

自律移動ロボットの誤差検出と振舞い検証に向けて

大槻 文也^{†1} 伊藤 和己^{†1} 岡野 浩三^{†2} 関澤 俊弦^{†1}

ロボットが物理環境で動作する際、外乱などにより位置に揺らぎが生じる。本研究ではセンサ値に基づく誤差検出方法及び、補正方法を示す。ロボットの振舞いは本質的には確率的であり、確率モデル検査の対象となり得ることを示す。

Towards behavior verification of autonomous mobile robot with error detection and correction

Fumiya Otsuki^{†1}, Kazuki Ito^{†1}, Kozo Okano^{†2}, and Toshifusa Sekizawa^{†1}

Positions of a robot are fluctuated by disturbances, when operated in physical environment. In this study, we show error detection and correction based on read values of sensors. Behavior of such a robot is essentially probabilistic. We also indicates that the robot can be verified using probabilistic model checking.

1. はじめに

ロボットが物理環境で動作する際、外乱などにより位置に揺らぎが生じる。適宜補正を加えなければロボットの位置は誤差により不確実性を増していく[2]。

本研究では、物理環境でロボットが移動する際に生じる誤差の補正方法を提案する。この提案手法をLEGOで作成した自律移動ロボットに適用し、実際に誤差補正が可能であることを示す。また、物理環境上を動作するロボットをモデルに、位置を状態、移動を遷移として扱うことにより、ロボットの一連の動作が確率モデル検査により検証可能であることを示す。

2. 誤差と補正

本研究ではXY平面上を自律走行する車をロボットとして扱う。物理環境でロボットが動作する際、環境からの影響により、ロボットの向きや移動距離に揺らぎが生じ誤差となる。そのため、誤差を含んだまま移動を続けた場合、ロボットの位置は不確実性を増していく。

2.1. 問題設定

本研究の目的は、ロボットがスタート地点から経路を辿り目的地へ移動することとする。ここで経路とは、事前に定められたロボットの通り道である。移動の際には

誤差が生じるため誤差の補正を行う。図1に経路と誤差の関係を示す。 P_i は観測点、 M_i は目印、 C_i は通過点である。観測点 P_i は、目印 M_i との距離をセンサ等を用いて計測する地点であり、通過点 C_i は経路上に設けられた通過が期待される点である。

本研究では、移動距離は誤差を含まず、生じる誤差は角度のみと仮定する。また、スタート地点、経路上の観測点、通過点、目的地の座標及び目印の座標はそれぞれ地図情報として与えられているとする。

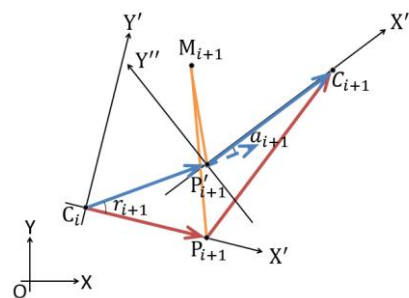


図1 誤差補正に関する座標および座標系

2.2. 誤差の検出と補正方法

ロボットの移動は視点をロボットに置くことにより、図1に示すように $X'Y'$ 座標で扱うことができる。ここで、 P'_{i+1} は、 C_i から P_{i+1} に移動する際に、誤差により実際に到達した点である。 X' 軸は P'_i と C_{i+1} を通る直線である。観測点 P'_i から C_i への補正角度 α_i を求め、向きに補正を加え通過点に向かう。

