

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：94301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21118003

研究課題名(和文) ユビキタスセンサに基づく対話行動認識プラットフォーム

研究課題名(英文) Dialogue behavior recognition platform for ubiquitous sensors

研究代表者

萩田 紀博(HAGITA, Norihiro)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・社会メディア総合研究所・所長

研究者番号：40395158

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 76,200,000円、(間接経費) 22,860,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ロボットの周囲の人々の基本的対話行動認識技術の確立を最終的な目的として、ハードウェア・ソフトウェアの両面から研究開発を行った。まず、基本的対話行動を表すデータをどのような計測領域においても、また計測領域を拡張・移動させても、瞬時に取得できるユビキタスセンシングシステム構築技術を確立した。次に、実際の小学校に設置したユビキタスセンシングシステムから計測されるデータを蓄積し、小学生の理科の授業における音源アクティビティの分析、笑いイベントの分析などの、学びの様子に関する情報を抽出できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This research developed both hardware and software to understand people's learning activities in real environments. Firstly we developed the ubiquitous sensor system which consists of microphone arrays, laser range finders and wireless units. We also developed a calibration mechanism to enable users to install system easily into real environments such as an elementary school. Secondly, we installed the ubiquitous sensor system into a science room at an elementary school and gathered sensor data during science classes. We confirmed that the system has enough capability to analyze several activities which are related learning situations such as sound activity and laughter events during classes.

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：対話行動認識 環境表現 ユビキタスセンシング

1. 研究開始当初の背景

人間社会で人と共生するロボットにとって、周囲の人々の位置や注視行動などの基本的な対話行動を認識するための技術は、ロボットが人々に対して安心・安全、かつ適切な行動をとるための基本技術である。近年、人の日常的な行動を計測するためのユビキタスセンシングシステムに関する研究開発は盛んに進められている。ロボットがユビキタスセンシングシステムと連携するネットワークロボットによる共生型ロボットの研究開発も進んでいる。特に、ネットワークロボットの研究は、我が国が国際的に主導的な立場を取っており、EU 諸国や韓国においてもフォーラムが開催されるなど、国内外の大学や研究機関に広がりつつある。

本計画研究代表者の萩田は、3 種類のロボット（アンコンシャス型ロボット（ユビキタスセンシングシステム）、ビジュアル型ロボット（通常のロボット）、バーチャル型ロボット（ソフトウェアエージェント））が連携するネットワークロボットという概念を 2003 年に世界に先駆けて提唱し、国際的にイニシアチブを取りつつ、ネットワークロボット技術の研究開発を行ってきた。人々の行動を認識するプラットフォームの研究開発にも取り組んでおり、5 cm 以下の誤差で人々の位置を計測し、位置に基づく行動（歩いている・走っているなど）の認識が可能なユビキタスセンシングシステムをショッピングモール内に構築し、企業や研究機関が利用できるように 2008 年 6 月から一般公開している（図 1）。ロボットサービスを開発するテストベッドとして、既に複数の国内外の研究機関がこのシステムおよび環境を利用して実験を行っている。本計画研究グループでは、他にも、1 台のカメラで人々の視線を特別な装置を装着せずに取得する方法を開発しており、この方法を利用した生活支援ロボット技術の研究開発も進めている。

ただし、現在のユビキタスセンシングシステムは、萩田らのシステムも含めてそのほとんどが、人々の位置の計測と、位置の時系列データから求まる行動認識をすることにどまっており、画像情報から抽出される人々の顔の向きや視線などを位置情報と組み合わせた基本的対話行動（人と人や人とモノの相互作用に関する行動）の認識を行う技術はまだ確立されていない。ユビキタスセンシングシステムは、計測領域の広さに比例してセンサの数が多くなるため、その設置とキャリブレーション作業は煩雑になり、様々な研究者がこのシステムをプラットフォームとして利用する際の大きな障壁になっている。

このシステムを設置・キャリブレーションの技術的な問題を解決し、その上で基本的対話行動認識技術を確立すれば、共生型ロボットが人間社会の中で適切に振る舞うために必要となる認識技術は飛躍的に進歩し、本領域の様々な研究者が自分の実験環境におい

て容易に設置・利用できる拡張性の高いプラットフォームも実現できる。勿論、このプラットフォームにおいてロボットは自由に動き回り、人々に対して適切な行動を取ることが可能になるため、本領域以外の研究者・企業などへの波及効果も極めて高いことが予想される。これらのことから、本計画研究の着想に至った。



