

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 8 月 30 日現在

機関番号：52201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21581

研究課題名（和文）多様な環境下で活用するロボットのための共有可能なオープン磁気マップの開発

研究課題名（英文）Development of magnetic map that can be shared among different specifications of robots to work in various environments

研究代表者

サム・アン ラホック（Sam Ann, Rahok）

小山工業高等専門学校・電気電子創造工学科・助教

研究者番号：30633870

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、異なる仕様のロボット間で共有できるオープン磁気マップの開発を目的としている。これを実現するためには、位置毎に磁気データを記録するための世界共通の座標と、正確な磁気センサのキャリブレーションが必要である。座標は、RTK-GPSとエンコーダとの組み合わせで実現した。正確な磁気センサのキャリブレーションは、磁気シールドを利用して、外部からの磁気の影響を低減させてから行うことによって、実現した。作成した磁気マップを利用して、より安定したロボットの自動ナビゲーション法を実現することができた。これにより、異なる仕様のロボット間で共有することも可能である。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop a magnetic map that can be shared among different specifications of robots. To achieve this, it is necessary to have a universal coordinates for recording magnetic data at each position and an accurate calibration of the magnetic sensor. The universal coordinates can be obtained by combining the RTK-GPS with the encoders. For the calibration of the magnetic sensors, we use magnetic shield to cover the magnetic materials around the magnetic sensors to reduce the influence of the external magnetic field before performing the calibration to get an accurate calibration. By using our magnetic map, a more robust autonomous navigation method can be achieved. Moreover, it is possible to share the magnetic map among the different specifications of robots.

研究分野：知能ロボット

キーワード：環境磁場 磁気センサのキャリブレーション 共有可能な磁気マップ

1. 研究開始当初の背景

現在、既に実用化されているロボットのナビゲーション法はランドマークの設置など、ロボットの移動の手助けとなるような環境整備が必要とされている。しかし、インフラ設置にかかるコストや、美観上の問題から環境整備に制限がある場合が多い。しかも、近年のロボット技術の発展にともない、実際の生活空間へのロボット進出が望まれており、ロボットは環境を整備することなく自己位置を認識し、かつ自律移動を可能とするナビゲーション法が強く求められている。そこで我々は、ロボットのための環境整備をせず、ありのままの環境でも適用可能な環境磁場に基づくナビゲーション法の開発に着目した。

環境磁場とは、建物の鉄骨や地中に埋まった金属などの磁性体によって生じる磁場の影響を受けた地磁気である。環境磁場は、時間の経過に対してほとんど強さが変化しない直流磁場を含んでいる。一般的には環境磁場はノイズとして扱われるが、本研究の独占性は、このノイズを磁気マップとして積極的に利用するという点である。磁気マップは位置情報と環境磁場の強度によって表現される。ロボットは移動中に計測した環境磁場の変動パターンをマップ上のパターンと照合し、自律ナビゲーションを行うことが可能となった。2009～2011年、2013年に開催された、つくばチャレンジという実環境における自律移動ロボットの実験場において、本手法を用いた移動ロボットは1キロメートル以上の距離を自律走行することに成功し、その有用性を示した。また、本手法を基にプレイバックナビゲーション法を実現した。プレイバックナビゲーションとは、ロボットがスタート地点から目的地点まで移動する間の環境情報を記憶しておき、その後目的地点からスタート地点まで自律的に戻るような走行法である。この研究では2台の3軸磁気センサをロボットに搭載し、水平に設置されたXY軸を互いに180度反転で配置した。そして、ロボットが目的地点に移動するときに2台の磁気センサによって2方向(行きと帰り)の磁気マップを作成するようにした。これにより、ロボットは180度旋回してから帰りのマップを利用してスタート地点までの走行を達成することができた。2014年からは、より正確な自己位置推定を目指すことを目的として、ロボットに3台の磁気センサを横に並べて設置し、経路上の磁気分布を同時に記録した。3台の磁気センサによって検知した環境磁場の変動パターンを自律ナビゲ

ーションに利用し、より安定した自律ナビゲーション法を実現した。しかし、他のナビゲーション法と同様に作成したマップは異なる仕様(センサの位置や種類など)のロボットで利用することが難しい。そこで、異なる仕様のロボット間で共有できる磁気マップに改良する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、異なる仕様のロボット間で共有できるオープン磁気マップの開発を目的としている。これを実現すれば、サービスロボット、レスキューロボット、探査ロボットなどの様々なロボットの活用範囲を広げることが期待できる。

3. 研究の方法

これまでの本研究の磁気マップは、ロボットのタイヤの回転によって算出した位置情報と磁気センサによって検知した磁場強度で表すものである。様々なロボットと共有できるようにするためには、世界共通であるGPSからの位置情報を利用する必要がある。しかし、単独のGPSは高い建築物周辺や並木の下など受信感度の弱い環境では適用できない。そこで本研究では、地図作成によく用いられるRTK-GPS(リアルタイムキネマティクスGPS)を用いる。RTK-GPSには基準局と移動局があり、基準局を受信電波の良い場所に設置し、取得した位置情報を無線で移動局に送信する。これによって、計測精度を20cm以下まで上げることができ、高い建築物周辺や並木の下でも利用することが可能になる。

