

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00232

研究課題名(和文) 撮影環境及び撮影条件に制限のある画像群からの高精度な三次元形状の復元に関する研究

研究課題名(英文) A study on accurate 3-D reconstruction from images under restricted condition and environment

研究代表者

金澤 靖 (KANAZAWA, Yasushi)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50214432

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、特殊な環境下での撮影や撮影位置や方法に制限があるようなカメラで撮影した画像から、環境の高精度な3次元形状を復元することを目的とする。本課題では、復元に大きく影響を与える画像間の対応付けとカメラおよびカメラ間のパラメータ計算を高精度に行う手法を提案した。内視鏡カメラ画像においては、復元形状のコスト関数を用いたフレーム選択手法やギブスサンプリングを用いたカメラパラメータ推定を用いることで、高精度に推定可能であることを示した。またドローンに搭載したカメラ映像からの復元においては、適切なフレーム選択と射影変換ベースの復元を行うことで、より高精度かつ高速な形状復元が行えることを示した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to reconstruct an accurate 3-D shape of an environment from images taken with the camera under a restricted condition and environment. For doing this, we have proposed an accurate image matching method and accurate parameter computation methods. In 3-D reconstruction from the endoscopic camera image, we showed the effectiveness of our method that adopt a frame selection method using "shape cost" and a focal length estimation method using Gibbs sampling. In 3-D reconstruction from UAV camera image, we also showed that we can obtain very accurate 3-D reconstruction of sands by using homography-based reconstruction and proposed frame selection method. We have realize real-time 3-D reconstruction system from a camera of UAV.

研究分野：画像処理・コンピュータビジョン

キーワード：3次元復元 内視鏡画像 ドローン 砂浜形状

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初の背景は以下の通りである。

- (1) 撮影したカメラのパラメータおよびカメラ間の撮影位置関係が全て未知であっても複数画像からシーンや対象物体の3次元復元を行うことができる。これは、移動ロボットの視覚はもちろん、工業用内視鏡など実際のカメラの撮影位置が計測できない場合にも有効な方法である。
- (2) おおまかな復元の手順として、まず画像から対応付けの元となる点やエッジなどの特徴を抽出し、その類似度や幾何学的な関係を元に画像間の対応を決定する。決定した対応から画像間の対応する箇所間の関係を表す行列を計算し、これを分解してカメラの焦点距離などのパラメータや、カメラの向きや位置などのパラメータを計算する。その情報を用いて、対応付けされた特徴に対する3次元位置を計算する。
- (3) このとき重要となるのが、高精度な対応付け手法と安定かつ高精度なカメラパラメータの計算法となる。よく用いられている対応付け法のSIFTなどは、一般のシーンでは比較的よく対応がとれるものの、内視鏡画像のような模様のない場合、正しい対応が取れない。また、内視鏡カメラの移動は前後方向の移動が多く、カメラパラメータ計算に失敗することも多い。
- (4) これに対し、研究代表者らは、これまでに特殊なシーンに対する対応付け法を提案したり、復元形状の歪みをコストとして、カメラパラメータの精度を向上させる方法を提案したりしているが、シミュレーションではうまく働くものの、実際の画像では失敗することも多かった。
- (5) そこで、本研究ではカメラの特殊な移動方法を考慮した対応付けを行うとともに、特殊な移動方法を考慮することで、より高精度かつロバストな復元が行えるのではないかと考えた。

## 2. 研究の目的

研究の目的は以下の通りである。

- (1) 本研究では特殊なシーンにも対応できるような対応付け法を確立するとともに、カメラの特殊な移動方法のために、復元形状への影響が大きいような撮影方法に対してもロバストかつ高精度な3次元形状復元が行える手法を確立することを目的とする。
- (2) これにより、コンピュータビジョンの技術がこれまでのように研究室レベルではなく、シーンの3次元復元、ロボット

