

ロボットの屋内外環境における自律移動に関する研究

岡部真也・中嶋 将・林誠司（指導教員 伊藤恒平）

1. 序論

自律移動ロボットには、障害物回避技術や、雨天にも対応できる機体設計など多くの技術が要求される。我々は「つくばチャレンジ 2011」に参加する自律移動ロボットの製作を通じて、これらの技術に関する研究を行った。また、つくばチャレンジ 2011 の「走行コースに設けられた白線の前で自律的に一時停止する」という課題を達成するために、Web カメラを用いて白線を検出する研究を行った。

本稿では、ジャイロセンサとエンコーダを用いて自己位置を推定するジャイロオドメトリと呼ばれる自己位置推定技術や、ジャイロセンサのドリフト現象が自己位置推定に与える影響とその低減方法、駆動部の改良、Web カメラを用いた白線検出方法について述べる。

2. つくばチャレンジ 2011

つくばチャレンジとは、人々が生活している空間の中で、定められた目的地までロボットが自律的に走行することを目指したチャレンジである。つくばチャレンジに参加するロボットには、自律で走行することは勿論、環境内に存在する人間の行動を邪魔しないことや、高い親和性などが要求される。

2011 年度では、公園内の遊歩道や屋内商店街などを含む、約 1.4Km の区間が走行コースとなった。また、コース内に設置された白線の前では自律的に停止しなければならない。

3. ロボットのシステム

我々のロボットは対向 2 輪式駆動で、内部に搭載した Windows ノート PC で制御される。ロボットのハードウェア構成は図 1 のようになる。

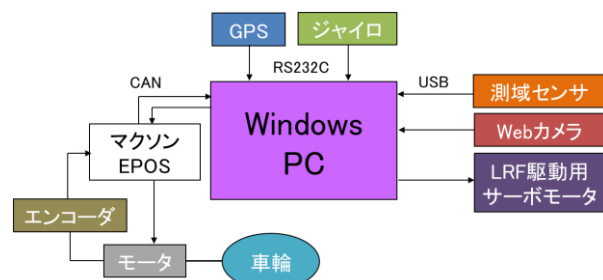


図 1 動作システム図

4. 自己位置推定

我々のロボットはジャイロオドメトリによる自己位置推定を行っている。ジャイロオドメトリは、周期的にジャイロセンサによりロボットのヨー角方向の角度、エンコーダによりロボットの前後方向の移動距離を検出して機体の微小移動量を算出し、この微小移動量を累積することによって現在の機体位置を推定する。

しかし、算出した移動量にはセンサノイズなどによる誤差が含まれ、推定される自己位置にも誤差が累積する。この累積した誤差は、GPS などを利用して初期化する必要がある。

5. 駆動部の改良

ハブの固定方法が原因で生じていた車輪の回転方向のガタツキを解消すると同時に、板厚 3mm のアルミ角管で構成されていたギアボックスの改良を行った。ハブの固定方法はボルトとナットによる締結からメカロックという摩擦締結具へ変更し、回転方向に生じるガタツキを解消した。ギアボックスは板厚 5mm のアルミ板を箱型に組むことで剛性を向上させた。

摩擦締結具により回転方向のガタツキが解消され、また使用しているノーバックラッシュギヤという 2 枚 1 組のギヤを組み合わせることで生じるバックラッシュを無くす特殊なギヤを搭載している。そのため車輪で生じるバックラッシュはモータで生じるもののみとなった。

6. ジャイロセンサのドリフトと補正

(1) ドリフト現象と自己位置推定

我々のロボットに搭載されている振動ジャイロには、静止した状態でも角速度を誤検出するドリフト現象と呼ばれるものが発生する。これにより、ロボットが静止している状態でも、時間経過と共に自己角度が変化しているように検出される。このような自己角度の誤差は、ジャイロオドメトリによる自己位置推定に悪影響を与える。

(2) ジャイロドリフトの補正

我々はジャイロセンサに発生しているドリフト量を 2 次関数の数式モデルとして近似することにより、今後発生するドリフト量の予測と補正を行った。数式モ

デルはロボットを静止させた状態でドリフト量をサンプリングし、最小二乗法を用いて算出する。

しかし、ドリフト量の発生傾向は一定ではなく、数式モデルの不適合が発生することがあった。このドリフトの発生傾向が変化する要因として温度が考えられたため、ドリフトの発生傾向と温度との関係性を確認した。まず、ジャイロセンサに温度変化を与え、ドリフトの発生傾向の変化を観察した。結果は図3のようになり、温度とドリフトの発生傾向との相関関係が確認された。

