

第IV部門

動画画像からのクレーン周辺の三次元地図高速生成

京都大学工学部地球工学科 学生会員 ○小林 知生
 京都大学大学院工学研究科 学生会員 繁森 央一
 京都大学大学院工学研究科 正会員 須崎 純一

京都大学大学院工学研究科 正会員 小谷 仁務
 京都大学大学院工学研究科 正会員 松島 格也
 株式会社タダノ 非会員 米田 瑞生

1. はじめに

昨今の建設現場においては慢性的な人手不足が問題となっており、解決策としてクレーン操縦の補助あるいは完全自動操縦が注目されているが、それらの技術の実現にはクレーン周辺の三次元地図を高速に作成することが必須ともいえる。高速性に長けた三次元復元手法には、Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) があるが、繁森の先行研究によってSLAMでの三次元地図作成には精度や安定性に限界があることが判明している。

そこで本研究では近いフレーム間で視差マップを作成する Semi-Global Matching (SGM)の手法に注目し、作成された視差マップ同士を適切に連結することで三次元復元を行った。ここで、視差マップとは、ステレオ平行化された二枚の左右画像において、左画像上の各画素に対応する右画像上の画素を検出し（ステレオマッチング）、それら対応する画素の左右方向の座標のずれ（視差）を基にして、物体との距離を色の濃淡などで表した画像である。なお、株式会社タダノによると、クレーンの自動操縦に必要なとされる三次元地図の精度は 5-10 cm、要求される処理速度は 10 分以内であるので、本研究ではこれを目標とした。

2. 使用データ

本研究で使用する動画画像は、株式会社タダノの三本松試験場において、回転するクレーンのブーム（ブーム長 10 m）先端に取り付けられたキャリブレーション済み単眼カメラによって撮影されたものである。

3. 本手法の概要

本研究では、まず元動画画像より抽出した画像群に歪み補正やノイズ除去などの前処理を行った。次に画像群から複数の画像ペアを作成し、各ペアにおけ

る両画像間の対応点情報を基に、射影変換を用いてステレオ平行化を行った。続いて、SGMの手法によりペアごとに1枚の視差マップを算出した。さらに、ステレオ平行化に用いた射影変換行列を利用してペアごとの視差マップを先頭の視差マップに位置合わせし、重ね合わせることで1枚の最終視差マップを作成した。ここで、各ペアの視差マップ全てを単純に重ね合わせると、視差マップ作成時に発生するノイズを除去しきれないという問題が生じるため、本手法では、全画像ペアを複数のペア群（ユニット）に分割しそれぞれのユニットから算出された視差マップを、視差値の上下限に閾値を設けながら平均値を取って重ね合わせることで解決を試みた。

また、本研究では最終視差マップの精度を、水平方向と鉛直方向に分けて定量的に評価した。水平方向、鉛直方向共に動画画像に写りこんだ地物の三か所の長さおよび高さの実測値に注目し、それらに対応する視差マップ上のピクセル距離および視差値を測定して両者を三か所間で比較することで評価した。なお、実測値については株式会社タダノによる仕様書などを参考にした。