図 1 位置計測と移動行動認識システム

2. 研究の目的

2. 1 : 基本的対話行動データ取得のためのユビキタスセンシングシステム構築技術

どのような計測領域においても、基本的対話行動データが瞬時に取得できるユビキタスセンシングシステムを構築する技術を開発する。ここでは、上述した解決すべき問題の内、計測領域の広さに比例したセンサ数増大に伴って煩雑となる設置およびキャリブレーション作業の問題を H21 年度～H22 年度上半期で解決する。本計画研究では、基本的対話行動データとして、人々の位置、顔の向き、視線、音声を対象とし、これらを取得するセンサとしてレーザレンジファインダ、パン/チルト機構付きカメラ、マイクロフォンを利用する。

まず、設置作業を容易にするために、これらのセンサを無線化した無線センサモジュールを開発する（図 2 上）。無線センサモジュールは、センサユニット、無線通信ユニット、計測・センサ情報処理用 PC、電源からなるハードウェアと、近隣のセンサとの通信による、確実な通信経路の自己組織化を行うソフトウェアで構成される。このモジュールが開発されれば、これまで問題となってきたセンサの設置に伴う配線作業および物理的な設置作業が、この無線センサモジュールを対象となる環境に置くだけの作業に簡易化される。

次に、キャリブレーション作業を完全自動化する技術を開発する。設置された無線センサモジュールの中で、レーザレンジファインダが計測している対象までの距離の時系列データを利用し、他のレーザレンジファインダから得られる距離時系列データとの相関関係から自己の位置および姿勢を推定する（図 2 下）。このとき他の種類のセンサとレーザレンジファインダとの関係は無線センサモジュール内で予め求めることを前提と

する。これらの技術により、ユビキタスセンシングシステムによる基本的対話行動データ取得のためのプラットフォームを実現する。

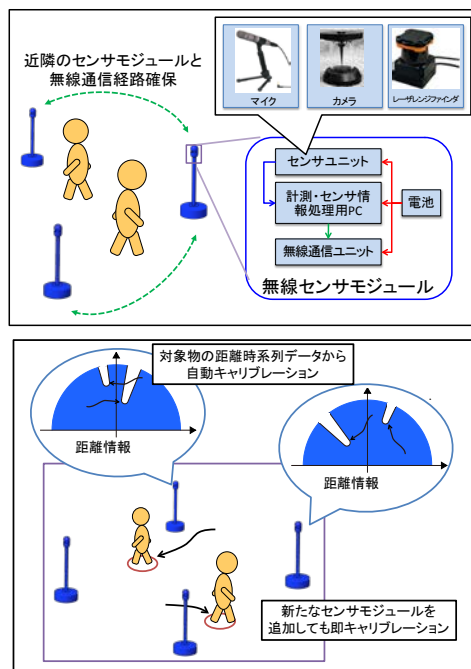


図 2 ユビキタスセンシングシステム

2. 2：基本的対話行動に基づく環境表現構築技術

実環境での人々の対話行動をモデル化し、そのモデルと実環境で取得されるデータに基づき、共生型ロボットが実環境で行動する際に参照する基本的対話行動に基づく環境表現を構築する。ここでは、上述した解決すべき問題の内、人々の位置、顔の向き、視線などを組み合わせた基本対話行動の認識技術の確立を目指す。本研究課題は、課題 1 のユビキタスセンシングシステムによりデータを取得するため、H21 年度は 3 次元動作計測装置等によりデータを擬似的に取得し、予備検討を開始し、システムプロトタイプが完成された後に実環境でのデータを取得し研究開発する。

まず、一般被験者や、システムプロトタイプを設置した施設の実際の利用者の対話行動を精緻に計測し、人々が興味の対象となる人やモノを選択し接近するなど基本的対話行動をモデル化する。次に、構築した基本的対話行動モデルを利用し、実際の施設の利用のされ方を時空間で解析し、基本的対話行動に基づく環境表現を構築する。

この環境表現を利用すれば、例えば「この時間帯、この場所では、モノ A に注目して対話する行動が多く見られる」「この人は、これからロボット B に向かって対話しようとしている」などの基本的対話行動の認識と予測が実現できる。

