

# 複数カメラ俯瞰映像合成システムにおけるカメラ再校正手法の評価 An Evaluation on Camera Recalibration Methods for a Top-View Surveillance System based on Multiple Cameras

岡原 浩平<sup>†</sup>  
Kohei Okahara

皆川 純<sup>†</sup>  
Jun Minagawa

山崎 賢人<sup>†</sup>  
Kento Yamazaki

深澤 司<sup>†</sup>  
Tsukasa Fukasawa

## 1. はじめに

安心・安全に対する関心の高まりやAIによる画像認識技術の発展とともに、公共エリアへの監視カメラ設置台数が増加している。カメラ台数の増加に伴い、映像監視業務の負荷は高まっており、監視業務の効率化は大きな課題となっている。そこで我々は監視業務の効率化を目的として、監視対象エリアの状況を一瞥に把握可能な、俯瞰映像合成システム Fairyview<sup>®</sup>を開発した[1]。

俯瞰映像合成システムは、カメラ設置時に算出した外部パラメータを用いて各カメラの画像を仮想面に投影することで合成画像を生成するため、カメラの自重や地震、台風等によってカメラの位置姿勢が変化した場合は、俯瞰合成画像にずれが生じる(図 1)。このずれを補正するためには、外部パラメータの校正作業が必要となるが、現状の校正作業は監視対象領域内の地面にマーカを複数設置して実施するため、人手と時間を要する。これに対し、我々はマーカ等の既知点の設置を不要とするカメラ再校正手法を提案してきた[2-4]。これまでの研究では、ずれが発生したいくつかの事例に対する提案手法の有効性を確認してきたが、手法の安定性や校正精度に対する評価としては不十分であった。本稿では、俯瞰映像合成システムを構成するカメラ 1 台を様々な位置姿勢に変化させることで、これまでに提案したカメラ再校正手法の性能を評価し、この評価結果および結果に対する考察について述べる。

## 2. カメラ再校正手法

文献[2]では、位置姿勢が変化する前のカメラ画像を参照画像として記録しておき、カメラの位置姿勢が変化した後の撮影画像と参照画像の画像特徴の対応から相対的な位置姿勢を算出し、これをカメラ設置時に算出した位置姿勢に加えることで、現在の外部パラメータを推定する手法を提案した。相対的な位置姿勢は、画像間の特徴点マッチング結果に 5 点法を適用することで算出しており、本稿では、この 5 点法による再校正手法を手法 1 と呼ぶこととする。

しかし、5 点法による位置姿勢推定は特徴点のマッチング結果に誤対応が含まれる場合、誤差を含んだ推定となるため、俯瞰合成画像にずれが残る。そこで、手法 1 で算出した外部パラメータを初期解とし、校正対象であるカメラの画像と校正済みの隣接カメラの画像を仮想面に投影(俯瞰変換)した際の共通領域の画像類似度が最大となるように、外部パラメータを最適化する手法を文献[3]にて提案した。画像類似度の指標には、式 1 に示す ECC (Enhanced Correlation Coefficient) を使用している。ECC は -1 から 1 の範囲の実数となり、1 に近づくほど類似度が高い。 $i_1$  と  $i_2$  はそれぞれ比較する画像(グレースケール画像)を 1 次

<sup>†</sup>三菱電機(株) 情報技術総合研究所



図 1 カメラ位置姿勢変化によるずれ発生時の俯瞰合成画像

$$ECC(i_1, i_2) = \frac{\bar{i}_1 \bar{i}_2}{\|i_1\| \|i_2\|} \quad (1)$$

元ベクトルとして表したもので、 $\bar{i}$  は画像  $i$  のゼロ平均画像を表す。また、 $\|i\|$  は  $i$  の L2 ノルムを表す。最適化の評価関数  $E_1$  は、補正対象カメラ  $t$  の画像  $i_t$  と隣接する校正済みカメラ  $k$  の画像  $i_k$  をそれぞれの外部パラメータ  $p_t$  と  $p_k$  を用いて俯瞰変換した画像  $Top(i_t, p_t)$  と  $Top(i_k, p_k)$  の共通領域における画像類似度を隣接する  $N$  台のカメラに対して算出し、総和を取ったものである(式 2)。本稿では、式 2 を評価関数とする外部パラメータの再校正手法を手法 2 と呼ぶこととする。手法 2 は、俯瞰合成画像における隣接カメラ画像の連続性を考慮した手法となっている。

