

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（A）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19680011  
 研究課題名（和文） 全身のモーションと柔軟な触覚を融合したビヘイビアキャプチャスーツの研究  
 研究課題名（英文） Behavior Capture Suit by Integrating Full Body Motion Sensors and Flexible Distributed Tactile Sensors  
 研究代表者  
 原田 達也（HARADA TATSUYA）  
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師  
 研究者番号：60345113

## 研究成果の概要：

本研究の目的は、着ているだけで日常生活の全身の触覚と動作、環境情報を融合し、いつでもどこでも行動認識を可能とするビヘイビアキャプチャスーツを開発することである。その要素となる、全身触覚センサ、動作推定、高性能の姿勢センサを考案・製作し、統合することでビヘイビアキャプチャスーツを実現した。さらに、スーツを用いて、床の上をローリングするなどのダイナミックな動作のオンライン行動計測実験も行い、実際に計測可能であることを実証した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	11,400,000	3,420,000	14,820,000
2008 年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
年度			
年度			
年度			
総計	19,800,000	5,940,000	25,740,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 ・ 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：モニタリング コンテンツ・アーカイブ 画像、文章、音声等認識

## 1. 研究開始当初の背景

近年のロボット研究において、モーションキャプチャの重要性は大きくなりつつある。モーションキャプチャの利用例として、ヒューマノイドの動作生成、人間行動の認識、ロボットとのインタラクションツールなど広範に渡っている。しかしながら従来利用されている光学式、磁気式であればカメラや磁場発生装置を設置したスタジオに計測が限定

される。また、機械式、ジャイロ式は計測する場所を限定してはいないが、人の動作のみを計測し、全身の接触などの外界とのインタラクションを計測できるものは存在しない。

全身のセンサ情報を取得する研究として、センサネットワークの分野があるが、この中でシートに信号線と電源ラインを埋め込み、そのシートにセンサを置くだけで容易に情報収集と電源供給が行える研究が最近盛んに行われるようになってきた。しかしながら

本研究で実現する、全身の体性感覚、運動、環境を同時に計測するスーツを実現しているものはない。またこれらの情報を融合利用した行動の獲得を行っている研究もない。

申請者は、従来までに触覚センサだけからの人の全身動作の追跡を世界で初めて行っており、また、小型のワイヤレスネットワーク機能をもつ姿勢センサを実現した実績を持つ。これらの知見を利用して今回提案するビヘイビアキャプチャスーツを実現する。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、着ているだけで日常生活の全身の触覚と動作、環境情報を融合し、いつでもどこでも行動認識を可能とするビヘイビアキャプチャスーツを開発することである。

我々の行動は外界とのダイナミックなインタラクションの中で生まれてくるものである。ある環境下において何らかの動作を行うと、感覚器からフィードバックを受け、この感覚器からの情報によって動作の修正を図る。これらの一連の情報の流れが時間軸方向にスパイラル状に進むことで人間の行動（ビヘイビア）が生み出されていると言える。つまり、人間の行動を規定する重要な要素である、運動（モーション）、感覚、環境は切り離さずに考えなければならない。感覚は視覚、聴覚など全てが重要であるが、本研究では環境と人は常に接触を伴う点に着目し触覚を取り上げることにする。

## 3. 研究の方法

本研究は以下に挙げる4つの項目について進めていく。

### (1) ビヘイビアキャプチャスーツのための全身分布触覚皮膚モジュールの試作

運動を妨げずにヒトの全身に触覚センサを分布させるためには、触覚センサが薄型、軽量、かつ省配線であること、センサが様々な身体形状に実装可能なこと、身体の動きに柔軟に対応できることが求められ、ウェアラブルにするためには低消費電力であることが求められる。そこで本研究では、本研究グループで開発している切り貼り可能な接触センサモジュールを利用することで、全身に装着可能な全身分布触覚皮膚モジュールを製作する。

