

複数の魚眼カメラを用いた自由視点型俯瞰画像合成システムの開発 Development of Free-viewpoint Image Composite System using Multiple Fisheye Cameras

鬼頭 優¹⁾ 近藤 真史²⁾ 山内 仁¹⁾
Yutaka KITO Masafumi KONDO Hitoshi YAMAUCHI
佐藤 洋一郎¹⁾ 河本 崇幸³⁾ 石原 洋之³⁾
Yoichiro SATO Takayuki KOMOTO Hiroyuki ISHIHARA

1 まえがき

多くの製造用機械が稼働する工場では、場内の作業員の安全確保が求められる。そのため、この種の工場に配置されている監視カメラは、単に防犯上の問題だけでなく、作業員の安全性を確認する意図を持っている [1]。さらに近年では、場内カメラで作業員の動線を解析することで、より安全かつ効率的な人員配置の検討も進められているが、複数のカメラ間を行き交う人物の特定・追跡に係る処理の複雑化、カメラ配置に依存する死角の不可避などの課題が残されている [2]。この問題に対して筆者らは、天井に格子配置された複数の組み込みカメラを用いてフロア全体の俯瞰画像を高速に合成することにより、人物の特定・追跡に有効なシステムを開発している [3]。しかし、このシステムではカメラが直下のみを撮影しているため、作業員の顔など人物特定に必要な情報を得ることが困難である。そこで本研究では、カメラのレンズを魚眼に置き換えることにより、俯瞰画像上における任意の位置・角度における画像、いわゆる自由視点画像を併せて生成・表示可能なシステムを提案する。

2 自由視点型俯瞰画像合成システム

提案するシステムは、監視フロアの撮像を担うネットワークカメラをクライアント、各種画像の合成を担う汎用 PC をサーバとするクライアントサーバモデルとして実現し、その具体的な構成を図 1 に示す。クライアントには、魚眼拡張レンズ (VR220) を搭載した Raspberry Pi3 を使用し、撮像した魚眼画像から任意の視点方向に対応する画像を抽出 (一般的にクリッピングという) した後、ルータを介した無線通信によりサーバへ画像を転送する。サーバは、有線通信によりルータとの帯域を十分に確保した上で、各クライアントからのクリッピング画像をマルチスレッド処理で非同期的に受け取り、それらを基に俯瞰画像および自由視点画像を生成・表示する。

魚眼画像からクリッピング画像を抽出するには、視点に対応した回転行列の演算が必要となる [4]。本研究ではクライアントでの行列演算のコストを軽減するため、半径 1 の単位半球上で視野をモデル化して考える。まず、視点を半球の原点 O 、投影面の中心を $(0, 0, -z)$ にそれぞれ置くと、原点 O から見た投影面の任意の点 $P(x, y)$ に対する視線ベクトルは $\mathbf{d} = (x, y, -z)^T$ と表せる。次に、半球上の任意の視点について、 x 軸および y 軸それぞれに対する回転角度を α および β とすると、半球上における $\mathbf{d}$ を表す視線ベクトルは $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)^T = \mathbf{R}\mathbf{d}$ となる。ここで、 $\mathbf{R}$ は x 軸と y 軸に対する回転行列であり、

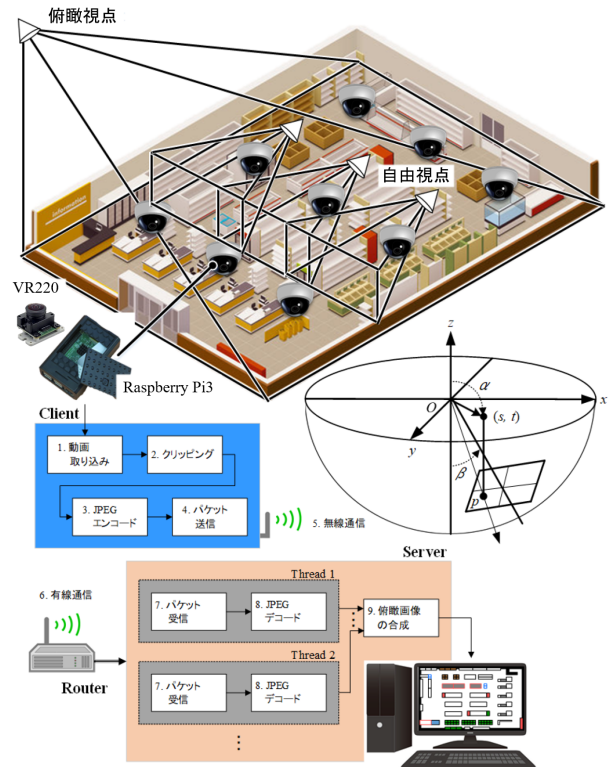


図 1 自由視点型俯瞰画像合成システムの構成

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \sin \beta \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ -\sin \beta & \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}$$

として与えられる。このとき、 $\mathbf{v}$ が z 軸となす角度 θ は、

$$\theta = \cos^{-1} \frac{-v_z}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}}$$

となり、半球上に回転移動した投影面の点 $P'(v_x, v_y)$ に対応する単位円上の座標 (s, t) は、魚眼カメラの画角を θ_m とすると次式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} s \\ t \end{pmatrix} = \frac{2\theta}{\theta_m} \cdot \frac{1}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix}$$

上式に基づいて (s, t) を導出後、各座標を魚眼画像のサイズでスケールすることにより、魚眼画像から任意の視点に対する投影面をクリッピングできる。なお、スケールの際に画素値の内挿処理を伴う点に注意する。

- 1) 岡山県立大学, Okayama Prefectural Univ.
- 2) 川崎医療福祉大学, Kawasaki Univ. of Medical Welfare
- 3) (株) システムズナカシマ, Systems Nakashima Co., Ltd.

