

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：52201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730162

研究課題名(和文)環境磁場に基づく移動ロボットの自律ナビゲーション法の開発

研究課題名(英文)Navigation Method for Autonomous Mobile Robots Using an Environmental Magnetic Field

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) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：磁場はどこでも存在しており、これらをロボットの目印として利用できれば、どこでもロボットに自律移動させることができる。これを実現するために、ロボットに3台の磁気センサを横に並べて取り付け、ロボットの位置と3台の磁気センサによって検知した磁気分布を磁気マップとして記録し、これを基に自律走行させることに成功した。また、より安定した自律走行を実現するために、強い磁気を持つ物体の移動による磁場変動への対応にも取り組んだ。ロボットが自律走行をする度に新たな磁気マップを作成し、この磁気マップを古い磁気マップと比較し、磁場の変動箇所がある場合に、その場所の磁場を古い磁気マップに書き換えることで実現した。

研究成果の概要(英文)：An environmental magnetic field, magnetic field that occurs in the environment, exists anywhere on earth and if it can be used as a landmark, it is possible for robots to autonomously navigate anywhere. In this study, we aimed to develop a navigation method using this environmental magnetic field. The magnetic map was built by recording position of the robot and the environmental magnetic field detected by 3 magnetic sensors, which were installed in parallel at the front of the robot, 0.2m up from the ground level. The robot then navigated accurately by matching the magnetic sensor readings against the environmental magnetic stored in the magnetic map. Moreover, we successfully enhanced the robustness of the proposed navigation method by renewing the magnetic map during the autonomous navigation to cope against changes of the environmental magnetic field caused by displacement of magnetic materials such as buildings, vehicles, electric machines, and so on.

研究分野：移動ロボット

キーワード：磁気マップ 磁気変動 自律ナビゲーション

1. 研究開始当初の背景

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技術が強く求められている。そこで本研究では、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。磁気マップは位置と環境磁場の強度によって表現される。この磁気マップにより、磁場変動の固有のパターンがいくつか存在することが明らかとなった。ロボットは移動しながら環境磁場の強度を測定することによって、環境磁場の現況の変動パターンとマップ上の変動パターンとを照合し、自己位置を推定することが可能となった。また、決められた走行経路の環境磁場を事前に記録し、これをトレースしながら自律走行する方法も開発した。これら2つの手法によって、自律ナビゲーション法を実現してきた。

2. 研究の目的

本研究は、環境磁場を目印とした移動ロボットの自律ナビゲーション法を開発するものである。初年度では、磁気マップの作成方法を改良し、より安定した自律ナビゲーション法にすることを目的とし、最終年度では環境磁場に基づく自律ナビゲーション法を実用化により近いナビゲーション法へ発展させることを目的としている。環境磁場は周囲の物理的なランドマークに頼らないため、屋内外に関係なく多様な環境下で利用することが可能であり、現在話題になっているサービスロボット、レスキューロボット、探査ロボットなどのナビゲーションへの応用が期待できる。

3. 研究の方法

研究にて取り組む項目を整理すると、(1) 磁気マップの作成、(2) 磁気マップに基づく自律ナビゲーション法の実現、(3) 磁性体の移転による磁場変動への対応、が挙げられる。(1)に関しては、キャリブレーション機能付きの磁気センサ (MicroStrain社 3DM-DH)

を利用して、磁気マップを作成することに成功した。しかし、更に正確な磁気マップを得るには、作成方法を改良する必要がある。具体的にはロボットに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する。(2)については、これまで1台の磁気センサを利用し、検知した環境磁場をマップ上のものと照合することによって、ロボットの自律ナビゲーションを実現してきた。しかし、ロボットが教示経路から離れた場合(横ズレが生じた場合)、元の経路にも戻ることが困難であった。そこで、より安定した自律ナビゲーション法を目指す目標として、3台の磁気センサをロボットに横に並べて設置し、利用する。(3)に関しては、ロボットが自律ナビゲーションを行う時に検知した磁場強度を磁気マップ上のものと比較し、変動が生じる部分を自動的に更新する。

4. 研究成果

初年度の研究目的は、磁気マップの作成方法を改良し、より安定した自律ナビゲーション法にする事であった。磁気マップの作成方法に関しては、従来法である1台の磁気センサを利用して作成する方法から、3台の磁気センサを横に並べて作成する方法に変更した。そのため、ロボットに取り付ける場所の調査およびキャリブレーション(磁気センサ値の校正)を行う必要があった。設置位置の調査ではロボットの内部部品が動作していないときと、動作しているときの磁気センサの出力を比較し、平均差分が最も小さい位置を見つける事にした。その結果、ロボットの前下部、地面から0.2mの高さとロボットの中央、地面から0.5mの高さにある位置が最も適切な場所である事が分かった。キャリブレーションは、本校のサッカーグラウンドにおいて磁場影響が少ない場所を磁気メータで見つけて、その場所にロボットを持って行き、行った。