### (2) 自己運動による外乱にロバストな小型姿勢角センサの製作

姿勢センサについては、姿勢デバイスの小型化を行い、身体に取り付けても邪魔にならないものへと改良する。小型化により慣性センサの温度ドリフトの問題が生じ、さらに装着者の自己運動に伴う外乱により姿勢角推定結果に影響を受ける。本研究ではセンサ出力の信頼度を推定して、姿勢の推定モデルを切り替える高速かつロバストな姿勢推定手法を開発する。

### (3) モーションと接触、環境情報の同時計測による人のモデリング、認識手法の構築

人は環境や物体とのインタラクションなしでは生活できない。人と物体とがインタラクションを行うときには必ず接触を伴う。この接触はモーションを決定する拘束条件を求めるのに非常に大きな意味を持つ。そこで全身にまとった接触センサを利用することで、モーションに拘束条件をつけ、モーションを正確に推定するアルゴリズムを構築する。最も単純な例であれば、足裏拘束条件を利用することで、鉛直軸方向下側の足が拘束されているという現実にもそぐわない仮定をおかずに、歩行や階段昇降動作の計測が可能になる。さらに何処にも接触していなければジャンプしているような状態であると推定できる。また、ドアを開ける、手すりにつかまるなどは手先を拘束して身体動作を決定することができ、全身の接触していることを利用することで、逆立ちをする、床の上をローリングするなどのダイナミックな動作も推定可能となる。

### (4) ビヘイビアキャプチャスーツの作成

いままで述べた、センサの作成、モーションのモデリング手法を統合することにより、ビヘイビアキャプチャスーツを実現する。

## 4. 研究成果

本研究の成果において、ビヘイビアキャプチャスーツのハードウェアの製作のみならず、マルチモーダルなセンサ情報から、それらの関係性を高速にモデル化するアルゴリズムや、周囲の環境状態を認識するアルゴリズムの開発を行った。特に製作したビヘイビアキャプチャスーツは国際学会のIEEE ICRA 2009で、2009 IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Awardを獲得し高い評価を受けている。また、考案した触

覚や運動データなどの時系列データをモデリングする手法は、データマイニングに関する最高峰の会議である SIGKDD2009 に採択され世界的に高い評価を受けている。また、特許も 1 件申請中であり、学術のみならず社会的貢献も行っている。今後は、本研究成果を基盤として、介護、スポーツなど人との接触を伴う動作の計測、解析などに利用していく。成果の詳細を以下に述べる。

### (1) 身体図式の獲得のための全身分布触覚皮膚モジュールの開発

人の体型の正確なモデルを持たせることは非常に困難であり、また、体表面は運動により伸縮するため、センサの位置はあらかじめ決定できない。そこで、身体図式の獲得に必須である、触覚センサをモジュール化した柔軟なシートを開発し、計測すべき部位に貼り付けるだけで表面形状の伸び縮みに対応可能な全身の触覚スーツを実現した。

### (2) モーションと接触、環境情報の同時計測による人のモデリング、認識手法の構築

人は環境や物体とのインタラクションなしでは生活できない。人と物体とがインタラクションを行うときには必ず接触を伴う。この接触はモーションを決定する拘束条件を求めるのに非常に大きな意味を持つ。そこで全身にまとった接触センサを利用することで、モーションに拘束条件をつけ、モーションを正確に推定するアルゴリズムを構築した。さらに、全身から得られる感覚情報や運動情報を構造化・モデル化を高速かつ正確に行うアルゴリズムの開発と、環境の状態を瞬時に理解するアルゴリズムの開発も行った。

### (3) ビヘイビアキャプチャスーツの作成

上記の全身触覚センサスーツ、触覚拘束条件を利用した動作推定、新規に開発した外乱に強い高性能の姿勢センサを統合することでビヘイビアキャプチャスーツを実現した。さらに、床の上をローリングするなどのダイナミックな動作のオンライン行動計測実験も行い、実際に計測可能であることを実証した。