4. 結果

得られた最終視差マップおよび三次元地図を図1および図2に示す。

また、全体の処理時間は28秒であり、目標の10分以内を達成した。ただし、この処理時間に使用画像の前処理に必要な時間は含んでいない。

最後に、精度評価に関する各指標を表1・表2に示す。

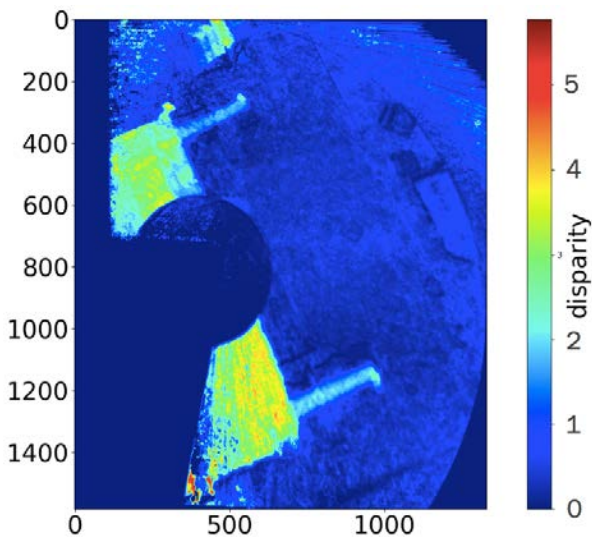


図 1：得られた最終視差マップ

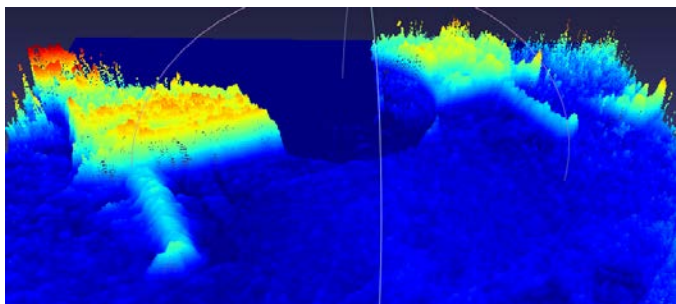


図 2：得られた三次元地図

表 1：水平方向精度に関する各指標

水平方向	実測値 (mm)	ピクセル距離 (px)	縮尺	比率
前部アウトリガ	2710	246.5	10.99	1
後部アウトリガ	2710	299.5	9.05	0.82
アウトリガ間	9347	926.7	10.09	0.92

表 2：鉛直方向精度に関する各指標

鉛直方向	実測高 (mm)	視差値 (px)	縮尺	比率
昇降台	1890	3.028	624.2	1
クレーン前部	1909	3.161	603.9	0.967
クレーン後部	2632	4.523	581.9	0.932

5. 考察

水平方向の精度について、縮尺が各所で 10~20%程の割合誤差となった。また、鉛直方向の精度について

は縮尺が各所で 10%以内の割合誤差となった。これらを長さに換算すると、部分的にはあるものの目標の 5~10 cm を達成したといえる。誤差の原因として、以下の 2 点が挙げられる。まず、本研究ではユニット内の先頭視差マップを基準として他の視差マップの位置合わせを行ったが、この際にユニット内の後半の視差マップは位置合わせの際の射影変換回数が多くなり、スケールの誤差が蓄積してしまったと考えられる。また、各ユニット内の後半の視差マップの位置合わせがユニット間でずれており、それらの平均値を取ったために地物の輪郭がぼやけてしまったため、ユニット後半のスケールが前半よりも大きくなってしまったと考えられる。

6. 結論

本研究では、クレーン先端の単眼カメラからの動画像に対し、ステレオマッチングおよび視差マップ作成の手法を適用し、三次元地図の作成を行った。全体の処理時間は準リアルタイムを達成し、視差マップの精度についても 5~10 cm の精度を部分的に達成した。

今後の展望としては、視差マップ同士の位置合わせの精度を上げる手法を検討し、最終視差マップの精度向上に繋げることが考えられる。今回は位置合わせの際に射影変換を利用したが、スケールのずれなどの問題が生じるため、代わりとなる手法を検討する必要があると考えられる。また、本手法では画像上のノイズ要素（フックやクレーンの運転室など）の除去を手動で行ったが、これを自動で行う手法を開発することも必要であると考えられる。

参考文献

1. 繫森央一：ORB-SLAM 2 を用いたクレーン周辺の三次元地図のリアルタイム作成，京都大学工学部地球工学科卒業論文，2021.
2. Hirschmuller, H. : Stereo processing by semi-global matching and mutual information, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30(2), pp.328-342, 2008.