

博士論文概要

論文題目

複数センサ情報を統合した
人間の作業・行動支援機械システムの
フレームワークに関する研究

Study on Framework of Mechanical
Systems Supporting Human Operation and
Action by Integrated Sensory Information

申請者

<small>ムトウ</small> 武藤	<small>シンヨウ</small> 伸洋
Shin-yo	MUTO

2014年7月

近年、高度な機能を持つセンサが開発され、製造現場や各種設備での利用にとどまらず、一般消費者が所有する携帯電話端末での利用というところまで普及している。社会構造の変化も伴って、センサの利用方法も、ロボット等の製造機器の制御の高精度化や作業対象の不確定性への対応、プラントや特定の設備・装置の状況監視や自然環境の詳細なデータ取得など、技術的専門性の高い分野での利用から、一般市民への情報提供サービスや、高齢化に伴う医療分野やヘルスケア分野などで、生活空間で人々を支援するシステムの高度化への利用の期待も高まっている。センサ情報の利用が、工場や特定の設備・施設、機械の内部での利用から、センサから得られた情報をインターネットを介せば世界中どこでも利用できる環境、さらには一般の人が自ら所持するセンサの情報を自分だけでなく、遠く離れた人々からも参照できる環境へと発展してきている。センサの種類も多岐に渡り、例えば市販のスマートフォン本体のみでも、GPSや加速度、方位、温度、照度の計測が可能なものがあるほか、Bluetoothや無線LANなどの接続インタフェースによって、さらに多くのセンサが日常的に利用できる状況が整いつつある。

このような状況の中で多種多様なセンサやロボットなどの機械を活用したシステムの性能向上や、適応領域を拡大し、実サービスとして普及をさせるためには、センサやロボット単体の高度化のみならず、製造機器のオペレータ、情報・医療・公共等サービスの提供者側、サービスの利用者側の視点を考慮した検討が必要となる。例えば、複数センサ情報の中での効果的な組合せを効率的に実験できる環境の構築、ユーザがセンサ情報を利用するにあたり理解のしやすい形での情報提供、ユーザの状況をセンシングする場合におけるプライバシーの観点の配慮、端末機器の急速な進展に対応する実験システム構築の効率化、多様なアプリケーション構築の効率化など多岐にわたる課題が考えられる。

以上の背景を踏まえ本研究では、生活空間に普及しつつある多様なセンサを統合的に扱い、作業員や利用者を支援する新規サービスを継続的・体系的に創出可能とする支援機械システムのフレームワークを構築することを目的とする。

本論文は全5章から構成される。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景、研究課題と目的について述べた。また、関連研究の動向について述べ、本研究の位置づけを明らかにした。具体的には、センサを利用した産業用ロボットや情報サービス等にかかわる支援システムの研究開発状況を整理し、課題と設計方針を示した。

支援機械システムの物理世界(=機械系)の課題を、センサ特性や人間の判断能力を最大限に発揮できる、情報処理・情報提示の実現ととらえ、その課題に対して、マニピュレータ、ロボット、人間の位置・速度・加速度・力など運動情報に基づく作業点モデリングにより、作業点に対応して、その時の誤差特性、目標値と実際値の差等を管理し、その情報を機械が利用するとともに、コンピュータを介して人間が容易に活用できる仕組みにより解決するアプローチを示した。また、情報世界(=情報系)の課題を、多種多様なセンサを接続して、種々のサービスを

提供する支援機械システムを構築できるプラットフォームの実現ととらえ、その課題に対して、一般ユーザの所持するセンサや施設に設置されたセンサを、XML 技術と階層化構造により、ロボットや他のシステムとの連携性を高め、柔軟に生活空間におけるサービスを構築できる仕組みにより解決するアプローチを示した。さらに上記の機械系の課題と情報系の課題を解決する技術を導入することで、現在の携帯端末やネットワーク環境を活用し、継続的・体系的にアプリケーション構築を可能とするアプローチを示した。

