

令和元年度 卒業論文



土砂積み込み作業のための
複数視点から計測した点群データの
位置合わせによる広範囲土砂量推定

Wide-range Sediment Volume Estimation
by Registration of Pointclouds from Multiple Viewpoints
for Soil Loading Task

指導教員 藤井 浩光 准教授

千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科

学生証番号 16C1101

畠山 佑太

概要

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景	2
1.2	従来研究	3
1.3	研究の目的	3
1.4	本論文の構成	3
第 2 章	ダンブトラックの位置姿勢推定手法	5
2.1	はじめに	6
2.2	位置姿勢推定のアプローチ	6
2.2.1	画像による 3 次元物体検出と点群位置合わせによる位置姿勢の概要..	6
2.2.2	位置姿勢推定システムの概要	6
2.3	画像による 3 次元物体検出	6
2.4	点群位置合わせによる位置姿勢	6
2.4.1	ダンブトラックの点群抽出	6
2.4.2	点群位置合わせ	6
2.4.3	3 次元特徴量マッチング	6
2.5	おわりに	6
第 3 章	提案手法によるダンブトラックの位置姿勢推定	7
3.1	はじめに	8
3.2	データセットの作成	8
3.2.1	実験環境	8
3.2.2	検証結果	8
3.3	実機による実験	8
3.3.1	実験環境	8
3.4	実機による実験の結果	8

3.4.1	3次元物体検出	8
3.4.2	提案手法の結果	8
3.5	おわりに	8
第4章	結論	9
4.1	まとめ	10
4.2	今後の展望	10
	謝辞	11
	参考文献	13
	研究業績	21

図目次

1.1	ステレオ計測手法の概念図	2
-----	--------------------	---

表目次

第 1 章

序論

Contents

1.1	背景	2
1.2	従来研究	3
1.3	研究の目的	3
1.4	本論文の構成	3

1.1 背景

コンピュータビジョンは，ロボットの視覚に関する研究を行う分野である．デジタルカメラなどの画像センサが発達してコンピュータで扱えるようになったことに伴い，ロボットの視覚の研究という形で発展してきた [日本写真測量学会 2016]．コンピュータビジョンでは，カメラやセンサで得られた情報に対して解析や統合などの処理が行われる．その結果を利用して，外部情報の計測や外部環境の把握を目指す．

コンピュータビジョンと同様に画像を用いて計測を行う分野に，写真測量がある．写真測量とは，写真を用いて計測対象の位置や形を正しく計測するための測量手法である [日本写真測量学会 2016]．写真測量の歴史はコンピュータビジョンよりも古い．写真のみを使用して計測が可能である利点を生かして，例えば地図を作製する際には，空中から地表面を撮影した空中写真を用いた空中写真測量が利用されてきた．

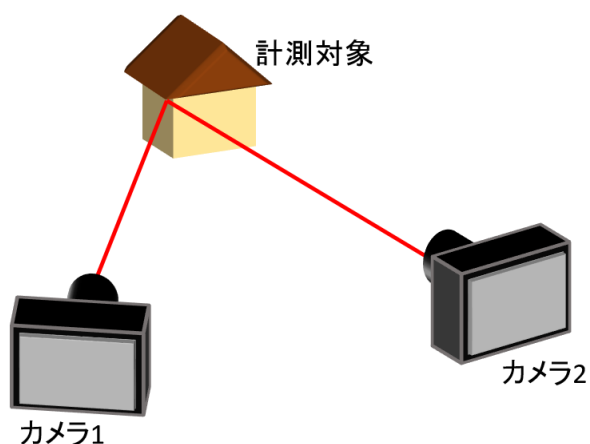


図 1.1 ステレオ計測手法の概念図

1.2 従来研究

1.3 研究の目的

1.4 本論文の構成

第 2 章

ダンプトラックの位置姿勢推定手法

Contents

2.1	はじめに	6
2.2	位置姿勢推定のアプローチ	6
2.2.1	画像による 3 次元物体検出と点群位置合わせによる位置姿勢の概要	6
2.2.2	位置姿勢推定システムの概要	6
2.3	画像による 3 次元物体検出	6
2.4	点群位置合わせによる位置姿勢	6
2.4.1	ダンプトラックの点群抽出	6
2.4.2	点群位置合わせ	6
2.4.3	3 次元特徴量マッチング	6
2.5	おわりに	6

