

屋内測位技術に関する研究

多人数画像データによる個人二次元位置マッピングの概念実証

STUDY ON INDOOR POSITIONING TECHNOLOGY

Proof of concept for two-dimensional individual position mapping using multi-person image data

竹中 優揮^{*1}, 堤 隆志^{*2}, 成合 雅博^{*3}

Yuki TAKENAKA, Takashi TSUTSUMI and Masahiro NARIAI

As the introduction of DX technology is included in buildings, it is expected that in the future it will lead to interface with other systems such as BCP, security, and indoor environment, as well as improved control over energy conservation and comfort control for air-conditioning equipment. We believe that the importance of positioning technology will increase. Based on the above background, in this research, we conducted a proof of concept to confirm the possibility of individual position mapping technology using multi-person image data.

For human detection error evaluation, the tracking loss was 4.2%. Continuous measurement is necessary to continue tracking with higher accuracy.

In the evaluation of automatic mapping, the greater the measurement distance, the larger the error. When the measurement range exceeded 150 m², the maximum and average errors increased significantly. The maximum error in the range of 150m² was about 1.4m, and the results left us with a problem in terms of human detection accuracy for each seat.

In the future, we will work on improving the accuracy of the system by considering improvements to the server capacity, the placement of multiple cameras, and the improvement of machine learning methods.

Keywords : Indoor Positioning Technology, Two-dimensional position mapping

屋内測位, 位置マッピング

1. はじめに

近年、オフィスではリモートワーク、フリーアドレスの普及やリアルコミュニケーション重視の流れにより、建物内の個人位置測位のニーズが高まりつつあり、スマートフォンやタグにより Wi-Fi, Bluetooth Low Energy といった技術を用いた測位システムが普及しつつある。建物への DX 技術導入が進む中で、今後は BCP, セキュリティー, 室内環境といったシステムとの連携や、空調設備の省エネルギー制御、快適制御の向上につながることも予想され、より正確な個人の位置測位技術の重要性が増すと考える。

上記背景のもと本研究では、カメラ画像を用いる多人数画像データによる個人の二次元位置マッピング技術の可能性を確認するために行った概念実証（以下 PoC）について報告する。

2. 画像データによる個人の二次元位置マッピングについて

当該技術は、屋内空間でのカメラ画像により、登録されている個人を検出し、またその個人がどこにいるかを web 上の平面図に示すものである。図 1 にイメージ図を示す。