$$E_1 = \sum_{k \in N} Sim_{ECC}(Top(i_t, p_t), Top(i_k, p_k)) \quad (2)$$

ただし、手法 2 は隣接カメラ間の共通領域のテクスチャに大きな特徴が無い場合、マーカを用いた校正作業で推定した外部パラメータにおいても  $E_1$  の値が最大とならない可能性がある。これに対し、文献[4]では校正対象カメラの参照画像  $i_t$  を位置姿勢変化前の外部パラメータ  $p_{org}$  を用いて俯瞰変換した画像  $Top(i_t, p_{org})$  と  $Top(i_t, p_t)$  の共通領域における画像類似度を評価関数に加える手法を提案した。式 3 に追加した評価値を  $E_2$  とし、 $E_1$  と  $E_2$  の重み付き平均和で表す評価関数を用いた外部パラメータの再校正手法を手法 3 と呼ぶこととする。手法 3 は俯瞰合成画像における隣接カメラ画像の連続性に加えて、位置姿勢変化が発生する前の俯瞰合成画像との整合性も考慮した手法となっている。

$$E_2 = Sim_{ECC}(Top(i_t, p_t), Top(i_t, p_{org})) \quad (3)$$

## 3. 評価手法

本稿では、俯瞰映像合成システムを構成する固定カメラのうち 1 台を PTZ カメラで置き換え、カメラの位置姿勢変化を模擬した。これらの画像に対して 2 章に記載の再校正手法適用することで、再校正手法の安定性と校正精度を評価する。評価用環境を図 2 に示す。本環境は図 1 に示した俯瞰合成画像を作成する環境に、PTZ カメラを 1 台追加したものである。本評価では、PTZ カメラを CAM2 の代替とする。PTZ カメラは CAM2 と同等の領域を撮影可能な高さ

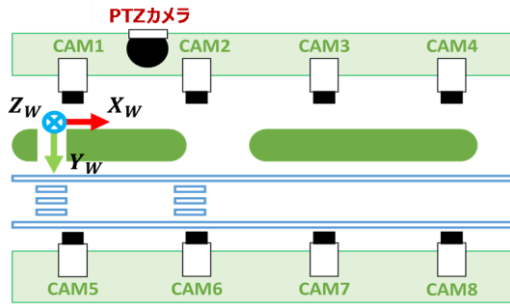


図 2 評価用環境

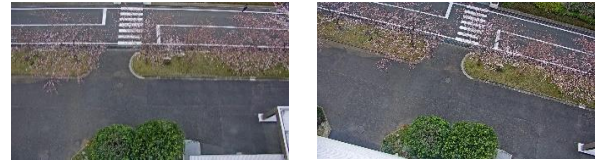
に設置した。PTZカメラのPan/Tiltの角度[deg]は、小数第2位の精度で制御できる。評価手順を以下に示す。

まず、PTZカメラの撮影範囲がCAM2と同等となるようにPan/Tiltの値を設定する。この姿勢を基準姿勢と呼び、このときのPTZカメラとCAM1~8の撮影画像を参照画像として記録しておく(図3a)。また、世界座標系における座標値が既知のマークを図2の領域内に複数設置し、CAM1~8と基準姿勢におけるPTZカメラの外部パラメータを算出する。ここまでの手順により、基準姿勢でのPTZカメラとCAM2を除く固定カメラを用いた俯瞰合成画像が生成できる。次に、PTZカメラのPan/Tiltの値を基準姿勢からの相対値を指定して変更し、変更後の姿勢において画像を撮影する。画像はマーク設置前と設置後の2通りを取得する。マーク設置前の画像はカメラ再校正手法への入力として、設置後の画像は位置姿勢変更後の外部パラメータ算出用として使用する。本評価では、Pan/Tiltはいずれかの値のみ変更し、1[deg]刻みでPanの値は[-15, 15]、Tiltの値は[-1, 15]、計45個の値を用いた(0[deg]は基準姿勢のため除外)。図3bにPanの値を-15[deg]に設定した際のカメラ撮影画像例を示す。

