

平成 21 年 5 月 23 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360124
 研究課題名(和文) ロボット群と環境固定センサ群の相互支援による人間・ロボット共生環境の情報構造化
 研究課題名(英文) Informationally Structuring Human-Robot Co-existing Environment through Mutual Support of Mobile Robots and Embedded Sensors
 研究代表者
 長谷川勉 (HASEGAWA TSUTOMU)
 九州大学大学院システム情報科学研究院・教授
 研究者番号：00243890

研究成果の概要： 屋内屋外環境にビジョンなどのセンサや RFID タグなどを分散配置し、環境を情報構造化することは人間と共生しつつ種々の作業を行う次世代ロボット実現の有力アプローチである。この環境情報構造化をロボット自身に行わせる手法を開発した。また環境側に配置したセンサと、移動ロボットに搭載センサを協調して用いることにより、センシング範囲の拡大や隠蔽の回避ができることを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2007 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	11,100,000	3,330,000	14,430,000

研究分野： ロボティクス

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：環境情報構造化、分散センサネットワーク、三次元幾何モデリング、カメラキャリブレーション

1. 研究開始当初の背景

日常生活が営まれる屋内屋外環境に、ビジョンなどのセンサや RFID タグなどを分散配置して環境を情報構造化する技術は、人間と共生しつつ種々の作業を行う次世代ロボットを実現するキーテクノロジーと認識されるようになった。申請者を研究代表とする「ロボットタウンの実証的研究」(平成17年度科学技術振興調整費新規課題)など、環境の情報構造化プラットフォームの研究開発も

始まった。これら研究開発により、その有効性が明らかになってきたが、空間的拡がりを持つ環境の情報構造化では、環境領域を隈無くカバーするために配置すべきセンサ数が膨大になること、またそれらの実装や空間幾何学構造情報のデータベース化を全て人間の手作業が行おうとするとその負担が膨大になることなどの問題も顕在化してきた。

2. 研究の目的

ロボットのための一般的な情報構造化環境において、移動ロボット群と環境固定センサ群の相互支援により、高精度な環境情報の獲得と情報構造化環境の保守とを自動化する手法、ならびに分散センサによる環境状況計測における精度限界や情報欠落を補完するロボット行動の実現手法の開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) ロボットシステムによる環境情報構造化手法の開発

日常生活環境の情報構造化には、その三次元空間の幾何構造を記述した三次元マップの生成、および、環境内に広域分散配置された多数のビジョンカメラの位置姿勢の統一座標系によるキャリブレーションが不可欠である。しかし、これらの作業を人間が行うのでは膨大な労力が必要になる。そこで、これら作業をロボット自身が行う手法を開発する。この手法は屋内屋外を問わずシームレスに実施できることが不可欠である。この目的を達成するため以下の項目の研究開発を行う。

高精度測量機能を有するロボット群の開発

測量ロボット群による環境内固定カメラのキャリブレーション手法の開発

測量ロボット群による三次元環境地図の構築

(2) 情報構造化環境におけるロボット行動の支援手法の開発

日常生活環境は人間活動により常に変化し、種々の物体が配置される。環境内分散固定センサであれ、ロボット搭載センサであれ、その視野に隠れが生じることは不可避である。そこで、両者のセンサを補完的に使い、情報統合することにより、状況を認識し、ロボット行動を支援する方法を開発する。

4. 研究成果

高精度測量機能を有する移動ロボット群の開発

協調ポジショニング法を実装した移動ロボット群（親機1台、子機2台）を開発した。子ロボットにはレーザを反射するコーナキューブを、また親機には、重力軸方向に対する傾斜センサとコーナキューブ位置の自動追尾測量装置を搭載している。位置測量の手順は以下のとおり。

(a) 2台の子ロボットを環境内の適当な可視位置に分離配置する。

(b) 親ロボットは、2台の子ロボットの位置を計測したのち、任意の地点に移動する。移動後、再度子ロボットの位置を計測し、これらに基づいて、親ロボットの移動量（位置および姿勢）を計算する。