2.1 はじめに

2.2 位置姿勢推定のアプローチ

2.2.1 画像による3次元物体検出と点群位置合わせによる位置姿勢の概要

2.2.2 位置姿勢推定システムの概要

2.3 画像による3次元物体検出

2.4 点群位置合わせによる位置姿勢

2.4.1 ダンプトラックの点群抽出

2.4.2 点群位置合わせ

2.4.3 3次元特徴量マッチング

2.5 おわりに

第 3 章

提案手法によるダンプトラックの位置姿勢推定

Contents

3.1	はじめに	8
3.2	データセットの作成	8
3.2.1	実験環境	8
3.2.2	検証結果	8
3.3	実機による実験	8
3.3.1	実験環境	8
3.4	実機による実験の結果	8
3.4.1	3 次元物体検出	8
3.4.2	提案手法の結果	8
3.5	おわりに	8

3.1 はじめに

3.2 データセットの作成

3.2.1 実験環境

3.2.2 検証結果

3.3 実機による実験

3.3.1 実験環境

3.4 実機による実験の結果

3.4.1 3次元物体検出

3.4.2 提案手法の結果

3.5 おわりに

第 4 章

結論

Contents

4.1	まとめ	10
4.2	今後の展望	10

4.1 まとめ

4.2 今後の展望

謝辭

本研究を進めるにあたり，ご指導，ご協力をいただいた方々に，この場をお借りし深く感謝申し上げます．

令和元年 2 月 千葉工太郎

参考文献

< 和文文献 >

[伊部 2015]

伊部 公紀, 小林 祐一, 金子 透, 山下 淳: “複光路単眼ステレオによる直方体容器中の水中物体の 3 次元計測”, 精密工学会誌, Vol. 81, No. 12, pp. 1093–1101, 2015.

[内山 2014]

内山 庄一郎, 井上 公, 鈴木 比奈子: “SfM を用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究”, 防災科学技術研究所研究報告, Vol. 81, pp. 37–60, 2014.

[内山 2017]

内山 庄一郎, 鈴木 比奈子, 中村 一樹, 上石 勲: “無人航空機と SfM 写真測量による 2017 年 3 月 27 日栃木県那須町の雪崩災害調査”, 雪氷研究大会, p. 74, 2017.

[岡谷 2009]

岡谷 貴之: “バンドルアジャストメント”, 情報処理学会研究報告 No. 2009-CVIM-167, Vol. 37, pp. 1–16, 2009.

[奥村 2017]

奥村 有加里, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一: “屈折を利用したスケール復元が可能な計測誤差に頑健な Structure from Motion”, 精密工学会誌, Vol. 83, No. 12, pp. 1201–1208, 2017.

[小花和 2014]

小花和 宏之, 早川 裕式, ゴメス クリストファー: “UAV 空撮と SfM を用いたアクセス困難地の 3D モデリング”, 地形, Vol. 35, No. 3, pp. 283–294, 2014.

[金谷 2000]

金谷 健一, 三島 等: “未校正カメラによる 2 画像からの 3 次元復元とその信頼性の評価”, 情報処理学会研究報告, No. 33, pp. 25–32, 2000.

[川西 2012]

川西 亮輔, 山下 淳, 金子 透: “全方位画像中の特徴点と直線エッジの同時拘束と基線長の自動決定に基づく Structure from Motion による三次元環境モデル生成”, 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 4, pp. 399–410, 2012.

[延原 2016]

延原 肇: “農作物を対象にした UAV による時空間アーカイビング”, 日本ロボット学会誌, Vol. 34, No. 2, pp. 123–126, 2016.

