慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	論理的身体感覚形成のための分散知覚共有ネットワークとその評価
Sub Title	Perceptive network for forming logical body sensation and its evaluation
Author	高汐, 一紀(Takashio, Kazunori)
Publisher	
Publication year	2017
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2016.)
JaLC DOI	
Abstract	知覚共有ネットワークとは, 生体の知覚機能を模倣可能な小型ロボット, 知覚ポッドと, 非侵襲型のポータブル感覚ディスプレイ装置, 知覚ディスプレイとがアドホックに接続される, 遠隔コグニティブ・システムである。知覚ポッドからなるネットワークのトポロジは生体の神経網を模した構造をとり, 最終的には, 人間の知覚能力の空間的拡張, 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を可能とする。本研究課題では, テキスタイル装着型センサをベースに, 知覚共有ネットワークのシステム・アーキテクチャを提案, 実空間上での評価実験を行い, 遠隔コグニティブ・システムとしての有用性を議論した。 The perceptive network is a distributed cognitive system in which perception pods, each of which is a small robot capable of imitating the perception function of a living body, and non-invasive portable sensory display devices, perceptual displays, are connected each other in an ad hoc manner. The topology of the network composed of perception pods takes a structure like the neural network of the living body and finally it contributes to the spatial extension of human perception ability, that is, the formation of a logical body sensation which is not restricted by the physical body structure and the physical space. In this research project, we proposed a system architecture of perceptive network based on textile-wearable sensor devices, evaluated it in real space, and discussed its usability as a distributed cognitive system.
Notes	研究種目：基盤研究(C)(一般) 研究期間：2014～2016 課題番号：26330114 研究分野：クラウドネットワークロボット
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_26330114seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２９ 年　 ６ 月　 ５ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2014～2016
課題番号：２６３３０１１４

研究課題名（和文）論理的身体感覚形成のための分散知覚共有ネットワークとその評価

研究課題名（英文）Perceptive Network for Forming Logical Body Sensation and Its Evaluation

研究代表者
高汐　一紀（TAKASHIO, Kazunori）

慶應義塾大学・環境情報学部（藤沢）・准教授

研究者番号：４０２７２７５２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,600,000円

研究成果の概要（和文）：知覚共有ネットワークとは，生体の知覚機能を模倣可能な小型ロボット，知覚ポッドと，非侵襲型のポータブル感覚ディスプレイ装置，知覚ディスプレイとがアドホックに接続される，遠隔コグニティブ・システムである．知覚ポッドからなるネットワークのトポロジは生体の神経網を模した構造をとり，最終的には，人間の知覚能力の空間的拡張，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を可能とする．本研究課題では，テキスタイル装着型センサをベースに，知覚共有ネットワークのシステム・アーキテクチャを提案，実空間上での評価実験を行い，遠隔コグニティブ・システムとしての有用性を議論した．

研究成果の概要（英文）：The perceptive network is a distributed cognitive system in which perception pods, each of which is a small robot capable of imitating the perception function of a living body, and non-invasive portable sensory display devices, perceptual displays, are connected each other in an ad hoc manner. The topology of the network composed of perception pods takes a structure like the neural network of the living body and finally it contributes to the spatial extension of human perception ability, that is, the formation of a logical body sensation which is not restricted by the physical body structure and the physical space. In this research project, we proposed a system architecture of perceptive network based on textile-wearable sensor devices, evaluated it in real space, and discussed its usability as a distributed cognitive system.

研究分野：クラウドネットワークロボット

キーワード：論理的身体感覚　マルチモーダル知覚センシング　知覚共有ネットワーク　ソーシャブルロボット　ユビキタスコンピューティング

１．研究開始当初の背景

常時ネットワークに接続された次世代のロボット（Networked Robot）は，自ら M2M（Machine to Machine）コミュニケーション，M2S（Machine to Service）コミュニケーションを駆使する存在として，あるものはユビキタス情報サービスのアクターとして人々と共存し，またあるものは人の身体の一部として機能する．

報告者は，平成 24 年度の 1 年間，ミュンヘン工科大学にて，マルチモーダル感覚センサ・パッドの研究に従事していた．ロボットへの装着を前提とした人工皮膚パッド（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，複数のパッドを連接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が可能となる（図 1）．ただし，知覚処理そのものは外部システムに依存している．

一方，生体固有の知覚機能の解明も進んでおり，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．ロボットが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できるとしたらどうだろうか？必要なとき必要な場所のロボットを適切に選択し，感覚情報の伝達と知覚機能の一部を担うネットワークをダイナミックに構成，ユーザ毎のルールに基づいて知覚機能を支援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．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（Cybernics）が存在するが，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．