第2章では、機械系の課題解決を目的に、産業用マニピュレータの運動情報に基づく作業点誤差モデリングによるユーザ支援システムの高度化について述べた。具体的な運動情報として速度情報と力覚情報との特性を相補的に利用した作業点接触情報センシング方式を提案し、実験による接触点検出精度向上を確認した。次にこれを、力覚センサを有するマニピュレータを対象に、グラインダ等の接触做い作業への適用し、作業環境への適用性や教示の簡素化に効果があることを明らかにした。さらに、生産現場で用いられるセンサフィードバック型ロボットの内部情報から、装置の各処理部の計算結果を同次元で代表するワーク形状の推定値、エンドエフェクタの制御目標値、制御結果等のワーク座標系で記述できる情報を可視化し、作業者に提示することで作業を支援する方法を提案した。この方法を、実際の溶接センサフィードバックロボットを対象に、ウェアラブルコンピュータを利用して実装し、作業点誤差情報の作業員への提示による作業員支援および運動情報との相関性を利用したチューニングへ適用することにより、その有効性を明らかにした。

第3章では、情報系の課題解決を目的に、公共空間でのロボットによる案内等のユーザ支援サービスを想定し、様々な種類のロボットやセンサからの情報を、ネットワークを介して情報共有するプラットフォーム（PF）を提案した。このようなサービスでは、施設を利用するユーザの運動を計測するセンサは、計測すべきユーザの動作や、施設の広さや明るさなど環境に適用できる形で多種多様なセンサが利用される。また、サービスを提供するロボットも施設的环境によって適切なロボットを利用する形態となる。そのようなセンサ情報を扱うユーザ支援システムに対して、XML 技術を導入して情報を柔軟に記述し、階層化構造により基本的な情報管理が可能な情報共有 PF を設計した。この PF 上にロボットによる記念写真サービス、展示説明、健康支援、ショッピングモールでの案内サービスをインプリメントし、実証実験を通じて以下の結果を得た。

- ・多様なセンサ・ロボットを提案 PF に接続し 4 施設で最大 15 システムを PF に接続したロボット情報サービスの構築を実現した。
- ・システム開発工数の観点から PF 化した開発規模と各実証実験システムを個別開発した場合の想定開発規模比較し、複数システムを構築する場合に PF 化による開発効率化が期待できることを明らかにした。

第4章では、現在の携帯端末インフラを活用したアプリケーション開発を対象に、第2章の機械系の課題を解決する技術、第3章の情報系の課題を解決する技術の双方を適用したフレームワークを提案し、ヘルスケア分野等への応用について述べた。まず、産業用ロボットで作業点におけるマニピュレータの運動やワークの状況のセンシングを高度化する仕組みを、歩行者の運動や歩道の状況センシングに適用し、相補利用やユーザへの提示、相関性の利用を可能にしたフレームワークと位置付けた。さらに第3章のXML技術を活用したデータの記述方式を導入し、携帯端末上でのセンサ情報収集の特性を考慮したシステムを提案した。次に、提案システムの具体的なアプリケーションとして、ユーザの運動に関する情報の利用例として歩行モニタリング機能を構築し、段階的にその応用性の検証と並行して、システムの有効性の検討を行った。第一段階では、基礎的なデータ蓄積アプリケーションを構築し、携帯端末を身に付けたユーザの運動情報として、歩行時の加速度・GPS計測から得られる特徴量を用いた、歩行概要評価の検討を行った。次の段階では、医療やヘルスケア分野への応用を想定し、専用センサから得られる情報と、携帯端末のセンサから得られる情報の比較を実施した。さらに、具体的にリウマチ疾病の状態の定量的な把握を目的として、そのために必要となる計測データ、ユーザからの入力データを蓄積するアプリケーションを構築して実験を実施、リウマチ指標と運動情報の相関性を利用した疾患活動性推測への可能性を示した。一連の実験にて、携帯端末センサの特性を考慮したデータ収集、実験のフェーズに応じた蓄積情報の変更・拡張への対応という観点から提案システムの有効性を確認した。

さらに利用するセンサ情報を、ベビーカーや車椅子、キャリングケースの運動情報に拡張し、歩道利用者や歩道管理者へのシステム支援を想定した、歩道路面状況の収集システムへの応用のコンセプトを示した。今後、ユーザが所持する携帯端末や携帯端末に接続されたセンサ情報を活用したサービスは増加すると考えられ、初期段階の実験から実用化に至る過程で効率良く活用可能な情報収集システムがサービス開発上、重要になると想定している。

第5章では、第2章から第4章で得られた主要な成果についてまとめ、本研究の目的が達成されたことを示すとともに、総括を行った。具体的には、運動情報に基づく作業点モデリングを機械と人間が容易に活用できる仕組み、XML技術と階層化構造により複数システムの連携性を高めてサービスを構築できる仕組みを提案し、産業用ロボットや情報支援ロボット、生活空間に普及しつつある多様なセンサを活用した新規サービスの創出に対する有効性を示した。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 武藤伸洋 印

