

特徴点の照合戦略の改善と センサからの姿勢情報の活用による PTAMM の位置推定能力の向上

前田 佐嘉志^{1,a)} 立花 健太郎¹ 福田 将之¹ 鶴田 直之¹

概要: 人為的なマーカではなく風景そのものをマーカとして利用する拡張現実感システムに PTAMM がある。このシステムにおいては、3 次元情報の獲得の最終段階では記憶している画像 (キーフレーム画像) とカメラから入力された画像との間で特徴点どうしの対応付けを行う。しかし、その直前の段階に行うキーフレームの選択が正しく行われていないために最終段階でも適切な情報が得られない場合があった。そこで、姿勢情報を用いた学習処理のステレオ処理におけるキーフレーム選択方法の改良と、センサを用いた推定処理のリカバリ処理におけるキーフレーム選択方法の改良を提案する。

Advancing Localization Ability of PTAMM by Improving Feature Extraction Strategy and Pose Information by Sensor

MAEDA SAKASHI^{1,a)} TACHIBANA KENTAROU¹ FUKUDA MASAYUKI¹ TSURUTA NAOYUKI¹

Abstract: This paper presents an improving method of PTAMM. PTAMM is a software which is implemented by G Klien and D Muarray. PTAMM can display an argmented reality(AR) object. But there is an instability problem about camera position localization at PTAMM. So, we propose a two method which improves localization stability of PTAMM. First is improving keyframe selection by estimated position information at learning process. Second is improving keyframe selection by sensor information at estimation process.

1. はじめに

近年、デバイスの小型化と性能向上に伴い、スマートフォンやタブレット端末といった処理能力の高い携帯端末の急速な浸透が見られるようになってきた。更には、携帯という利用形態に着想した新しいコンテンツが身近になってきている。それらのコンテンツのうち、画像処理に関するものの一つに、拡張現実 (AR: Augmented Reality) が挙げられる。拡張現実の技術は、任天堂がリリースしている Nintendo 3DS や、Pioneer の商品であるカーナビゲーション機器に搭載されるなど、ここ数年

でより身近なものになってきている。これらの技術発展をふまえ、本研究では、この拡張現実の技術を仮想的な遺跡復元やジオパークにおける野外展示に応用することを考える。

考古学的あるいは歴史学的に意義のある遺跡や地質学的に意義のある露頭 (地層が露わになった法面) は、地域の町おこしのための観光資源としても地域のコミュニケーション活性化のきっかけとしても重要になっており、歴史公園やジオパークを設置する自治体が増えている。歴史公園やジオパークを設置する際には、自然や景観を壊さないことと維持管理の手間や経費が掛からないことが望まれるため、物理的な遺跡の復元や説明用プレートの設置は敬遠されがちになる。これに対する解決策として、拡張現実の活用が検討されており、一部

¹ 福岡大学
Fukuoka University, Jonan, Fukuoka 814-0180, Japan
^{a)} maeda@tl.fukuoka-u.ac.jp

実用化されている [2]。このような背景のもと、本研究は、野外でも手軽に使い、安定に動作する AR システムの構築を目的とする。具体的には、人為的なマーカではなく風景そのものをマーカとして利用する拡張現実感システムである PTAMM (Parallel Tracking And Multiple Mapping) [1] を用いる。

しかし、自然の風景では人工的な風景に比べ、細かい特徴点の過検出による動作の不安定さが問題であった。そこで、まず、カメラの位置姿勢推定に用いる特徴点の数を抑制する二つの手法を提案した。一つ目は、入力画像に直接ガウシアン・フィルタをかけることで画像をぼかし、テクスチャ領域の正則化を行う方法である [8]。二つ目は、画像を複数の領域に分けて、一つの領域に格納できる特徴点の数の上限を設定することにより、密集することを防ぐ方法である [9]。これらの手法を実現することにより、ある程度の位置推定能力の改善を行うことができた [8] [9]。

しかし、これらの方法が有効でない例外的な状況として、特徴点の対応付けの前段階における、記憶した画像 (キーフレーム画像) の選択が適切でない場合がある。キーフレーム選択は、学習処理におけるステレオ処理と、推定処理におけるリカバリ処理で行われる。そのため、本稿では、それぞれの処理におけるキーフレーム選択についての改良方法をそれぞれ提案する。