２．研究の目的

本研究課題では，前述のマルチモーダル感覚センサ・パッドをベースに，感覚情報のセンシングから知覚コンテクストへの加工までを，小型ロボット上でリアルタイムに処理可能な高機能小型知覚処理ノード，知覚ポッド（Perception Pod）を設計，実装する．並行して，人間の皮膚感覚器を弱電流等により刺激することで感覚を伝達することのできる，

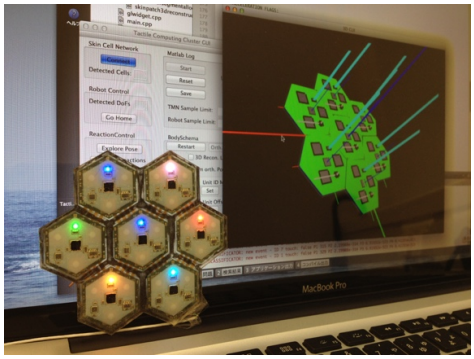

図 1. Artificial Skin Pad (TUM/ICS)

非侵襲型ポータブル感覚ディスプレイ装置，知覚ディスプレイ（Perception Display）を設計，実装し，生体神経網をモデルとしそれらを有機的に結合する知覚共有ネットワーク（Perceptive Network）を提案，プロトタイピングと実証実験を通してそれらの有用性を議論する．

３．研究の方法

知覚共有ネットワーク・プラットフォームに関する課題として次の 3 課題を設定した．

P-1. 知覚ポッドのハードウェア設計と知覚処理アルゴリズムの実装

P-2. 知覚共有ネットワークの提案とプラットフォーム構築

P-3. 知覚ディスプレイの提案と装着型遠隔コグニティブ・システムの検討

研究計画初年度である平成 26 年度は，先述のマルチモーダル感覚センサ・パッドをベースに，ネットワーク型知覚処理モジュール，知覚ポッド（Perception Pod）を設計，プロトタイピングを行った．実施にあたっては，下記に示す知覚共有ネットワーク・プラットフォームに関する課題のうち，P-1 および P-2 を並行して進めることで，それぞれの目標の達成を図った．加えて，研究開発の具体的な方向性を決定するとともに，本研究課題での注力項目の明確化を図る目的で，「参加型実世界情報プロービング技術」，「大規模分散型知覚ネットワーク構成技術」，「高感度コグニティブ・システム構築技術」の 3 点に関して，欧州プロジェクト，米国プロジェクトに関連する諸機関を調査した．

研究計画第 2 年度以降は，初年度での議論を踏まえ，問題を「多対多同時接続トポロジ」まで一般化するとともに，非侵襲型ポータブル感覚ディスプレイ装置，知覚ディスプレイ（Perception Display）の設計（課題 P-3）を含む 3 課題を実施，提案手法の遠隔コグニティブ・システムとしての有用性を評価した．

４．研究成果

(1) 知覚共有ネットワークの構築

本研究課題では，先述のマルチモーダル感覚センサ・パッドを受容器として備えたヒューマノイド型の知覚ポッドを実装し，それら

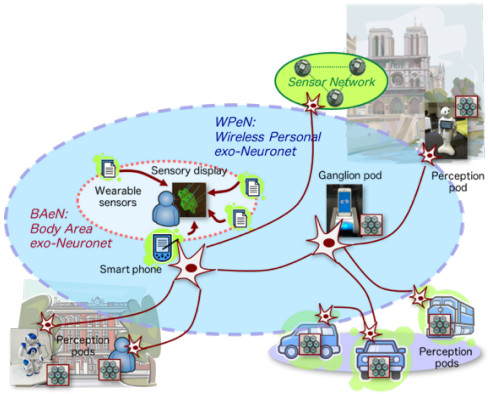

図 2. 知覚共有ネットワーク

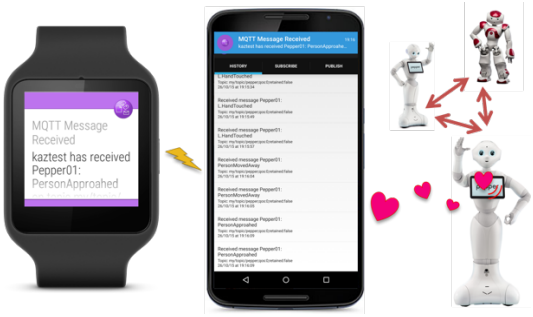

図 3. 知覚ディスプレイ・プロトタイプ

を有機的に結合させる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，知覚ポッドだけでなく，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）．

