

第IV部門 ORB-SLAM2 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 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

はじめに

今日の建設業界では、長時間労働、危険な労働環境等が原因で建設業就業者数が減少しており、対策が必要である。そこで、その対策の一つとしてクレーン操作の自動化あるいは簡略化を目指し、そのために必要な、クレーン周辺の三次元地図のリアルタイム作成を試みた東による先行研究がある。クレーン操作の自動化は精度 5 cm-10 cm の三次元地図で可能と考えられており、三次元地図生成は Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) という手法によって可能となっている。しかし先行研究ではクレーン先端に鉛直下向きに取り付けたカメラを用いてアームをクレーン中心に回転させることで動画像を取得し、それを SLAM のオープンソースアルゴリズムである Oriented FAST and Rotated BRIEF-SLAM2 (ORB-SLAM2) を用いて三次元地図作成を試みているが、得られた地図の精度は約 15 cm 程度と求めるべき精度には及ばなかった。

そこで本研究ではクレーン先端から取得した動画像での三次元地図作成においてどの撮影条件がこの誤差要因になり得るか、クレーンを縮小化したモデルを用いて実験をすることで明らかにすることを目的とする。

使用データ

本研究では高さ約 150 cm の三脚に長さ約 150 cm のアルミアングルを疑似的なクレーンアームとして取り付け、そのアームにカメラを取り付けることでクレーンモデルを作成して動画像を取得した。また、使用したカメラは FLIR 社製の BFLY-PGE-13E4C-CS のセンサに computar 社製のレンズ T4Z2813CS-IR-2 を取り付けたもの (以下、BFLY とする) と、STEREOLABS 社製の ZED2 を左画面出力として使用している。

実験

実験では撮影条件として解像度、回転半径 L (cm)、Off-Nadir (オフナディア) 角、そして撮影方向数につ

いて調べた。解像度は高ければ動画像からの特徴点抽出がより厳密になることを見込み、条件に加えた。回転半径は同じ角速度の運動でも回転半径が大きいほうが移動距離が長くなるという物理的性質をもとに、回転半径が大きいと視差がとりやすくなって距離推定精度向上につながることを見込み、条件に加えた。オフナディア角は角度をつけて撮影することで対象の側面からの情報が増えて距離推定精度が向上することを見込んで条件に加えた。最後に、撮影方向数は神野らの報告を参考にしている、報告によると UAV での鉛直一方向からの撮影よりも斜め二方向からの撮影のほうの平面推定精度が向上したらしい。よって本研究ではこれに加えてオーバーラップ領域の大きさによる違いでも比較するために撮影方向数を鉛直一方向、動径(アーム) 二方向そして円周二方向に分けて実験した。

また、精度の評価には得られた点群の平面部分を水平面と仮定して、平面部分の水平面からの RMSE (cm) を算出することで評価した。

なお、各表で記載していない撮影条件に関しては各実験で同じ条件で撮影してある。

結果と考察

実験の結果は以下の表 1~3 の通りである。

表 1 ZED2 での解像度及び回転半径による影響に着目した実験

L	解像度	RMSE
50	1280×720	2.38
50	1920×1080	1.44
75	1280×720	1.88
75	1920×1080	1.54
150	1280×720	1.54
150	1920×1080	1.13

表 2 ZED2 でのオフナディア角による影響に着目した実験

L	Off-Nadir	RMSE
50	0°	0.91
50	41°	2.10
75	0°	0.77
75	41°	1.93
150	0°	0.76
150	41°	1.68

表 3 BFLY での撮影方向数による影響に着目した実験

解像度	撮影方向数	RMSE
640×512	鉛直/1	1.79
1280×1024	鉛直/1	1.00
640×512	周回/2	1.82
1280×1024	周回/2	0.89
640×512	動径/2	3.20
1280×1024	動径/2	1.25

表 1 からは解像度が高いほうが RMSE が小さいことが確認できる。これは先に見込んだ通り、解像度が高いほど画素がより詳細になったことで特徴点抽出がより厳密になり、精度が向上したと考えられる。

また、回転半径が大きいほうが RMSE が小さいことが確認できる。これも同様に先に述べた通り、回転半径が大きいほうが視差がとりやすくなり、距離推定精度が向上した結果だといえる。

表 2 からはオフナディア角が 0° よりも大きいほうが RMSE が大きくなっていることが窺える。オフナディア角 0° と 41° とで生成した三次元地図を見比べると、先に見込んだような、対象物側面における特徴点の増加は見られなかった。したがって RMSE 増大の原因として、角度をつけたことにより設置物で地面が隠れたうえに側面からの情報が増えなかったことが考えられ、特徴点抽出に有利な設置物を用いての検討の余地が生じた。しかしながら、実際の建設現場でも側面からの特徴点抽出ができない場合も十分に考えられるのでこの検討はかえって精度が悪くなるリスクもあるので効率性に欠けると思われる。

表 3 からは撮影方向数が周回二方向、鉛直一方向、動径二方向の順に RMSE が小さくなることが確認できる。しかしながら、周回二方向と鉛直一方向とは

あまり大きな差がみられなかった。参考にした報告が UAV での高度数十メートルからの広範囲撮影ということもあり、今回の実験ではスケールが不足していたことも考えられる。したがってクレーン実機による事件での再検討の余地がある。

結論と今後の課題

本研究では建設就業者の減少を背景に、クレーン操作の自動化あるいは簡便化を実現するために、クレーン先端に付けたカメラによるクレーン周辺の三次元地図作成をするうえでの誤差要因となる撮影条件について実験をして明らかにした。

結果からは、回転半径と解像度を大きく、撮影方向と数を周回二方向にすると精度が最も良いということが分かっている。しかしながら実際の建設現場では狭い現場では回転半径を大きくとる事が困難である。また、解像度を高くすれば精度はよくなるが、PC の処理にも限界があり、解像度が PC の処理能力を超えた場合はリアルタイムでの地図作成が実現できなくなる。それに加え、特徴点抽出が画素の輝度変化をもとに行われているので、天候が原因で対象の表面状態が不鮮明だったり、建設現場での資材や構造物自体の表面が輝度変化に乏しい場合は、表 2 での実験でも生じたように、対象の表面からの特徴点抽出がうまく行われな可能性も考えられるので、動画像ベースでの SLAM による高精度で安定した三次元地図作成には限界があると考えられる。しかし、今回は動画像ベースのみでの SLAM による三次元地図作成を行ったが、SLAM の手法にはレーダによって精度高く距離測定をすることができる LiDAR を用いるものも存在する。動画像ベースよりもより精度の高い距離測定ができるセンサと動画像を融合して用いることで、対象のテクスチャの状態に影響を受け、精度の悪い動画像ベースの弱点を補うことができ、より安定して精度の良い三次元地図作成手法が確立できると考えられる。

参考文献

- [1] 東大地：クレーンブーム先端で取得された動画像からの建設現場における三次元地図の高速生成、京都大学卒業論文、2020.
- [2] Raúl Mur-Artal and Juan D. Tardós : ORB-SLAM2: an Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras. IEEE Transactions on Robotics, vol. 33, no. 5, pp. 1255-1262, 2017.