2. PTAMM の概要

2.1 マーカ方式とマーカーレス方式

安定して高速に動作する拡張現実技術として多く採用されている手法は、マーカと呼ばれる専用の目印を事前に使用場所に設置しておき、そのマーカを認識することによってカメラの位置を推定する手法である。この手法を用いたシステムの一つに ARToolKit1 [3] [4] [5] がある。

マーカ方式は、先に述べた自然や景観を壊さないことと維持管理の手間や経費が掛からないことを満たすのが難しい。そこで、本研究では、拡張現実を実現する手法のうち、マーカを必要としない手法である PTAMM を採用する。

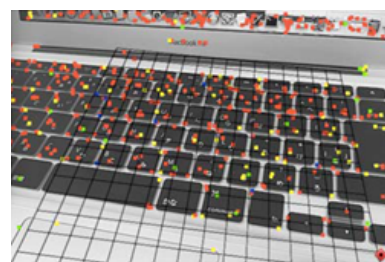
2.2 PTAMM の基本アルゴリズム

PTAMM は、オックスフォード大学の Georg Klein 氏によって開発された拡張現実システムである。このシステムの特徴は、マーカを用いず、カメラでとらえた画像上の特徴点を用いて、カメラの位置・姿勢を推定していることである。

PTAMM の利用は、学習処理と推定処理の二つに大きく分けられる。学習処理では、事前の準備として CG を重ね合せ表示するシーンと CG の配置を記憶する。この

作業は遺跡公園やジオパークの管理者が行う作業となる。推定処理では、現在の撮影中のシーンと記憶しているシーンを照合して識別し、目的の位置に CG を重ね合せ表示する。利用者はこれを用いて散策を楽しむことになる。

具体的には、学習処理では、最初にカメラを動かしながら 2 枚の画像を取得する。取得のタイミングは手動で決める。1 枚目の画像を取得してから 2 枚目の画像を取得するまでの間は画像から抽出される特徴点を追跡する。2 枚目の画像の取得後、追跡できた特徴点の対応を用いてステレオ視を試み、適切にステレオ視ができた場合に CG 表示の起点となる世界座標系を設置する。図 1 に、世界座標系を設置した直後の画面 (図 1(a)) と CG を重ね合せ表示した画面 (図 1(b)) を示す。図 1(a) に表示されている黒い格子は、設置した世界座標系の原点と軸の方向を示したものである。本稿では、この格子を基準格子と呼ぶことにする。このときの画像および画像上の特徴点、特徴点の世界座標系での 3 次元位置、カメラの位置姿勢とからなるセット (キーフレームと呼ぶ) をマップと呼ぶ構造体に記憶する。



(a) 世界座標系を設置した直後の画面



(b) CG を重ね合せ表示した画面

図 1 PTAMM の学習処理における初期設定の画面

更に周辺でカメラを移動させながら、以下のようにしてカメラの移動軌跡と 3 次元世界を構成する特徴点およびそれらの 3 次元位置をマップに追加する。図 2(a) に示すように、現在のカメラの位置姿勢の推定値を基に、マップ内に記憶されている全特徴点を画像面に投影することによって視野内に写るであろう可視特徴点 (PVS: Potentially-Visible-Set) を選択する。一方、現在の入力画像からも特徴点を検出し、PVS との対応点決定を行う。対応のとれた特徴点間の画像上のずれを基に新たな

