

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700237

研究課題名(和文) 広域空間の容易な知能化のための構成支援システムに関する研究

研究課題名(英文) Development of a supporting system to build large scale intelligent environments

研究代表者

森岡 一幸 (MORIOKA, KAZUYUKI)

明治大学・総合数理学部・准教授

研究者番号：40408711

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：人間の生活環境に様々なセンサーを設置して空間を知能化するためには、設置したセンサ間の位置関係を把握しておくことが求められる。広域空間にたくさんのセンサを設置することを考えた場合、その作業は煩雑であり、すべてのセンサの位置姿勢が容易に得られるシステムがあれば、容易に知能化空間を構築することができると思われる。本研究では、そのような知能化空間構成支援システムの開発を目標とし、移動ロボットと環境中に分散配置した複数のレーザー測域センサの双方で取得した地図情報の共有と比較により、分散センサ間の位置関係の自動推定システムを提案した。実環境での知能化空間構築実験を行ない、システムの効果を示した。

研究成果の概要(英文)：In order to build intelligent environments with many networked sensors, position relationships among sensors must be obtained. Distributing many sensors for building large scale intelligent environments is generally time-consuming. The systems to obtain sensor positions easily help us build intelligent environments. This study aims to develop the system for supporting to build large scale intelligent environments. The proposed system consists of a mobile robot and laser range scanners distributed in the environment. The robot and laser range scanners share their environmental maps and compare them. The positions of distributed laser range scanners are automatically estimated using map matching shared with the robot. The proposed system was implemented in a floor of the university building and the sensor position estimation experiments were performed.

研究分野：ロボティクス

キーワード：インテリジェントルーム 知能ロボット

1. 研究開始当初の背景

近年、空間の知能化、構造化に関する研究が盛んである。大量のセンサ情報を解析し人間を支援するためのアルゴリズムに関する研究や、具体的なタスクを実現するためのシステム開発例が報告されている。これらの成果により、空間を知能化することが、人間中心型ロボットシステムの実現のために効果的であることが示されている。しかしながら、構築されたシステムは大規模化・複雑化しており、特に知能化空間を拡大するためにセンサを大量かつ広域に効率よく配置することは、多大な労働力と時間を要する作業となるのが現状である。知能化空間を一般に浸透させるためには、知能化空間構築の容易性を向上させることが不可欠である。

知能化空間では、複数の人物や移動ロボット等を追跡・同定し個別のサービスを提供することが求められるが、センサをランダムに配置した場合、空間の認識性能に場所に依じた偏りが生じ、サービス提供に不都合が発生することが考えられる。また、統一的な座標系に対して全センサを幾何学的にキャリブレーションする必要があるが、全てのセンサについて手動で行なうことは容易ではない。知能化空間を長期間運用する際には、センサの位置のずれなどへの対処のため再キャリブレーションが必要であるし、環境の構成が変化した場合はセンサ配置自体も動的に変更されるべきである。これらの諸問題への対処法を含んだ、知能化空間の構成法に関する議論は極めて重要である。

2. 研究の目的

本研究では、特に人物やロボットの追跡および位置同定を実現する知能化空間の構築を支援するために、システム設計者による事前の設計や調整を一切必要とせず、センサのランダムな配置と最低限の調整作業のみで、大量のセンサがネットワーク化された知能化空間を容易に短時間で構築するための、知能化空間構成支援システムの研究開発を目的としている(図1)。

知能化空間を構成するためにランダムに配置されたセンサのキャリブレーション(統一的な世界座標に対するセンサ位置姿勢算出)を自動的に行なう手法に関して検討し、最終的には、提案した手法およびシステムを用いて、実際に知能化空間を簡単に構築でき、その性能が手動で構成した知能化空間と比較して遜色ないレベルにあることを実証する。

前述したとおり、空間の知能化・構造化に関する研究は国内外で多数行なわれている。センサやアクチュエータなど知能化空間を構成する各要素を容易にネットワーク接続して使用できるようにするためのミドルウェアに関する研究も進行中である。一方、知能化空間におけるセンサ配置に関しては、空間に合わせたセンサ数やセンシング可能領

