

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 3 月 26 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300075

研究課題名（和文）

略図と道順による屋外視覚移動ロボットの誘導

研究課題名（英文）

Outdoor navigation of mobile robots using line drawing maps and directions

研究代表者

三浦 純 (MIURA JUN)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90219585

研究成果の概要（和文）：

人間は経路や目的地を伝えるために略図や道順を用いることが多い。そこで、ロボットを同様の情報を用いて誘導するために必要となる技術として、(1) 略図を用いて位置推定と誘導を行う手法、(2) 画像による道順表現である見え系列によって位置推定と誘導を行う手法、および(3) 自律移動のための高機能屋外移動可能領域認識手法を開発した。また、これらの手法を実装し、自律移動ロボットの屋外位置推定実験や自律移動実験、人物の誘導実験によってその有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：

Line drawing maps and directions are often used for navigation people. It would be useful if mobile robots can be navigated using such information. To realize such a robot, we developed the following methods: (1) navigation by using line drawing maps, (2) navigation by directions represented by image sequences, and (3) highly reliable traversable region detection. These methods have been implemented for outdoor autonomous localization and navigation experiments and person navigation experiments to show their effectiveness.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	9,400,000	2,820,000	12,220,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能ロボティクス

キーワード：屋外移動ロボット、見えに基づく位置推定、略図による誘導、道順による誘導、視覚環境認識、地図生成、パーソナルナビゲーション

1. 研究開始当初の背景

視覚によって環境を認識して移動するロボット（視覚移動ロボット）の研究は各地で

活発に行われており、将来的には、移動ロボットが人間のパートナーとして、付き添いやお使いといったタスクを実行できるようになることが期待されている。人間同士では概

略の地図（略図）や言葉などで経路を説明したもの（道順）によって経路や目的地を伝えることが多い。人間がロボットに同様の手段で経路や目的地を伝えることができれば、ロボットが誰にでも使いやすくなる。

これまでの移動ロボットのナビゲーション研究は正確な地図や GPS などを利用するものが多いが、略図や道順のような不確かさを多く含む情報を基にナビゲーションする技術はほとんど研究されていない。

2. 研究の目的

本研究では、

- (1) 略図によって移動ロボットの位置推定と誘導を行う手法の開発
 - (2) 道順によって移動ロボットの位置推定と誘導を行う手法の開発
 - (3) 屋外移動可能領域を高信頼で認識する手法の開発
- を目的とする。さらに、
- (4) それらの手法を移動ロボット誘導システムや人間の誘導システムとして実装し、実験を行うことも目的である。

3. 研究の方法

(1) 建物の外形線のみを記述した地図（略図）を基に、ステレオカメラからの画像入力を基に自己位置を推定する手法を開発する。まずは、建物の位置・大きさが正しい場合を扱い、続いてそれらが大きな誤差を持つ場合を扱う。

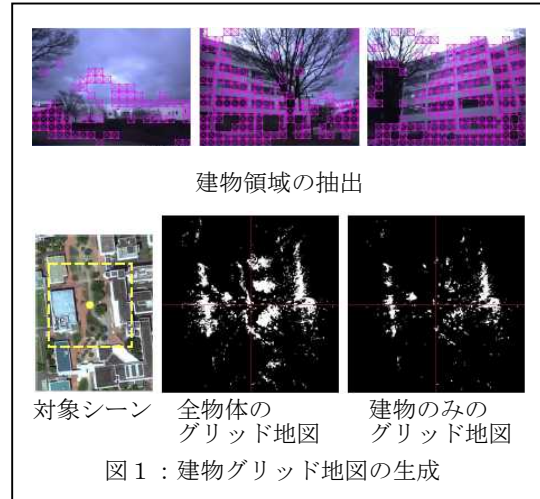
(2) 道順の一表現である、画像系列（見え系列）によるロボットの誘導手法を開発する。そのために、環境の3次元地図を生成して実際に移動していない経路上の見え系列を生成する手法、似た見えの場所をまとめることによって見え系列を構造化し、さらに似た見えの続く場所で有効なランドマークを自動的に抽出・利用する手法を開発する。

(3) ステレオカメラを用いて、多数視覚特徴の統合により移動可能領域を高信頼に抽出する手法を開発する。複数の道路モデルを定義し、それらを切り替えることにより、通常の道路や交差点だけでなく、広場など複雑な形状の移動可能領域に対処できる手法を開発する。3次元距離センサによってスロープ等を認識する手法も開発する。

