

複数の魚眼カメラを用いた自由視点型俯瞰画像の合成と  
それに基づいた人追跡手法の検討

Composition of Free-view-type Bird's-eye View Images using Multiple Fish-eye Cameras  
and Its Application to Human Tracking Method

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

### 1 まえがき

監視カメラが持つ課題として、例えば商業施設においては、陳列棚などにより死角の排除が困難という防犯上の問題がある。また、多くの製造用機械が稼働する工場においては、場内カメラでの作業員の動線追跡による安全確保が求められている [1]。これまで筆者らは、前者の死角問題について、天井に格子配置された複数の魚眼カメラを用いてフロア全体の俯瞰画像を合成し、さらに任意の視点から見た自由視点画像を生成可能なシステムを開発している [2]。これに続く本研究では、後者の作業員に対する安全確保の観点から、工場などのより広範囲な監視フロアへの応用を前提として、俯瞰画像と自由視点画像を併用した人の動線追跡システムを提案する。

### 2 俯瞰画像合成システム

現在試作されている俯瞰画像合成システムは、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されており、その構成を図 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。

俯瞰画像の合成には、画像処理ライブラリ OpenCV の Stitcher 関数を利用しており、画像間の特徴点を基にオーバーラップ領域を算出して合成を行う。その合成精度は、各カメラを天井に設置する際のズレや傾きに強く依存し、物理的にこれを完全に抑制することは困難である。そこで筆者らは、撮像された画像に基づいて、各カメラの姿勢と相対的な位置関係を算出・補正する手法を提案している [3]。一般的にこの種のカメラの外部パラメータは、既知の三次元空間上の点と、カメラ画像上の点との対応関係を利用した PnP(Perspective-n-Point) 問題を解くことで得られる。文献 [3] では、全てのカメラに写りこむようにフロアの床に一枚のチェッカーボードを設置し、これを三次元空間上の共通かつ基準となる点と定めて PnP 問題を解くことにより、各カメラの外部パラメータを算出している。そして、補正後の魚眼画像から直下視点画像を抽出し、より高精度な俯瞰画像の合成を実現している。

- 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.

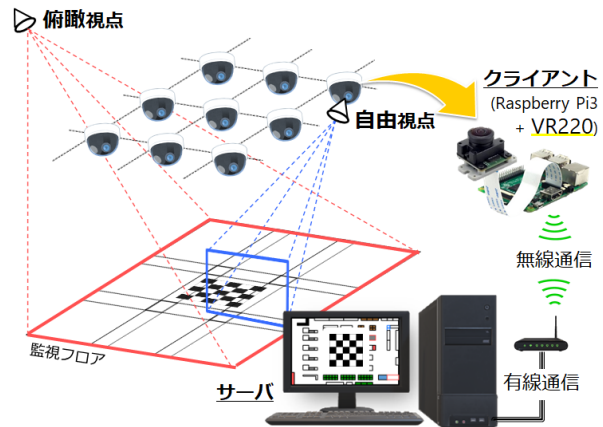


図 1 俯瞰画像合成システム

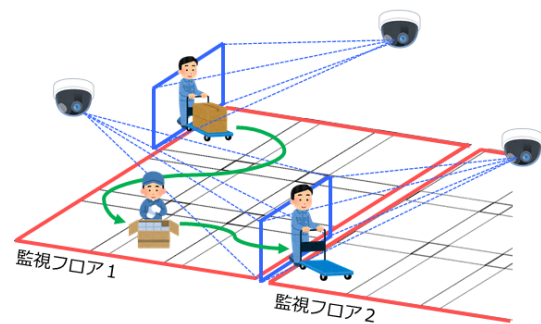


図 2 広範囲な監視フロアへの応用

### 3 広範囲な監視フロアへのシステムの応用

#### 3.1 システム概要

既存の俯瞰画像合成システムでは、画像合成を担うサーバの負荷が高く、9台のカメラを用いた模擬実験でも依然として合成速度の面で課題を抱えている [2]。そのため、工場など監視フロアがより広範囲かつ多数のカメラが必要とされる環境に対して俯瞰画像合成システムを応用するには、サーバの負荷分散が必要となる。

そこで本研究では、数台のカメラ (本稿では9台を前提とする) で構成される俯瞰画像合成システムの一つのモジュールとして、各モジュールで監視フロアを分散的に合成・動線追跡する方針を採る。提案する動線追跡システムの概要を図 2 に示す。各モジュールは (1) 監視フロアへの人の入退場を検出した後、(2) 俯瞰画像上で動線を追跡する。特に入退場情報を隣接するモジュールと共有することにより、複数のモジュールに亘って同一人物として管理し、監視フロア全体での動線追跡を実現する。以降、機能 (1) および (2) の実装について述べる。