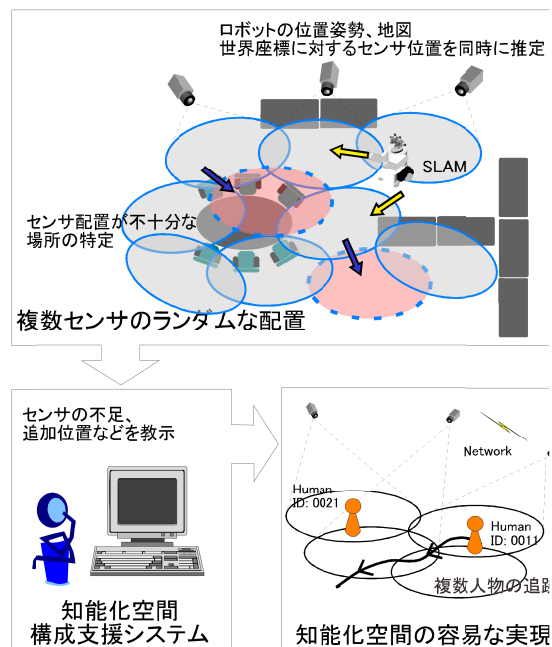


図1 提案手法の概要

域の広さ、精度などを最適化する配置問題に関する研究などが行なわれているものの、一般にはシステムの研究者や設計者の経験に大きく依存している。しかしながら、前述したように、知能化空間を広く社会に浸透させていくためには、研究者や設計者の経験に依存しなくても容易に短時間で構成できることが望ましい。また、安価で大量導入可能なセンサに関しては、必ずしも最適である必要はなく、知能化空間におけるタスクを実現するために十分なセンサ配置であればよい。この二点を考慮して、最低限のマニュアル作業のみで知能化空間を簡易に構成する手法の提案を研究の主要な目的としている点は、他に見られない本研究の大きな特徴である。

本研究成果により、従来までの空間知能化システムで実現されていたような、ある特定の部屋だけの知能化だけにとどまらず、建造物内部全体を知能化するなど、知能化空間を拡大することが可能である。これにより人間およびロボットに対する情報的な支援のための知的インフラとしての視覚センサ、知能化空間の重要性がより明確化され、将来的な人間共存型ロボットの普及にも密接に繋がることが予想される。また、ロボット要素のインテグレーションによる大規模な知能システムの構築についての知識を体系化していくことにも寄与するものと思われる。

3. 研究の方法

ランダムに配置されたセンサのキャリブレーションおよびセンサ間の位置関係把握の自動化に関して研究を行なう。本研究では構築する知能化空間のタスクを複数人物の追跡と位置同定とし、レーザ測域センサ、ステレオカメラを使用する。また、統一的な世

世界座標系に対しての位置姿勢をセンサごとに算出することを本研究で行なうキャリブレーションとする。

各センサの視野、計測範囲に十分な重なりがあれば、同一対象を追跡することでセンサ間の位置姿勢を算出することは容易であるが、相対的な位置姿勢が得られるだけでは実世界の位置情報を必要とするような用途にはそのまま用いることはできない。そもそも、広域空間にてすべてのセンサの視野が十分な重なりを持つように配置することは現実的ではない。そこで、移動ロボットのナビゲーションにおいて盛んに研究されている自己位置と地図の同時推定問題 (SLAM) を拡張して、分散配置されたセンサの測定結果を用いてセンサ位置も同時に推定する手法を開発する。

予備実験として、行なっていた FastSLAM と世界座標に対する位置姿勢が既知の分散配置したセンサ情報 (レーザ測域センサ) を融合した移動ロボット制御を行なった。また、これまで別途進めていた、キャリブレーション済みカメラを用いて分散配置されたカメラの位置姿勢を算出するシステムを拡張させ、FastSLAM の枠組みにおいて、状態変数として分散配置したセンサ位置姿勢を加えた同時推定を行なう。

提案するシステムでは、移動ロボットが、分散センサを配置した空間内を走行し、SLAM によりグローバル地図を構築しながら、分散センサが作成した局所地図と比較することで、空間内の分散センサの位置を特定する。このようなシステムを実現するにあたって、移動ロボットが走行しながら地図の比較対象となるセンサとの情報交換を行う必要がある。たくさんのセンサが配置されている場合、その情報交換の対象となるセンサを、状況に応じて柔軟に変更しなければならない。そのため、図2に示すような、RT コンポーネントに基づく移動ロボットおよび分散センサのソフトウェアを開発し、必要に応じた動的な接続を可能とする。これにより、多数のセンサにより構成された大規模な知能化空間の構成支援システムを実現する。

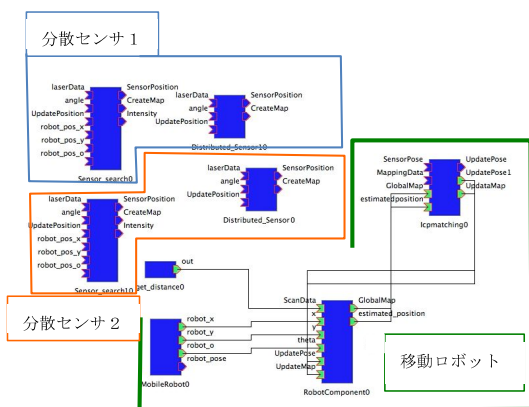
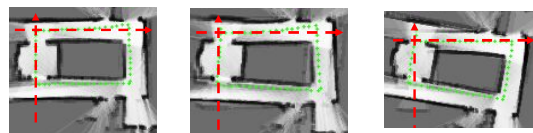


