

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 2日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700196

研究課題名（和文） オンサイト自動結合ネットワークによる環境センサとロボットの
統御フレームワーク研究課題名（英文） Network framework for cooperative control of robots and distributed
sensors based on on-site automatic component connection

研究代表者

野口 博史（NOGUCHI HIROSHI）

東京大学・大学院医学系研究科・特任助教

研究者番号：50431797

研究成果の概要（和文）：

環境内に存在するセンサ群と導入したロボットを、ネットワークを通じて統御するためのフレームワークを構築した。フレームワークでは、センサやロボットはコンポーネントとして管理され、ロボットの状況に応じて、自動的に選択され、ロボット制御ためのコンポーネントに結合される。それにより、ロボットの環境認識を高めた制御を可能とした。また、3種のセンサを配置した廊下と部屋からなる空間において、移動ロボットのナビゲーションを実現し、フレームワークについて実証した。

研究成果の概要（英文）：

I constructed framework for intelligent control of introduced robots by cooperating with distributed sensors through network. In the framework, sensors and robots are managed as software components. The components are selected and connected to control module automatically according to the robot situation. This mechanism enhances robot's recognition to the surrounding environment. I demonstrated the framework feasibility by the experiment that I have succeeded mobile robot navigation under the area where three kinds of sensors are deployed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

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：ミドルウェア・センサネットワーク・ロボットナビゲーション

1. 研究開始当初の背景

ロボットがオフィスや家庭内において利用されつつあるが、ロボットの外界認識能力は依然低いため、実環境で活動するには、より能力の向上が求められる。その問題の原因として、ロボット自体の大きさや消費電力などの制約から、搭載可能なセンサについて限

られているということ上げられる。しかも、オフィスや家庭では、空間自体が狭く遮蔽物が多いことから、そもそも、ロボット周囲の限られた領域以外を認識することが難しいことが上げられる。一方で、環境内には、侵入検知・監視や、電灯や家電機器の自動制御などのために、多くのセンサが持ち込まれる

ようになりつつある。これらのセンサは、本来の目的から、対象環境内を広くカバーするように分散配置されており、また、ネットワークで制御可能であることが多い。そこで、これらセンサとロボットとネットワークで結びつけることができれば、ロボットにより知的な行動させることが可能となると考えられる。

一方で、既存のユビキタス環境に用いられるソフトウェアフレームワークでは、センサなどのデータ処理に留まり、ロボットのことが考慮されていない問題がある。また、ロボット用のフレームワークにおいては、通常は、ロボットは単体で利用されることから、基本的には、ロボット内部の処理の結合の容易さなどに力点を置いており、環境内のセンサとの統合という観点からは不十分である。また、インフラストラクチャとロボットの協調を考慮したフレームワークでも一方的に処理後の情報がロボットに提供されるのみにとどまり協調とは程遠い問題がある。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、そのようなロボットを環境内に持ち込んだ際に、自動的に環境内に存在するセンサと協調させて制御可能なフレームワークを構築するのが目的である。その際、そもそも環境内にどのようなセンサがあるかをオンサイトでネットワークを通じて把握し、また、その上で、適切かつ必要なセンサを選択し、ロボットと結合する必要がある。さらには、ロボットが環境を移動するに伴い、環境に存在するセンサは時々刻々と変化する。そのような場合においても、動的に接続するセンサを切り替える必要がある。特に、その際、センサ特性のみならず、センシングの領域についての管理も重要である。そこで、フレームワークにおける要素技術として、環境内におけるネットワークを通じた分散センサの管理法、その管理されたセンサとロボットを動的に自動的に接続し、実際にロボットを制御するメカニズムについて明らかにすることも目的である。

3. 研究の方法

フレームワークでは、センサ及びロボットをソフトウェア的に扱うために、他のフレームワークと同様に、コンポーネントごとに扱うことで実現した。また、コンポーネントの管理をネットワーク上でどう実現するかが問題となるが、分散センサの管理の領域規模を考慮し、中央集権的な構造とすることとした。また、コンポーネントの管理は、ロボットとセンサとの接続とは独立して、センサやロボットへとアクセスが容易に可能となるように、独立したネームサーバとして構成し、ロボット制御を行う統御サーバとは独立し

て管理している。すなわち、統御サーバは、ネームサーバを介して、環境センサおよびロボットの発見・検索処理を実現する。フレームワーク全体の構成を図1に示す。実装は、Javaを用いて行っている。また、統御サーバにおける実装としては、ロボットの基本機能と考えられる移動ロボットのナビゲーションに着目し、それに必要な機能を実装した。