[山田 2009]

山田 健人, 金澤 靖, 金谷 健一, 菅谷 保之: “2 画像からの 3 次元復元の最新アルゴリズム”, 情報処理学会研究報告, No. 3, pp. 1–8, 2009.

[日本写真測量学会 2016]

一般社団法人 日本写真測量学会 (編): 三次元画像計測の基礎–バンドル調整の理論と実践–, 東京電機大学出版局, 2016.

[化学便覧]

岩澤 康裕一 (編): 化学便覧 基礎編 II 改訂 5 版, 丸善出版, pp. 643, 2004.

< 英文文献 >

[Agrawal 2012]

Amit Agrawal, Srikumar Ramalingam, Yuichi Taguchi and Visesh Chari: “A Theory of Multi-Layer Flat Refractive Geometry”, Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 2316–2323, 2012.

[Alcantarilla 2012]

Pablo Fernandez Alcantarilla, Adrien Bartoli and Andrew J. Davison: “KAZE Features”, Proceedings of the 2012 European Conference on Computer Vision, pp. 214–227, 2012.

[Bay 2008]

Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars and Luc Van Gool: “Speeded-Up Robust Features (SURF)”, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 110, No. 3, pp. 346–359, 2008.

[Chen 2011]

Zhihu Chen, Kwan-Yee K. Wong, Yasuyuki Matsushita, Xiaolong Zhu and Miaomiao Liu: “Self-Calibrating Depth from Refraction”, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 635–642, 2011.

[Chadebecq 2017]

François Chadebecq, Francisco Vasconcelos, George Dwyer, Rene Lacher, Sebastien Ourselin, Tom Vercauteren and Danail Stoyanov: “Refractive Structure-from-Motion Through a Flat Refractive Interface”, Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 5325–5333, 2017.

[Feng 2015]

Xiao-feng Feng and Di-fu pan: “Research on the Application of Single Stereo Vision Sensor in Three-Dimensional Point Measurement”, Journal of Modern Optics, Vol. 62, No. 15, pp. 1204–1210, 2015.

[Fischler 1981]

Martin A. Fischler and Robert C. Bolles: “Random Sample Consensus: a Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography”, *Communications of the ACM*, Vol. 24, No. 6, pp. 381–395, 1981.

[Gao 2006]

Chunyu Gao and Narendra Ahuja: “A Refractive Camera for Acquiring Stereo and Super-resolution Images”, *Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 2316–2323, 2006.

[Gluckman 1999]

Joshua Gluckman and Shree K. Nayer: “Planar Catadioptric Stereo: Geometry and Calibration”, *Proceedings of the 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 22–28, 1999.

[Grater 2015]

Johannes Grater, Tobias Schwarze and Martin Lauer: “Robust Scale Estimation for Monocular Visual Odometry Using Structure from Motion and Vanishing Points”, *Proceedings of the 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp.475–480, 2015.

[Hartley 1997]

Richard I. Hartley: “In Defense of the Eight-Point Algorithm”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 6, pp. 580–593, 1997.

[Hartley 2004]

Richard I. Hartley and Andrew Zisserman: *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, Second Edition, 2004.

[Huang 2014]

Longxiang Huang and Yuncai Liu: “Camera Calibration for Plate Refractive Imaging System”, *Proceedings of the 2014 22nd International Conference on Pattern Recognition*, pp. 4068–4073, 2014.

[Jordt-Sedlazeck 2013]

Anne Jordt-Sedlazeck and Reinhard Koch: “Refractive Structure–from–Motion on Underwater Images”, Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 57–64, 2013.

[Jordt 2016]

Anne Jordt, Kevin Koser and Reinhard Koch: “Refractive 3D Reconstruction on Underwater Images”, Methods in Oceanography, pp. 90–113, 2016.

[Longuet-Higgins 1981]

H. C. Longuet-Higgins: “A Computer Algorithm for Reconstructing a Scene from Two Projections”, Nature, Vol. 293, pp. 133–135, 1981.

[Lourakis 2013]

Manolis Lourakis and Xenophon Zabulis: “Accurate Scale Factor Estimation in 3D Reconstruction”, Proceedings of the International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns, Vol. 1, pp.498–506, 2013.

