

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ステレオカメラによる自律走行
Title(English)	Autonomous Mobile Robot by Stereo Vision
著者(和文)	岩田啓明
Author(English)	Hiroaki Iwata
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9603号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:實吉 敬二,旭 耕一郎,垣本 史雄,久世 正弘,陣内 修
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9603号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻:	基礎物理学	専攻	申請学位 (専攻分野):	博士	(理学)
Department of			Academic Degree Requested	Doctor of	
学生氏名:	岩田 啓明		指導教員 (主):	實吉 敬二	准教授
Student's Name			Academic Advisor(main)		
			指導教員 (副):	旭 耕一郎	教授
			Academic Advisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

自律走行を行うには自己位置を認識し、障害物を回避しながら目的地へ走行する必要がある。自己位置の認識に関しては、これまでにレーザレンジファインダ・車輪オドメトリ・ジャイロ・GPS等の様々なセンサを組み合わせた研究が行われている。多数のセンサを組み合わせることで自己位置認識に成功している例はあるものの、単一のセンサでは屋内などの限られた狭い範囲でしか成功していない。また、多くのセンサを併用するとシステムが肥大化し、メンテナンスコストも増大してしまう。ステレオカメラはほかのセンサと比べて非常に多くの情報を持っている。そこで本研究ではシンプルなシステムをめざし、ステレオカメラのみで自律移動を行う手法を開発した。そして、本手法を用いて非常に少ないリソースで動く小型移動ロボットを開発し、実際に自律走行させることに成功した。

論文ではまず、これまでに自己位置推定に使われてきたセンサを紹介している。車輪エンコーダ・ジャイロスコプ・ソナー・レーザレンジファインダ・GPS・単眼カメラ・ステレオカメラおよびそれらのセンサを組み合わせる既存の研究を紹介した。次に、本手法の概要を説明した。本手法では領域ベースマッチングで得られた高解像度の視差データから路面を認識し、路面上の立体物を路面からの高さ別に検出して特徴点とする。その特徴点を用いて自己位置の推定を行う。

続いて、開発した自己位置推定法を構成している処理要素を順に説明した。まず、ステレオカメラの原理および領域ベースマッチングにより視差画像を得る手法について述べ、実際に得られた画像に適用した例を示した。続いて、領域ベースマッチングで得られた高解像度の視差データから路面を認識する。路面は後に立体物を検出するための基準となる。路面を基準とすることでロボットの振動に対して安定的に物体を検出できる。ノイズの多いデータに対してロバストに平面を推定する代表的な手法である Hough 変換と RANSAC 法を紹介し、それぞれの計算コスト及び精度を比較した。次に、路面上の立体物を路面からの高さ別に検出して自己位置を推定するための特徴点とする。設定した高さは、10-60cm・100-150cm・200-250cm として、データ量と有効性のバランスを取っている。また近くに立体物がないときのために路面の輝度特徴点も補助として検出する。検出した特徴点は立体物を同じデータ形式に変換することで、自然な形で立体物情報と組み合わせることができる。これらの特徴点を用いて自己位置の推定を行う。既存のデータマッチング法はステレオカメラにより発生する誤差に対応できず、そのまま適用することは困難なため、この誤差を考慮した尤度関数を独自に定義した。この尤度関数を用いて、前後のフレーム間の特徴点を比較することにより相対的な動き (オドメトリ) を得ることができた。さらにこのオドメトリと立体物情報を組み合わせることでマップを作成する手法を示した。続いて、このマップを用いて自己位置を推定する方法を示した。このマップと自律走行時に観測した立体物を先ほど定義した尤度関数を用いてマッチングすることで前後のフレーム間の比較により推定した相対的な動きによる予測位置と実際の位置のずれを推定して、自己位置の誤差の累積を修正する。これらの手法をあらかじめ撮影した画像を用いてオフラインシミュレーションを行い、本手法が有効であることを確かめた。そして、本手法を搭載した非常に少ないリソースで動く小型移動ロボットを開発し、380m のコースを実際に自律走行させることに成功した。

また、ステレオカメラによる車線を認識する前方障害物検出装置も開発した。車線を認識する前方障害物の検出は、実際の道路環境を自律走行するのに必要である。車線を認識するにはビジョンセンサが唯一の方法であり、ステレオカメラは車線と障害物双方を共に検出するのに最適である。開発した装置は、PFGA ベースのステレオ処理装置と CPU 処理を組み合わせで行っている。本装置は自車両が走行する空間をトンネル状に認識する。この走行トンネルを縦方向に定義するために路面を検出し、横方向に定義するために車線を認識する。路面は平面として検出し、CPU 処理に適している RANSAC 法を採用した。また、車線は、輝度画像のエッジ強度とエッジ角度を利用し、折れ線状の車線モデルを仮定して、エネルギー最小化のフレームワークで求める。エネルギーは先行研究で提案されたエッジ強度と角度のエネルギーと独自に定義した一定曲率と時間的連続性のエネルギーを組み合わせ、順次最小化を行って車線を推定する。これらにより推定した路面と車線から仮想走行トンネルが得られ、その中にある障害物を視差空間における占有格子により、2 種類の判定基準を用いて検出する。実際の道路環境で実験を行った結果、80m 先の障害物を 1.5m の精度で検出することができ、70m 先までの車線を追跡し続けることに成功した。

今後はこの 2 つの要素を組み合わせ、人や自動車を避けながら、自律的に目標地点に向かって走行する自律走行車として完成させる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	基礎物理学	専攻
Department of		
学生氏名：	岩田 啓明	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(理学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	實吉 敬二	准教授
Academic Advisor(main)		
指導教員 (副)：	旭 耕一郎	教授
Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

We developed an autonomous mobile robot that operates by stereo vision alone. Our localization method is implemented on a mobile robot with few resource requirements. Localization by stereo vision is a challenging problem because it requires large computational power and there is no established way of extracting stable features for localization over time. Our method uses stereo vision to achieve high-resolution disparity images. From the disparity images, we detect road surfaces and extract objects based on their height from the road surface as main localization cues. We set three levels of heights from the road surface in the objects detection. The accuracy of translational motion is improved by the detection and use of brightness feature points in addition to the objects. Inter-frame matching and map matching are performed by the same likelihood in disparity space. By the detected objects and the estimated motion by the inter-frame matching, a map which stores the objects is built. During autonomous traveling, localization is performed by referring the map. By using Field Programmable Gate Array (FPGA), we can resolve the computational issue and build a system with low power consumption to a small mobile robot. We successfully ran the autonomous mobile robot along a 380 m path.

Forward obstacle and lane detection are essential for automobile application. To realize an automated driving system, we also developed the forward obstacle detection system by stereo vision. Stereo vision is able to detect both obstacles and traffic lanes. The developed system employs FPGA-based stereo processing system and CPU processing. In the experiments in real environment, the self-lane is recognized at distances up to 80 m, and obstacles in the lane are also detected. Although the error in the obstacle distance increases at larger distances, it is acceptable 1.5 m at 80 m.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).