最後に、取得した45枚のカメラの位置姿勢変化を模擬したPTZカメラの撮影画像(マークなし)にカメラ再校正手法を適用し、校正精度を評価する。本評価では、2章に記載の3種類の再校正手法を使用した。なお、再校正時の隣接カメラにはCAM1とCAM3とCAM6を指定し、手法3の $E_1$ と $E_2$ の重みはそれぞれ0.5に設定した。カメラの校正精度は、再校正手法により推定した外部パラメータ $p_r$ を用いて、撮影画像 $i_c$ を俯瞰変換した画像 $Top(i_c, p_r)$ とマークを用いた再校正作業によって算出した外部パラメータ $p_m$ で撮影画像を俯瞰変換した画像 $Top(i_c, p_m)$ の画像類似度で評価する。再校正手法を適用しない場合はマークを用いて校正作業を行うことから、マークを用いた校正によって生成される俯瞰画像に最も近い俯瞰画像を生成できる再校正手法を精度の高い手法とみなす。画像類似度の評価指標には、式1のECCを使用した。また、カメラの校正精度に加えて、再校正手法の成功率についても評価を行った。

#### 4. 評価結果と考察

手法1で推定した外部パラメータを用いて $E_2$ を算出し、値が0.4以上となるものを成功とした。本評価では45枚の画像に対して試行し、うち26枚が成功となったため、カメラ再校正手法の成功率は57%であった。再校正手法の成功率は60%を下回っており、提案手法を用いて安定して再校正できるとは言い難い。5点法ではRANSACによるロバスト推定を行っているが、失敗したケースでは特徴点マッチ



(a) 基準姿勢 (b) Pan=-15[deg]  
図 3 PTZカメラによる位置姿勢変化の模擬画像

表 1 カメラ校正精度

	手法 1	手法 2	手法 3
Tilt	0.707	0.644	0.787
Pan	0.656	0.547	0.764
全体	0.670	0.573	0.770

ング結果に多くの誤対応が含まれており、精度よく推定できなかったものと思われる。

次に、手法1が成功した場合のカメラ校正精度の評価結果を表1に示す。Tilt方向の結果は再校正に成功した8枚の画像の画像類似度の平均値、Pan方向は21枚の画像の平均値を示している。手法2による推定結果を用いた俯瞰画像は手法1と比較して、俯瞰画像の類似度が低下している。今回の評価用画像は、CAM1やCAM3とPTZカメラの共通領域に画像特徴が少なかったため、2章に記載した理由から評価関数 $E_1$ が上手く機能せず、誤差を含んだ外部パラメータに収束したものと考えられる。一方、手法3の推定結果を用いて生成した俯瞰画像は、画像類似度が最も高くなっている。このことから、手法3は隣接カメラとの共通領域に大きな特徴が無い場合であっても上手く機能でき、かつ手法1の位置姿勢の推定誤差を軽減できることが分かる。

#### 5. まとめ

本稿では、俯瞰映像合成システムを構成する1台のカメラに位置姿勢変化が発生した状況をPTZカメラにより模擬し、カメラ再校正手法の性能を評価した結果について記載した。隣接カメラの共通領域における画像類似度と位置姿勢変化発生前の俯瞰画像との画像類似度を評価値として外部パラメータを最適化することで、マークを用いた再校正結果に最も近い俯瞰画像を生成できることが分かった。今後は再校正手法の安定性を向上するための手法について検討する。

#### 参考文献

- [1] K. Okahara, T. Fukasawa, I. Furuki, and H. Abe: Efficient Implementation of Top-View Surveillance System Using Multiple Cameras, Proc. 5th IEEE Int'l Workshop on Image Electronics and Visual Computing, 2017.
- [2] 岡原, 深澤, 古木: 俯瞰合成映像におけるカメラ位置ずれ補正手法の検討, FIT2018 第17回情報科学技術フォーラム講演論文集, 第3分冊, pp. 113-114, 2018.
- [3] 皆川, 岡原, 山崎, 深澤: カメラ位置姿勢変化に伴う俯瞰合成映像の位置ずれ補正手法の提案, 情報処理学会第81回全国大会論文集, 2018.
- [4] J. Minagawa, K. Okahara, K. Yamazaki, and T. Fukasawa: A Camera Recalibration Method for a Top-view Surveillance System Based on Relative Camera Pose and Structural Similarity, Proc IEEE AVSS 2019.