[Lowe 2004]

Daved G. Lowe: “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints”, International Journal of Computer Vision, Vol. 60, No. 2, pp. 91–110, 2004.

[Murray 2000]

Don Murray and James J. Little: “Using Real-Time Stereo Vision for Mobile Robot Navigation”, Autonomous Robots, Vol. 8, No. 2, pp. 161–171, 2000.

[Nister 2004]

David Nister: “An Efficient Solution to the Five-Point Relative Pose Problem”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 26, No. 6, pp. 756–770, 2004.

[Scaramuzza 2009]

Davide Scaramuzza, Friedrich Fraundorfer, Marc Pollefeys and Roland Siegwart: “Absolute Scale in Structure from Motion from a Single Vehicle Mounted Camera by Exploiting Nonholonomic Constraints”, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 1413–1419, 2009.

[Shibata 2015a]

Akira Shibata, Hiromitsu Fujii, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: “Scale-Reconstructable Structure from Motion Using Refraction with a Single Camera”, Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 5239–5244, 2015.

[Shibata 2015b]

Akira Shibata, Hiromitsu Fujii, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: “Absolute Scale Structure from Motion Using a Refractive Plate”, Proceedings of the 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 540–545, 2015.

[Shibata 2018]

Akira Shibata, Yukari Okumura, Hiromitsu Fujii, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: “Refraction-based Bundle Adjustment for Scale Reconstructible Structure from Motion”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 30, No. 4, pp. 660–670, 2018.

[Triggs 2000]

Bill Triggs, Philip F. McLauchlan, Richard I. Hartley and Andrew W. Fitzgibbon: “Bundle Adjustment – A Modern Synthesis”, Vision Algorithms: Theory and Practice, pp. 298–372, 2000.

[Ummenhofer 2017]

Benjamin Ummenhofer, Huizhong Zhou, Jonas Uhrig, Nikolaus Mayer, Eddy Ilg, Alexey Dosovitskiy and Thomas Brox: “DeMoN: Depth and Motion Network for Learning Monocular Stereo”, Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 5038–5047, 2017.

[Zhang 2000]

Zhengyou Zhang: “A Flexible New Technique for Camera Calibration”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 11, pp. 1330–1334, 2000.

研究業績

査読有り学術論文

1. 奥村 有加里, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一: “屈折を利用したスケール復元が可能な計測誤差に頑健な Structure from Motion”, 精密工学会誌, Vol. 83, No. 12, pp. 1201–1208, December 2017.
2. Akira Shibata, **Yukari Okumura**, Hiromitsu Fujii, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: “Refraction-based Bundle Adjustment for Scale Reconstructible Structure from Motion”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 30, No. 4, pp. 660–670, August 2018.

査読有り国際会議

1. **Yukari Okumura**, Hiromitsu Fujii, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: “Global Optimization with Viewpoint Selection for Scale-reconstructible Structure from Motion Using Refraction”, Proceedings of the International Workshop on Advanced Image Technology 2017 (IWAIT2017), Malaysia, Penang, January 2017.

査読無し国内会議

1. 奥村 有加里, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一: “屈折を用いたスケール復元が可能な Structure from Motion のための初期値フィルタリングによる全体最適化”, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 (RSJ2016), 山形, 1V1-04, September 2016.
2. 奥村 有加里, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一: “透明薄板による屈折を利用したスケール復元可能な Structure from Motion”, 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 269–270, 東京, March 2018.
3. 奥村 有加里, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一: “屈折を用いたスケール復元可能な Structure from Motion の誤対応点への頑健化”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '18 講演論文集 (ROBOMECH2018), 2A1-J13, 北九州, June 2018.

学術受賞

1. 東京大学工学部長賞, March 2017.
2. 奥村 有加里, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一: “屈折を用いたスケール復元が可能な Structure from Motion のための初期値フィルタリングによる全体最適化”, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 (RSJ2016), 日本ロボット学会研究奨励賞, September 2017.
