

高速 RGB-D センサを用いた三次元地図生成

○野崎 慎太 (中央大学), 内田 裕己 (中央大学),
増山 岳人 (中央大学), 梅田 和昇 (中央大学)

3D mapping using a high-speed RGB-D sensor

○Shinta Nozaki (Chuo University), Yuki Uchida (Chuo University),
Gakuto Masuyama (Chuo University), and Kazunori Umeda (Chuo University)

Abstract: This paper presents a robust method for generating 3D maps in various environments. The proposed method uses KLT and a modified ICP algorithm. LMedS estimation is adopted to improve robustness. The method can generate 3D maps in an environment that does not have 3D features or texture features, which is verified by experiments.

1. 緒言

自律移動ロボットが様々な環境において効率的に活動を行う上で、三次元地図は有用である。例えば、三次元地図を活用することによってロボット自身が活動する環境における相対位置が分かる。これにより、障害物が存在する環境であっても走行可能な経路を計算し、効率的な走行が可能となる。

三次元地図を生成する手法として、カラー画像を用いる方法⁽¹⁾や距離画像を用いる方法⁽²⁾が提案されている。カラー画像を用いる場合には色特徴が、距離画像を用いる場合には三次元特徴が必要である。そのため、それぞれの手法に適した特徴が存在しない環境においては当然ながら地図を生成できず、汎用的ではなかった。

そこで我々はこれまでに、色と三次元の両特徴を考慮した三次元地図生成手法を提案している⁽³⁾。両特徴を考慮することにより、色特徴、三次元特徴の少なくとも一方の特徴が存在する環境であれば三次元地図を生成可能となる。しかしながら、距離画像の欠損や照明によるカラー画像の変化により誤対応点が発生し、正確な位置合わせが行えない場合がある。そこで、本研究では LMedS 推定を用いることで誤対応点を削除し、地図生成システムのロバスト性を向上させる。

2 節で本手法の概要を示し、3 節で本センサに関して、4 節で対応点探索に関して、5 節で LMedS 推定による誤対応点除去に関しての詳しい説明を行う。また、6 節では本手法の有用性を検証するための実験について述べる。7 節では本論文での結論と今後の展望を述べる。

2. 三次元地図生成の概要

Fig.1 に提案手法のフローチャートを示す。本手法では、我々が構築した同軸系 RGB-D センサ⁽⁴⁾を用いて距離画像及びカラー画像を取得している。センサから得

られた距離画像、カラー画像に一定の変化が生じた際に位置合わせ処理を行う。位置合わせ処理では、初めに三次元特徴を用いた対応点探索及び色特徴を用いた対応点探索を行う。ここでいう対応点とは、異なるフレームの距離画像上で同一の対象を表す点である。それぞれの処理の流れを Fig.2 に示す。両特徴から得られた対応点同士の距離が最小になる変換パラメータを推定し、得られた変換パラメータにより距離画像を変換することで位置合わせを行う。