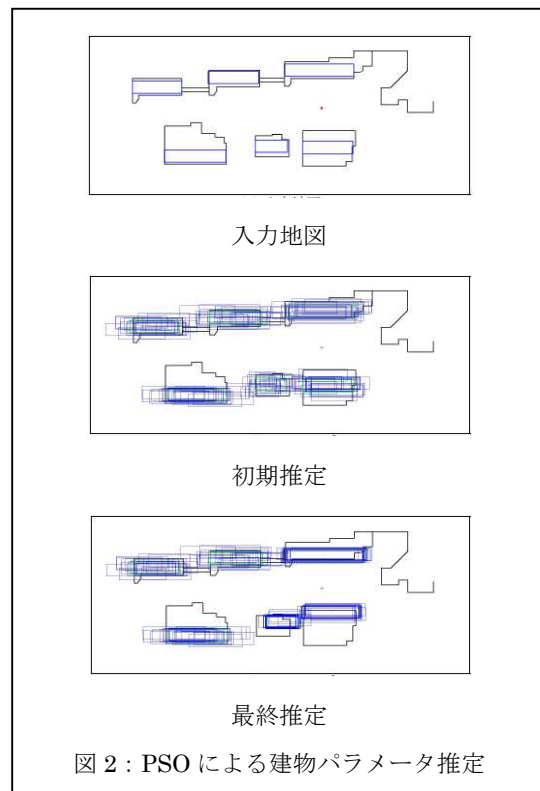
(4) 開発する位置推定手法、誘導手法を移動ロボットや人間誘導システムとして実装して、実データ、実ロボットによる検証を行って提案手法の有効性を検証する。

4. 研究成果

(1) 建物位置のみを記述した地図を用いるために、色やエッジ等の画像特徴を利用する識別器を用いて画像中の建物領域を抽出し、入力地図と照合するためのグリッド地図を生成する手法を開発した（図1参照）。さらにこの手法を用いて屋外での位置推定実験を行って、その有効性を示した。



次に、入力地図の誤差に対処するため、位置推定と同時に建物パラメータの推定も行う SLAM 手法を開発した。建物パラメータの推定には PSO (particle swarm optimization) を利用する手法を実装した。図2は PSO によ



る建物パラメータの推定処理の結果である。

SLAMはFastSLAMの枠組みにPSOによるパラメータ推定を組み合わせ実現した。人間が記憶を頼りに描いた誤差の大きい地図を用いても、自己位置の推定と建物パラメータの推定が行えることを確認した。図3はSLAM結果の一例である。図中の青枠が入力および最終結果の建物の境界線である。

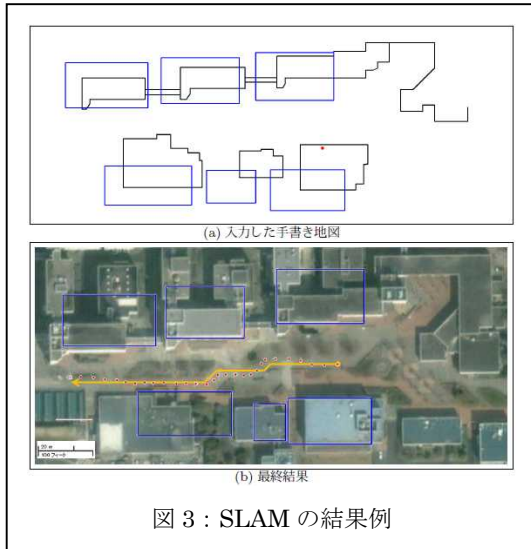


図3：SLAMの結果例

(2) まず、全方位カメラ画像系列を用いて3次元地図を生成し、それを基に見え系列を生成する手法を開発した。図4は生成された3次元地図の例である。未知の視点の画像を生成するには、そこから見える3次元点群を基に、生成する画像の領域と既知の画像の領域との対応付け(ホモグラフィ)を計算し、画像データを射影する。図5は新たな見えの生成例である。図中の「拡大した見え」は、単一の距離を仮定して画像の拡大により見えを予想したものである。3次元地図の利用により、より正しい見えが生成されている。

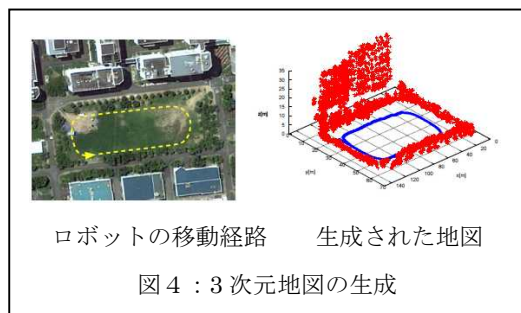


図4：3次元地図の生成

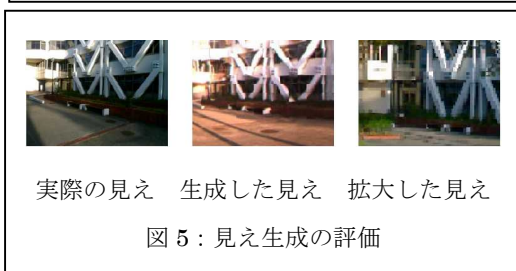


図5：見え生成の評価

また、見え系列を解析し、特に位置推定精度が低下するような、似た見えが続く領域で有用なランドマークを抽出する手法を開発した。図6は色の違いによってランドマークを抽出した例である。このランドマーク情報を併用することにより位置推定精度が上がることを確かめた。



図6：色ランドマークの抽出例

(3) ステレオカメラから、色情報、エッジ情報、高さ情報を抽出し、それらを統合して移動可能領域を検出する手法を開発した。複雑な環境に対応するために複数の道路モデルを切り替えながら利用し、パーティクルフィルタの枠組みでオンライン推定を行う。図7,8に様々な環境での移動可能領域推定の結果を示す。図中、左側は画像上にマッピングした領域境界候補を、右側は推定した通行可能領域をロボット座標系で描いたものを示す。

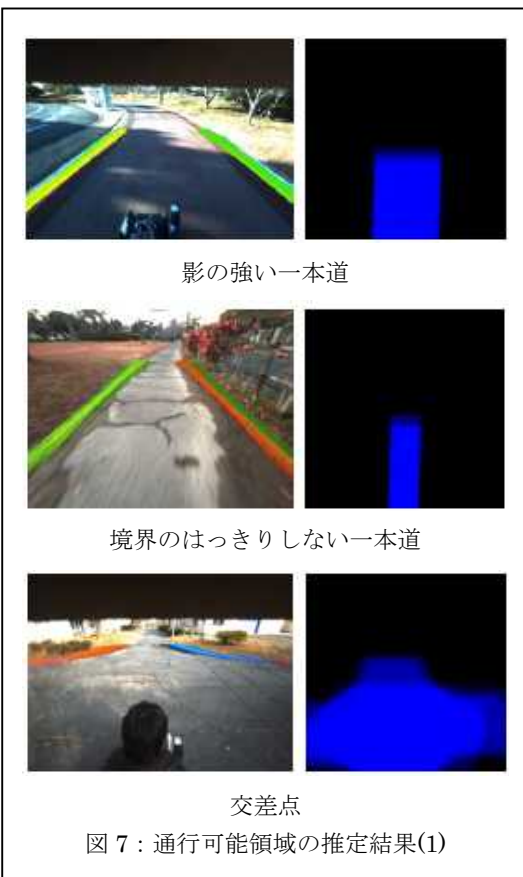
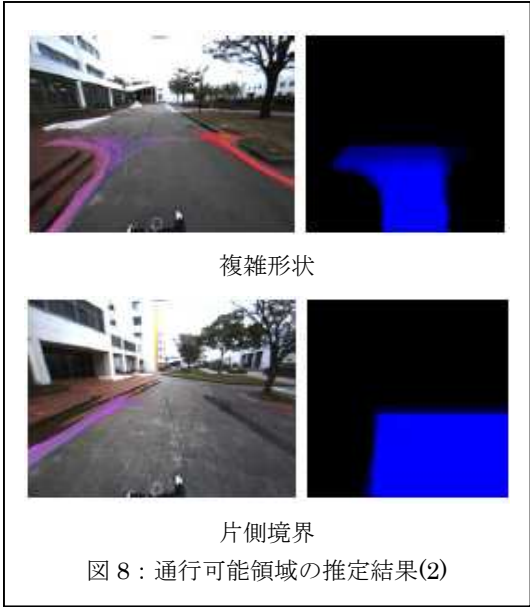
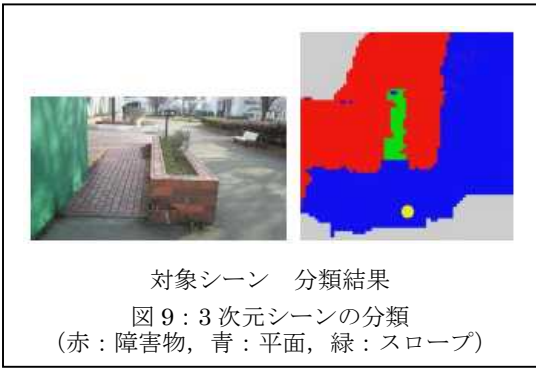


図7：通行可能領域の推定結果(1)



また、3次元距離センサのデータから高さマップを生成し、環境を平面、スロープ、障害物に分類する手法を開発した(図9参照).



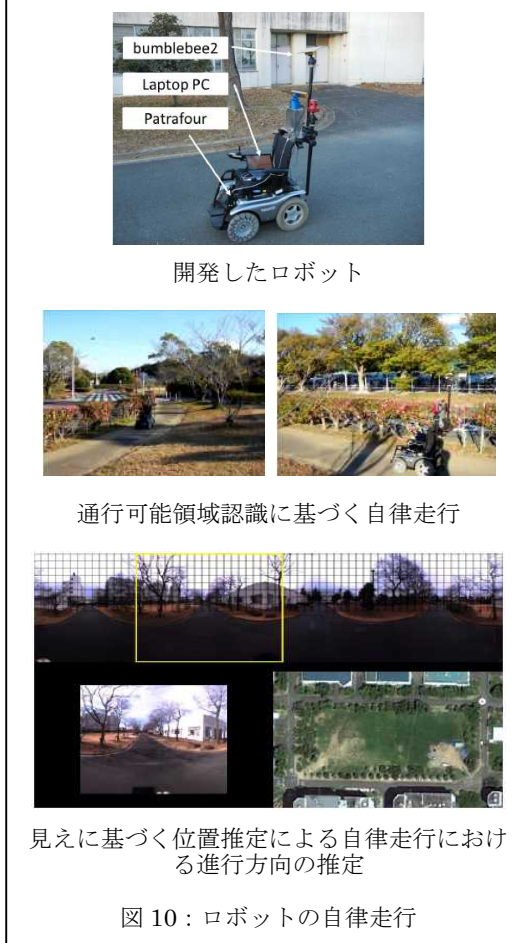
(4) 提案手法を移動ロボットや人間誘導システムに実装して実験を行った. 図 10 に開発したロボットと自律走行の様子を示す. 見えに基づく位置推定に基づく自律走行では、全方位カメラを入力として、道順情報として与えられた見え系列と照合を行い、位置の認識と移動方向推定を同時に行っている.

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 Y. Matsushita and J. Miura, “On-line road boundary modeling with multiple sensory features, flexible road model, and particle filter,” Robotics and Autonomous Systems, Vol. 59, No. 5, pp. 274-284, 2011. (査読有)



- ② 松下純輝, 三浦純, “複数センサ特徴と柔軟な道路モデルを用いたオンライン道路境界追跡”, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 631-638, 2010. (査読有)

[学会発表] (計 11 件)

- ① 原田雅史, 三浦純 “全方位カメラを用いた見え情報に基づくパーソナルナビゲーションシステム”, 第 17 回ロボティクスシンポジウム, 萩市, 2012 年 3 月 14 日.
- ② J. Miura, “Stereo-based road boundary tracking for mobile robot navigation,” Proc. 2011 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp. 331-336, Phuket, Thailand, December 8, 2011.
- ③ J. Miura, “View sequence generation for view-based outdoor navigation,” Proc. 1st Asian Conf. on Pattern Recognition, pp. 139-144, Beijing, China, November 28, 2011.
- ④ J. Miura, “Stereo-based outdoor localization using a line drawing building map,” 2011 European Conf. on Mobile Robots, pp. 309-314, Orebro

University, Orebro, Sweden, September 9, 2011.

- ⑤ 知久健, 三浦純, “ステレオカメラから得られる多種視覚情報を用いたオンライン道路境界推定”, 第16回ロボティクスシンポジウム, 指宿市, 2011年3月14日.
- ⑥ J. Miura, “On-line road boundary modeling with multiple sensory features, flexible road model, and particle filter,” Proc. 2009 European Conf. on Mobile Robots, pp. 289-295, Mlini, Croatia, September 26, 2009.

[その他]

ホームページ等

<http://www.aisl.cs.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 純 (MIURA JUN)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号 : 90219585

(3) 連携研究者

佐竹 純二 (SATAKE JUNJI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 : 60392726