

複数カメラ俯瞰映像合成システムと PTZ カメラの連携方式に関する一検討 A Study on a Cooperation Method of a Top-View Surveillance System based on Multiple Cameras and a PTZ Camera

岡原 浩平[†]
Kohei Okahara

○ 深澤 司[†]
Tsukasa Fukasawa

皆川 純[†]
Jun Minagawa

山崎 賢人[†]
Kento Yamazaki

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[®]を開発した[1]。

しかし、俯瞰映像合成システムは広域エリアを一枚画として表示することから、エリア全体の状況把握に特化しており、映像から被写体の詳細な情報を把握するのは難しい。そこで我々は俯瞰映像合成システムに PTZ カメラを連携させることを検討した。PTZ カメラは固定監視カメラと比較して、視線を移動できるため広域を撮影でき、さらにズーム機能により被写体を捕捉できるため、詳細な情報を取得できる。ただし、PTZ カメラはジョイスティックや Web UI を用いて、カメラを制御する必要があるため、俯瞰映像合成中の被写体に PTZ カメラを適切に指向させるには、各カメラの監視領域に対する十分な知識が必要となる。こうした背景から、より直観的な操作性を目指し俯瞰映像合成と連携する手法を検討した。本稿では、一検討として、PTZ カメラを手動で制御することなく、俯瞰映像合成内で指定した被写体に PTZ カメラを指向する手法について述べる。

2. 俯瞰映像合成システム

俯瞰映像合成システムの構成例を図 1 に示す。映像合成サーバには 2 台以上の監視カメラが接続され、複数の監視カメラの入力映像から俯瞰映像合成を生成する。生成された俯瞰映像は、モニター又はネットワーク上のモバイル端末に表示される。俯瞰映像合成の表示例を図 2 に示す。図 2 はカメラ 8 台を使用した場合の映像合成例である。各カメラの設置高さは約 12 [m] であり、横 80 [m] × 縦 18 [m] 程度の監視対象エリアの俯瞰映像合成となっている。

図 2 の俯瞰映像合成画像は、監視対象領域内の世界座標系と各カメラの座標系を位置合わせすることにより生成する。各カメラの外部パラメータ R_{CAMi} , t_{CAMi} は路面に設置した世界座標系の座標値が既知のマークとカメラ画像座標系の

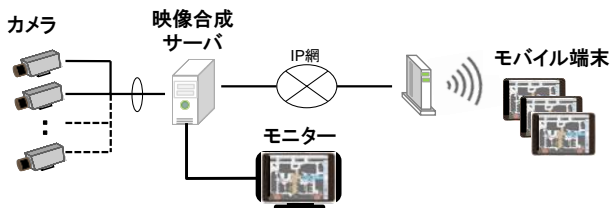


図 1 俯瞰映像合成システム構成図

[†] 三菱電機(株) 情報技術総合研究所



図 2 俯瞰映像合成の表示例

座標値との対応関係から計算可能である。なお、カメラの内部パラメータは事前に校正済みであるとする。

3. PTZ カメラ制御方式

本章では、俯瞰映像合成上で指定した画像座標値（以下、指向目標値と称する）を基に、PTZ カメラの Pan/Tilt の制御値を算出することで俯瞰映像合成上の指向目標点を PTZ カメラの画像の中心で捕捉する制御手法について述べる。

簡単のため、PTZ カメラのモータ座標系とカメラ座標系の原点および軸は一致すると仮定する（モータ座標系の Roll 軸とカメラ座標系の Z 軸、モータ座標系の Tilt 軸とカメラ座標系の X 軸が一致する）。回転の順序は Pan, Tilt の順に行うものとする。また、PTZ カメラの内部パラメータは事前に校正済みとする。

まず、世界座標系での PTZ カメラの位置姿勢を求める。このときの姿勢を基準姿勢(org)と定義する。PTZ カメラの外部パラメータ R_{PTZ} , t_{PTZ} は俯瞰映像合成を構成する各カメラの外部パラメータと同様の手法で算出するため、基準姿勢はマークを画像内で複数捕捉可能な姿勢になるように Pan/Tilt の値を決定する。同時に、基準姿勢における PTZ カメラの Pan/Tilt のセンサ値 θ_{org} , φ_{org} [rad] を取得しておく。

指向目標値 $[u_{win}, v_{win}]$ は世界座標系における任意の平面と対応すると仮定した場合、世界座標系における指向目標値の対応点 $[X_W, Y_W, Z_W]$ は回転と並行移動とスケール変換を含む 2 次元のアフィン変換行列 A_{win} を使用して、式(1)により計算される（世界座標系における任意の平面は $Z = Z_W$ とする）。

$$\begin{bmatrix} X_W \\ Y_W \\ 1 \end{bmatrix} = A_{win} \begin{bmatrix} u_{win} \\ v_{win} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)より計算した座標値 $[X_W, Y_W, Z_W]$ は、式(2)の座標変換により、モータ座標系における座標値 $[X_M, Y_M, Z_M]$ に変換できる。

$$\begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{bmatrix} = R_{Pan}(\theta_{org}) R_{Tilt}(\varphi_{org}) \left(R_{PTZ} \begin{bmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \end{bmatrix} + t_{PTZ} \right) \quad (2)$$