図2 開発したコンポーネント群の一部

4. 研究成果

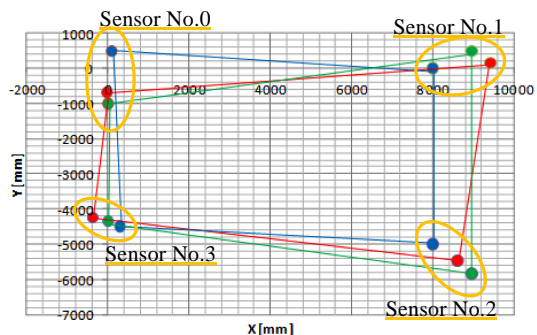
本稿で提案する知能化空間における分散センサと移動ロボットの地図情報比較の手法が、知能化空間を構成する分散センサの位置推定に有効であることを示すための評価実験をおこなった。本報告書では、特に、移動ロボットの SLAM における位置と地図の推定に分散センサの地図情報を反映させ、推定値の修正をおこなうプロセスが適切に機能しているのかを確認する。さらに、本手法により世界座標系に対する分散センサの位置・姿勢が適切に推定されているかを評価した様子を成果例として示す。

図3は、提案手法を含めた各種地図生成結果を比較している。緑色の点線は移動ロボットが走行した経路である。赤色の点線座標軸は世界座標系である。(a)は提案手法により地図情報の比較をすることで構築した地図であり、他の手法よりも歪みが小さい。これは提案システムにおいて環境に固定されたレーザ測域センサとの地図共有・比較が正しく行われ、移動ロボット自身の構築するグローバル地図の精度が向上していることを意味している。



(a)提案手法 (b)対応点評価 (c)FastSLAM
図3 地図比較の効果例

また、図4には、各分散センサの初期位置からの位置更新の様子を示している。青色の点を初期値、緑色の点をコンベックスにより実測した計測値、赤色の点を推定値として表記した。提案システムにより、各分散センサ位置として適当に与えた初期位置関係から、提案システムにより実際の推定値に接近した位置関係に更新されていることが確認できる。



初期値 実測値 システムによる推定
図4 位置推定結果

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)

Fumitaka Hashikawa, Kazuyuki Morioka,
“ Convenient Position Estimation of
Distributed Sensors in Intelligent
Spaces Using SLAM for Mobile Robots ”,
Journal of Robotics and Mechatronics,
Vol.27, No.2, pp.191-199, 2015
Kazuyuki Morioka, Satoshi Yamanaka,
Fumiaki Hoshino, “ Simplified map
representation and map learning
system for autonomous navigation of
mobile robots ”, Intelligent Service
Robotics, Vol.7, No.1, pp.25-35, 2014

森岡 一幸 (MORIOKA, Kazuyuki)
明治大学・総合数理学部・准教授
研究者番号：40408711

〔学会発表〕(計6件)

Taichi Itoh, Kazuyuki Morioka,
“ Development of position estimation
systems of mobile robots and humans
for mobile intelligent spaces ”, Proc.
of URAI, 2014
Fumitaka Hashikawa, Kazuyuki Morioka,
“ SLAM-Based Sensor Calibration
System for Easy Construction of
Intelligent Spaces ”, Proc. of
IEEE/ASME AIM, pp.1741-1746, 2014
Hiroki Sasabuchi, Kazuyuki Morioka,
“ A Map Building System for Mobile
Intelligent Space Using
Human-Following Robot ”, Proc. of
IEEE IECON, pp.7804-7809, 2013
Fumitaka Hashikawa, Kazuyuki Morioka,
Noriaki Ando, “ Mobile Robot SLAM
Interacting with Networked Small
Intelligent Sensors Distributed in
Indoor Environments ”, Simulation,
Modeling and Programming for
Autonomous Robots, pp.275-286, 2012
Hajime Kikuchi, Kazuyuki Morioka,
“ Development of Wireless Image
Sensor Nodes Based on FPGA for Human
Tracking in Intelligent Space ”, Proc.
of IEEE IECON, pp.5529-5534, 2012
Satoshi Yamanaka, Kazuyuki Morioka,
“ Mobile Robot Navigation using
Hybrid Simplified Map with
Relationships between Places and Grid
Maps ”, Proc. of IFAC SYROCO, pp.
616-621, 2012

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://mrok.mind.meiji.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者