この技術のメリットは、検知される人がデバイスを持たなくて良いという点、室内環境（空調、照明）制御、

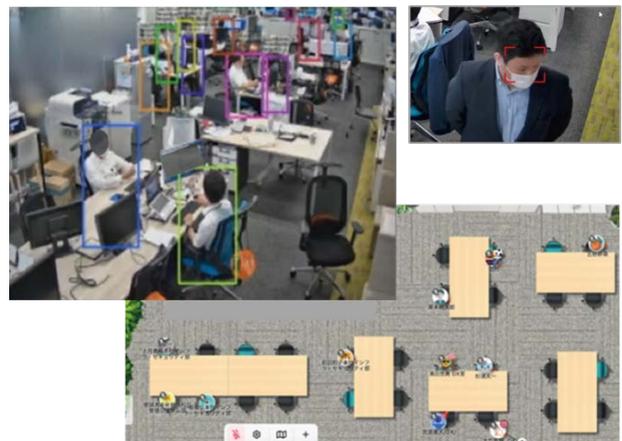


図 1 イメージ図（上：個人検出 下：マッピング）

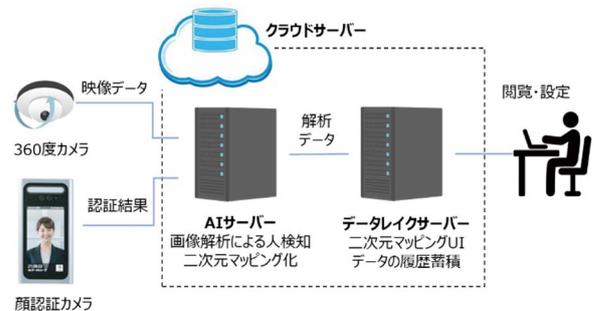


図 2 システム構成

* 1 戸田建設(株)技術研究所

* 2 戸田建設(株)DX推進室

* 3 (株)データスコープ

不審・危険行動検知、緊急時対応といった他の設備制御技術と連携しやすいといった点、普及している測位技術より高精度な測位が期待出来るといった点である。

また、建物用途に関してはオフィス以外にも、医療・福祉施設など他用途での利用も想定している。

3. 検討システムの概要

3.1 システム構成について

PoC で構築したシステムの構成を図 2 に示す。測定場所の天井に360度カメラを設置し、その映像をクラウド上のサーバーへ取り込んでいる。取り込んだ映像は、AI ロジックを含む解析システムを構築したサーバーにて処理を行い、カメラ画像から二次元のマップ上へ人の位置のプロットを行う。

また、人が出入りする位置へ顔認証端末を設置し、その結果を同クラウドサーバーへ API を通じて連携することにより、前述の人の測位結果と個人の紐づけを行っている。

3.2 測位手法について

今回は360度カメラにより人の位置と特徴点による識別番号（以下 ID）付与を、顔認証カメラにより個人識別を行い、両手法の結果を連携させて個人位置測位を精度良く行うことを目的とした。

詳細なセンシング、制御フローの詳細は以下の手法を取っている。

- ①測定エリアの天井へ設置した360度カメラで測定場所を撮影
- ②その画像から人体検知を行い、検出した人物へバウンディングボックスを割り当て
- ③検出した人物の画像から骨格、服装などを元に特徴量を算出して個別 ID を付与
- ④前記①～③を繰り返して前画像とバウンディングボックス位置を比較して重なり多さと特徴点の近さから同人物を特定してトラッキング
- ⑤トラッキング画像を360度カメラの魚眼画像から平らな正像へ変換
- ⑥バウンディングボックスの足元位置を推定し、ホモグラフィティー行列（図 3）により平面図へマッピングして二次元上にプロット
- ⑦エリア入り口など、特定の位置に設置した顔認証端末の測定結果と二次元マッピング結果から個別 ID と個人情報（名前など）を紐付け
- ⑧個別 ID を個人名としてその後のトラッキングを繰り返し実施

3.3 トラッキングの ID 付与手法

画像解析で人を精度良くトラッキングする上で、人の特徴点から ID を付与して継続的に同じ人に同じ ID を付与することが重要である。しかし、オフィスのようなほぼ全員がスーツを着用し、特徴が似通っている場合は、単純な特徴点検出だけでは誤検知が発生することがある。そのため、今回はカルマンフィルターによるトラッ