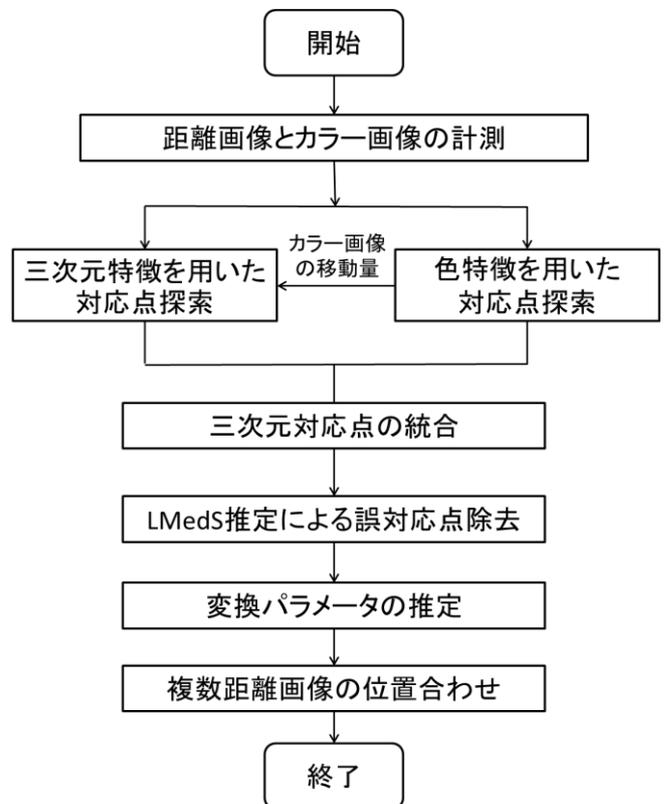


Fig.1 The flow of the 3D mapping

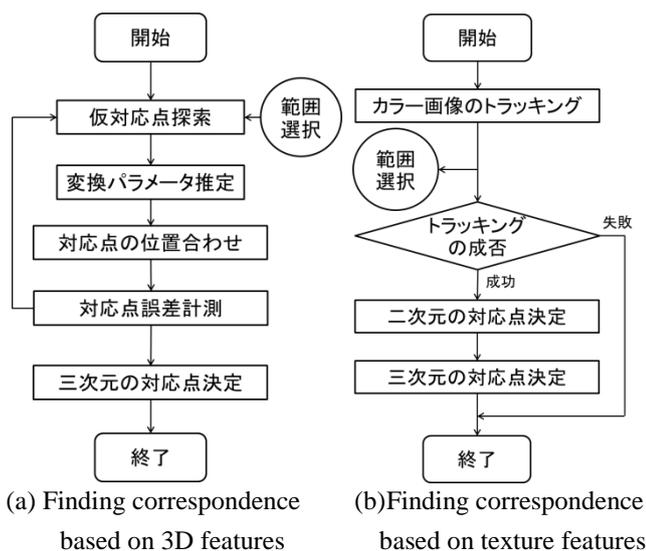


Fig.2 The flow of finding correspondence

3. RGB-Dセンサ

本節ではRGB-Dセンサ⁽⁴⁾について説明する. センサの外観をFig.3に示す. 本センサは361点の距離画像とVGAサイズのカラー画像を最大200Hzで同時に取得することができる. 距離画像の計測範囲は900mm~2000mmであり屋外計測も可能である. このセンサは距離計測にアクティブステレオ法を用いている. 361点のマルチスポットIR光を投影するレーザプロジェクタとモノクロCCDカメラにより距離画像を取得し, カラーCCDカメラによりカラー画像を取得する. コールドミラーを使用することで距離画像とカラー画像を同軸で取得する. コールドミラーはIR光を透過し, 可視光を反射する特性をもつ. この特性から2つのカメラをミラーに対して鏡像関係になるように配置することで, IR光はミラーを通過しモノクロカメラで観測され, 可視光はミラーで反射しカラーカメラで観測されるため, 2つのカメラは同じシーンを観測することが出来る.

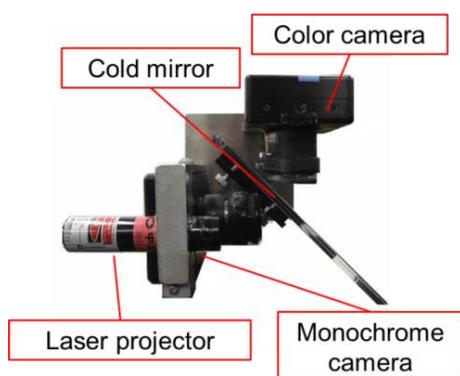


Fig.3 The coaxial RGB-D sensor

4. 対応点探索

4.1. 色特徴に基づく対応点決定

KLT(Kanade-Lucas-Tomasi)トラッカー⁽⁵⁾によりコーナ一点のトラッキングを行い二次元の対応を求める⁽⁶⁾. 次にこの二次元の対応点から三次元の対応点を求める. 得られているカラー画像と距離画像の対応関係が既知であるため, カラー画像の画像座標を指定するとその座標の三次元座標を得ることが出来る. このようにして得られた三次元座標をカラー画像を用いた三次元の対応点とする. この時, 距離画像の解像度がカラー画像よりも低いため, 解像度の差を埋めるために線形の補間処理を行う.