(2014年10月 現在)

種 類 別	題名, 発表・発行掲載誌名, 発表・発行年月, 連名者 (申請者含む)
論文	(学術誌原著論文(査読があるもの))
○	携帯端末センサ情報収集方式の歩容概要記録への応用と拡張性に関する研究, 日本機械学会論文集(掲載決定 Vol. 80, No. 819 掲載予定) 武藤伸洋, 中村幸博, 伊藤達明, 石原達也, 篠原章夫, 西口周, 山田実, 青山朋樹, 岡本和也, 吉富啓之, 布留守敏, 伊藤宣
	ネットワークロボットプラットフォーム -4Wに基づいた異種センサデータ統合-, 計測自動制御学会論文誌, vol.50, No.1, pp. 82-90, 2014/01, 中村幸博, 武藤伸洋, 水川真, 茂木学, 小林透, 高嶋洋一
	Objective assessment of abnormal gait in patients with rheumatoid arthritis using a smartphome, Rheumatology International, Vol. 32, Issue 12, pp 3869/3874, 2012/12, Minoru YAMADA Tomoki AOYAMA, Shuhei MORI, Shu NISHIGUCHI, Kazuya OKAMOTO, Tatsuaki ITO, Shinyo MUTO, Tatsuya ISHIHARA, Hiroyuki YOSHITOMI, Hiromu ITO
○	ネットワークロボットプラットフォームの実証実験による評価, 電子情報通信学会論文誌 D Vol. J93-D, No.10, pp.2240/2256, 2010/10., 武藤伸洋, 下倉健一朗, 中村幸博, 手塚博久, 阿部匡伸
	Framework and Service Allocation for Network Robot Platform and Execution of Dependent Services”, Robotics and Autonomous Systems Journal, 56, pp.831/842, 2008/10, Yukihiro NAKAMURA, Tamotsu MACHINO, Manabu MOTEGI, Yoshiyuki IWATA, Takanori MIYAMOTO, Satoshi IWAKI, Shin-yo MUTO, Ken-ichiro SHIMOKURA
	ウェアラブルコンピュータを適用したマルチモーダル教示アドバイザーのユーザインタフェース評価, 精密工学会誌第 67 巻第 5 号, PP.739/744, 2001/01, 柳原義正, 武藤伸洋, 柿崎隆夫
○	センサベースロボットシステムのための運動情報マネージメント, 日本ロボット学会誌 Vol.15, No.8, pp.1156/1163, 1997/11, 手塚博久, 武藤伸洋
○	接触情報センシングを用いた倣い作業の教示と制御, 日本ロボット学会誌 Vol.15, No.5, pp.744/751, 1997/07 武藤伸洋, 下倉健一朗
○	力・速度情報の相補の利用による接触点検出法, 日本ロボット学会誌 Vol.11, No.3 , pp.429/435, 1993/04, 武藤伸洋, 下倉健一朗
	(国際会議(査読があるもの))
○	The Concept of Cooperative Sidewalk Supporting System that Manages Sensory Information from Mobile Terminals and Personal Mobility, 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 364/369, 2013/12, Shin-yo MUTO, Hideaki. IWAMOTO, Tatsuaki ITO, Noriyoshi UCHIDA, Masakazu URATA, Hikaru TAKENAKA Jun-ichi NAKAGAWA, Takashi. SATOU
○	Field-AID System Providing Onsite Data Visualization and Onsite Parameter Tuning for Supporting Sensor-Based Industrial Manipulators, Proceedings of 14th International Conference on Computer-Aided Production Engineering, pp. 459/464, 1998/09, Shin-yo MUTO, Hirohisa TEZUKA, Yoshimasa YANAGIHARA, Takao KAKIZAKI
	Teaching and Control of Robot Contour- Tracking Using Contact Point Detection, IEEE International Conference on Robotics and Automation 1994 Vol. 1 pp. 674/681, 1994/05, Shin-yo MUTO, Ken-ichiro SHIMOKURA
	Accurate Contact Point Detecting Using Force and Velocity Information Complementarily”, IEEE International Conference on Robotics and Automation 1993 Vol. 1 , pp.738/744, 1993/05, Shin-yo MUTO, Ken-ichiro SHIMOKURA