の視覚やメディア応用だけでなく、様々な分野への実応用が加速され、実用化に一步近づくことが期待される。

## 3. 研究の方法

研究方法は以下の通りである。

- (1) これまでに我々のグループで提案した、復元形状の歪み(=パラメータの誤差)をコストとして、精度の良いパラメータを求める手法と、ギブズサンプリングによる焦点距離推定を組み合わせることで、動的なキャリブレーションとフレーム選択法の効果を確認する。
- (2) 様々なシーンに対応し得る、適応的な画像の対応付け法についても検討することに加え、内視鏡カメラの動きを考慮し、より蜜な対応付け法を検討する。
- (3) 特殊なシーンおよび特殊な動きをするカメラとして、広い砂浜などの平面形状に対するドローン映像からの高精度な3次元復元法についても検討を行う。
- (4) 得られた知見や技術を利用し、その応用展開を図る。

## 4. 研究成果

本課題に関する主な成果を以下に挙げる。

- (1) ギブズサンプリングによる焦点距離推定とコスト関数によるフレーム選択

一般にカメラの移動前後の光軸が同一平面状に乗る場合、カメラの焦点距離を求めることができない。内視鏡のカメラの動きは、この条件に近い場合が多く、焦点距離計算が破綻することも多い。そこで本研究では、形状のコスト関数を用いて、適したフレームを選択すると同時に、破綻しやすい焦点距離計算をギブズサンプリングを用いて推定することを考える。図1は、シミュレーションにより、復元に用いた点群の数と計算された形状の平均コストを示しており、合成の際、コストをしきい値処理してフレーム選択を行った結果を示す。図1の上のグラフが画像上でのノイズが小さい場合、図1の下のグラフが大きい場合であり、提案コスト関数を用いたフレーム選択は、復元点数が少ないほど有効であることを意味する。

また図2のグラフはギブズサンプリングを用いて焦点距離推定を行った場合の形状の歪みであり、赤が真値、緑がギブズサンプリングにより推定した焦点距離を用いた場合、青がその都度推定した焦点距離を用いた場合であり、図2の上の図は復元点数が少なく、図2の下の図は復元点数が多い場合を示す。見てわかる通り、真値とギブズサンプリングによる焦点距離推定はその都度推定した焦点距離を用いた推定に比べ、形状の歪みが小

さく、また復元点数が小さいほどその精度がよくなるのがわかる。よって、提案したコスト関数の有効性、コスト関数を用いてフレーム選択を行うことの有効性が確認され、復元点数が少ないとき、つまり画像がより対応付けしづらい場合により有効であることが分かった。