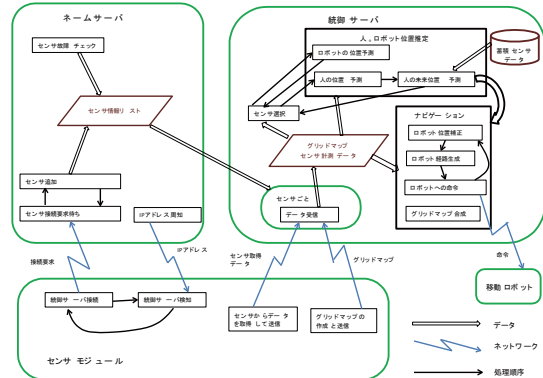


図1：フレームワークの構成

フレームワークでは、各ユーザは、ロボットや環境センサに合わせて、ソフトウェアフレームワーク提供される枠組みに基づいて、コンポーネントを構築するだけで、あとは、統御サーバが自動的に接続を行う。通常、コンポーネントのプログラミング自体が煩雑になりがちであるが、ユーザがデータ型に関するスクリプトを記述するだけで、自動的にテンプレートとしてデータ処理や通信部分についてプログラムが生成されることにより、簡易化されている。また、他のフレームワークにない特徴も備えている。具体的には、ロボットの制御を行う場合においては、センサのサンプリングや時間遅延などが問題となる。そこで、コンポーネントにおいては、それらを吸収するためのバッファ機能を備えている。さらに、センサデータの処理や制御とは別に、サーバ側と一定時間ごとに通信し遅延時間を計測している。その情報のバッファでの処理での利用やデータ自体を位置推定時に参照可能なように枠組みを提供している。

ネームサーバの機能としては、各センサ用コンポーネントにおいて計測の精度などのプロパティ情報を保持するだけでなく、実際に計測した範囲から推定したセンシング範囲についても3次元グリッドマップとして保持し、定期的にネームサーバに反映させることで、たとえば、壁や荷物などで遮蔽されていて使えないなどの実際の環境に応じたセンシング範囲を汎用的に管理するものとした。ネームサーバおよびコンポーネントでは、ブロードキャストパケットを利用したネームサーバの自動発見やサーバ復帰の通知機能を備えることで、サーバや各コンポーネントがダウン等から復帰した場合にも動的に

自動的に管理される機能を備えている。また、一方で、ネームサーバ自体は定期的にコンポーネントの状態をチェックすることにより、障害等によるコンポーネントの離脱も反映可能となっている。

管理サーバにおける実装としては、移動ロボットを対象とすることから、1)環境センサと協調してロボットおよび人の位置推定、2)各センサコンポーネントからのグリッドマップ提供による地図更新、3)領域に応じた大域的経路計画、4)移動ロボットの制御を逐次繰り返すことにより、移動ロボットをナビゲーションする。それぞれの過程においては、方法論がいくつかあるため、それぞれをコンポーネント化し、ユーザの制御したい状況に合わせて切り替え可能な枠組みを実現した。それにより柔軟に環境センサとの協調を通じたナビゲーションが実現できる。

ここで、位置推定においては、環境センサの選択だけでなく、ロボットデータとの協調が重要であることや、位置情報は、他のアプリケーションにおいても重要であることから、専用のメカニズムを構築した。通常は、ロボットの自己位置推定においては、搭載センサの情報とロボット自体の移動量を入力とし、実環境におけるノイズに対処するため、統計的時系列フィルタリング手法を拡張した枠組みを用いることが多い。しかし、環境や状況によって利用するセンサが可変となる状況においては、直接実装することが難しい。そこで、移動ロボットの自己位置推定にしばしば用いられるパーティクルフィルタは、センサによる観測モデルの設計が柔軟にセンサごとに行えることに着目し、それぞれのセンサコンポーネントにおいて、ロボットと人の位置のための観測モデルを実装し、それらを統御サーバからの呼び出すことで利用する枠組みを構築した。これにより、コンポーネントについて各センサにつき実装することだけで、自己位置推定が可能となる。また、ネットワークを介して、自己位置推定を行うため、通常と異なり遅延等を考慮する必要があるが、先に述べた各コンポーネントにおける遅延情報を観測モデルでの評価時に考慮する工夫も実現した。

位置推定同様に重要なこととして、3)で挙げた経路計画がある。環境センサの配置状態や環境状態に応じて柔軟に変更する必要がある。フレームワークの提供する機能として、環境センサを活用し、収集した移動履歴を利用し、知的な回避計画を実現するための手法を実装した。手法においては、収集した人の移動経路を、グリッドマップを利用して、シンボル系列に離散化する。それをシンボル系列の統計的モデリング手法である VLMM を用いてモデリングする。その後、経路計画を行うときには、人の移動経路と構築した統計モ