4.2. 三次元特徴に基づく対応点決定

4.2.1. 対応点探索

Fig.4のように2枚の距離画像間に仮の対応点を設定し, これらの対応点間の誤差を最小化する回転と並進のパラメータを求める. Fig.4の(a)が前フレーム, (b)が現フレームを, 円がそれぞれの計測点を示している. 円中の数字が同一の点同士を仮に対応付ける点とする. この処理を様々な対応点に対して行い誤差が最も小さくなる対応点を正しい対応点として決定する.

4.2.2. 回転処理

対応点を設定する際にはFig.4のような並進だけでなく回転を考慮する必要がある. そこで, Fig.5に示すように距離画像データの回転処理を行っている. 図の見方はFig.4と同一である. 対応付ける計測点をずらすことにより疑似的に回転を表す. 回転のパターンは角度に応じて72通り用意し, カラー画像のトラッキング結果より使用するパターンを決定する. 並進成分を考慮した対応付けにこの処理を組み合わせることで両成分を考慮した対応付けを行う.

4.2.3. 探索範囲選択

カラー画像のトラッキング結果から推定したフレーム間の移動量により対応点の探索範囲を動的に変化することで処理時間を短縮する. 移動量が大きいかほど探索範囲を拡大する. カラー画像のトラッキングに失敗した場合は全探索を行う. この時探索範囲は19×19の計361点となる.

5. LMedS 推定による誤対応点除去

カラー画像と距離画像から得られた対応点を統合したものを最終的な対応点とし, 対応点間の距離の誤差が最小となるように変換パラメータを推定する. この時, 求められたすべての対応点を用いると, 対応点中に誤対応点が存在した場合, 変換パラメータが正しく推定できない. そこで本研究ではLMedS推定⁽⁷⁾を用いて誤対応点を除去し, 最適な対応点を用いて変換パラ

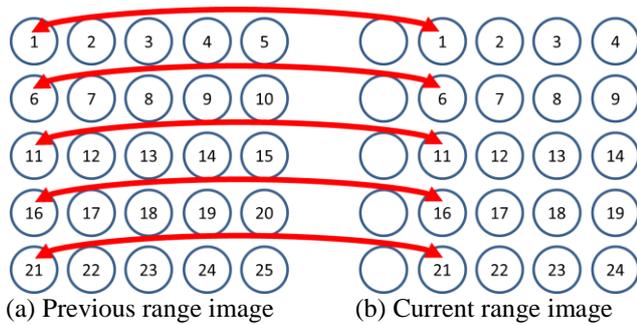


Fig.4 Search of corresponding points

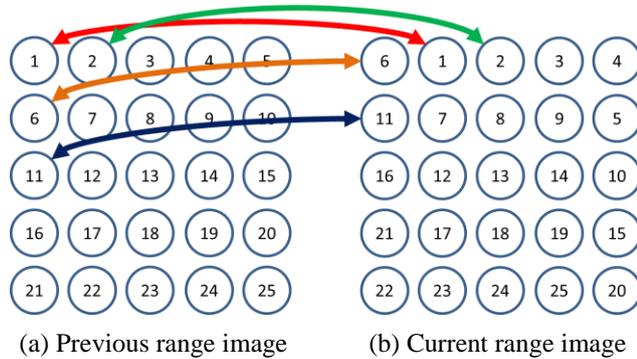


Fig.5 Rotation of range image

メータの推定を行う。LMedS 推定を用いた変換パラメータ推定手法を Fig.6 に示す。まず、全対応点からランダムで 3 点を選択し、選択した点を用いて変換パラメータを推定する。この変換パラメータにより距離点群を変換した後、全対応点間の距離の誤差を算出し、その中央値を求める。この手順を多数回繰り返す、中央値が最小となる変換パラメータを最適なパラメータとして最終的な距離点群の位置合わせに用いる。