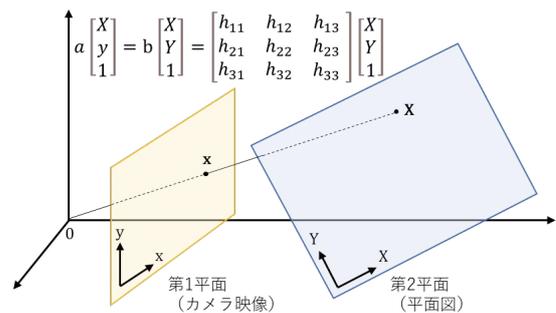


図 3 ホモグラフィティー行列

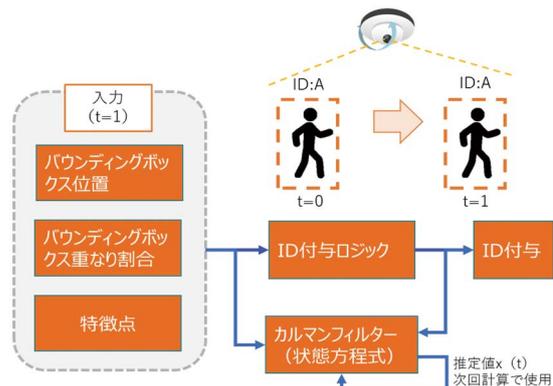


図 4 カルマンフィルターによるトラッキング手法

表 1 PoC の概要

項目	概要
試験場所	東京都内 某オフィスビル 5 階執務スペース
測定範囲	半径10 m (360度カメラ中心) 対象執務室面積：約150m ²
天井高	2.8m
被測定者	最大20名 スーツ着用
測定期間	3ヶ月
360度カメラ	解像度：2016×2016, 水平画角：185°, 最大処理：30 fps, 1台
顔認証端末	解像度：1920×1080, 最大登録人数：3万人, 1台
使用サーバー	クラウドサーバー

キング手法を採用した。図 4 に示すように、ある時刻の画像を解析した結果を ID 付与ロジックである制御部へ入力するとともに、カルマンフィルター処理部へも入力して状態方程式により推定値を算出し、出力である ID 付与の精度を向上させる方式を取っている。

4. 実施した PoC について

PoC 概要を表 1 に、測定エリアの平面図を図 5 に示す。

実証は実際に使用中のオフィスで行った。天井高は2.8 m で、その高さに360度カメラ 1 台を設置し、カメラを中心に半径10 m を測定範囲としている。個人を識別する顔認証端末は、天井カメラを設置したエリアへ入るための入口へ設置した。また、天井カメラからの距離は6 m 程度で測定範囲内である。

被測定者は通常勤務している最大20名程度のスーツを

着用した人で、測定のために非日常的な動作を行った実験は行っていない。



図5 測定場所の平面図

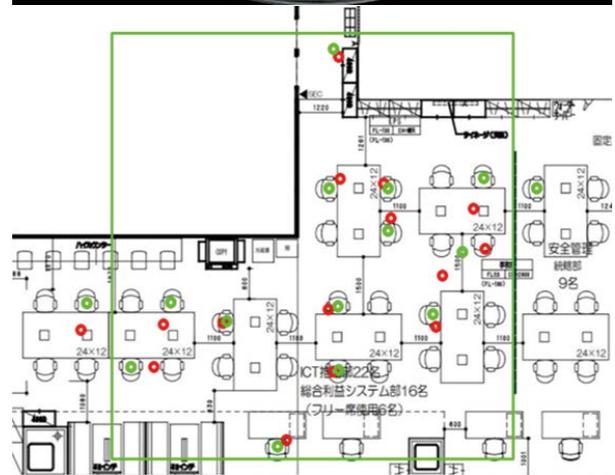


図6 測定画像とマッピング状況

5. PoCの結果について

5.1 人物検知状況

測定画像とマッピング状況を図6に示す。オフィス内の人物へバウンディングボックスが割付けられており、それを元に平面図上へマッピングされていた。人物の検出は立位及び座位姿勢の人を捉え、前述の通り、システムは前解析画像結果と比較して人物をトラッキングすることができた。

5.2 システムの動作評価

システムの応答性評価を図7に示す。カメラ入力フレームレート（以下fps）は30だが、二次元マッピングは17fpsでの処理、ID付与は15fpsのため、全体構成としては15fpsでの処理システムを構築した。

5.3 人物検知の誤差評価

人物検知の誤差評価を表2に示す。システムが人にバウンディングボックスを与えられない人検知漏れが4.5%とやや高く、連続での人検知が途切れる事でトラッキング損失が発生することを懸念し、前述の通りシステム全体の処理速度を15fps以上とやや高速にしている。その結果、トラッキングの損失は4.2%まで改善されたが、より精度良くトラッキングを継続するには連続的な測定の必要性があることを確認出来た。

5.4 マッピングの状況

システムでの自動マッピングの評価を表3に示す。

カメラで撮影された画像を確認して手動でマッピングしたものを基準として、自動マッピングの精度を評価した。本システムの測定範囲を確認する為、同画像において対象面積を変えて比較した結果、測定距離が遠くなればなるほど誤差は大きくなっていく傾向にあり、測定範囲が150m²を超えると最大・平均誤差が顕著に大きくなった。範囲150m²の最大誤差は約1.4mとなり、座席単位の人物検出精度としては課題が残る結果となった。

