

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）,<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第9603号,<br>授与年月日:2014年9月25日,<br>学位の種別:課程博士,<br>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:,<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第9603号,<br>Conferred date:2014/9/25,<br>Degree Type:Course doctor,<br>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                                                                                                                                                              |

(博士課程)

## 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 |  | 岩田 啓明 |      |  |     |  |
|-------------|-----|-------|---|---------|--|-------|------|--|-----|--|
| 論文審査<br>審査員 |     | 氏 名   |   | 職 名     |  |       | 氏 名  |  | 職 名 |  |
|             | 主査  | 實吉 敬二 |   | 准教授     |  | 審査員   | 陣内 修 |  | 准教授 |  |
|             | 審査員 | 旭 耕一郎 |   | 教授      |  |       |      |  |     |  |
|             |     | 垣本 史雄 |   | 教授      |  |       |      |  |     |  |
|             |     | 久世 正弘 |   | 准教授     |  |       |      |  |     |  |

### 論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Autonomous Mobile Robot by Stereo Vision」（ステレオカメラによる自律走行）と題し、ステレオカメラのみで自律走行を行なうロボットの開発について述べたものであり、英文で記述され 11 章で構成されている。

第 1 章「Introduction」ではこれまでに自己位置認識に使われてきたセンサを紹介している。車輪エンコーダ・ジャイロスコープ・ソナー・レーザーレンジファインダ・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ている既存の研究を概説している。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ことを示している。そしてステレオカメラは単独に必要な情報を得られるので、自律走行用センサとして優位性があることを述べている。

第 2 章「Stereo vision」では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。ステレオカメラで問題になるミスマッチングの低減方法についても言及している。

第 3 章「Road surface detection」では、得られた高解像度の視差データに平面を当てはめて路面を認識する手法について説明している。路面は立体物を検出するための基準となる。Hough 変換法と RANSAC 法の 2 つの手法を比較し、十分なメモリが確保できれば RANSAC 法が計算コストや精度の面で有利であるが、本論文では限られたハードウェアで実現するために Hough 変換法を用いたことを述べている。

第 4 章「Object detection」では立体物が隣接する領域で視差がほぼ同じであることを利用して、視差のグループ化によって検出する手法を説明している。立体物の位置や形状を、自己位置を推定するための特徴点とするが、3 次元情報のままではデータ量が多くなるため、路面からの高さ別に 3 面の 2 次元情報に変換するという独自の手法でこの問題を解決している。

第 5 章「Detection of brightness feature of road surface」では、近くに立体物がないとのために路面の輝度特徴点も補助として利用することを提案している。そして輝度パターンが L 字型になっている部分を検出する独自の手法を開発した。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とを主張している。

第 6 章「Motion estimation」では、これらの特徴点の動きを検出することで自己位置の推定を行う方法について述べている。ステレオカメラは遠方の精度が極端に低下するため、実空間ではなく視差空間で動きを追うことにより誤差の取り扱いを単純化した尤度関数を独自に定義している。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）を精度よく得ることができたとしている。

第 7 章「Map building」ではリアルタイムで得られる立体物の特徴点をオドメトリと組み合わせることで実空間上にマップを生成する手法を述べている。

第 8 章「Map matching」では生成したマップを用いて自己位置を推定する方法を示している。このマップと自律走行時に観測した立体物を第 6 章で定義した尤度関数を用いてマッチングすることで、オドメトリによる推定位置と実際の位置のずれを検出して、自己位置の誤差の累積を修正出来ることを述べている。あらかじめ取得した画像データに対し計算機シミュレーションで本手法を適用することによりその有効性を確認している。

第 9 章「Experiment」ではまず製作した小型移動ロボットを説明している。ラジコンカーを改造し、基線長 5cm の小型ステレオカメラと FPGA による処理回路、さらに制御用マイコンを搭載している。このロボットに上で述べた一連のアルゴリズムを実装している。そして 380m のコースを実際に自律走行させることに成功した。ステレオカメラのみによる自律走行は世界初である。

第 10 章「Forward obstacle detection」では実際の道路環境を自律走行するのに必要な、車線を認識する前方障害物検出装置の開発について述べている。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ことを説明している。車線は輝度画像のエッジ強度とエ

ッジ角度を利用し、さらに一定曲率と時間的連続性を加えた独自のエネルギー関数を定義し、その最小化により推定している。得られた車線と路面で区画された空間（走行トンネル）にある立体物を障害物としている。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ことを述べている。

第 11 章「Conclusion」では、本研究で得られた成果を総括して結論している。

以上を要するに、本研究ではステレオカメラのみで自律走行が可能であることを明らかにしている。このことはこれまでの様々なセンサを用いた自律走行システムの概念を根本から変える画期的な研究である。これらの成果は、自律移動ロボット開発に関わる分野へ幅広く影響を及ぼすものである。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」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。