6. 実験

6.1. 実験環境

提案手法を用いて 3 種類のシーンにおいて三次元地図生成を行った。計測は人間がセンサを持って移動させながら行い、得られた RGB-D 情報を用いてオフラインで地図生成を行った。計測対象は Fig.7 に示すように色と三次元の両特徴があるシーン、色の特徴だけがあるシーン、三次元の特徴だけがあるシーンとした。LMedS 推定による誤対応点除去を使用した場合、使用しない場合の 2 パターンの地図生成を行った。なお、LMedS 推定の反復処理は 500 回行った。

6.2. 実験結果

LMedS 推定を用いた場合の実験結果を Fig.8, 9, 10 に示す。このうち、Fig.8~10 の(a), (b)は地図の生成過程を、Fig.8, 10 の(c)及び Fig.9 の(c), (d)は完成した地図を、Fig.8, 10 の(d)及び Fig.9 の(e), (f)は完成した地図にテクスチャマッピングを施した結果を表している。LMedS 推定を用いない場合の実験結果を Fig.11, 12,

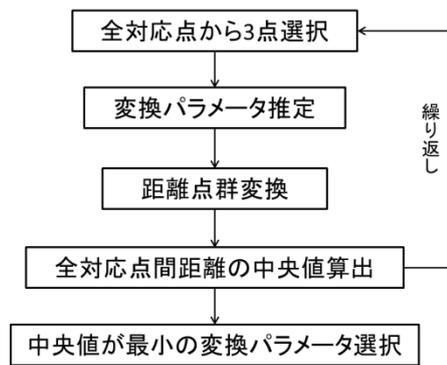


Fig.6 Removal of corresponding points using LMedS estimation

13 に示す。このうち、Fig.11, 13 の(a)及び Fig.12 の(a), (b)は完成した地図を、Fig.11, 13 の(b)及び Fig.12 の(c), (d)は完成した地図にテクスチャマッピングを施した結果を表している。各地図を構築した際のデータ数を Table 1 に、1 枚の距離画像を位置合わせする際の平均処理時間を Table 2 に示す。

実験結果から、LMedS 推定を用いない場合、色特徴のみでの地図生成において位置合わせが正しく行えていないことが分かる。これは、色特徴は三次元特徴と比較して得られる対応点数が少ないため、誤対応点が結果に大きく影響してしまったためであると考えられる。それに対し、LMedS を用いた場合、色特徴のみでの地図生成においても位置合わせが正しく行われていることが分かる。このことから、LMedS 推定により正しく誤対応点を除去出来ていると考えられる。しかしながら Table 2 を見ると LMedS 推定を用いたことで処理時間が増えていることが分かる。これは、LMedS 推定において距離点群の変換作業を繰り返し行うため計算負荷が高くなっていることが原因として考えられる。

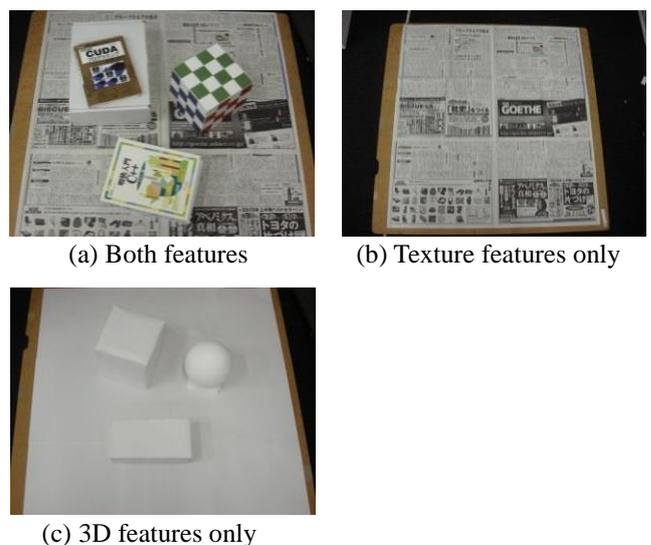
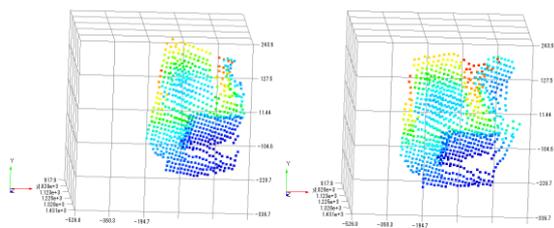
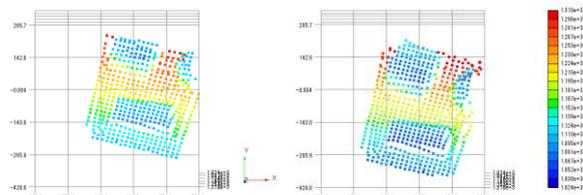