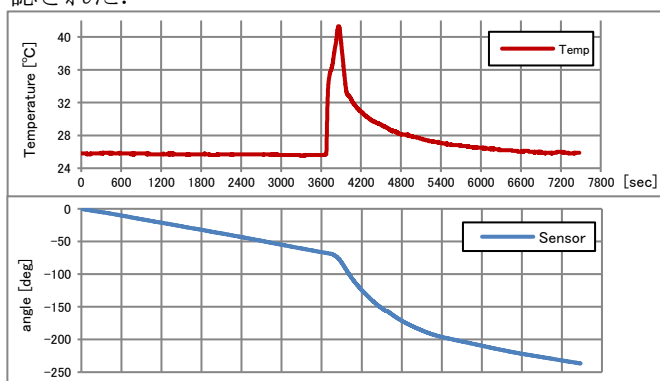


図3 ドリフトの発生傾向と温度

また、ジャイロセンサを長時間放置して温度計測を行った結果、温度が緩やかに上昇するジャイロセンサの自己発熱が確認された。

7. 自己位置推定の実験

ジャイロセンサのドリフト補正を行った状態で、85mの屋外環境を走行させ、ジャイロオドメトリによる自己位置推定の精度を確認した。真のゴール地点と、ジャイロオドメトリの推定値との差を実測で測定した。結果は図4のようになった。

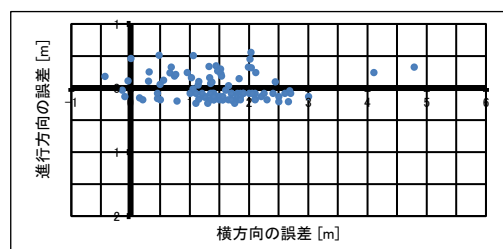


図4 自己位置推定精度

結果から、ジャイロオドメトリによる自己位置推定だけでは、推定精度の信頼性が欠けることが分かった。精度実用的な進行方向に生じる誤差の平均は、ほぼ0で標準偏差が0.2m、横方向に生じる誤差の平均は1.5m、標準偏差が0.8mであった。横方向に大きな誤差が見られるが、これは走行中にジャイロセンサの自己発熱によってドリフトの発生傾向が変化し、ジャイロドリフトの補正が失敗したためだと考えられる。

8. 画像処理

つくばチャレンジでは、白線で止まるというルールがある。これを実現するためにWebカメラを用いた画像処理を行う。画像処理の方法は様々なものがあるが、今回は白線を見つけるということで、直線を検出するハフ変換^[1]という処理を使う。

まずハフ変換とは、画像の中から直線だけを見つけることができるものである。画像を点の集まりとして見ると、白線は白い点の集まりである。よって、線上にある程度の数の白い点があるとき、それは白線といえる。画像の横軸を x 、縦軸を y とし、直線の傾きを a 、切片を b とすると、画像内の直線は以下の式により求めることができる。

$$y = ax + b \cdots (1)$$

式(1)の a を横軸、 b を縦軸にした ab 空間を作った場合、画像空間の点は ab 空間では直線に置き換える事ができる。また、画像空間の直線は ab 空間で点に置き換わる。これらの性質を使い画像空間上の点を次々に ab 空間上で線に置き換え、その線が重なり点となった所を画像空間上で直線に置き換える。これにより直線を検出する。

しかし、傾き a が垂直に近づくとき a と b の値が無限になってしまうので ab 空間には計算不可能な数値が出てきてしまうので、このままでは計算できない。そこで、直線の傾き a と切片 b の代わりに直線から原点に垂直に引いた線の長さ ρ と、その線と横軸 x のなす角 θ で表した以下の式を使用する。

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \cdots (2)$$

このときの θ は範囲 $0 \leq \theta < 180$ なので計算することができる。よってハフ変換が可能である。

9. 結論

駆動部の改善とジャイロドリフトの補正を行った後、ジャイロオドメトリによる自己位置推定を行った。

自己位置推定で推定誤差の要因となるジャイロドリフトの発生傾向は温度との相関関係があるため、恒温槽などを用いてセンサの温度管理を行えば、更に精度の高いジャイロオドメトリが可能であると考えられる。

Webカメラを用いた白線検出では、Webカメラにより画像を撮影し、その画像にハフ変換処理を行うことにより、地面に設置された白線を検出することができた。

参考文献

- [1] 井上誠喜 ほか, C言語で学ぶ実践画像処理