ヒューマノイド型知覚ポッドは，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．知覚ポッドの筐体としては，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，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，知覚コンテク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．

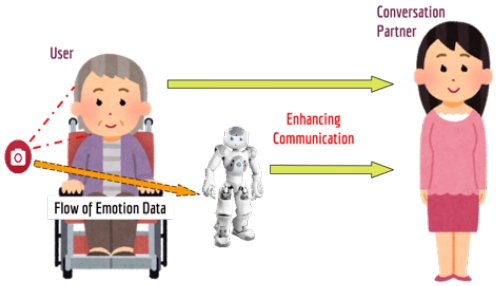

図 4. 会話力増強システムの概略

図 5. 検証実験の様子

（2）適用例：四肢麻痺患者の会話力増強支援

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（ex-Amp Robot）（図 4）は，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，知覚ポッドとして機能する．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（知覚ポッド）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）．

表 1．ユーザ評価（抜粋）

質問	平均
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当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

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，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．

(3) 学術的な意義と今後の展開

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，ソーシャブル・ロボット（Sociable Robot）と呼び，次世代のロボティクス・デザインの目標としている．今後は，本研究課題での成果を基に，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，知覚ポッド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，本研究課題で取り組む知覚ポッド実装技術と知覚共有ネットワーク構築技術，非侵襲型のポータブル感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，すなわち Sentient Robot の実現のみならず，人間そのものの知覚の空間的エンパワーメントをも可能にする技術であるという点にある．本研究課題により，知覚能力とある種の社会性を備えた次世代ロボットと，それを繋ぐネットワーク，さらには人の五感を模倣し，人の感覚器にアクセスするアクチュエータが現実のものとなった．ユビキタス情報空間への恒常的なアクセス能力を手に入れることで，人間の身体能力はこれまでにも徐々に拡張されてきたが，媒体としてのユビキタス情報空間，ソーシャブルなロボット，そして空間的に拡張される人の知覚能力．人々が日常として，遠隔地のロボットを自身のアバタとして操作し，状況を手元で知覚できるようになったとき，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．

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

1. 西山 勇毅・大越 匡・米澤 拓郎・中澤 仁・高汐 一紀・徳田 英幸，“ライフログデータを用いたチームの行動変容促進”，情報処理学会論文誌，Vol.56 (1)，pp.349-361，2015 年 1 月．（査読あり）

〔学会発表〕（計 7 件）

1. Ai Kashii, Kazunori Takashio and Hideyuki Tokuda, “Ex-Amp Robot: Physical Avatar for Enhancing Human to

Human Communication”, The 4th annual International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2016), Singapore, Oct. 2016.（査読あり）
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), New York (USA), Aug. 2016.（査読あり）
3. 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(CNR),CNR2016-3,pp.11-16, FabCafe Tokyo（東京都・渋谷区), 2016年6月.（査読なし）
4. Yin Chen, Takuro Yonezawa, Kazunori Takashio, Yutaro Kyono, Jin Nakazwa and Hidyuki Tokuda, “A public vehicle-based urban sensing system”, the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, Poster Session, pp. 117-120, Osaka (Japan), Sep. 2015.（査読あり）
5. 佐々木 航・西山 勇毅・大越 匡・米澤 拓郎・中澤 仁・高汐 一紀・徳田 英幸, “SmileSpot: 他人の笑顔画像の共有によるユーザの笑顔形成への影響評価”, 情報処理学会 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム(UBI),2015-UBI-46(9), pp.1-7, 名古屋大学(愛知県・名古屋市), 2015年5月.（査読なし）
6. Yuuki Nishiyama, Tadashi Okoshi, Takuro Yonezawa, Jin Nakazawa, Kazunori Takashio and Hideyuki Tokuda, “Toward Health Exercise Behavior Change for Teams Using Lifelog Sharing Models”, IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom 2014), pp. 327-333, IE, Natal (Brazil), October. 2014.（査読あり）
7. Mina Sakamura, Takuro Yonezawa, Jin Nakazawa, Kazunori Takashio and Hideyuki Tokuda, “Help Me!: Valuing and Visualizing Participatory Sensing Tasks with Physical Sensors”, Proceedings of the 2014 International Workshop on Web Intelligence and Smart Sensing (IWWISS’14), pp.1-6, Saint Etienne (FRANCE), Sept. 2014.（査読あり）

〔その他〕
ホームページ等
https://www.ht.sfc.keio.ac.jp/srobot

６．研究組織
(1)研究代表者
高汐 一紀（TAKASHIO, Kazunori）
慶應義塾大学・環境情報学部・准教授
研究者番号：40272752

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
なし