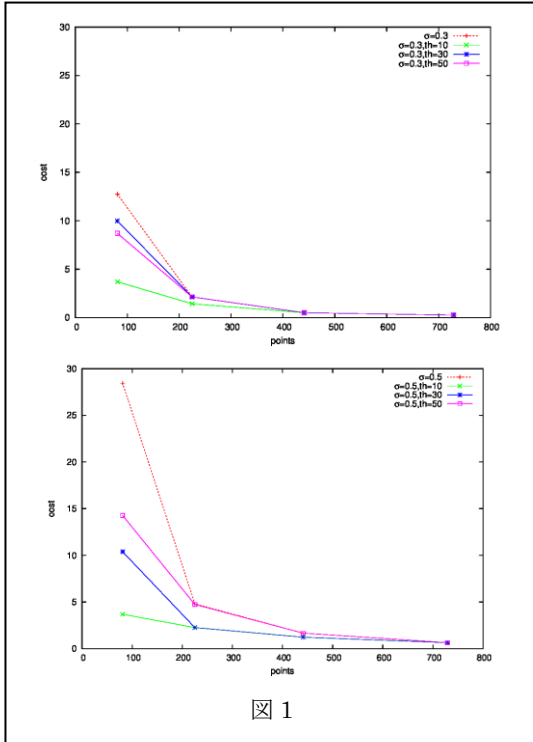


図 1

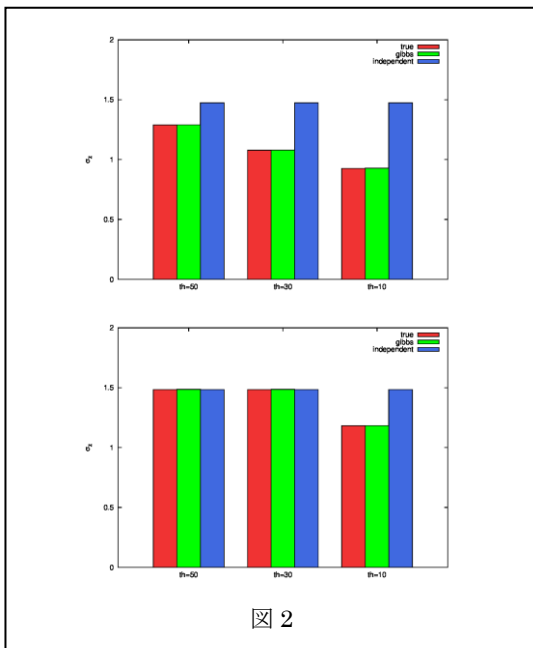


図 2

(2) 小領域のウェーブレット係数を用いた適応的な特徴量選択による画像間の対応付け

先行研究より、画像間の対応付けにおいては、どのような画像に対しても適用可能な特徴量はなく、領域毎に適した特徴量が異なることが示されている。ここでは、この特徴量を自動的に判定するために、画像を小領域に分割し、その小領域の粗さをウェーブレット係数により求め、その粗さにより、適応的な特徴量を選択することを考える。

まず予備実験により、一般の屋外シーンを対象として、画像内の小領域に対し、次の6つに分類を行った。

- A) 建物やシーンの境界など、テクスチャが細かく、はっきりしている場所
- B) 木や葉など、粗いテクスチャと細かいテクスチャがほぼ同じ割合で混在している場所
- C) 道路標示など、細かいテクスチャの中に粗いテクスチャが一部存在している領域
- D) 芝生や道路面など、テクスチャが細かいもの
- E) 立体的なコーナーなど、直線状の繰り返しパターン
- F) 空など、テクスチャがほとんどないもの

これらは、いずれもウェーブレット係数を見ることで判別可能である。そして、各領域に対して適切と思われる特徴点検出および特徴量記述法を実験により求めた。

- A) HARRIS + SIFT
- B) FAST + SIFT
- C) SIFT + BRIEF
- D) FAST + SIFT
- E) HARRIS + SIFT
- F) 無

提案法を適用した結果を図3に示す。一番上が提案法、二番目が SIFT 単独、一番下が FAST+SIFT による結果であり、対応する箇所を線で結んでいる。見てわかるとおり、提案法は SIFT 単独より、より多くの正確な対応を得ることができているが、FAST+SIFT の結果と比べるとやや劣る結果が得られた。これは予備実験に用いた画像の偏りなどの影響や、小領域の分類の適切さやその精度によるものと考えられることから、引き続き検討を要することが分かった。