Fig.7 Measurement scenes



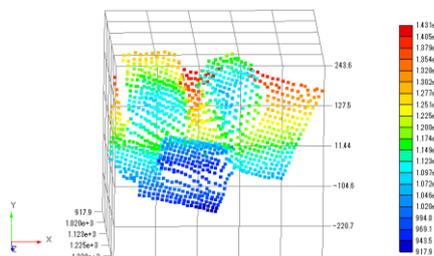
(a) Process1

(b) Process2

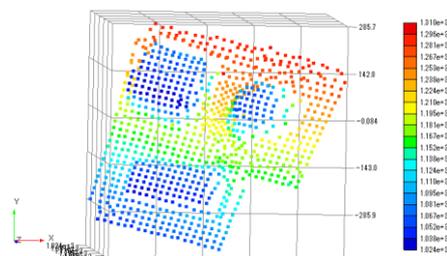


(a) Process1

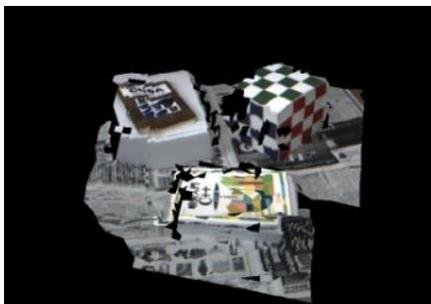
(b) Process2



(c) 3D map



(c) 3D map



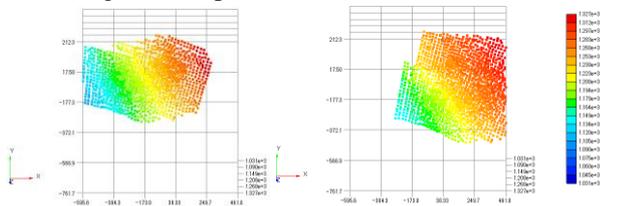
(d) Texture mapping



(d) Texture mapping

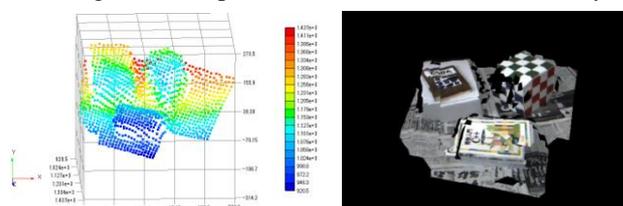
Fig.8 3D map of the scene with both features