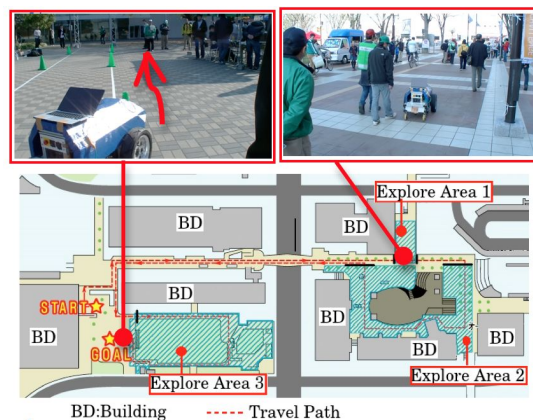


図1 つくばチャレンジ 2013 の走行様子

磁気マップ作成および自律走行では、まずロボットの中央、地面から0.5mの高さに3台の磁気センサを横に並べて取り付けて行

った。結果は、従来法に比べてより安定した走行ができたが、センサを設置した高さが高いため、地中に埋められたマンホールや配管などの大きな磁性体以外からの磁場を検知する事ができなかった。そのため、横ズレを修正できる場所は大きな磁場が生じている場所のみに限られた。この成果を既に学会で発表済みである（学会発表）。この弱点によって我々のロボットはつくばチャレンジ2013という自律ロボット公開実験場において完走を逃した。つくばチャレンジ2013の自律走行の様子を図1に示す。左上図はゴールの横を通過し、失格となった様子を示す。しかし、1.6km以上自律走行に成功したことが評価され、その結果をまとめて作成した技術論文が採択された（雑誌論文）。

Magnetic Sensors



図2 磁気センサの配置

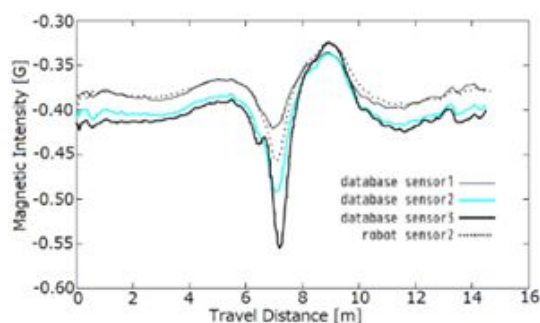


図3 横ズレの修正

その後、図2に示すように磁気センサをロボットの前下部、地面から0.2mの高さに3台の磁気センサを横に並べて取り付け、磁気マップ作成および自律走行実験を行ってきた。センサの高さが低いためより多くの地中に埋められた磁性体からの磁場を検知する事ができ、自律走行中の横ズレを修正することに成功し、より安定した自律走行に改良できた。図3はロボットが自律走行中にマンホール上を通った時に計測した磁気データと磁気マップの磁気データとの比較図を示す。横ズレの修正は自律走行中に検出した磁気データ（図3での点線）を磁気マップに記録した磁気データ（図3での実線）と比較し、ピークの高さを基に行った。その結果をまとめて、既に東京で開催する国際会議（GCCCE2014）に投稿し、採択された（学会発表）。

そして、本研究の最終年度の目的は環境磁場に基づく自律ナビゲーション法を実用化により近いナビゲーション法へ発展させる

ことであった。これは、磁性体の移動といった環境変化による磁場変動への対応であった。ロボットが磁気マップを基に自律ナビゲーションを行う度に、新たな磁気マップを作成した。元の磁気マップを新しい磁気マップと比較し、磁場の変動箇所がある場合にその場所の磁場を元の磁気マップに書き換えることにした。2014年10月から評価実験を始め、磁性体による磁場変動への対応ができることを確認できている。しかし、実用化に向けて長期間において評価実験を行う必要がある。そこで、1年間の磁気変動を確認する目的として、2015年10月までに2週に1回程度走行実験を行い、走行結果による評価を行うことにした。現在、結果をまとめる段階である。また、以上の評価実験を行う際に磁性体の移動による磁場変動への新たな対策を発見した。それは、地下方向で検出した磁場を利用するものである。これに関しては、既にその有用性を確認済みであり、現在学術論文としてまとめる段階である。

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 1件)

Rahok Sam Ann, Hirohisa Oneda, Akio Tanaka, and Koichi Ozaki, A Robust Navigation Method for Mobile Robots in Real-World Environments, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.26, No.2, 2014,177-184

URL:<https://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=ROBOT002600020007.xml>

〔学会発表〕(計 4件)

Sam Ann Rahok, 他7名, つくばチャレンジ2014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年1月6日, つくば大学(茨城県・つくば市)

Hiroataka Aoki, Rahok Sam Ann, Akio Tanaka, and Manabu Ishihara, Odometry Correction Method Using Distributed Environmental Magnetic Field, IEEE Int. Conf. on Computational Science and Engineering, 2014年10月9日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)

Sam Ann Rahok, 他5名, つくばチャレンジ2013への取り組みについて, つくばチャレンジシンポジウム, 2014年1月7日, つくば大学(茨城県・つくば市)

Rahok Sam Ann, Akio Tanaka, and Manabu Ishihara, Trajectory Tracking Method Using Low Cost Magnetic Sensors, IEEE/SICE Int. Symp. On System

Integration, 2013年12月15日, 神戸
コンベンションセンター
(兵庫県・神戸市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

サム アン ラホック (Rahok Sam Ann)
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

青木 啓宇 (Hirotaka Aoki)
小山工業高等専門学校・複合専攻・電気
情報工学コース・専攻科生
研究者番号: なし