## 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7件)  
査読付き会議を含む

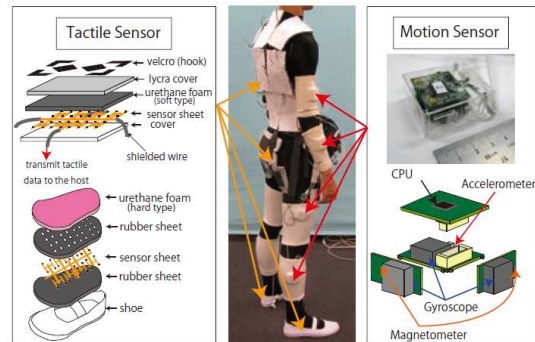


図 1 : 実現したビヘイビアキャプチャスーツの概要

- [1] Yuki Fujimori, Yoshiyuki Ohmura, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Wearable Motion Capture Suit with Full-body Tactile Sensors. Proc. of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3186-3193, 2009. 査読有り。
- [2] Takashi Shibuya, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Causality Quantification and its Applications: Structuring and Modeling of Multivariate Time Series. Proc. of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2009. 査読有り。
- [3] 原田達也, 金崎朝子, 國吉康夫. 三次元環境地図からの物体探索タスク応用を目指したカラー立体高次局所自己相関特徴の開発. 日本ロボット学会誌, to appear, 2009. 査読有り。
- [4] Asako Kanazaki, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Partial Matching for Real Textured 3D Objects using Color Cubic Higher-order Local Auto-Correlation Features. Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval, pp.9-12, 2009. 査読有り。
- [5] 藤森祐樹, 大村吉幸, 原田達也, 國吉康夫. 全身分布触覚センサと姿勢角センサを統合したモーションキャプチャスーツの開発. 第14回ロボティクスシンポジウム, pp.471-478, 2009. 査読有り。
- [6] Tatsuya Harada, Tomoaki Gyota, Yasuo Kuniyoshi and Tomomasa Sato. Development of Wireless Networked Tiny Orientation Device for Wearable Motion Capture and Measurement of Walking Around, Walking Up and Down, and Jumping Tasks. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS

2007), pp.4135-4140, 2007. 査読有り.

- [7] Tatsuya Harada, Taketoshi Mori and Tomomasa Sato. Development of Tiny Orientation Estimation Device under Motion and Magnetic Disturbance. The International Journal of Robotics Research, Vol.26, No.6, pp.547-559, 2007. 査読有り.

〔学会発表〕(計5件)

- [1] 渋谷崇, 原田達也, 國吉康夫. 因果性発見を用いた時系列データからの情報の構造化・モデル化手法. 情報処理学会第71回全国大会, 2009年3月10日, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス.
- [2] 金崎朝子, 原田達也, 國吉康夫. 三次元環境地図からの物体探索タスク応用を目指したカラー立体高次局所自己相関特徴の開発. 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2008年9月9日, 神戸大学, 工学部キャンパス.
- [3] 渋谷崇, 原田達也, 國吉康夫. 短時間観測からの因果性発見を用いた感覚運動学習. 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2008年9月9日, 神戸大学, 工学部キャンパス.
- [4] 原田達也, Max Lungarella, 國吉康夫. 因果性発見と構造解析によるロボット行動のモデル化手法. 第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2007年9月15日, 千葉工業大学 津田沼キャンパス.

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: モーションキャプチャ装置  
発明者: 國吉康夫, 原田達也, 大村吉幸, 藤森祐樹  
権利者: 同上  
種類: 特願  
番号: 2008-228449  
出願年月日: 2008年9月5日  
国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

〔その他〕

受賞(計1件)

- [1] 2009 IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award (ICRA'09). Yuki Fujimori, Yoshiyuki Ohmura, Tatsuya Harada, and Yasuo Kuniyoshi. Wearable Motion Capture Suit with Full-body Tactile Sensors. Proc. of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 達也 (HARADA TATSUYA)  
東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師  
研究者番号: 60345113

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者