

射影変換を利用した特徴点抽出とカメラキャリブレーションへの応用

長谷川 雄一 † 中野 勝之 ‡ 奥富 正敏 ‡

† 東京工業大学工学部制御システム工学科 ‡ 東京工業大学大学院情報理工学研究科

1 はじめに

カメラキャリブレーションでは、画像座標系とワールド座標系の対応関係を正しく知るために、ワールド座標が既知な特徴点の画像座標系での座標を正確に求め、ワールド座標と正しく対応付けをすることが重要である。

しかし、様々な条件で撮影された画像から正確に特徴点の座標を取り出すことは難しく、また手間のかかる作業となる。

そこで本稿では、白と黒のチェス板状のテクスチャを持つターゲットを撮影した画像から、格子点の位置を高精度にしかも簡便に抽出するための手法を提案する。また、それを用いて抽出した座標値をもとに Tsai[1] の手法でキャリブレーション実験を行い、その結果を示す。

2 手法概要

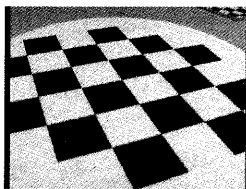


図 1: ターゲット画像

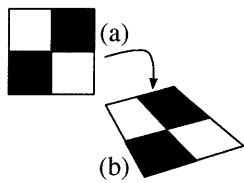


図 2: テンプレートを変形させなくてはならない

図 1 の様なターゲットを撮影した画像から、テンプレートマッチングを用いて格子点の座標を求めようとすると、画像に合わせてテンプレートを変形させなくてはならなくなる。(図 2(b))

そこで射影変換を利用して原画像を真上から見たものに変換することにより、どの角度から撮影した画像でも同じテンプレートでマッチングを行うことができるようになる。

3 高精度な特徴点抽出法手順

3.1 画像の変換と特徴点抽出

まず、原画像から手で 4 点の座標を取り出し、真上から見た画像に変換する射影変換行列を求める。その射影変換行列を使い原画像を射影変換すると図 3 の様

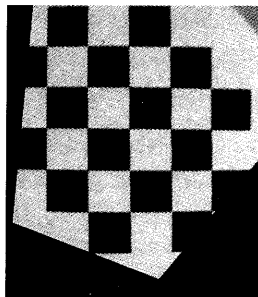


図 3: 射影変換後

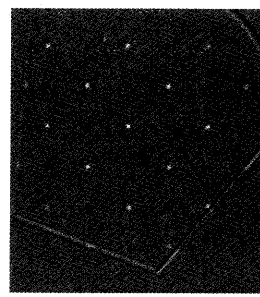


図 4: 相関値を画像にしたもの
(明: 一致, 暗: 逆位相)

になる。このとき、変換後の画像の大きさは任意に指定できるようにしておく。

ここで図 2(a) のようなテンプレートを用意し、画像全体にかけて相関値を計算する。ここでは原画像から直接マッチングを行う時と異なり、テンプレートを変形させることなくマッチングを行える。図 4 にマッチングの結果を示す。明るいところほど図 2(a) との一致度が高く、暗いところほど逆パターンに一致していることを示している。

求まった射影変換後画像上の格子点座標を、先程の射影変換行列の逆行列を使って逆変換することにより、原画像上での格子点の座標が抽出できる。

3.2 サブピクセル推定

以上のようにして求まった座標値は、射影変換された画像の解像度の精度しか持たない。そこで、より高精度に座標を求めるため、放物線補間を行った。また、補間をする際にのる系統的な誤差を軽減し、さらに精度良くサブピクセル推定を行う手法 (高精度サブピクセル補間法)[2] も利用した。

4 キャリブレーション実験

4.1 実験方法

実験は 50mm × 50mm の大きさの格子模様をもつ板を回転台にのせ、回転台の角度を変えて 4 種の構図を各々 10 フレームずつ撮影したものに対して

- ・ピクセル単位で座標抽出
- ・放物線補間してサブピクセル推定

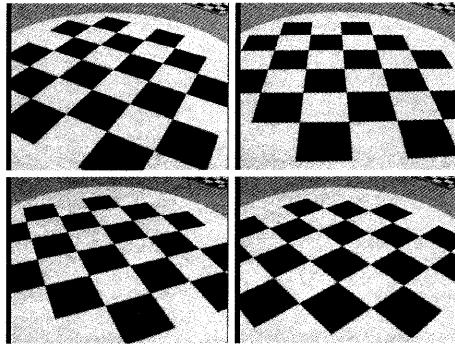


図 5: 実験に用いた画像 4 種

・より高精度なサブピクセル補間法 [2]
の 3 通り行った。(各 40 回 (図 5))