磁場強度は、複数台の磁気センサを利用して計測する。また、磁気マップを異なる仕様のロボット間で共有できるようにするためには、ロボット自体や周囲の移動体などによって影響されない正確な磁気マップを作成する必要がある。これを実現するために次の3点を重視し、磁気マップの作成に取り組む。

まず、磁場影響を磁気センサに与えないような配置を探して磁気センサと部品を設置し、さらに上から磁気シールドTMS-533を被せる。次に、磁気マップへ記録する磁場強度は、周囲の移動体からの影響を最小限に抑えるために磁気センサを地下方向に向けて検出したものを利用する。最後に、磁気センサのキャリブレーションを行う。これは、磁気シールドTMS-533を利用して作成した1m×1m×1mの磁気シールドルームで行う。そして、作成した磁気マップを利用して自律走行実験を行い、走行結果によって評価する。

4. 研究成果

RTK-GPS は、2 台の GNSS 受信器 SRC-u2T の組み合わせで構築した。基地局は図 1 に示すように、周りに障害物がない電波の入りやすい場所である、本校の 5 階建て校舎屋上に設置した。基地局の座標は 24 時間静止測定し、値が収束した後に平均値を取った。移動局は図 2 に示すようにロボットに取り付けて地面から 1.3m の高さに設置した。衛星はアメリカの GPS と中国の BeiDou を利用し、基地局と移動局の間の通信は WiFi で行った。



図 1 基地局の設置場所（5 階の屋上）



図 2 移動局（地面から 1.3m の高さ）

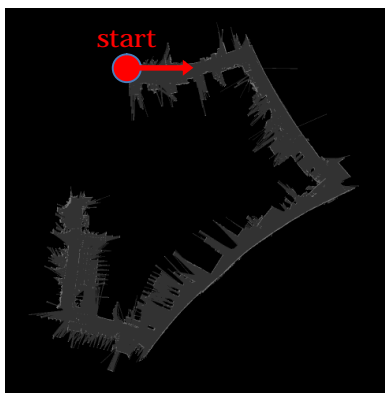


図 3 エンコーダで作成したマップ

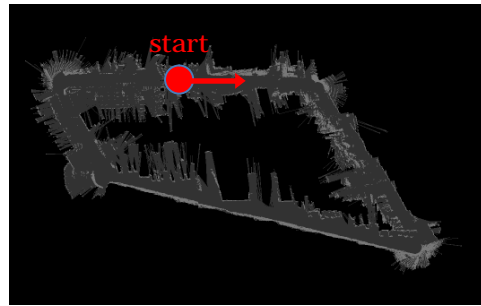


図 4 RTK-GPS とエンコーダの組み合わせで作成したマップ

RTK-GPS では、移動局が衛星からの電波を受信できない場所では計測できない。そこで、このような場所においてはエンコーダを利用する必要がある。そこで、本研究のマップの座標は常にエンコーダから算出したものを利用し、RTK-GPS が計測できる時には、その結果を使ってエンコーダを補正ことにした。また、マップを作成する際にエンコーダから算出した座標の進行方向を RTK-GPS の方向（北方向）に合わせるために式(1)の回転行列を利用した。はエンコーダで計測したロボットの進行方向と RTK-GPS の進行方向の差分である。

$$E^\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

この補正方法を確認するために、図 3 と図 4 に示すようなマップを作成した。マップは、1 周してスタート地点に戻るコースで作成した。また、マップの座標が改善されることを分かり易く示すために、磁気データの代わりに 2 次元レーザ測域センサのデータを使って作成した。マップ上の灰色の部分はロボットが走行可能な領域、白い部分はレーザ測域センサによって計測した木や建物の壁などの周囲環境を示す。エンコーダのみで作成した図 3 では、タイヤの滑り等によって誤差が累積してしまい、マップが曲がってしまった。一方、図 4 に示すように RTK-GPS とエンコーダとの組み合わせでは正確なマップを作成することができた。この方法の座標であれば世界共通の座標として扱うことができる。

磁気センサのキャリブレーションは、磁気シールド TMS-533 を利用して作成した 1m × 1m × 1m の磁気シールドルームの中で行った。これによって外部からの磁気を 150 ~ 200 mGauss 程度減らすことができた。さらに、磁気シールドを箱形に折り曲げて磁気センサの周りの機器に被せることによって、100 mGauss 程度の外部からの磁気の影響を低減させることができた。この磁気センサをつ