(c) 親ロボットの次の移動目標点を考慮し、移動前の現在位置との両地点から可視範囲内の適当な点に子ロボットを移動は位置する。

(d) 上記(b)(c)を繰り返し、目標まで親ロボットが移動する。これにより、初期位置からの移動量が正確に求められる。

これにより、屋内外を問わず、複雑に入り組んだ廊下の奥などに見通しがきかない場所でも、ロボットが移動した位置と姿勢を正確に測量できるようになった。

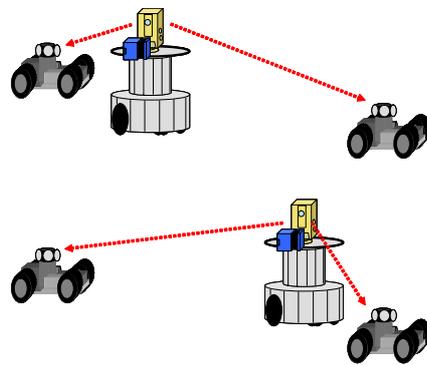


図1 移動前後で子ロボットの位置を計測し、親ロボットの位置姿勢を高精度計測する手法原理

ロボットによる広域環境分散配置カメラのキャリブレーション手法の開発

上記、移動ロボット群をベースに、環境内広域分散配置カメラの自動キャリブレーション手法を開発した。環境固定カメラで検出計測しやすいLEDマーカを装備した子ロボットを、環境固定カメラの視野内に静止させ、子ロボットの位置と姿勢を正確に測定し、これに基づいてLEDマーカの位置を得るとともに、カメラ視野内でのマーカ位置を測定する。これを視野内の多数の点で実行して得られたデータセットを用いてカメラのキャリブレーションを行う。

見通しのきかない屋内で、直角のコーナーを2カ所含む延長85mの廊下に配置した5つのカメラについて適用した結果、最悪に配置したカメラでもキャリブレーション誤差は、始点に置かれた統一座標系で約60mmであった。この精度はこれまでに類例のない高いものであり、日常生活支援ロボットには十分な精度である。

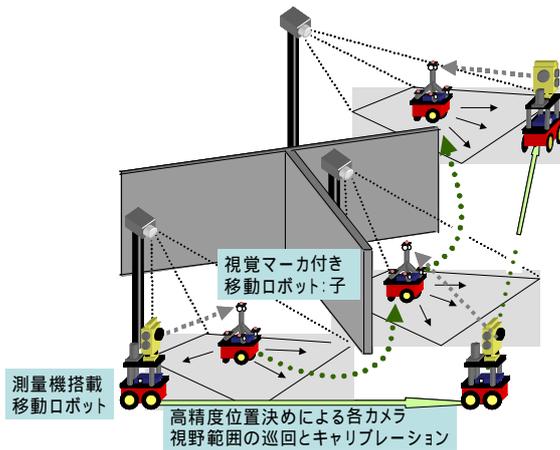


図2 移動ロボット群による分散配置カメラのキャリブレーション

測量ロボット群による三次元環境地図の構築

測量ロボット群の親ロボットに、回転円盤上に配置したレーザレンジファインダを搭載する。円盤を回転することにより親ロボットから見た全立体角方向の奥行き距離を計測する機能が実現される。環境内の移動と奥行き計測を繰り返す、得られたデータを統合して三次元広域地図を自動生成する手法を開発した。

ついで、開発した群ロボットシステムを用い、未知環境の三次元環境地図を自動生成するため、ロボット位置計測の良好な精度を維持するロボット群配置の計画手法、ならびに次に探索すべき未知環境部分の決定手法を開発した。これにより、環境情報がゼロの状態から逐次的に探索範囲を広げ、精度と効率とを維持しつつ環境地図を自動生成する機能を実現する見通しが得られた。

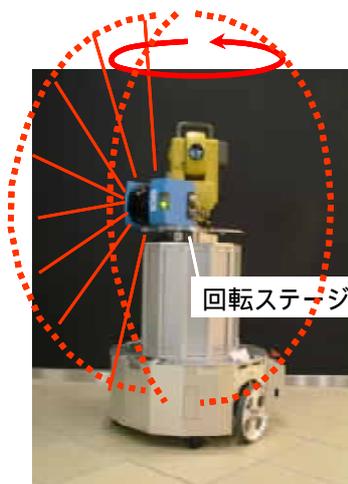


図3 レーザレンジファインダの回転による全方向奥行きデータの獲得

情報構造化環境における適応型移動体センシング手法の開発

環境固定ビジョンセンサにより、その計測範囲内の移動ロボットの位置姿勢計測を行う。この移動ロボット搭載の平面掃引型レーザレンジファインダにより移動中の歩行者の位置計測を行う。これら計測機能を実現する個別手法を開発した。さらに成果を統合することにより、環境固定ビジョンセンサの計測範囲外や他物体により動的に生じる死角域における歩行者やロボットあるいは障害物の位置計測が可能となった。