### 3.2 監視フロアへの入退場の検出

俯瞰画像合成システムでは魚眼カメラを用いているため、俯瞰画像の合成に利用する直下画像だけでなく、監視フロアの任意の位置に設定された入退場口の自由視点画像を生成することができる。入退場口の視点画像から人を検出し、それが入退場のいずれの動作か判定するため、本研究では機械学習による骨格抽出ライブラリ OpenPose を利用する。OpenPose では、画像内から人の骨格および顔の特徴点を抽出可能であり、特徴点の抽出に成功するとその座標も取得できる。したがって、抽出された座標を常に監視し、全身の座標が取得できたタイミングで人の入退場を検出できる。さらに、顔の特徴量に係る座標が取得できた場合はカメラの正面、すなわち入場と判定し、それ以外の場合は退場とみなす。

### 3.3 俯瞰画像からの人の動線追跡

工場の高い天井から見た俯瞰画像では、人は小さく頭頂部のみが写るため、それを人として認識しての追跡は容易ではない。そのため本研究では、工場の床は外光の影響や物理的な変化も少ない点に着目し、画像処理における基本的な移動物体検出手法の一つである背景差分法に基づいて人の動線追跡を行う方針を採る。動線追跡に係る具体的な手順は以下の通りである。

**手順 1. 移動物体の検出:** OpenCV では種々の背景差分法が実装されているが、照明変化などの動的なシーンに対する適応性に優れる BackgroundSubtractorMOG2 関数を用いて移動物体を検出する。

**手順 2. ノイズ除去:** 手順 1 で得られた画像には、移動物体だけでなく光源に起因してその周辺または散発的にノイズが含まれる。そこで、モルフォロジー演算の一種であるオープニング処理を適用することにより、画像内のノイズを収縮・除去を行い、移動物体のみを抽出する。

**手順 3. 移動物体の座標算出:** 実際の工場では多人数が同時に作業を行っているため、手順 2 で得られた複数の移動物体を区別する必要がある。本研究では、画像内の連続矩形を分類するラベリング処理により、人に相当する面積の矩形を全て個別の移動物体として区別する。

**手順 4. 移動物体の動線追跡:** 手順 3 で得られた各矩形の重心座標を求め、それを俯瞰画像上にプロットして動線追跡を行う。ただし、移動物体の検出は手順 1 の背景差分法を前提としているため、監視フロア内で人が作業などでその場に停滞した場合に差分画像が得られず、フロアから移動物体が消失することとなる。この問題を回避するため、移動物体ごとにその移動座標をリアルタイムに監視・更新する。これにより、仮に移動物体が差分画像から消失した場合でも常にその付近を監視し、再び差分画像上に移動物体が現れた場合はそれを対象の移動物体として監視を継続することが可能となる。

以上の手順を経て抽出・追跡されるのはあくまで俯瞰画像上の移動物体ではあるが、これを 3.2 の手法で得られる入退場情報と対応付けることにより、俯瞰画像上で任意の人に対する動線追跡を実現できる。

## 4 実装

以上に基づいた人の動線追跡手法を俯瞰画像合成システムに実装し、工場を模擬した実験を通じて動作検証を行った。天井高 3m の実験室に 9 台のカメラを格子状に設置し、これを天井高 10m の工場での運用と想定して実験を行った。このスケールに合わせて工場内の作業員



図 3 自由視点画像を用いた入退場の検出



図 4 俯瞰画像の合成と動線追跡

を約 50cm の人形で模擬し、これを小型の台車型ラジコンに乗せてフロア内の人の移動を表現している。まず、天井の魚眼カメラから入退場口の自由視点画像を生成し、それに対して OpenPose による骨格抽出を行った結果を図 3 に示す。この結果より、適切に人および顔の検出が行われており、フロアへの入場と判定することできる。図 4 は、これに続いて俯瞰画像上で動線追跡(作業による停滞動作を含む)を行った結果であり、人の動線が適切に追跡・表示されていることを確認した。

## 5 あとがき

本研究では、工場などの広範囲な監視フロアにおける作業員の動線追跡を実現するため、骨格抽出ライブラリを用いたフロアへの入退場の検出手法、背景差分法に基づいた俯瞰画像からの動線追跡手法を提案した。これらの手法を俯瞰画像合成システムに拡張実装し、工場を模擬した実験を通じて適切に人の動線追跡が行われていることを確認した。今後は種々の AI・IoT 画像処理技術を併せて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 年度-令和 2 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] 森 健一郎, “監視カメラ世界市場に関する調査結果,” 矢野経済研究所プレスリリース (Aug. 2015)
- [2] 鬼頭 優, 近藤 真史, 他, “複数の魚眼カメラを用いた自由視点型俯瞰画像システムの開発,” 第 18 回情報科学技術フォーラム, pp.245-246 (Sept. 2019)
- [3] 鬼頭 優, 近藤 真史, 他, “複数の魚眼カメラを用いた俯瞰画像の合成に係るレンズおよび設置歪みの自動補正手法,” 電子情報通信学会総合大会, ISS-SP-004 (Mar. 2020)