

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	統計的依存性を利用した移動ロボットのナビゲーション
Title(English)	Mobile Robot Navigation Using Statistical Dependence
著者(和文)	入江清
Author(English)	Kiyoshi Irie
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10351号, 授与年月日:2016年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小池 英樹,篠田 浩一,石田 貴士,下坂 正倫,鈴木 大慈,杉山 将
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10351号, Conferred date:2016/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	入江 清	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小池 英樹	教授	鈴木 大慈	准教授
	審査員	篠田 浩一	教授	杉山 将	特定教授
		石田 貴士	准教授		
		下坂 正倫	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Mobile Robot Navigation Using Statistical Dependence (統計的依存性を利用した移動ロボットのナビゲーション)」と題し、英文5章から成っている。

第1章「Introduction」では、移動ロボットのナビゲーションに関する従来研究を概観し、本論文の目的と構成を述べている。屋外での移動ロボットのナビゲーションに関する従来研究では、LiDAR等の情報に基づいて事前に作成した精密なロボット用地図を用いている。道路を走行する自動運転車のように世界規模で研究開発が行われている課題では、このような事前準備に基づくアプローチが可能であるが、歩道を移動する小型ロボットのような小規模のナビゲーション課題では、事前に高精度なロボット用地図を用意することが難しい。本論文では、事前準備のない環境における移動ロボットのナビゲーションを目的とし、日常的に用いられている汎用的な市街地図に基づく自己位置推定と、キャリブレーションのターゲットが不要なカメラ・LiDAR間の外部校正の新しい手法を提案している。これら二つの課題は、市街地図とセンサー情報、及び、カメラ画像とLiDAR点群を適合させるという共通点があり、本論文では、相関の高次拡張である統計的依存性を用いて適合を行う。

第2章「Statistical Dependence and Its Estimators」では、代表的な統計的依存性尺度の定義と、それらのデータからの推定手法を概観し、その改良法を提案している。標準的な統計的依存性尺度である相互情報量(MI)は、非線形の相関を捉えられるが、雑音に過敏であるという弱点がある。次に、雑音に対するロバスト性を改善した二乗損失相互情報量(SMI)とその最小二乗推定法(LSMI)を紹介し、サンプリングによってLSMIの推定精度を更に向上させる手法(BLSMI)を提案している。最後に、二次相互情報量、条件付きエントロピー、距離相関などその他の統計的依存性尺度を紹介している。

第3章「Street-map-based Localization through Maximization of Statistical Dependence」では、市街地図に基づく自己位置推定手法を提案している。市街地図に基づく自己位置推定では、道路境界の認識に基づく方法が標準的であるが、歩道のような多様性のある環境では必ずしも有効でない。そこで、センサー情報と市街地図との統計的依存性の最大化によって自己位置推定を行う手法を提案している。更に、この自己位置推定手法をパーティクルフィルタと組み合わせたナビゲーション手法も提案している。そして提案手法の有効性を、千葉県習志野市で収集したデータを用いた大規模な実証実験により検証している。カメラを用いた自己位置推定実験では、様々な統計的依存性尺度の中で、LSMIに基づく手法が計算効率と精度の両面から最も優れている事を示している。LiDARを用いたナビゲーション実験では、提案法によって、道路境界検出に基づく従来法よりも精度良く自己位置推定が行える事を示している。更に、パーティクルの適応的の重み付けやパラメータ調整の簡略化により、Core i7-4710HQを搭載したノートパソコンで実時間のナビゲーションが実現できることも示している。

第4章「Target-less Multi-modal Sensor Calibration」では、カメラとLiDARの外部校正手法を提案している。カメラとLiDARの校正には、チェッカーボードのような特定のパターンを持つ物体に基づく静的な手法がよく用いられるが、このようなアプローチはシステムを運用しながらの動的な校正には適していない。また、校正の精度を高めるためには多数の特徴量を用いることが望ましいが、MIのヒストグラム推定に基づく従来法では、MIの推定精度が十分でない。そこでBLSMIを用いたキャリブレーションターゲットが不要な動的校正法を提案し、カメラ画像のRGB値、輝度勾配、及び、LiDAR点群の反射強度、深度勾配、面法線方向から成る9次元特徴量を用いた実証実験により、屋内外の多様な環境において、従来法よりも精度良くカメラ・LiDAR間の校正ができることを示している。

第5章「Conclusion and Future Work」では、本論文の成果を総括し、今後の課題を述べている。

以上を要するに本論文は、事前準備のない環境での移動ロボットのナビゲーション精度を向上させる手法を提案するものであり、工学上、及び、工業上貢献するところが大きい。よって我々は、本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。