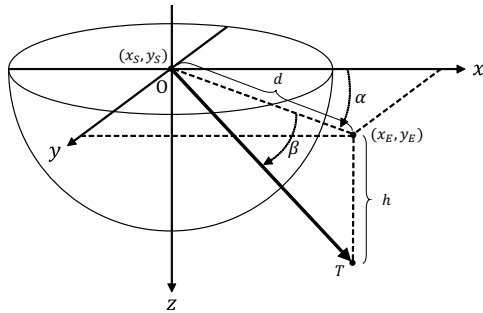


図2 自由視点の俯角と回転角

3 俯瞰画像と自由視点画像の生成

フロア全体の俯瞰画像は、各クライアントにおける直下視点のクリッピング画像を合成することで実現できる。ここで、本システムのように各クライアントを格子状に配置するという前提であれば、隣接する全てのクリッピング画像において重複領域を形成できるため、画像処理ライブラリ OpenCV のパノラマ合成クラス Stitcher を利用した合成が可能となる。しかし、多数の直下画像の合成は演算負荷が高く、十分なフレームレートを得ることが困難となる。そこで本システムでは、Stitcher クラスの中から幾何変換関数 Warper、露出補正関数 Compensator および合成関数 Blender をそれぞれ抽出した上で、それを汎用グラフィックボード (GPU) 演算基盤 CUDA のソースに書き下し、GPU を用いた並列演算として高速な俯瞰画像の合成を実現する。また、直下画像の生成に係る視線情報は固定であるため、クリッピングに用いる回転行列を予め参照テーブルとして保持することで、クリッピングに係る演算負荷の軽減を図る。

自由視点画像は、俯瞰画像に対するユーザ操作により視点と注目点を指定し、それに基づいてクリッピングを施すことで生成する。図2に示すように、俯瞰画像を x - y 平面に置いた場合の視点座標を $O(x_s, y_s, 0)$ 、注目点座標を $T(x_E, y_E, h)$ とすると、自由視点の回転角は、

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{x_E - x_s}{y_E - y_s}$$

として得られる。なお、本システムでは視点をクライアント位置に限定するため、視点座標は最も近いクライアント座標に補正する点に注意する。ここで、 x - y 平面における視点から注目点間の距離は、

$$d = \sqrt{(x_E - x_s)^2 + (y_E - y_s)^2}$$

であり、天井の高さを h とすると、自由視点の俯角は、

$$\beta = \tan^{-1}(h/d)$$

となる。これら α と β から2.に基づいて回転行列を生成し、クリッピングを施すことで自由視点画像を得る。

4 実装と評価

本システムは豊富な GUI を備えた Microsoft .Net Framework(以下、単に.Net という)による開発を前提とし、CUDA、OpenCV および.Net の各開発環境を横断的に記述可能な C++/CLI で開発を行った。特に、これら各環境間の異なるデータ型でのやりとりには、C++/CLI で変換ラッパーを構築することにより、CUDA ⇔ OpenCV ⇔ .Net 間のマルチプラットフォームを実現している。



図3 俯瞰画像(上)と自由視点画像(下)の合成結果

本システムを用いて俯瞰画像と自由視点画像の合成に係る動作を確認した。クライアントの撮影性能は画角:220°, 解像度 :1920×1080, フレームレート (fps):30 であり、サーバの実行環境は CPU:Core i7 6600, RAM:16GB, GPU:GeForce 1060 6GB である。9 台のクライアントを用いて俯瞰画像の合成と自由視点画像の生成を行った結果の一例を図3に示す。俯瞰画像上に表示されている青色ピンはクライアントの位置を表し、自由視点画像は矢印で示した視点と注目点を基に生成している。また、各ピンを選択することで各クライアントに予め設定された視点での画像を表示できる。図3より、任意の視点について適切に画像を抽出・合成できていることを確認できる。また、俯瞰画像の合成に係る fps は CPU:9.7, GPU:12.6 であり、GPU を併用することにより監視システムとして十分な fps を維持できることが示唆された。

5 あとがき

本研究では、複数の魚眼カメラを用いて、俯瞰画像と自由視点画像を同時に提示可能なシステムの開発を行った。今後は人物や物体の追跡・解析技術を実装し、更なる高機能化を図る予定である。

謝辞 本研究の一部は、岡山県「平成 30-31 年度次世代産業研究開発プロジェクト創成事業費補助金」の支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] 青嶋 稔, “工場内市場の事業開発シナリオ,” 知的資産創造, No.6, pp.30-35 (June 2017)
- [2] 季沢 亜土里, 他, “複数の監視カメラからの画像を用いた工場内での人の動き分析に関する研究,” 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, pp.431-432 (Mar. 2012)
- [3] 田所 勇生, 近藤 真史, 他, “複数の組み込みプロセッサと GPU を併用した俯瞰画像合成システムの開発,” 第 17 回情報科学技術フォーラム, pp.119-120 (Sept. 2018)
- [4] 床井 浩平, “全方位画像から VR 的ビューを表示する仕組み,” Interface, Vol.44, No.7, pp.38-44 (July 2018)