カメラの位置姿勢を推定する。この推定行為をトラッキングと呼ぶ。

次に図 2(b) に示す手順で、視野の変化によって得られた新たな特徴点の 3 次元位置を推定する。現フレームのカメラ位置姿勢は推定が終わっているため、既に記憶しているキーフレームの中から現在のカメラ位置姿勢に最も近いものを選ぶ。この最近傍キーフレームに登録されているカメラの位置姿勢と未計測特徴点を用いて対応点を探索し、ステレオ視の原理で特徴点の 3 次元位置を推定する。推定できた特徴点はマップに記憶する。また、カメラの移動距離が大きくなり、現フレームのシーンがこれまでに記憶しているキーフレームと十分に異なっている場合は、新たなキーフレームとしてマップに記憶する。これらの一連の処理を用いた学習行為をマッピングと呼ぶ。図 3 には、自然の風景においてキーフレームが追加される直前と直後の画面を示す。画像中の色つきの点は、特徴点の対応付けに用いられている PVM である。キーフレームの追加直後に新しい視野に新しい特徴点が記憶されたのがわかる。マッピングによって、記憶する特徴点が増えるほど位置推定の安定性が増す。また、PTAMM では、複数のマップを設定して、それぞれに重ね合わせ表示する CG を合わせて記憶することができる。マッピングとトラッキングを並行処理して高速化を図る。

推定処理では、開始以降、現在の入力画像と学習処理で記憶したキーフレーム内の画像との照合により、利用すべきマップを識別する。また、キーフレーム内のカメラ位置姿勢を仮推定値として、マップ内に記憶されている全特徴点を画像面に投影することによって視野内に写るであろう特徴点 (PVS) を選択する。一方、入力画像からも特徴点を検出し、PVS との対応点決定を行う。対応のとれた特徴点間の画像上のずれを基に現在のカメラの位置姿勢を正確に推定し直す。以降は、学習時と同じトラッキングを繰り返す。

もし、トラッキングに失敗して対象を見失った場合には、最初の画像照合によるマップの識別に戻る。この処理のことを「リカバリ処理」と呼ぶ。

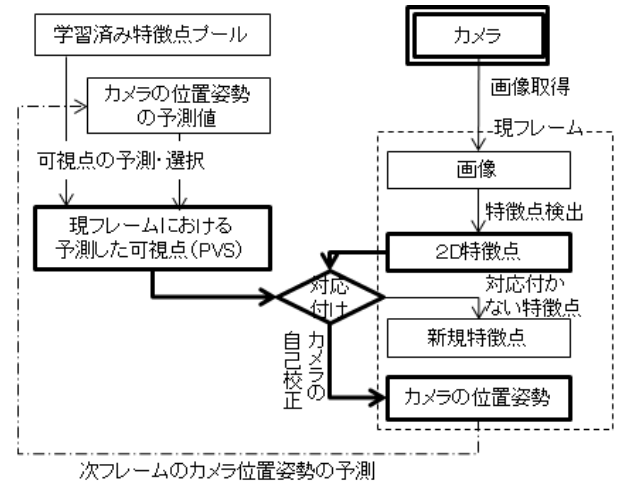
3. 屋外での使用と問題点

前章で述べたアルゴリズムで、カメラの位置姿勢の誤推定が起こる原因は、まず、どの処理で発生するかで大きく分けて次のように分類できる。

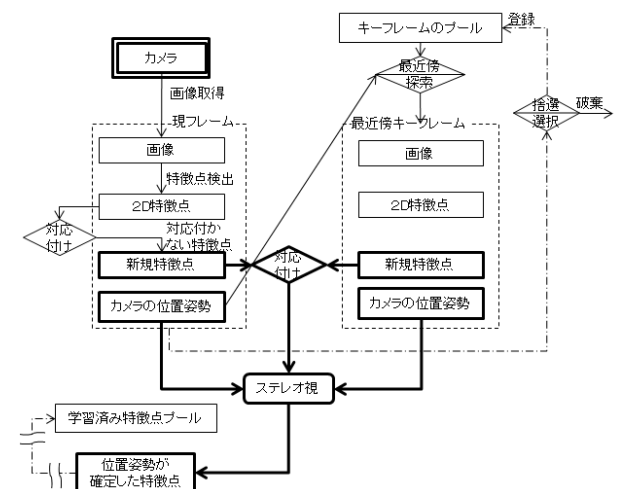
- ・ (X) 学習処理で起こる原因
- ・ (Y) 推定処理で起こる原因
- ・ (Z) リカバリ処理で起こる原因

