

氏名(本籍)	原 祥堯
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博 甲 第 7298 号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	システム情報工学研究科
学位論文題目	ベイズ理論に基づく移動ロボットの自己位置推定と地図生成に関する研究
主査	筑波大学 教授 工学博士 坪内 孝司
副査	筑波大学 教授 博士(工学) 葛岡 英明
副査	筑波大学 准教授 博士(工学) 北原 格
副査	筑波大学 准教授 博士(工学) 鈴木 健嗣
副査	筑波大学 教授 博士(工学) 大矢 晃久
副査	千葉工業大学 副所長 博士(工学) 友納 正裕 未来ロボット技術研究センター

論文の要旨

本論文は、自律移動ロボットの自己位置推定と地図生成の問題を扱ったものである。移動ロボットの自己位置推定は、そのロボットが持つ内界センサおよび外界センサの情報に基づいて行われるが、それらには誤差を伴うので、その自己位置を確率変数として取り扱い、そのモードと確率分布としてその自己位置を求めるように定式化できる。本論文は、ベイズ理論を一貫した規範として、1. その定式化をベイズ理論に基づき整理を行ったこと、2. そのロボットの現在位置の確率分布が既知であるとき、それを考慮したICPによる地図生成、ならびにより確からしい現在位置の推定値とその近似分布を求めること、3. 外界センサによって計測した、過去および現在に取得した環境形状を用いながらスキャンマッチングにより環境地図を構築する際、その定式化をベイズ理論に基づいて丁寧に行ったこと、の3点が主要な成果である。

移動ロボットの自己位置推定と地図生成の問題において、それらをより正しく求めようとするアプローチとしてこれまで取られてきた手法は、大別してベイズフィルタによるものと、最適化に基づくものに分類できる。前者は、ロボットの推定位置や地図の誤差などの不確実性を確率論に基づいて陽に扱っており、その直前の時刻のロボット位置などを事前確率として活用する。一方、後者は確率論を背景にもつものの、不確実性を明示的に扱わず、事前確率の情報は基本的に利用できない。本論文では、ベイズ理論に基づく定式化によって、この両者が統一的に表現できることを示した。

次に本論文では、計測の尤度のみに基づく最小二乗最適化による手法である、いわゆるICP(Iterative Closest Point)手法による移動ロボットの自己位置推定と地図生成を同時に行うSLAM

問題を扱った。従来この手法では、不確実性を陽には扱わず、事前確率の情報も活用されてこなかったが、本論文では、このベイズ理論に基づく定式化を拡張することによって、この ICP における最適化を最大事後確率推定の枠組みに定式化できることを示した。その結果、最適化に基づく手法ではありながら、ロボットの自己位置の不確実性を陽に扱い、また自己位置の事前確率も考慮に入れた手法を提案することができた。この手法に基づく実装と実験結果を本論文では示している。さらに、ロボットの自己位置の事前確率を一様分布として仮定すれば、従来の ICP 手法に帰着されることも示されており、従来の最適化に基づく手法の拡張となっていることも示された。

最後に本論文では、特に屋外環境に移動ロボットを走行させる場合に、その環境の広大さにたいしてセンサの計測範囲が狭いとき、周囲環境に関する過去しばらくのデータを蓄積し、それをあたかも現在得られた環境情報であるとして扱う SLAM 問題を扱った。実装は、Rao-Blackwellized Particle Filter に基づくもので行い、ベイズの定理に基づく事前確率の範囲内で制約条件を生成することによりオンラインで扱うことを可能にしている。従来、同種の結果は、本質的にオフライン計算となる Graph-based SLAM などでは得られていたが、これを走行中のロボットで走行しながら逐次計算できるように定式化できた。これにより、より正しい地図がオンラインで生成できた。

本論文は、このように3つの大きな成果を得られており、移動ロボットの自己位置推定と地図生成の問題に関する新たな知見を提供した。

審 査 の 要 旨

【批評】

移動ロボットの基本的な能力をとして重要な、その自己位置の推定と地図生成に関する問題について、これまでの先行研究を十分に調査して、本論文の位置づけをはっきりさせている点は評価できる。この位置づけの下に、ベイズ理論をもとに定式化を行っている点も高く評価できる。この分野でこれまであまり顧みられなかった問題について、これを明らかにし理論的な根拠を与えたことは、博士の学位請求論文としてふさわしいものと認めることができる。

【最終試験の結果】

平成 27 年 1 月 27 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。