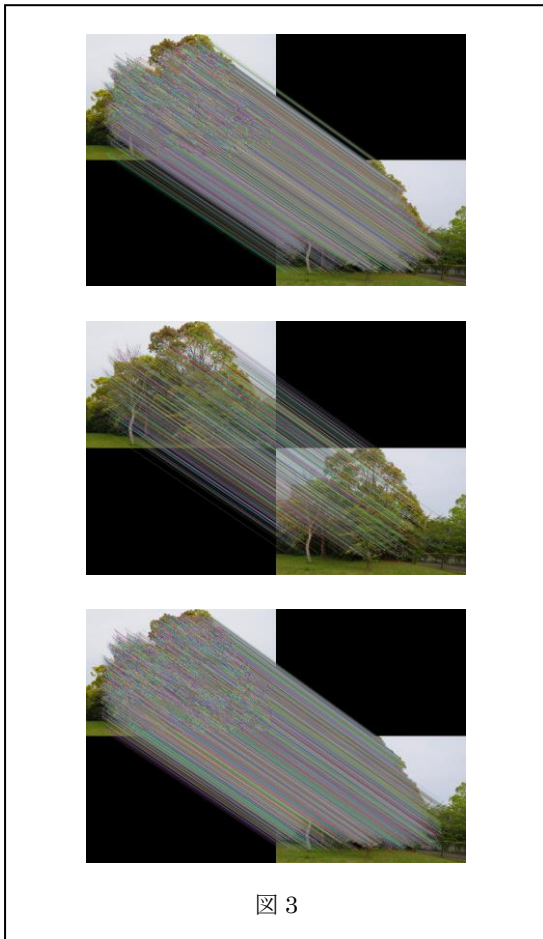


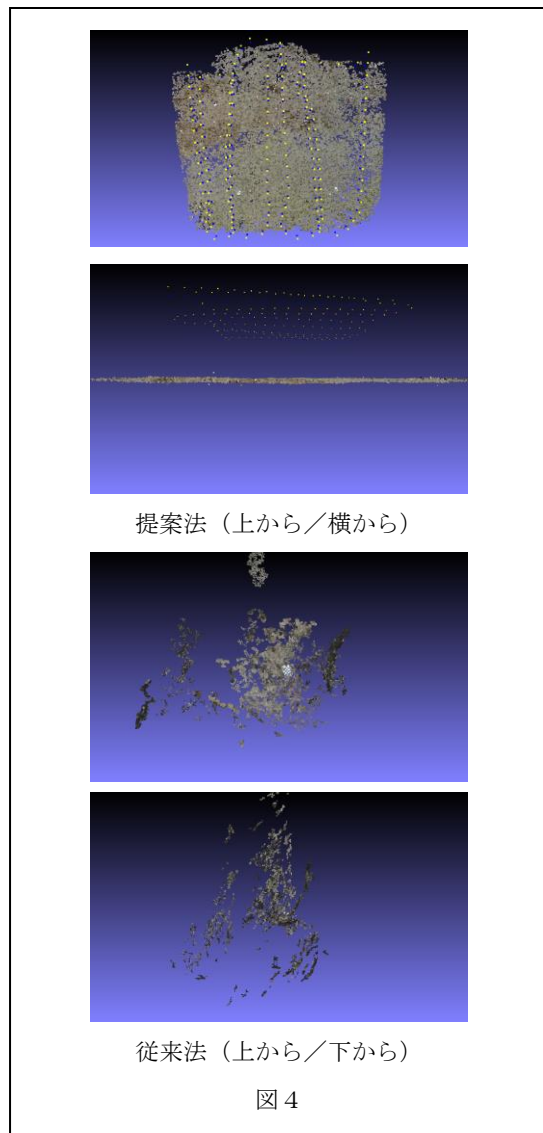
図 3

(3) ドローン映像からの広範囲な砂浜形状の高精度な復元

内視鏡カメラ画像の他に、特殊性を持つシーンで、撮影方法も独特であるものの一つに、ドローンで砂浜のようなほぼ平面状の対象を撮影した映像から、形状復元を行うことを考える。通常の基礎行列（基本行列）ベースの復元手法は、このようなほぼ平面の形状に対してしばしば歪んだ形状を復元する。これに対し、本研究では射影変換ベースの復元を採用し、形状復元のコスト関数によるフレーム選択と同様に、適切なコスト関数によるフレーム選択を行うことで、リアルタイムに復元可能なシステムを構築することができた。

結果を図 4 に示す。図中、上の図が提案法による復元結果、下の図が従来法でよく用いられる Bundler + PMVS2 による復元結果である。見てわかる通り、提案法は砂浜の平面性が正しく復元されているのに対し、従来法は、平面に復元されていないことがわかる。