デルを利用して、人の未来時間後におけるおいて存在する確率を場所ごとに算出し、その情報を反映させた時間軸を考慮した XYT 空間において経路探索を行うことにより、人の移動を考慮した知的な回避経路を計算するものである。データが取得できない、あるいは、その精度がでないセンサが配置された環境では、通常の XY 空間で計算する手法を領するものとした。また、ロボット制御としては、生成された経路との距離関係を考慮し、戦略を決める単純なコンポーネントを構築した。

フレームワークを検証するための環境として、図2に挙げる環境を構築した。環境内においては、レーザレンジファインダ (LRF)、3次元距離カメラ (Kinect)、床圧力センサモジュールのセンサ群が6個配置された廊下と部屋からなる環境であり、それぞれのもジュールはプライベートネットワーク内で接続される。また、ロボットとしては、差動2輪型の移動ロボットである pioneer2DX を用意し、無線ネットワークから利用できるようにした。また、環境センサとの協調性を確認するため、ロボットには外界認識用のセンサセンサは一切搭載していない。さらには、ネームサーバおよび統御サーバを稼働させるためのサーバをネットワーク内に配置した。また、フレームワークを利用して、実際に3種のセンサ用にコンポーネントも実装した。この際、自動コード生成機能などを生かして、データ型および、自己位置推定用の評価モデルの実装のみで済み、簡易に実装することができた。

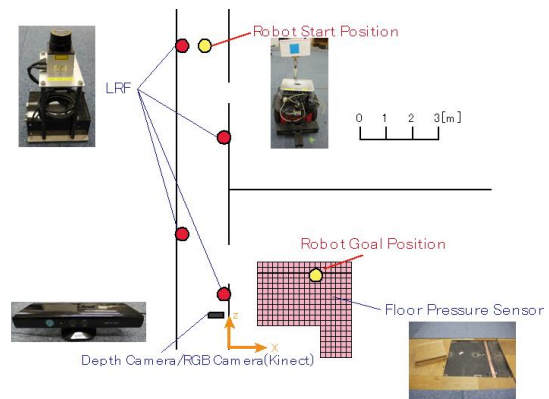


図2：構築した実験環境

この環境において、環境センサと協調したロボット制御ができるかどうかを確認する実験を行った。まず、人がいない状況下で、センサを切り替えながら、ナビゲーションが実現できるかを検証した。図3に、走行時のロボット推定位置、ならびに、ロボット観測に用いたセンサを表示したものを示す。また、図4に、走行時の様子ならびに、そのときにおける統御サーバでのグリッドマップの表示状況を示す。図から、ロボットには、センサを載せていないが、自己位置を推定し、目

標位置に達成できていることがわかる。また、それぞれの観測範囲において、近いセンサが選択されていることがわかる。部屋への入り口近くでは、複数のセンサにまたがることになるが、精度よく推定できる3次元距離センサが自動的に選ばれていることもわかる。

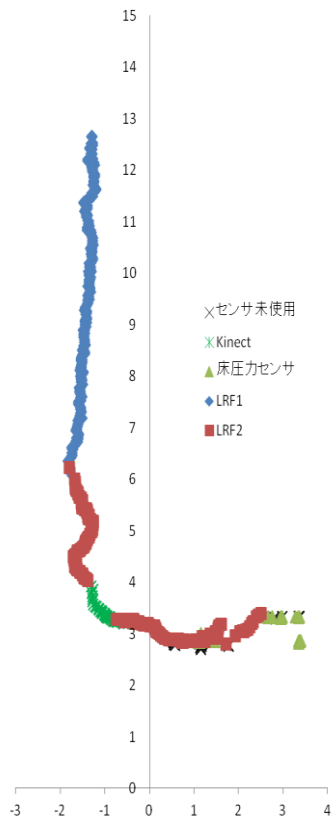


図3：協調したセンサならびに推定ロボット位置

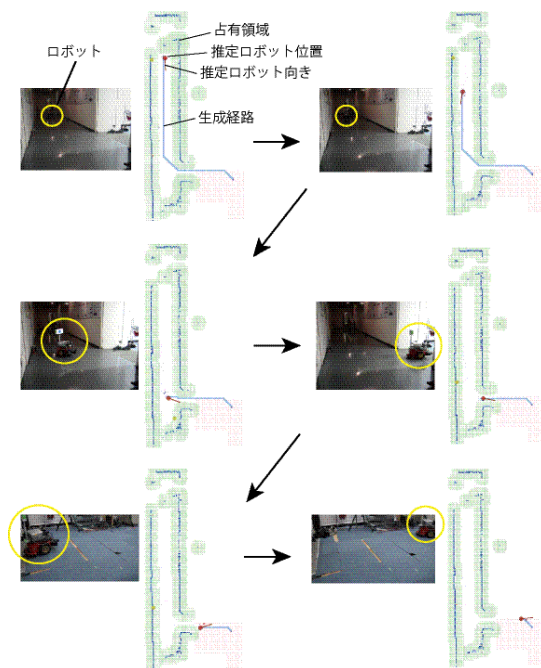


図4：走行実験時の様子
また、環境センサの情報を利用して人の位

置を計測し、ロボットの移動経路計画に生かす例として、人が対向して歩行してくる状況下において同様の実験を行った。結果を図5にしめす。この場合においても、ロボットには一切センサを載せていないが人をうまく回避できていることがわかる。また、人によってロボットの隠蔽状態が異なるが、その状況に応じて、利用するLRFを切り替えている様子もわかる。このようにフレームワークを利用することで、環境センサと協調したナビゲーションを実現した。