また、同じ画像に対して 3 人の人間が手で格子点の座標を求め、そのデータを使用してキャリブレーションを行ったものを比較対象とした。これは座標を表示できる画像ビューアで原画像を拡大し、格子点の場所を探しその座標値を抽出したものである。

4.2 実験結果とその評価

以上の各方法で求めた格子点の画像座標を使用して Tsai の手法でカメラキャリブレーションを行った際の誤差をみる。但し、ここでいう誤差とは、キャリブレーションによって同定したカメラパラメタを使い、ワールド座標での格子点を画像上に投影した画像座標と抽出した格子点の座標とのずれをいう。

図 6 は、ターゲット画像 40 枚について、3 人の人間が手で座標を抽出したデータと、提案手法のうち高精度サブピクセル補間法により座標を抽出したデータで各々キャリブレーションを行ったときの誤差の平均値をプロットしたものである。人間の手で特徴点の座標を取り出した場合と比べ、誤差平均でが 1/3 程度に減少している。

表 1 は提案手法 3 種類について、真上から見た画像を射影変換して作成するときの解像度を変えてみて、そのときの誤差の平均値を示したものである。射影変換時に大きな画像を作ると、より精度良くマッチングできている。また、同じ大きさの画像で比べてみると、放物線補間をしたもの、高精度サブピクセル補間をしたものがより高精度にマッチングできていると分かる。

倍率	ピクセル単位	放物線補間	高精度サブピクセル補間
×1	0.345	0.156	0.141
×4	0.147	0.135	0.132

単位 [pixel]

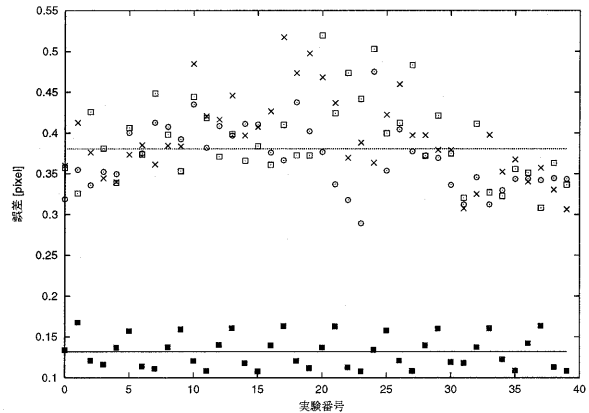


図 6: 誤差の平均値 (○:被験者 A, ×:被験者 B, □:被験者 C, ■:提案手法 (高精度サブピクセル補間法), 点線:ABC の平均値, 実線:提案手法の平均値)

表 1: 提案手法 3 種類の誤差平均値

ここで、座標抽出にかかった時間は、手で格子点の座標を求めると画像 1 枚につき 2~3 分かかったが、本手法を用いると数秒程度で済んだ。

5 おわりに

実験から、画像から格子点の座標をより正確に求めることができるようになりそれによりカメラキャリブレーションの精度を上げることに成功したことを確認できた。

これは、人間の手ではたかだかピクセル単位の精度でしか座標を特定できないが、提案手法を使うとより高精度にサブピクセル単位で座標抽出が行えたからだと考える。

人の手で 1 点 1 点座標を抽出するのに比べて時間、労力ともに大幅な軽減が実現できたので、ターゲット画像を多数用意しすべてについて処理することで、より信頼のおけるパラメタを得ることができるようになる。

謝辞 高精度サブピクセル補間法のプログラミングに関してアドバイスを頂いた東工大大学院情報理工学研究科の清水雅夫氏に感謝致します。また実験に協力して頂いた東工大制御システム工学科の原、林両氏にも感謝致します。

参考文献

- [1] Roger Y. Tsai. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3d machine vision metrology using off-the-shelf tv camera and lens. *J-RA*, Vol. 3, pp. 323-344, 1987.
- [2] 清水雅夫, 奥富正敏. サブピクセルマッチングの誤差解析とその高精度化. 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, 2001.