3. 研究の方法

3. 1：無線センサモジュールの開発

基本的対話行動認識のためのユビキタスセンシングシステムを構成する無線センサモジュールを開発し、実験室環境にユビキタスセンシングシステムを構築する。無線センサモジュールは、レーザーレンジファインダ・カメラ・マイクからなるセンサユニット、計測・センサ情報処理用 PC、電源、無線通信ユニットから構成され、各無線センサモジュールは、近隣のセンサモジュールとの無線通信を確立し、安定した通信経路を自己組織化する機能を持つ。このユビキタスセンシングシステムは、他のサブテーマの研究開発に利用されると共に、本領域内の他の計画研究班が利用できるように公開する。また、他のサブテーマの研究成果を随時フィードバックすることで、無線センサモジュールのハードウェアおよびソフトウェアの逐次改良を行う。

3. 2：無線センサモジュールの自動キャリブレーション技術の開発

無線センサモジュールを利用し、自動キャリブレーション技術を実現する。具体的には、センサユニットの一つであるレーザーレンジファインダで取得される距離の時系列データを蓄積し、他のレーザーレンジファインダから得られるデータとの相関関係から自己の位置および姿勢を推定するとともに、人の位置・顔の向き・視線・音声等の基本情報の取得に適した無線センサモジュールの組み合わせを見つける。極めて広範囲の計測範囲においては、通信経路のホップ数などを利用して、センサ間の物理的な距離を組み合わせの制約として用いる等の工夫により、実時間で上述の処理を可能にする。この技術により、煩雑な設置・配線工事を必要とせず、無線センサモジュールを環境に置くだけでユビキタスセンシングシステムの構築・拡張・移動が可能になる。

3. 3：基本的対話行動モデルの構築

基本的対話行動モデルを構築する。まず、初年度に構築した実験環境や、次年度以降に構築される実環境でのユビキタスセンシングシステムによって、人々の基本的対話行動を精緻に計測する。計測は、口頭での指示に従って様々なシチュエーションでの基本的対話行動を行ってもらい一般被験者と、実際にシステムを設置した施設の利用者を対象として、人やモノに注目しながら行われる対話行動や、対話行動を行うための予備動作（対話の相手に近づく動作や、注目している対象物に近づく動作）などを計測し、基本的対話行動の認識・予測を行うためのモデル化を行う。

3. 4：基本的対話行動に基づく環境表現の構築と有効性検証

ユビキタスセンシングシステムを実環境

に設置し、構築した基本的対話行動モデルに基づき、実際の複合商業施設などの環境において行われている基本的対話行動を解析することで、実際の施設内を人々がどのように利用しているかを基本的対話行動に基づいた環境表現を構築する。この環境表現を利用することで、実際の施設内の時空間での特性に基づく対話行動認識および予測が可能になる。実ロボットに、この環境表現を利用した情報提供サービスなどの支援サービスを実装し、対話行動認識技術の有効性検証を行う。

4. 研究成果

図3に示すように、レーザ距離計とマイクロフォンアレイを連動した無線センサユニットを開発し、このユニットを複数台利用した協創センシング技術として、人の位置同定、音源位置同定、音源分離、話者同定を組み合わせ、「誰が」「いつ」「どこで」「なにを話しているのか」を計測・蓄積する技術を開発した。この技術は、複数のレーザ距離計と複数のマイクロフォンアレイを組み合わせることで、マイクロフォンアレイのみを利用した場合に比べて、高精度かつ短時間に結果を出力することができる。

先に述べた無線センサユニットのセンサを組み替え自由にして、レーザ距離計の校正作業自動化技術を実装することで、人文科学系を含む多くの研究者が利用しやすいプラットフォームを開発した。この人位置計測システムは製品化され、(株)ATR-Creativeから販売されている。

A02, A03 班の実験で利用可能な人型ロボット(デスクトップ型 (Robovie-W) と遠隔操作システムを開発した。特に, Robovie-W は、実験被験者である子ども(小学生)が受け入れやすいデザイン(A03 班)、ロボットの視線や振る舞いがわかりやすいデザイン(A02 班)の要望を受けて検討し、柔らかい素材で丸い形状を実現した(図4)。すでに領域内で広く利用されている。このロボットおよびシステムも製品化が進み、(株)ヴィストンから販売されている。

これらの研究開発及び実用化を進めつつ、領域内での共同研究を進めていく中で、本新学術領域特有の計測技術およびプラットフォームが他の研究班の実験遂行に必要なことが明らかになったため、当初計画の基本的対話行動認識技術、およびユビキタスセンサに基づく対話行動認識プラットフォームの方向を平成24年度より修正した。具体的には、A02, A03 班の実験結果から得られる、計測手法やロボット制御に関する定量的な指標・知見を積極的に取り込み、遠隔操作型ロボットからの働きかけも含めた観測情報の構造化を行う協創センシング技術および協創システムプラットフォームを構築し、本新学術領域の基本ツールに仕上げることに注力した。