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名, 発表・発行掲載誌名, 発表・発行年月, 連名者（申請者含む）
総説	<p>(学術誌の解説, 講座等)</p> <p>把握中のセンシング戦略:その4 作業中の接触点検出, ロボット学会誌 Vol. 11, No. 7, pp.985/991, 1993/10, 武藤伸洋, 下倉健一郎</p>
講演	<p>(国際会議(査読がないもの))</p> <p>Field experiments using network robot platform and common interface, IEEE/RSJ IROS 2009 Workshop, 2009/10, Shin-yo. MUTO, Hirohisa TEZUKA, Yukihiro NAKAMURA, Yo-ichi TAKASHIMA, Masanobu ABE, Ken-ichiro SHIMOKURA, Takaaki. AKIMOTO, Norihiro HAGITA</p> <p>Network robot Project Field Experiments in 2006, IEEE/RSJ IROS 2007 Workshop, 2007/10, Ken-ichiro SHIMOKURA, Shin-yo MUTO, Yukihiro NAKAMURA</p> <p>Service Allocation Architecture for Network Robots Based on 4W Information, IEEE International Conference on Robotics and Automation 2007 Workshop, 2007/04, Yukihiro NAKAMURA, Tamotsu MACHINO, Manabu MOTEGI, Yoshiyuki IWATA, Takanori MIYAMOTO, Satoshi IWAKI, Shin-yo MUTO, Ken-ichiro SHIMOKURA</p> <p>(学会発表(研究会))</p> <p>ユーザ理解モデルを用いた嗜好把握方法と飲食店推薦サービスへの適用, 信学技報 LOIS2010-25, IE2010-67, vol. 110, no. 207, LOIS2010-25, pp. 43/48, 2010/09, 伊藤浩二, 武藤伸洋, 阿部匡伸</p> <p>ネットワークロボットプラットフォームを介した複数のアンコンシャス-ビジブルロボットの連携実験, 電気情報通信学会ネットワークロボット時限研究会 2007 年度第 2 回研究会, pp.23/38, 2008/03, 下倉健一郎, 武藤伸洋, 中村幸博, 見持圭一, 古結義浩</p> <p>4Wに基づいたセンサ情報統合化方式の提案, 電子情報通信学会ネットワークロボット時限研究会 2007 年度第一回研究会, pp.1/6, 2007/07, 中村幸博, 茂木学, 町野保, 岩田義行, 武藤伸洋, 下倉健一郎</p> <p>PC を介したロボット・情報機器の音声操作に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告書ヒューマンコミュニケーション基礎 HCS2000-56~61, pp.1/6, 2001/03, 武藤伸洋, 手塚博久, 中村幸博, 茂木学</p> <p>(学会発表(定期大会))</p> <p>携帯端末加速度情報を用いた歩行状態センシングの応用性に関する検討, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会'11, 2P1-I05, 2011/05, 武藤伸洋, 伊藤達明, 中村幸博, 石原達也</p> <p>多種ロボット連携実験によるネットワークロボットプラットフォームの拡張性・効率性に関する検証, 第 10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2009 2D1-3, 2009/12, 武藤伸洋, 中村幸博, 手塚博久, 阿部匡伸, 下倉健一郎</p> <p>ネットワークロボットプラットフォームを利用した多種ロボット連携の実証実験, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会'09, 2A1-C07, 2009/05, 武藤伸洋, 中村幸博, 手塚博久, 阿部匡伸, 下倉健一郎</p> <p>ウェアラブル PC による作業支援システム(センサベアストロボット支援システムへの応用), 2P2-39-047, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 00, 2000/05, 武藤伸洋, 手塚博久, 柳原義正, 茂木学, 小阪朋也</p> <p>信頼度ファクタを導入した接触情報センシング, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会'95, Vol. B, pp.1299/1300, 1995/06, 武藤伸洋, 下倉健一郎</p> <p>接触センシングに基づく做い制御・作業教示法, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会'94, Vol. A, pp.681/686, 1994/06, 武藤伸洋, 下倉健一郎</p> <p>モータ代数を用いた力・速度情報の処理方式—把持物体の接触点検出に関する検討—, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会'92, Vol. A, pp.791/794, 1992/06, 武藤伸洋, 下倉健一郎</p> <p>その他学会発表(定期大会)での筆頭での発表4件</p>