本研究によって「ロボットによるロボットのための環境情報構造化」の基礎技術が確立され、さらに現実の日常生活環境で直面するセンシング制約を克服する手法が明らかになった。

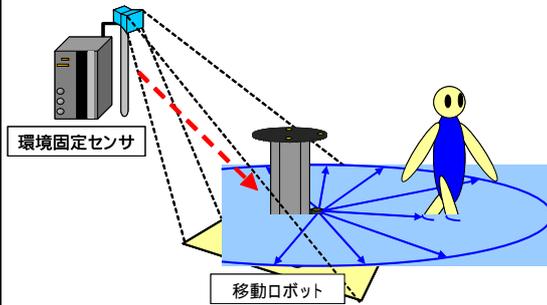


図4 環境固定ビジョンと移動ロボット搭載レンジファインダによる計測領域の拡大

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 5 件)

横矢剛、長谷川勉、倉爪亮、村上剛司、移動ロボットによる統一座標系での広域分散カメラキャリブレーション、電子情報通信学会論文誌 D、J92-D、123-130、2009 査読有り

倉爪亮、三次元空間での移動物体の追跡、日本ロボット学会誌、26 巻、314-317、2008 査読有り

倉爪亮、戸畑享大、村上剛司、長谷川勉、CPS-SLAM の研究 大規模建造物の高精度 3 次元幾何形状レーザ計測システム、日本ロボット学会誌、Vol. 25, No. 8, pp. 90-98、2007 査読有り

岩下友美、倉爪亮、原健二、内田誠一、諸岡健一、長谷川勉、並列 Fast Level Set Method による移動体の高速な 3 次元形状復

元、電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, No. 8, pp. 1888-1899, 2007 査読有り
Tokuo Tsuji, Hongbin Zha, Tsutomu Hasegawa, and Ryo Kurazume, Hierarchical face cluster partitioning of polygonal surfaces and high-speed rendering, Systems and Computers in Japan, Vol. 38, No. 8, pp. 32-43, July 2007 査読有り

[学会発表](計 6件)

Tsutomu Hasegawa, Keita Mohri, Ryo Kurazume, and Kouji Murakami, "Human Tracking by Cooperative Sensing of Distributed Environment Sensors and Mobile Robots", Proc. of the 5th Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp.466-471, Korea, Nov.20-22, 2008

Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Ryo Kurazume and Yoshihiko Kimuro, "A Structured Environment with Sensor Networks for Intelligent Robots", Proc. of IEEE Int. Conf. on Sensors, pp.705-708, Lecce, Italy, Oct. 26-29, 2008

Tsuyoshi Yokoya, Tsutomu Hasegawa and Ryo Kurazume, "Calibration of Distributed Vision Network in Unified Coordinate System by Mobile Robots", Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 1412-1417, California, May 19-23, 2008

安陪 隆史, 長谷川 勉, 村上 剛司, 倉爪 亮, 環境固定カメラと複数移動ロボットによる協調位置姿勢計測, 第9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(SI2008), 1B4-4, (2008.12.5-7).

横矢 剛, 長谷川 勉, 広域分散カメラのキャリブレーションを目的とした移動ロボット群の経路計画, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 302-03, (2008, 9.9-11).

毛利 啓太, 長谷川 勉, 倉爪 亮, 環境固定センサとロボット搭載センサによる協調センシング, ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 講演論文集, 2P1-H10, (2008.6.5-7).

[その他]

ホームページ等

<http://fortune.ait.kyushu-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 勉 (HASEGAWA TSUTOMU)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号: 00243890

(2) 研究分担者

倉爪 亮 (KURAZUME RYO)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号: 70272672

村上 剛司 (MURAKAMI KOUJI)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教

研究者番号: 80380682