^{†1} 日本大学工学部

College of Engineering, Nihon University

^{†2} 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University

移動距離の補正值である $P'_{i+1}C_{i+1}$ 間の距離を求める。観測点 P'_{i+1} で $P'_{i+1}M_i$ 間の距離をセンサ等を用いて計測し、その値と地図情報より誤差角度 r_{i+1} を求める。誤差角度 r_{i+1} より、 P'_{i+1} の座標が求められる。次に補正角度 α_i は以下の式により求められる。

$$\alpha_{i+1} = \pi - \angle C_{i+1}P'_{i+1}C_i$$

ここで、 $\angle C_{i+1}P'_{i+1}C_i$ は、 P'_{i+1} の座標と地図情報を用いて余弦定理より得られる。

観測点から通過点に向かう際にも誤差が生じることを考慮する必要がある。継続的に誤差を補正するために通過点 C_{i+1} を次の観測点 P_{i+2} とする。これにより、誤差が生じても通過点近傍を継続して通り、目的地近傍に到着することができる。

2.3. 実装

本研究では、ロボットを LEGO MINDSTORMS EV3 を用いて作成した。実装言語は LeJOS[3]を使用した。超音波センサを備えており、観測点での距離測定を実現する。

3. ロボットの振舞い検証

ロボットの振舞いは、誤差補正を適用しても確率的となるが、各通過地点の近傍を経由して目的地に移動することが期待される。本章では、ロボットの振舞いを確率モデル検査で検証できることを示す。

確率モデル検査で扱われるモデルの一つとして DTMC がある。本研究の誤差補正において、観測点および通過点を状態、点間の移動を遷移、点間の移動は単位時間で行われるとみなすことにより、ロボットの振舞いは DTMC で表現することができる。ここで、ロボットは観測点における計測結果と保持している地図情報のみで次の移動を決定することから過去情報に依存せず、マルコフ性を満たす。

検証項目の一つとしては、各通過点近傍を通過することが挙げられる。ここで、ロボットの座標を素直に表現すると実数値となり検証が困難となる。そこで、通過点からの距離で区間を設ける方法が考えられる。このとき、検証を行うためには各区間へロボットが移動する確率分布が必要となる。具体例として物理世界のロボットを扱う場合、2.3 節で実装したロボットを用いて実測することにより、この確率分布を決定することができる。経路に侵入禁止区域などの制約が課される場合などの検証も考えられる。

4. 考察

本研究では移動距離に誤差はなく角度にのみ誤差

が生じるとした。しかし、より現実的なロボットを考えたとき、移動距離の誤差も考慮する必要がある。例えば、モータの性能特性に起因する誤差が挙げられる。

次に、外乱などの非決定的な誤差について考える。外乱がない系では各区間への到達確率を求めることは容易だが、確率モデル検査では外乱を導入することにより、現実的な問題を扱えると考えられる。

本研究での自律移動ロボットは、定められた経路に戻すことにより誤差を補正している。それにより、ロボットの移動は事前に定められた経路に限られる。スタート地点を原点に制限せず、地図情報と自身の座標より、自ら経路を設計することも考えられる。このとき、センサ値だけでなく過去の情報から自己位置推定[1]を行う手法などが考えられる。しかしこの手法をとる場合マルコフ性を満たさず、DTMC を用いた検証は適用できない。そのため、検証方法についても考慮する必要がある。

5. おわりに

本研究では、平面上を移動する自律ロボットの移動に際して生じる誤差の検出とその補正方法を示した。また、物理環境を確率的に動作するロボットがモデル検査の対象となり得ることを示した。

今後の課題として、角度による誤差の補正方法だけでなく移動の際に生じる誤差の検出、補正方法についても検討していきたい。また、確率モデル検査器による検証を試みたい。確率モデル検査器としては DTMC を扱うことが可能な PRISM[4]等が考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 26330092 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 友納 正裕, 移動ロボットのための確率的な自己位置推定と地図構築, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 5, pp. 423-426, 2011.
- [2] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, Probabilistic ROBOTICS, The MIT Press, 2006.
- [3] LeJOS, Java for Lego Mindstorms, <http://www.lejos.org/>
- [4] M. Kwiatkowska, G. Norman and D. Parker, PRISM 4.0: Verification of Probabilistic Real-time Systems. In Proc. 23rd International Conference on Computer Aided Verification, Vol. 6806 of LNCS, pp. 585-591, Springer, 2011.