著書	<p>画像電子学会編, 画像電子情報ハンドブック(第 4 編2, 4, 2ネットワークロボット), 画像電子学会, 東京電機大学出版, 2008/02, (共著)</p> <p>日本機械学会編, 挑戦:知能化する機械(6.3節做いのために触れる)執筆, 日本機械学会編, 養賢堂出版, 1997/07, (共著)</p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名, 発表・発行掲載誌名, 発表・発行年月, 連名者（申請者含む）
その他	<p>(特許)</p> <p>可視化処理装置および可視化処理システム, 特許 3537075, 2004/06, 武藤伸洋 ロボットのシステム制御方法及び装置, 特許 3218553, 2001/10, 武藤伸洋 加工・組立装置の倣い制御方法および倣い制御装置, 特許 3206775, 2001/09, 武藤伸洋, 下倉健一郎, 野中潔 加工・組立装置における接触点および接触法線検出法, 特許 3196145, 2001/08, 武藤伸洋, 下倉健一郎 ロボット診断方法, 特許 3104839, 2000/10, 手塚博久, 武藤伸洋</p> <p>(査読付き論文)</p> <p>Reliability and Validity of Gait Analysis by Android-Based Smartphone (Short Paper), TELEMEDICINE and e-HEALTH MAY 2012, pp.292/296, 2012/03, Shu NISHIGUCHI, Minoru YAMADA, Koutatsu NAGAI, Shuhei MORI, Yuu KAJIWARA, Takuya SONODA, Kazuya YOSHIMURA, Hiroyuki YOSHITOMI, Hiromu ITO, Kazuya OKAMOTO, Tatsuaki ITO, Shinyo MUTO, Tatsuya ISHIHARA, Tomoki AOYAMA</p> <p>転倒転落事故の予防を目的とした見守りベッドシステム, 電子情報通信学会論文誌 D Vol. J94-D, No.6, pp.1025/1038, 2011/06, 茂木学, 松村成宗, 山田智広, 武藤伸洋, 金丸直義, 下倉健一郎, 阿部匡伸, 大久保由美子, 森田佳子, 葛西圭子, 山元友子, 落合慈之</p> <p>カメラとプロジェクトを搭載した移動ロボットによる実空間視野共有型コラボレーションシステム, 日本ロボット学会誌 Vol.28, No. 6, pp.746/755, 2010/07, 町野保, 南條義人, 柳原義正, 河田博昭, 岩城敏, 下倉健一郎, 武藤伸洋</p> <p>遠隔協調作業支援システム Field-AID の開発と評価, 日本機械学会論文集 C VOL.72, NO.716, pp.1223/1229, 2006/04, 町野保, 柳原義正, 南條義人, 河田博昭, 下倉健一郎, 武藤伸洋, 茂木学</p> <p>On Tracking of Eye for Human-Robot Interface, IEEE International Journal of Robotics and Automation Vol.19, Issue 1, pp.42/54, 2004/08, Md. Al-Amin BHUIYAN, Vuthichai AMPORNARAMVETH, Shin-yo MUTO, Haruki UENO</p> <p>Evaluating User Interface of Multimodal Teaching Adviser Implemented on a Wearable Personal Computer, Journal of Intelligent and Robotic Systems 31, pp.423/438, 2001/01, Yoshimasa YANAGIHARA, Shin-yo MUTO, Takao KAKIZAKI</p> <p>Assembly Task-oriented Manipulation System(ATOMS)の開発, 日本ロボット学会誌 Vol.13, No.8, pp.1190/1198, 1995/11, 下倉健一郎, 武藤伸洋</p> <p>接触状態変化検出機能を有するマニピュレーションシステムに関する検討, 日本ロボット学会誌 Vol.12, No.6 , pp.837/845, 1994/09, 下倉健一郎, 武藤伸洋</p> <p>その他, 査読付き論文連名 8 件</p> <p>(国際会議・シンポジウム(査読があるもの))</p> <p>Proposal of Active Information Supplement Platform Based on 4W Information, 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 951/956, 2012/12, Yukihiro NAKAMURA, Shin-yo MUTO, Manabu MOTEGI, Makoto MIZUKAWA</p> <p>Sensor-Enhanced Robotic Cell Collaboration Using Shared Task Error Information”, IEEE International Conference on Robotics and Automation 1998, pp. 2375/2382, 1998/05, Manabu MOTEGI, Takao KAKIZAKI, Shin-yo MUTO</p> <p>An Analysis Method for Human Assembly Operations Aiming at Automatic Generation of Robot Commands, IEEE International Conference on Robotics and Automation 1993 Vol. 2, pp. 695/700, 1993/05, Tomoichi TAKAHASHI, Hiroyuki OGATA, Shin-yo MUTO</p>