図3 無線センサユニット

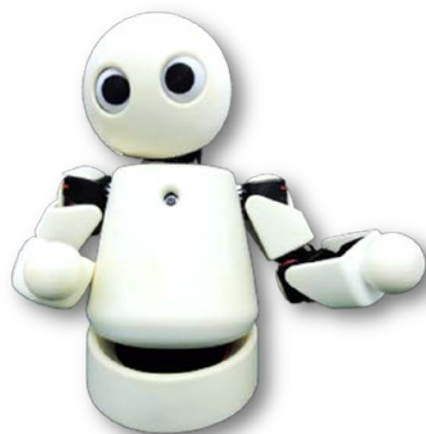


図4 Robovie-W



図5 理科室に設置したセンサ

具体的には、人位置同定・音源位置同定・音源分離・話者同定等の、「誰がどこで何をしているのか」という、学習・発達過程を理解するために重要となる情報を抽出できるシステムを確立した。さらに、3次元距離画像装置を利用した人位置計測システムとマイクロフォンアレイの連動を進め、環境内の人々の高さに関する情報を扱えるようにした。

A03 班との連携を進め、開発した協創システムプラットフォームを小学校の理科室に設置し、その有効性を検証するための実験を実施した(図5)。具体的には、子どもたちの理科に対する好奇心向上を目標とし、2012年度に110名を超える小学5年生に対する理科の授業を対象とする実証実験を実施した、実験期間中、半自律型ロボットは1ヶ月以上にわたって理科室に導入され、朝や昼の自由時間、授業間の休憩時間において子どもたちの理科に対する質問に答えた(図6)。

実験の事前・事後で理科に対する好奇心を比較したところ、単純な比較では好奇心の変化が見られなかった。そこで、ロボットに質問を行ったかどうかで、線形混合モデル分析を実施した結果、「理科の質問を多くしていた子どもは好奇心が向上する」というモデルの妥当性を示した。ロボットに理科の質問をしていた子どもたちは、質問をしなかった子ども共よりも、ロボットに対する社会的受容性やロボットの知識が役に立った度合いを有意に高く評価していた。授業では習わなかった事象に関する問いを先生ではなくロボットに行う子どもたちも存在し、ロボットが子どもたちの理科に対する好奇心の向上に寄与できたと考える。

さらに、実証実験期間中に得られた大量の人位置データおよび音声データから、授業中の音声アクティビティを分析する技術を確認した。具体的には、理科室の天井に設置した複数の距離センサを用いた3次元の人位置検出技術と、各実験台の上に設置した複数のマイクロホンアレイセンサを用いた3次元の音源定位技術を組み合わせることにより、理科室内でいつ誰がどこで発声したのかが実時間で観測および記録できるシステムを確立した。図7に、理科室内で先生が正面に立って話している状況での音声アクティビティ、図8にグループ学習時の音声アクティビティを示す。