ばチャレンジ 2016 と 2017 に参加したロボットに搭載した。その結果、より安定した走行を実現させることができ、本研究で利用したロボットが 2 年連続 1.7km 以上の距離を自律走行することに成功した。図 5 につくばチャレンジ 2017 の自律走行の結果を示す。左上の写真は、本研究のロボットが折り返し地点 (1.7km) の少し手前で U ターンしてしまっただシーンである。これは、このエリアでは磁気の乱れが少ないため、現在の自己位置推定法 (磁気のピークとピークとのマッチング法) を用いることができなかつたためであった。この問題を解決するために、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを利用した。磁気データは、ロボットの移動方向に影響されにくい下方向の磁気強度 (B_z) を自己位置推定のデータとして使用することとした。自己位置推定は、マップのデータと走行中のデータを ICP に入力し、走行中のデータをマップのデータに位置合わせすることで行った。図 6 に自己位置推定結果の一例を示す。30m 付近で ICP アルゴリズムによって自己位置推定が行われ、走行中のデータ (緑線) が真値 (赤線) に近づき、おおそ横方向に対して揃えた。対照に、従来手法 (青線) では修正は効いておらず、誤差を残したままである。図 5 の右上の写真は、ゴールまで残り 30m の位置でロボットの走行ルート上の駐輪自転車の間に挟まってしまい、走行できなくなったシーンである。図 7 はつくばチャレンジ 2017 での自律走行時のロボットの角度を示す。赤線と緑線が一致することは、ロボットが正確に目的としたコースを正確に追従できたことを示す。2016 年の成果を札幌で開催された SI2016(学会発表)において発表し、さらに 2017 の成果を論文としてジャーナルに投稿し、採択された (雑誌論文)。

本研究の最終目的は、つくばチャレンジにおいて磁気マップを作って、参加チームに提供することであった。しかし、予算の関係で研究計画を大幅に変更したことから、研究が遅れてしまい、つくばチャレンジでの磁気マップを作成することができなかつた。その代わりに小山高専での 200m 程度のコースにおいて磁気マップを作成し、本研究の 2 台の移動ロボットで評価実験を行った。結果は 2 台ともコースを完走することができた。今後、ロボットに搭載している機器の位置を変えて評価実験を行う予定である。

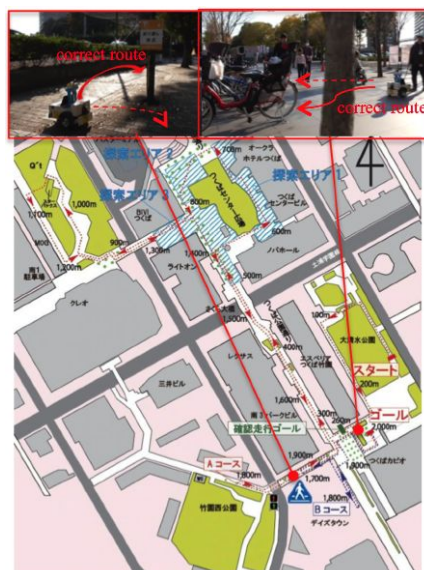


図 5 つくばチャレンジ 2017 での自律走行

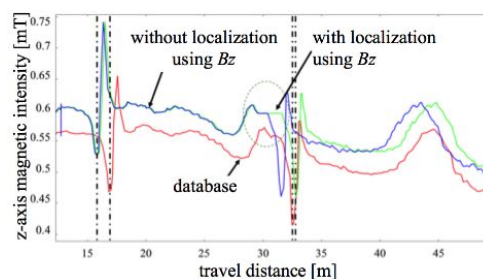


図 6 ICP アルゴリズムを利用した自己位置推定の結果

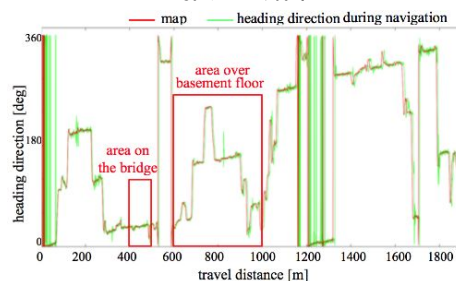


図 7 自律走行時のロボットの角度

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 1 件)

Rahok Sam Ann, Hirohisa Oneda, Taichi Nakayama, Kazumichi Inoue, Shigeji Osawa, Akio Tanaka, and Koichi Ozaki, Enhancement of Scan Matching Using an Environmental Magnetic Field, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.30, No.4, pp.532-539, 2018

[学会発表](計 4 件)

橋 賢一, Sam Ann Rahok, 他 2 名, つくばチャレンジ 2015 への取り組みについて, つくばチャレンジシンポジウム, 2015

中山太知, サムアン ラホック, 井上一道, 大根田浩久, 田中昭雄, 磁気センサとレーザ測域センサを組み合わせた自律ナビゲーション法に関する研究, 公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門, 2016

中山太知, Sam Ann Rahok, 他 4 名, つくばチャレンジ 2016 への取り組みについて, つくばチャレンジシンポジウム, 2016

中山太知, Sam Ann Rahok, 他 8 名, つくばチャレンジ 2017 への取り組みについて, つくばチャレンジシンポジウム, 2017

6. 研究組織

(1) 研究代表者

サム アン ラホック (Sam Ann Rahok)

小山工業高等専門学校・電気電子創造工学科・助教

研究者番号: 30633870

(2) 研究協力者

中山 太知 (Nakayama Taichi)