モータ座標系から目標点への方向ベクトル e_M は式(3)で表すことができ、カメラ座標系の画像中心方向への単位ベ

クトル e_C が e_M に一致するようなPan/Tiltの制御値 θ と φ [rad]を算出すればよい。ここで、 $\text{norm}(\cdot)$ は単位ベクトルを算出する処理を表す。

$$e_M = \text{norm}([X_M, Y_M, Z_M]^T) \quad (3)$$

最終的に式(4)を解くことで、Pan/Tiltの制御値である θ と φ が求まる(式(5)および式(6)参照)。

$$e_M = R_{-\theta}^T R_{-\varphi}^T e_C \quad (4)$$

$$\varphi = \text{asin}\left(-\frac{e_{MY}}{\sqrt{e_{CY}^2 + e_{CZ}^2}}\right) - \text{atan}\left(-\frac{e_{CY}}{e_{CZ}}\right) \quad (5)$$

$$\theta = \text{asin}\left(-\frac{e_{CX}}{\sqrt{e_{MX}^2 + e_{MZ}^2}}\right) - \text{atan}\left(-\frac{e_{MX}}{e_{MZ}}\right) \quad (6)$$

4. プロトタイプの実装と評価

3章で述べたPTZカメラ制御方式を実装し、実環境で評価した。図3に評価用環境を示す。本環境は図2に示した俯瞰合成映像を作成した環境に、PTZカメラを1台追加したものである。PTZカメラはAXIS社製のQ6155-Eを使用し[2]、高さ約24mの外壁に設置した。Q6155-Eの稼働範囲はPan方向が0~360[deg]、Tilt方向が-90~20[deg]となっており、Pan/Tiltは小数点2桁の精度で制御可能かつ任意の姿勢でのPan/Tiltのセンサ値も同精度で取得可能である。基準姿勢時のPTZカメラの撮影画像を図4に示す。図4に捕捉されているマーカの画像座標と世界座標を使用し、基準姿勢におけるPTZカメラの外部パラメータを算出した。なお、PTZカメラの内部パラメータは校正用ボードを用いて事前に校正した。基準姿勢におけるPan/Tiltのセンサ値はそれぞれ71.77[deg]、-65.17[deg]であった。

本評価では、指向目標値における画像座標系から世界座標系への変換における誤差は無視できるものとし、世界座標系における指向目標の座標値が設定された場合に3章で述べたPTZカメラの制御処理が正しく動作するかを確認する。まず、Pan/Tiltの制御値の正解値として、PTZカメラの撮影画像が指向目標を画像中心で捕捉するように手でPan/Tiltを制御したときに示すセンサ値を取得しておく。次に、指向目標点の世界座標値を入力した場合の制御値を取得し、正解値と比較する。世界座標の原点を[0,0,0]を

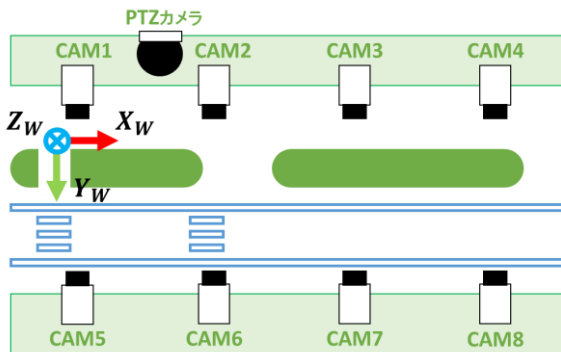


図3 評価用環境

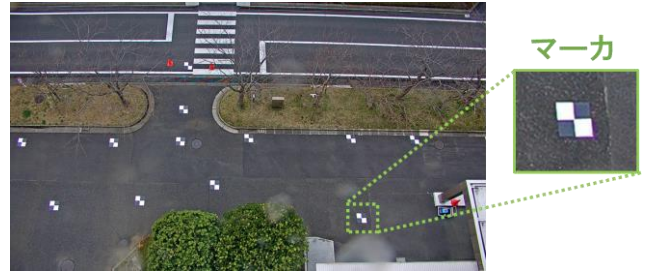


図4 PTZカメラの基準姿勢における撮影画像

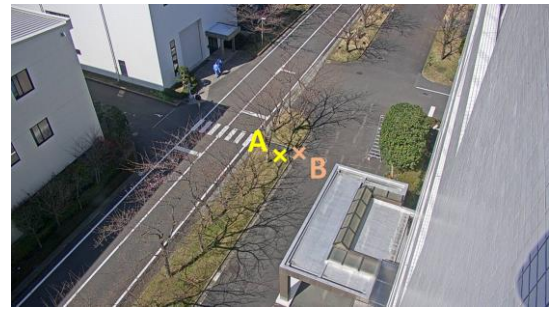


図5 PTZカメラ制御方式による指向結果画像

表1 PTZカメラの制御値

	Pan [deg]	Tilt [deg]
正解値	141.35	-39.39
制御値	137.90	-39.45
正解値との差分値	-3.45	-0.06

指向目標として入力した場合の正解値と制御値を表1に示す。また、PTZカメラの制御方式による指向結果を図4に示す。図4の点Bが指向目標点(世界座標の原点)であり、点AがPTZカメラ画像の中心位置である。図4より、PTZカメラの指向方向は大きく異なってはいないが、指向目標をカメラ画像の中心で捕捉できていないことが分かる。実際、表1の結果より、Pan方向、Tilt方向それぞれ制御値と正解値に差があることが分かる。これは、一致すると仮定したPTZカメラのモータ座標系とカメラ座標系の原点と軸が、実際は多少のずれを含むことによるものと考えられ、精度よく画像の中心で指向目標を捕捉するためには、これらの座標系間の校正も必要となる。

5. まとめ

本稿では、俯瞰映像合成システムとPTZカメラを連携するためのPTZカメラの制御方式について検討、評価した結果を記載した。今後はPTZカメラの目標指向精度を高めるための、PTZカメラの校正方式について検討する。

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] AXIS Q6155-E PTZ Network Camera <https://www.axis.com/ja-jp/products/axis-q6155-e>