Fig.10 3D map of the scene with 3D features only



(a) Process1

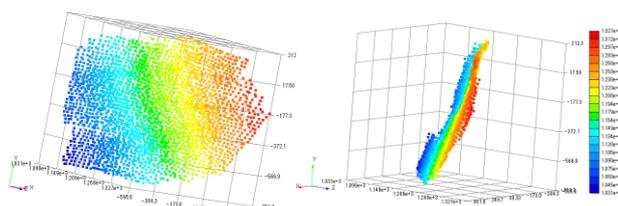
(b) Process2



(a) 3D map

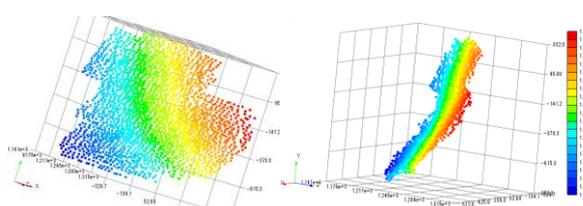
(b) Texture mapping

Fig.11 3D map of the scene with both features without LMedS estimation



(c) 3D map1

(d) 3Dmap2



(a) 3D map1

(b) 3Dmap2



(e) Texture mapping1

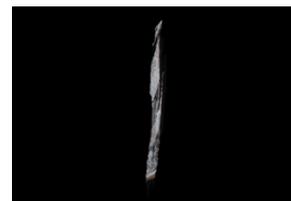


(f) Texture mapping2

Fig.9 3D map of the scene with texture features only



(c) Texture mapping1



(d) Texture mapping2

Fig.12 3D map of the scene with texture features only without LMedS estimation

without LMedS estimation

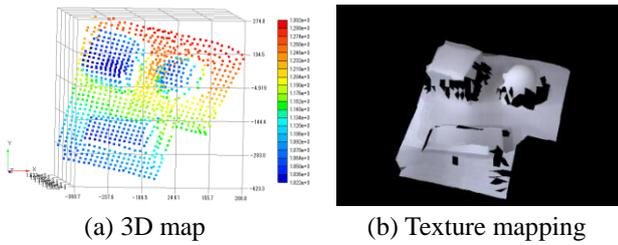


Fig.13 3D map of the scene with 3D features only without LMedS estimation

Table 1 Number of images

使用特徴	両特徴	色特徴	三次元特徴
画像数	180	170	140

Table 2 Processing time

使用特徴		両特徴	色特徴	三次元特徴
平均 処理時間 [ms]	LMedS あり	375.8	282.0	394.1
	LMedS なし	236.0	250.4	234.5

7. 結論と今後の展望

距離画像とカラー画像を用いた実環境の三次元地図生成手法を示した。また、LMedS 推定を用いた誤対応点除去により手法のロバスト化を行った。実験により、LMedS 推定を用いることで、三次元特徴のみ、色特徴のみのどちらの環境においても安定した地図生成を行えることを示した。

今後は本システムのオンライン化を目指し処理時間の短縮を行っていく予定である。時間短縮に関しては処理のマルチスレッド化や GPU 処理の導入などが挙げられる。しかしながら、現在の位置合わせ手法では計算コストが高く上記の方法のみではオンライン化は困難であると推測される。そのため、現システムの変換パラメータ推定手法を変更し、直接法を用いて変換パラメータを推定することを検討する。

参考文献

- 1) 加賀美聡: “ステレオカメラからのオンライン 3 次元 SLAM”, ロボット学会誌, vol.26, no.4, pp.310-313, 2008.
- 2) P.J. Besl and N.D. McKay: “A method for registration of 3-d shapes.” *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, 14(2):239–256, Feb 1992.
- 3) 内田裕己, 寺林賢司, 梅田和昇: “RGB-D カメラを用いた三次元地図生成”, 動的画像処理実利用ワークショップ DIA2013 講演論文集, p.315-318, 2013.3.
- 4) 内田裕己, 寺林賢司, 梅田和昇: “同軸系テクスチャ付距離画像センサの構築”, 第30回日本ロボット学会学

術講演会予稿集, I3-3, 2012.9.

5) C. Tomasi and T. Kanade: “Detection and Tracking of Point Features”, Carnegie Mellon University Technical Report, CMU-CS-91-132, Apr. 1991.

6) 内田裕己, 寺林賢司, 梅田和昇: “テクスチャ付距離画像計測システムを用いた実環境の 3D マッピングの高速化”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 講演論文集, 1P1-D07, 2011.5.

7) R.J. Rousseeuw and A.M. Leroy: “Robust Regression and Outlier Detection”, John Wiley & Sons, 1987.