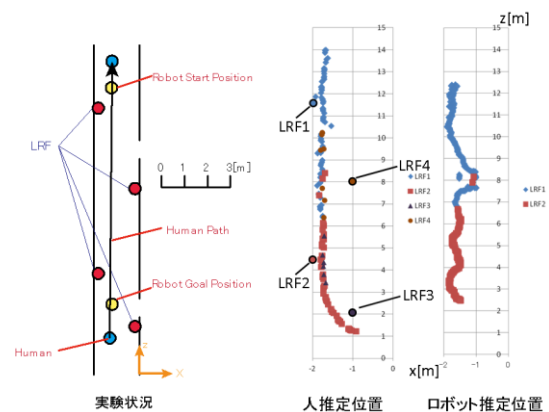


図5：人回避実験時の結果

4. 研究成果

環境センサとロボットをネットワーク中でソフトウェアコンポーネントとして結合し、分散センサと統合してロボットを制御するためのフレームワークを構築した。フレームワークでは、コンポーネントの構築容易性のための簡易センサから自動生成機能、コンポーネントのネットワークでの動的な管理、センサの性質だけでなく、センシング範囲を含めた検索機能を持つ。また、移動ロボットと対象とし、協調させるための枠組みとして、環境センサとの協調によるロボットおよび人の位置推定手法、環境センサでの蓄積データに基づいた人位置予測に基づく経路探索手法を構築した。それらを統合する形で、環境センサに応じて柔軟に利用するセンサを切り替えながら、移動ロボットのナビゲーションを行うことが可能である。また、異種センサ群からなる環境を整え、その環境内において、センサを切り替えながら、ロボットを移動させることに成功した。

ロボットがオフィスや住居内環境に進出し活躍するには、実環境における問題を克服するだけのロボットの外界認識能力を持たせる必要がある。そのためには、インフラストラクチャとの協調がより重要となる。その中で、本研究の成果は、そのインフラストラクチャとして既に配置されつつある分散センサとの協調をサポートするソフトウェア基盤と観点から、先駆的な位置づけになるものと考えられる。

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2件)

① 野口 博史, 山田 隆基, 森 武俊, 佐藤 知正, “大量の人移動計測データに基づく移動ロボットの人回避経路計画”, 日本ロボット学会誌 (掲載確定, 2012年査読有り)

② Hiroshi Noguchi, Taketoshi Mori and Tomomasa Sato. “Flexible Discovery of Components for Sensor Data Processing by RDF in Network Middleware for Home Environment”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 23, No. 4, pp. 505-514, 2011. (査読有り)

[学会発表] (計4件)

① Hiroshi Noguchi, Takaki Yamada, Taketoshi Mori and Tomomasa Sato, “Mobile Robot Path Planning using Human Prediction Model based on Massive Trajectories”, IEEE International Conference on Networked Sensing Systems, 2012. 2012-06-14 アントワープ, ベルギー.

② 野口 博史, 清田 英寿, 福井 類, 下坂 正倫, 森 武俊, 佐藤 知正. “異種分散センサの選択に基づくナビゲーションを可能とする移動ロボットフレームワーク”, 電子情報通信学会技術研究報告 (クラウドネットワークロボット), Vol. 111, No. 446, pp. 35-40 (CNR2011-37), 2012. 2012-02-27. 機械振興会館, 東京都.

③ 野口 博史, 山田 隆基, 森 武俊, 佐藤 知正. 大量の人移動計測データに基づく移動ロボットの人回避経路計画. 第29回日本ロボット学会学術講演会, RJS2011AC212-7, 2011. 2011-09-08 芝浦工大豊洲キャンパス 東京都

④ Hiroshi Noguchi, Takaki Yamada, Taketoshi Mori and Tomomasa Sato, “Mobile Robots and People Tracking based on Switching Network-managed Distributed Sensors”, IROS 2010 Workshop, Ubiquitous Networking Robotics: approach for Human-Robot Interaction, pp. 60-65, 2010. 2010-10-18, 台北, 台湾.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野口 博史 (NOGUCHI HIROSHI)
東京大学・大学院医学系研究科・特任助教
研究者番号: 50431797

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし