

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 23 日現在

機関番号：32613

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820091

研究課題名(和文) 遠隔操作する災害対応ロボットに資する電界強度マップの動的生成に関する研究

研究課題名(英文) A research on a dynamic generation of electric field strength map for remotely operated mobile robot

研究代表者

羽田 靖史 (Hada, Yasushi)

工学院大学・工学部・准教授

研究者番号：70455450

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：移動ロボットを無線遠隔操縦する際には、通信の到達する範囲を知ることが重要である。本研究ではロボットが未知環境をセンシングし、その結果を用いて構築した環境モデルを用いて電波状況の推定を逐次行ない可視化する研究を行なった。研究の結果、電波伝搬シミュレーションに適した二次元/三次元環境モデルの構築、二次元環境モデルを用いた実測に近い電波状況の逐次推定、ロボット操作画面への状況表示を行なった。

研究成果の概要(英文)：For remotely operation of mobile robot, wireless communication range is very important information. We studied on an environmental model generation with sensors, an electric field strength simulation using the model, and visualization of the simulation results. As the result of the research, we developed the method of an environmental model generation suitable for electro-magnetic field simulation using 2D/3D range sensors on robot. The simulation results using the 2D model was similar to the measured value. We also developed the fast method of the simulation in a limited environment. Visualized result of the simulation is shown to the PC for the aid of the mobile robot operation.

研究分野：災害対応ロボット

キーワード：災害対応ロボット 通信 電波伝搬シミュレーション レスキュー

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災以降、災害対応ロボットの実用化が注目されている。災害対応ロボットは人が立ち入れない場所に入り、人の代わりに情報収集や作業を行う。しかし、災害対応ロボットには未だ課題が多く存在している。その中でも本研究では遠隔操縦における通信の課題について検討する。災害対応ロボットの遠隔操縦の通信方式の多くが有線通信を採択している。これは、通信が途切れロボットが停止することでロボットが遭難することを回避するためである。しかし、有線通信には問題点がある。有線通信を行うためのケーブルの断線、障害物への引っかかりや絡まり、リールの設置場所などといったケーブルの取り扱いの問題やケーブルの重さによる重量の増加などである。無線通信はこのような問題点を回避することができるものの、通信可能範囲が不明確であるためロボットの行動範囲が制限される。

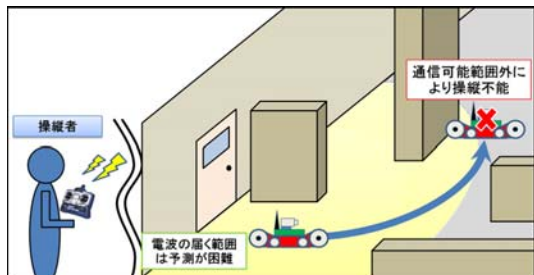


図1 無線通信の問題点

2. 研究の目的

移動ロボットを無線遠隔操縦する際には、通信の到達する範囲を知ることが重要である。本研究ではロボットが未知環境をセンシングし、その結果を用いて構築した環境モデルを用いて電波状況の推定を逐次行ない可視化する研究を行なった。

3. 研究の方法

本研究は(1)未知環境の電波状況及び環境形状のリアルタイム推定技術の研究、(2)ベイズ推定を用いた過去及び未来の電波状況の推定技術の研究、(3)推定結果のマッピング技

術の研究からなる。手法の流れを図2に示す。

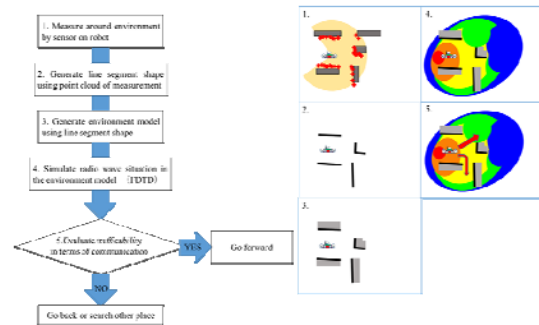


図2 提案した手法

(1)未知環境の電波状況及び環境形状のリアルタイム推定技術の研究

二次元測域センサ(図3)を利用して二次元線分環境モデルを作成した。この環境モデルはロボットが走行しながら生成する線分形状により構成されている。本研究では線分形状の生成手法、逐次生成される線分形状の合成手法、線分環境モデルからのシミュレーションモデルの生成手法を研究した(図4)。センサで取得できるのは表面形状だけであるため、壁の厚み情報については固定値を用いている。



図3 二次元測域センサ

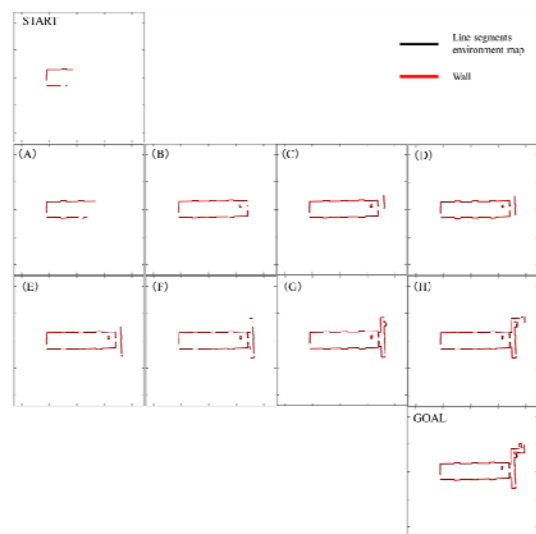


図4 逐次生成した二次元環境モデル

同様に三次元形状モデルについても検討を行なった。広範囲で密な形状を取得可能なセンサがないため、既存のセンサを元に新しいセンサシステム(図 5)を開発し、周囲 180 度の点群を取得、クラスタリングや平面推定を行ないポリゴン化(図 6)、さらに厚み情報や材料情報を付加する(図 7)。さらにこれを逐次重ね合わせ形状モデルを構築していくが、三次元形状モデルについて電波シミュレーションに満足な形状を構築することは出来ておらず検討段階にとどまっている。



図 4 開発した三次元センサシステム

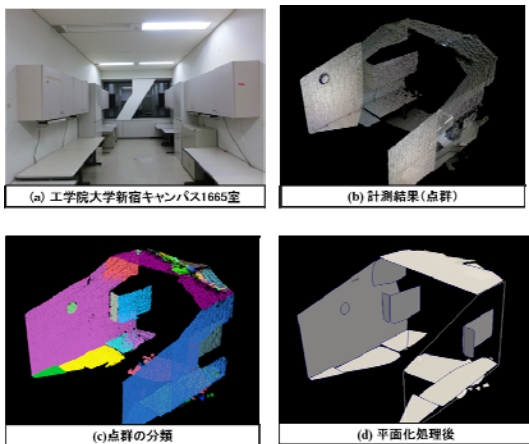


図 6 点群からポリゴン化する手法

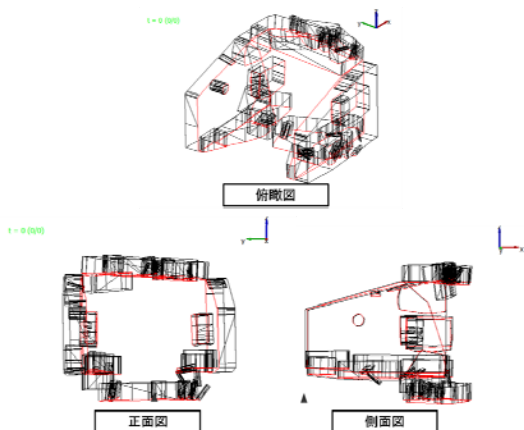


図 7 三次元環境モデル

(2)ベイズ推定を用いた過去及び未来の電波状況の推定技術の研究

本研究では電波状況を推定するための推定方法として時間領域差分法 (Finite Difference Time Domain Method) を用いた。まず周波数による違いを調べ、ロボットに最適な電波周波数等を検討した(図 8)。

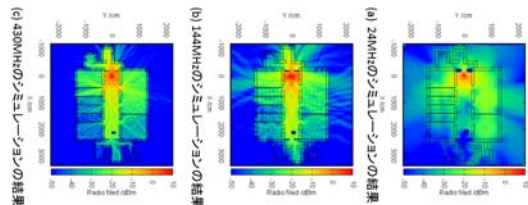


図 8 周波数による違い

また材料の推定技術については環境全体を単一材料として推定した結果を実測値と比較し、過去に計測した環境が金属製か、木材/コンクリート製かを推定することが出来た(図 9)。シミュレーション結果では、金属の材質を変化させてもほとんど結果に違いが無く、また、木材とコンクリートでも大きな違いはなかった。これはすなわち、概ね素材の性質は大きく2つのクラスタに分類されるため、材料推定もこのクラスタの推定さえ出来れば良いことを示している。

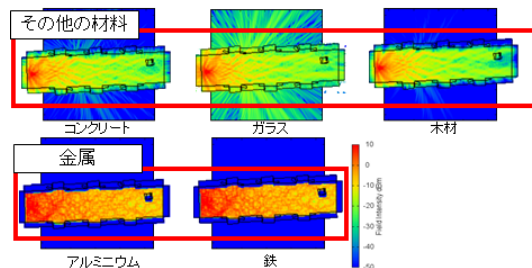


図 9 環境の材質による違い

次に、ロボットのセンサによる逐次的なモデル作成と同時にシミュレーションを行ない、実測値と比較したところ、作成されたモデルの範囲では実測値に近い値が出ており、未知環境の電波状況の推定が出来ていることがわかる(図 9)。

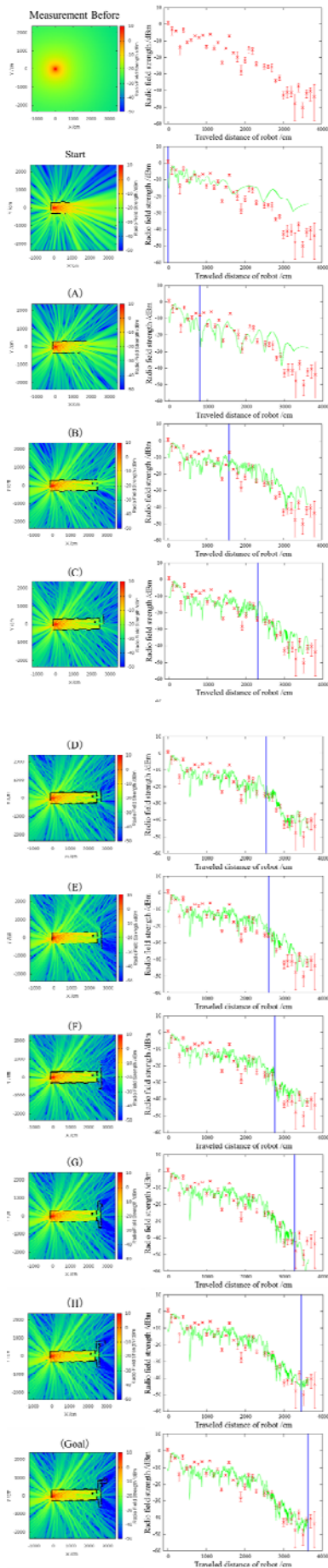


図9 逐次推定結果と実測値の比較

しかし、上述の手法を用いたシミュレーションは1回40分程度かかること、また環境モデル作成にも時間がかかることが問題であった。そこで、電波の到来方向が1方向に限られるような環境に限っては、環境全体のモデル及び電界強度シミュレーションを行わず、1回のセンサデータで得られた局所的な範囲のみで環境モデルを作成し(図10)、局所範囲で電界強度シミュレーションを行なう手法を開発した。結果として局所範囲においては5分程度(従来手法の8分の1)の時間で、より良い結果を得ることが出来た(図11)。

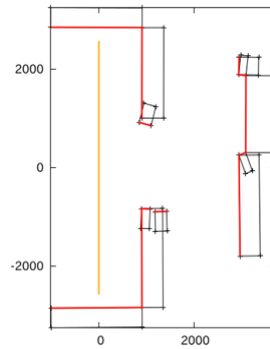


図10 局所モデル

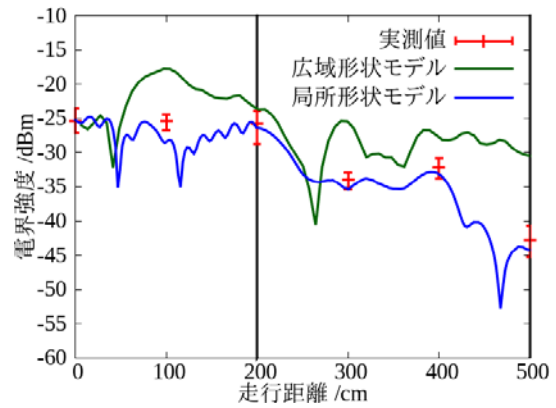


図11 広域と局所モデルの比較

(3) 推定結果のマッピング技術の研究

本研究のために開発した実験用ロボットシステムを図12に示す。このロボットを用いて電界強度の実測値の測定(図13)、遠隔操縦等の実験を行なった。なお環境モデルの作成、電界強度シミュレーションと可視化(図14)については無線通信を用いて操作卓側のPCで行なった。

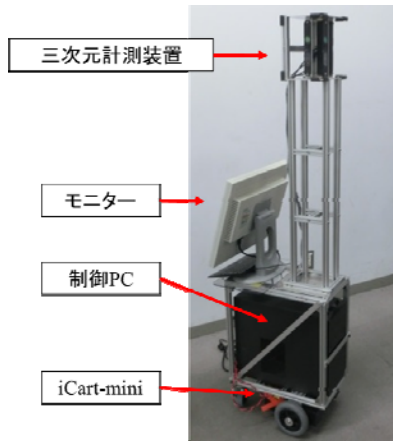


図 12 実験用ロボット

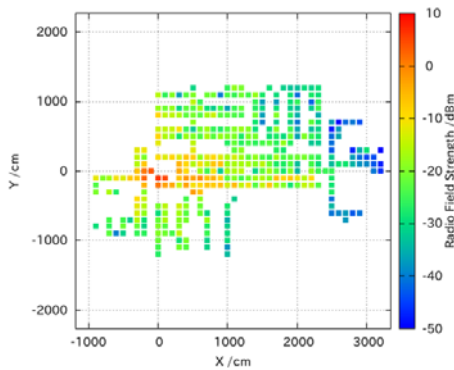


図 13 計測した実測値

2~3m 先の電波状況を表示するシステムを試作し、実験で評価を行なった。本研究は実用化研究ではないため、現在は操縦システムと電波状況の閲覧は別のウィンドウになっているが、今後実用化の際には、操縦部分、電波状況可視化部分、現在の電波状況の実測表示などを合わせて表示するような統一操作システムが求められる。

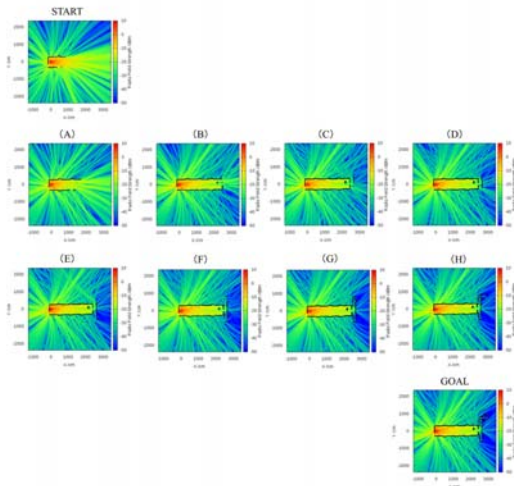


図 14 逐次可視化した電波推定状況

4. 研究成果

本研究では無線を用いて遠隔操作を行う際に生じる問題点のうち、電波状況の悪化により操縦不可能に陥ってしまうことを防ぐことを目的とし、あらかじめ環境のモデルを持っていない未知環境において環境形状を取得し、材料の推定や厚み情報の追加を行ない、環境モデルを作成、これを用いて実測値に近い電波状況の推定を行なうことが出来た。また、実験用ロボットを開発し検証を行ない、まだ実時間とはいえないものの、ロボット操縦者に対して未知環境の電波状況を提示することが出来た。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 20 件)

①金山浩士, 金聖熙, 青柳竜馬, 石井貴裕, 羽田靖史, “ロボットの遭難を防ぐための形状センサを用いた電波伝搬シミュレーションの評価”, 第16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, 3E1-5, 2015. (査読なし)

②金聖熙, 石井貴裕, 金山浩士, 青柳竜馬, 羽田靖史, “測域センサを用いた電波伝搬シミュレーションのための線分環境地図の生成法と検証”, 第16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, 3E2-1, 2015. (査読なし)

③青柳竜馬, 鈴木健太, 金山浩士, 金聖熙, 羽田靖史, “現在位置の電界強度と測域センサデータを用いた簡素な周辺電波状況推定”, 第16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, 3E2-3, 2015. (査読なし)

④石井貴裕, 金山浩士, 羽田靖史, “三次元電波伝搬シミュレーションに適した環境形状生成手法”, 第16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, 3E2-2, 2015. (査読なし)

⑤羽田靖史, “ロボットの通信に求められる問題点と要件”, 第16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, 3E1-1, 2015. (査読なし)

⑥古澤耕輔, 羽田靖史, “移動ロボットによる人混在環境下での移動物体情報を除去した二次元環境地図生成”, 第33回日本ロボット学会学術講演会, 1K2-01, 2015. (査読なし)

⑦中村祐太郎, 羽田靖史, “三次元センサを用いた自律移動ロボットの微小障害物回避”, 第33回日本ロボット学会学術講演会, 1H2-03, 2015. (査読なし)

⑧金聖熙, 石井貴裕, 羽田靖史, “測域センサを用いた電波伝搬シミュレーションー電波伝搬シミュレーションのための線分環境形状の生成ー”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演概要集2015, 1P1-M07, 2015. (査読なし)

⑨石井貴裕, 松田崇志, 金聖熙, 羽田靖史, “電波伝搬シミュレーションのための三次元地図生成に関する研究”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演概要集2015, 1P1-M08, 2015. (査読なし)

⑩吉田裕, 金聖熙, 羽田靖史, “レーザ測域センサの環境計測時に生じる誤差修正手法の提案”, 情報処理学会第78回全国大会, 4Q-07, 2016. (査読なし)

⑪吉田裕, 羽田靖史, “二次元測域センサに生じる誤検出データの除去手法の提案”, 2015年度第3回山彦シンポジウム, 2016. (査読なし)

⑫松田崇志, 羽田靖史, 金聖熙, 石井貴裕, 行田弘一, “遠隔操作する移動ロボットに資する電波伝搬シミュレーションに関する研究”, 第87回山彦シンポジウム, 2015. (査読なし)

⑬金聖熙, 松田崇志, 石井貴裕, 羽田靖史, “動的な電波状況推定のための二次元環境形状データの生成”, 第15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, 3J1-4, 2014. (査読なし)

⑭松田崇志, 羽田靖史, 金聖熙, 石井貴裕, 行田弘一, “移動ロボットが作成した部分的な地図を用いた電波伝搬シミュレーションに関する

考察と評価”, 第15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, 3J1-3, 2014. (査読なし)

⑮石井貴裕, 松田崇志, 金聖熙, 羽田靖史, “電波伝搬シミュレーション用三次元地図の動的生成”, 第15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, 3J1-5, 2014. (査読なし)

⑯松田崇志, 羽田靖史, 行田弘一, “遠隔操作ロボットのための電波伝搬推定における障害物の影響”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014, 1P2-G06, 2014. (査読なし)

⑰松田崇志, 羽田靖史, 行田弘一, “無線遠隔操作型移動ロボットの遭難を防ぐための時間領域差分法を用いた電界強度推定”, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 3E2-05, 2013. (査読なし)

⑱松田崇志, 渡邊浩也, 羽田靖史, “無線遠隔操作型移動ロボットの遭難を防ぐための電界強度シミュレーション”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演概要集2013, 1P1-P17, 2013. (査読なし)

⑲渡邊浩也, 松田崇志, 羽田靖史, “移動ロボットによる動的な電波状況推定のための環境形状データの自動生成”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演概要集2013, 1P1-P16, 2013. (査読なし)

⑳松田崇志, 羽田靖史, 行田弘一, “無線遠隔操作型移動ロボットの遭難を防ぐための電界強度マップ生成”, 第81回山彦シンポジウム, pp. 183-184, 2013. (査読なし)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

羽田 靖史 (HADA, Yasushi)

工学院大学・工学部機械システム工学科・准教授

研究者番号：70455450