図6 ロボットが理科室で子どもたちの質問に答える際の様子

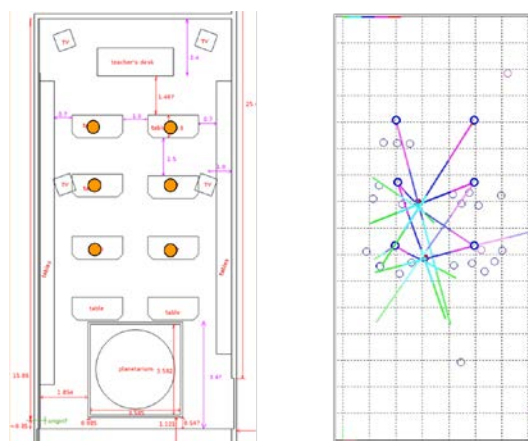


図7 教室の正面右側で先生が発話している際の音声アクティビティ

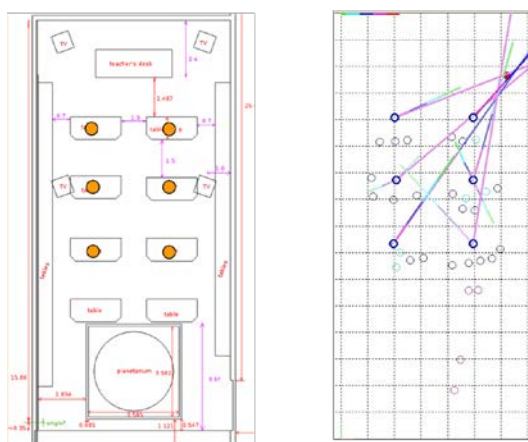


図8 グループ学習が開始された後の、比較的賑やかな状態における音声アクティビティ

このようなセンサネットワークによるデータをさまざまなスパンで観測することができ、例えば授業中に先生が実験などの説明を行っている時間帯、先生が生徒と質疑応答を行っている時間帯、実験中生徒達が一斉に声を発している時間帯などが、一目で分かることができる。実験台ごとの音声アクティビティを実時間で観測可能であり、グループごとの対話アクティビティの理解に役立てられる。将来的には、このようなセンサネットワークによるデータを利活用することにより、議論が進んでいないグループなどに積極的に近づいて、先生の手助けができるロボットの研究開発に発展することが期待できる。

これら実証実験を通じて、開発した協創システムプラットフォームの有効性を検証するだけでなく、実証実験を通じて得られたマルチモーダルなデータによって持続的に新たな研究開発が実現できることを示した。

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)

1. 池田 徹志,石黒 浩,ディラン グラース,塩見 昌裕,宮下 敬宏,萩田 紀博,
信号の動きの相関性に注目した知覚の結び付け手法,電子情報通信学会論文誌(情報・システム: D),Vol.J97-D No.3 p.687-699,2014/3/1,査読あり
2. Panikos HERACLEOUS,Carlos ISHII, Takahiro MIYASHITA,Hiroshi ISHIGURO,Norihiro HAGITA,
Using body-conducted acoustic sensors for human-robot communication in noisy environments,International Journal of Advanced Robotic Systems: Robot Speech Recognition,Enzo Mumolo (Ed.), ISBN: 1729-8806, InTech,2013/2/19,査読あり, DOI: 10.5772/55409

〔学会発表〕(計41件)

1. 石井 カルロス 寿憲,波多野 博顕,萩田 紀博,
小学校理科室における笑いイベントの分析,日本音響学会 2014 年春季研究発表会, 2014/3/10,日本大学理工学部
2. 塩見 昌裕,
センサネットワークシステムによる学校理科室のデータ収集および分析,平成 25 年度 人口ロボット共生学シンポジウム,2014/1/12,東京大学 本郷キャンパス 福武ホール
3. 塩見 昌裕,神田 崇行,石井 Carlos 寿憲,小泉 智史,萩田 紀博,
理科室で子どもたちの好奇心向上に寄与するロボット,第 31 回 日本ロボット学会 学術講演会(RSJ2013),2013/9/4,首都大学 東京 南大沢キャンパス
4. Jani EVEN, Carlos Toshinori ISHII,Panikos HERACLEOUS,Takahiro MIYASHITA,Norihiro HAGITA,COMBINING LASER RANGE FINDERS AND LOCAL STEERED RESPONSE POWER FOR AUDIO MONITORING,IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS 2012,2012/10/7,Vilamoura, Algarve, Portugal
5. Jani EVEN, Panikos HERACLEOUS, Carlos Toshinori ISHII,Norihiro HAGITA,
MULTI-MODAL FRONT-END FOR SPEAKER ACTIVITY DETECTION IN SMALL MEETINGS,Conference Proceedings of 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS 2011,2011/9/26, San Francisco, USA
6. Dylan F. GLAS,Takahiro MIYASHITA, Hiroshi ISHIGURO,Norihiro HAGITA,
Automatic Calibration and Sensor Displacement Detection for Networks of

Laser Range Finders for Human Tracking,2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS 2010)Conference,2010/10/18,Taipei, Taiwan

〔産業財産権〕

○取得状況(計1件)

名称:”LRFとマイクロホンアレイによる高精度な音源定位装置”

発明者:石井 Carlos 寿憲, 塩見昌裕, Panikos Heracleous, Jani Even, 宮下敬宏, 小泉智史, 萩田紀博

権利者:(株)国際電気通信基礎技術研究所
種類:特許

出願番号:2011-076230

公開番号:2012-211768

取得年月日:20110330

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.irc.atr.jp/human-robot-symbiosis/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

萩田 紀博 (HAGITA, Norihiro)

国際電気通信基礎技術研究所・

社会メディア総合研究所・所長

研究者番号:40395158

(2)研究分担者

塩見 昌裕 (SHIOMI, Masahiro)

国際電気通信基礎技術研究所・

知能ロボティクス研究所・室長

研究者番号:90455577

小泉 智史 (KOIZUMI, Satoshi)

国際電気通信基礎技術研究所・

知能ロボティクス研究所・研究員

研究者番号:70418531