



Title	自己組織化可能なセンサネットワークに基づくロボットの全身触覚の実現
Author(s)	野田, 智之
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/57550
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	の 野 だ と も 智 之
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学 位 記 番 号	第 23359 号
学 位 授 与 年 月 日	平成21年9月25日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科知能・機能創成工学専攻
学 位 論 文 名	自己組織化可能なセンサネットワークに基づくロボットの全身触覚の実現
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 石黒 浩 (副査) 教 授 浅田 稔 准教授 細田 耕

論文内容の要旨

ロボットがユーザと生活空間を共有しユーザの生活を支援するためには、ロボット自身が安全に運用される必要がある。ロボット全身をやわらかい触覚で覆うことはロボットの安全性を保証するための一つの方法となり、触覚情報からユーザとのインタラクションを識別できることは、ロボットがユーザとの社会的な関係性を構築する上で重要な要素となる。ロボットの全身表面に分布した触覚センサからの時系列出力は、時間的にも空間的にも広がりをもつ情報である。効率的な機械学習を行うためには、これら時空間での識別に有用な特徴を抽出すること、すなわち時空間のセグメンテーションが、触覚情報の処理における基本的な課題である。

触覚情報は、接触対象の物理的な性質だけでなくロボットの身体構造にも影響されるため、どのような特徴が識別に有効かを予め決定することは難しい。そのため、時空間のセグメンテーションは、ロボットが触覚の経験を通じて適忯的に獲得する必要がある。ここで、時間的なセグメンテーションとは、触覚情報の特徴的な情報が含まれる時系列データを切り出すことであり、触覚情報の空間的なセグメンテーションとは、触覚情報の特徴抽出の空間的な位置とサイズを決定することである。

本研究では、時空間セグメンテーションをロボットがユーザとの触覚インタラクションの経験を通じて決定する手法を提案する。まず、ユーザとの触覚インタラクションにおいて空間的に有用な情報が局在することを確かめた。ここでの識別タスクは、ユーザ--ロボット間の触覚インタラクションの種類を触覚情報だけで識別することであり、空間的に有用な触覚情報の局在性を仮説とし、仮説の検証と仮説に基づく次元圧縮の手法を提案した。各インタラクションの時間的な触覚情報の粗い切り出しが、ロボットの運動指令を基準に行い、特微量として時間的な切り出しを必要としない相互相關を用いることで時間的な時系列データの切り出しを自動化した。実際の人間--ロボット間インタラクションによって構築された触覚情報のデータベースを用いて提案手法の有効性の検証を行い、すべての触覚センサの組み合わせから構成された特徴空間のうち、限られた部分特徴空間によって触覚情報の識別が可能であるという結果が得られた。これは仮説に合致した結果であり、空間的なセグメンテーションが触覚情報処理に有効であることを示していた。この知見に基づき、空間的なセグメンテーションの探索として、触覚センサを二次元平面上に展開し、特徴のサイズと位置

を探索する手法を提案し、ユーザからの接触の有無を識別するタスクにより有効性を評価する。この提案手法では、空間特徴の探索は尤度を最大化する方策によって行われ、探索された空間特徴量は集団学習によって統合される。また、これら空間的に決定された特徴抽出をセンサネットワーク上で分散処理するために、ノードを相互接続したネットワークを提案する。冗長な経路を持つネットワーク上で、各ノードにホストPCまでの最短経路探索を自己組織的に行うことのできるアルゴリズムを提案する。

論文審査の結果の要旨

本論文では、人間と安全に共存できるロボットを実現するために全身分布触覚で覆うことを提案し、ロボットの全身触覚を実現する際の課題である触覚センサの情報の構造化を扱っている。ロボットの全身分布触覚の実現における基本的な課題が有用な触覚情報の時空間的なセグメンテーション、すなわち時空間での意味のある触覚特徴の抽出であることを指摘している。意味のある情報は識別に有用な触覚特徴であり、ロボットの身体的な拘束とコミュニケーションの制約に影響するために、設計者が予測することが難しく自己組織的なアプローチが必要となる。ここで、自己組織的とは、明確な触覚センサの位置情報やセグメンテーション、センサネットワークの構造を意識することなくシステムが構築可能のことである。本論文は、この課題に対して以下の3つの問題に取り組んだ。

①人とロボットの接触を伴うコミュニケーションにおいて、意味のある触覚の情報が局在していることを仮説として、この仮説に基づき触覚情報から触覚インタラクションを識別する手法の提案を行った。全身触覚を実装したロボットと人の触覚コミュニケーションを通じて集めたデータベースによって識別器の有効性の評価と仮説の検証を行っている。ユーザの接触だけでなく、ロボット自身の運動起因の触覚の情報も空間的に局在していることが知見として得られた。

②全身分布触覚センサの時系列触覚情報には、ロボット自身の運動起因の接触の特徴とユーザからの接触の特徴が混在しているため、ユーザからの接触を理解するにはユーザ起因の情報を抽出する必要がある。①で得られた知見に基づき、空間的に局所的な特徴を捉えるための触覚情報のフィルタの探索手法を提案し、識別に有用な空間特徴を触覚センサの組み合わせとして探索しておくことで効率的な情報処理を可能にし、リアルタイムの認識システムを実装した。ここでも実際の人・ロボット間の接触を伴うインタラクションの実験によって手法の有効性を検証した。

③局所的な触覚情報の特徴抽出をシームレスに分散処理できるセンサネットワークを提案している。ここでシームレスな分散処理とは、センサネットワークにおいていくつかの触覚センサに繋がるノードの間に存在する分散処理の境目を超えた情報処理で、提案手法では相互にノードを接続し近傍との情報のやりとりによって境目を意識しない触覚特徴の抽出を可能にした。多数の相互接続された冗長な経路から、各ノードがホストPCまでのマルチホップの最短経路を自己組織的に再構築できる手法を提案しており、物理的な接触にさらされる触覚システムにありがちな断線やノードの故障に対する耐故障性が向上することを、シミュレーションによって検証している。

以上のように、本論文では触覚特徴の局在性を明らかにし、有用な触覚特徴の効率的な抽出とその分散処理を可能にし、拡張性や耐故障性に優れた触覚センサネットワークシステムを提案し、それら提案手法の有効性を検証した。検証方法として人と全身触覚を実装したロボットとの触覚を通じたコミュニケーションの実験を行っている。今後ロボットと人が共存し、触覚という新たなチャンネルを利用しながら、ロボットが人とコミュニケーションを取りながら支援していく社会を実現するために土台となる研究である。また、本論文では触覚における情報処理の基本問題を扱っており、今後さらなる発展が期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。