次に、どのような現象であるかで、次のように分類できる。

- ・ (A) 現在の画像とキーフレームの照合に失敗し



(a) トラッキングの基本アルゴリズム



(b) マッピングの基本アルゴリズム

図 2 PTAMM の学習処理の基本アルゴリズム

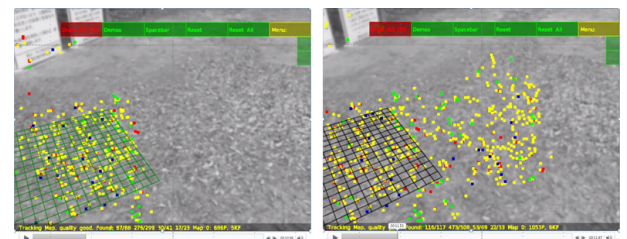


図 3 キーフレーム追加前後の特徴点の分布例 (左が直前、右が直後)

て、誤ったマップあるいは誤ったキーフレームが選択されてしまう

- ・ (B) 入力画像上から良質で十分な数の特徴点が得られていない
- ・ (C) マップから良質で十分な数の PVS が得られていない (良質な特徴点が学習されていない)
- ・ (D) 入力画像上の特徴点と PVS との対応付けに失敗する

上記 (A) ~ (D) について (X) ~ (Z) とのすべての組み合わせについて発生するかもしれないかを表 1 に整理

する。

表 1 誤推定の原因の発生

	(X) 学習 処理	(Y) 推定 処理	(Z) リカ バリ処理
(A) キー フレーム選択	発生	-	発生
(B) 入力特徴 点	発生	発生	-
(C) PVS	発生	-	-
(D) 対応付け	発生	発生	-

(「発生」=発生する、「-」=発生しない)

表 1 における (B) ~ (D) 行については、特徴点の個数を調整する手法で対応済みである [8] [9]。これにより、自動的に (Y) 列は対応済みということになる。つまり、表 1 のうち未解決として残るのは、(A) と (X) との組み合わせ、(A) と (Z) との組み合わせの二つとなる。

そこで、本稿では、この二つについての改良手法を提案する。

4. 姿勢情報を用いた学習処理のステレオ処理におけるキーフレーム選択方法の改良

まず、本節では、(A) (X) に対する改良手法を提案する。

PTAMM は特徴点をマップに追加する際、2 枚のキーフレーム間のエピソード幾何によって特徴点の 3 次元位置を取得する。このキーフレームの選択に従来の PTAMM では距離情報のみを使用していた。そのため誤ったキーフレームが選択される可能性があるのではないかと考えられる。実際に検証を行ってみた結果、やはり、視えている方向が全く違うキーフレームが選択されることが分かった。そこで、新キーフレームに距離が近く、かつカメラの姿勢が最も近いものをステレオ用キーフレームとして選択する手法を提案する。

まず、距離については、従来通り、カメラの 3 次元座標を表した二つの 3 次元ベクトルの間で、成分の差の 2 乗和の平方根として求める。

次に、姿勢については、PTAMM においては、 3×3 の回転行列で表現されている。そこで、これについても、成分の差の 2 乗和の平方根として求める。

最後に、得られた二つの値の重み付き平均を求め、その値が小さいキーフレームを、特徴点の 3 次元位置を計算するためのキーフレームとして選択する。

5. センサを用いた推定処理のリカバリ処理におけるキーフレーム選択方法の改良

本節では、残る (A) (Z) に対する改良手法を提案

する。

画像処理による位置推定には、異なる位置・方向で似たような風景が見える場合にはそれらを識別できないという原理的な限界がある。

それに比べて、最近の小型端末では搭載されることが多くなった加速度センサー・地磁気センサーなどのセンサーには、そのような環境に依存した不安定さがないという利点がある。ただし、加速度センサーで位置を推定しようとする場合には、誤差が蓄積するという問題があり、地磁気センサーには方向の推定能力は高いが、位置の特定はできないという問題がある。

そこで、画像とセンサーを併用することにより、位置推定能力の向上を達成できるのではと考えられる。

2.2 節の最後で述べた通り、PTAMM にはリカバリという機能がある。本稿では、ここに着眼して、リカバリ処理の改良を行うことで、誤推定が発生したとしても、速やかに修復することができれば問題なく野外でも PTAMM が利用できるのではないかと推測する。現在リカバリ処理は、特徴点マッチング成功率の値がある閾値より小さくなったときに行われるようになっている。今回特徴点マッチングのみを利用してリカバリを行うのでは、誤推定であるという判定に不十分さがあると考えたため、地磁気センサを利用することで別視点からの誤推定を判定することでリカバリを的確に行えるようにした。