本研究では、これをマルチスレッド化し、GPU 処理を併用することで、リアルタイムな復元を実現しており、従来のようにオフラインで大量の時間を掛けての復元ではなく、現場で実際に撮影しながら復元できるようになっており、コンピュータビジョン技術の実利用に貢献できたと考える。



提案法 (上から/横から)

従来法 (上から/下から)

図 4

(4) 関連技術について

関連研究として、本形状復元技術を応用した電波環境シミュレーションへの応用、カメラ画像を利用したプロジェクタ投影像の高精度な幾何補正方法、ロボットの自律走行のための環境認識のための画像間の対応付け法などを行った。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 常盤勇太, 金澤 靖, 任意形状スクリーンに対する適応的な多面体近似によるプロジェクタ投影像の幾何補正, 画像電子学会誌, Vol. 46, pp. 296-304, 2016, 査読有.

[学会発表] (計13件)

- ① 橋本瑞樹, 松永竜太郎, 西山和範, 金澤 靖, ドローン映像からの3次元復元のリアルタイム化のためのキーフレーム選択と形状復元, 情報処理学会 CVIM 研究会, 2018年3月.
- ② 松永竜太郎, 橋本瑞樹, 金澤 靖, 支配的平面の情報を用いた最適補正による砂浜の広範囲な3次元復元, 情報処理学会 CVIM 研究会, 2018年3月.
- ③ R. Yamada, N. Ohta, and Y. Kanazawa, Image modification for color defectives by mapping the position on confusion lines to pixel blinking, 電子情報通信学会 WIT 研究会, 2018年3月.
- ④ 橋本瑞樹, 松永竜太郎, 金澤 靖, 園田潤, ドローン映像からの砂浜などに対する高精度なリアルタイム3次元復元, 第20回画像の認識・理解シンポジウム, 2017年.
- ⑤ 水島 健, 金澤 靖, ウェーブレット変換を用いた適応的な画像間の対応付け, 動的画像処理実利用化ワークショップ, 2017年.
- ⑥ 新井真人, 鹿貫悠多, 太田直哉, 自律走行ロボットのための画像照合手法の提案 Flexible Sub-window Matching, ビジョン技術の実利用ワークショップ, 2016年.
- ⑦ 鹿貫悠多, 太田直哉, DP マッチングを用いた SeqSLAM のための画像対応付け, ビジョン技術の実利用ワークショップ, 2016年.
- ⑧ R. Matsunaga, M. Hashimoto, Y. Kanazawa, and J. Sonoda, Accurate 3-D reconstruction of sands from UAV image sequence, ICAICTA2016, 2016.
- ⑨ 橋本瑞樹, 松永竜太郎, 金澤 靖, ドローン映像からの広域な平面形状の高精度な3次元復元, 第19回画像の認識・理解シンポジウム, 2016年.
- ⑩ 常盤勇太, 金澤 靖, モデル選択を用いた任意形状スクリーンに対するプロジェクタ投影像の幾何補正, 情報処理学会 CVIM 研究会, 2016年.
- ⑪ 水島 健, 金澤 靖, 適応的な対応付けのための特徴量の評価, 平成27年度電

気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2015年.

- ⑫ 佐賀郁哉, 金澤 靖, 複数プロジェクタを用いた映像重畳における超解像度計算の高速化, 第18回画像の認識・理解シンポジウム, 2015年.
- ⑬ 常盤勇太, 金澤 靖, スクリーンの自動的な多面体近似による投影像の幾何補正, 第21回画像センシングシンポジウム, 2015年.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金澤 靖 (KANAZAWA, Yasushi)  
豊橋技術科学大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 50214432

### (2) 研究分担者

太田 直哉 (OHTA, Naoya)  
群馬大学・理工学研究院・教授  
研究者番号: 10270860