間的に拡張される人の知覚能力、それらが三位一体となったインタラクションの研究もまた、新たなフェーズに移行するだろう。本研究課題の成果を、オフィスや家庭、公共空間といった人間の生活環境全般を対象として適用することで、実用的な知的生活空間、ユビキタス情報空間、ロボットとのより自然な共同生活空間の実現に向けて大きなインパクトを与えることが期待できる。

[成果の発表，論文等]

1. 樫井亜依，高汐一紀，徳田英幸：Expression Amplifying Robot —— 会話の中での表現力を増強するロボット ——，電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会，2016年6月（印刷中）。
2. Ai Kashii, Kazunori Takashio and Hideyuki Tokuda：Robot Avatar for Enhancing the Communication of Physically Disabled Humans, IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2016), Interactive Session, August 2016 (accepted)。