地磁気センサとは、端末の向きと北方向の向きの間の角度を観測することができる。ここでは、地磁気センサの値を毎フレームごとに取得し、キーフレームを新規登録する際にその時のセンサ値をキーフレームに保存する。リカバリ動作時には、現在のセンサ値と大幅に離れている値を持つキーフレームを画像マッチング候補から削除することで、マッチング精度を上げるようにした。

6. 検証実験

6.1 姿勢情報を用いた学習処理のステレオ処理におけるキーフレーム選択方法の改良の検証

4 節で提案した手法の検証にあたっては、適切なキーフレームが選ばれたかの評価を行う。適切なキーフレームが選ばれていれば特徴点どうしの対応が付き、特徴点が多数追加されと考え、特徴点の候補個数に対する実際に追加された特徴点の個数の割合を求める。これを、「マッピング率」と呼ぶことにする。

実験の結果、従来は 24 % であったマッピング率を、提案手法を用いることにより 33 % に改善することができた。

6.2 センサを用いた推定処理のリカバリ処理における キーフレーム選択方法の改良の検証

5 節で提案した手法の検証にあたっては、候補の削減が行われているかの評価を行う。

実験の結果、従来は 61 であった候補数を、提案手法により 40 に減少させることができた。

7. おわりに

本研究は、歴史公園やジオパークにおける野外展示に拡張現実感を用いることを前提に、野外でも手軽に使い、安定に動作する拡張現実感システムの構築を目的としている。野外展示では、自然や景観を壊さないことと維持管理の手間や経費が掛からないことが望まれるため、人為的なマーカではなく風景そのものをマーカとして利用する拡張現実感システムである PTAMM を用いる。

しかし、PTAMM を実際に活用してみると、屋外の自然の風景では人工的な風景に比べてカメラ位置・姿勢の誤推定が多いという問題があった。その原因は 3 節で述べたように多岐にわたり、それぞれに対策が考え得る。本稿では、まず、学習処理におけるキーフレーム選択方法の改良について提案した。次に、推定処理におけるセンサを用いたキーフレーム選択方法の改良について提案した。

実験により、前者においては適切なキーフレームが選ばれたかの評価まで示すことができ、後者においては候補の削減が行われているかまで示すことができた。

今後の課題としては、まず、提案手法により位置推定能力がどれくらい改善されたかの評価実験が考えられる。

その際には、地磁気センサだけでなく加速度センサを用いた手法についても評価実験を計画している。

参考文献

- [1] G. Klein and D.W. Murray, Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, Proc International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) 2007, http://www.robots.ox.ac.uk/ActiveVision/Publications/klein_murray_ismar2007/klein_murray_ismar2007.html
- [2] 鴻臚館・福岡城バーチャル時空散歩, <http://www.welcome-fukuoka.or.jp/info/1433.html>
- [3] 橋本 直, ARToolKit 拡張現実感プログラミング入門, アスキー・メディアワークス, 2008
- [4] 谷尻豊寿, 拡張現実感を実現する ARToolkit プログラミングテクニック, カットシステム, . 2008. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [5] Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool "SURF: Speeded Up Robust Features", Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 110, No. 3, pp. 346-359, 2008
- [7] 藤吉 弘亘、安倍 満、"所勾配特徴抽出 -SIFT 以降のア

プローチ-", 精密工学会誌, Vol.77, No.12, pp.1109-1116, 2011

- [8] 前田 佐嘉志、井手 翔大、鶴田 直之、"特徴点抽出戦略の改良による自然環境を対象とした PTAMM の位置推定能力の向上", 信学技報, vol. 113, no. 431, PRMU2013-134, pp. 73-76, 2014

- [9] 鶴田 直之、前田 佐嘉志、"特徴点抽出戦略の改良による自然環境を対象とした PTAMM の位置推定能力の向上", 日本工業出版「画像ラボ」、第 26 巻第 1 号、pp.63-69, 2015