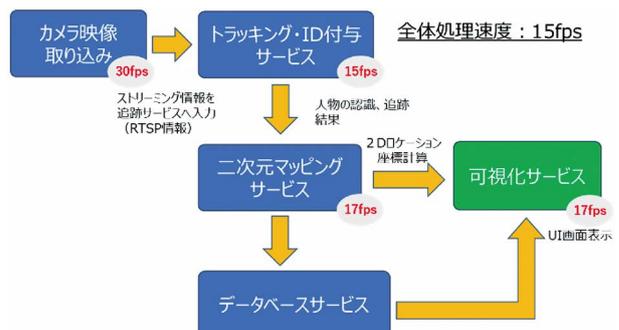


図7 システムの応答性評価

表2 人物検知の評価

項目	内容	計算式	結果
トラッキング損失	トラッキング損失時間の率	トラッキング損失回数 / 総トラッキング処理数	4.2%
人検知誤検出率	オブジェクトを人として検出した率	$\Sigma(1 \text{画像の誤検出数}) / \Sigma(1 \text{画像の検出数})$	1.1%
人検知漏れ率	人検出が漏れた率	$\Sigma(1 \text{画像の検出漏れ数}) / \Sigma(1 \text{画像の検出数})$	4.5%
FPS	システムが1秒で処理出来る画像数	処理画像数 / 処理時間	15画 / 秒

表3 自動マッピングの評価

項目	測定範囲			
	100㎡ 10×10m	125㎡ 11.2×11.2m	150㎡ 12.2×12.2m	175㎡ 13.2×13.2m
画像総数	44	44	44	44
最小誤差(cm)	1.06	2.29	2.29	1.85
最大誤差(cm)	155.75	121.20	141.03	276.90
平均誤差(cm)	34.98	37.98	38.14	45.92

5.5 人検知の測定結果について

今回のPoCでは被測定者までの距離が遠いほど位置精度が悪くなることが分かった。本結果は、バウンディングボックスの付与のみでの測定では精度良く位置を算出することが難しいことを示しており、魚眼画像での測定ではオフィス配置に併せた更なる調整が必要であることが分かった。

また、今回は東西に長い測定範囲で実験を行ったが、東側と西側で測定誤差に差が出る傾向があることが分かった。測定誤差が顕著に出た例を図8に示す。東側にいる場合では測定誤差が2m程度出ており、二次元マッピング化としては顕著に精度が悪くなっているが、西側で測定した場合は0.3m程度と精度が良くなる結果となった。

考えられる原因としては、西側は測定範囲外にすぐ壁があるのに対し、東側はオフィス空間が広がっているため、カメラの視界が遠くまで及んでしまっていることが考えられ、単眼カメラでの位置推定は、測定エリア内の間仕切り壁の有無で精度が変わる可能性がある事を確認した。

5.6 個人識別の結果

360度カメラで検出した人の位置と顔認証の結果を照合して紐付けた。その結果を図9に示す。入口から入ってきた人物が最初は個人識別が無い状態でトラッキングされているが、顔認証端末を通ったタイミングで個人識別がされた状態に切り替わっている。その後、識別ありの状態でのトラッキングを継続出来ていることが確認できた。ただし、顔認証の測定付近に複数人が居る場合だと誤検知が起きる場合もあったため、今回のような単なる通路では無く、ドアやゲート近傍への設置が望ましいと考える。

6. おわりに

多人数画像データを用いた個人の二次元位置マッピング技術の有効性、精度を確認する為のPoCの結果を報告した。人物検知、マッピングの精度に関してはある程度の精度を確認したが、実用に向けては改善の余地があり、さらなる検討が必要な事も把握出来た。

今後は、サーバー能力の向上、カメラの複数台配置、機械学習手法の改善等について検討し、システムの精度向上に取り組む。

参考文献

- 1) OpenCV Open Source Computer Vision
https://docs.opencv.org/4.5.0/d9/dab/tutorial_homography.html

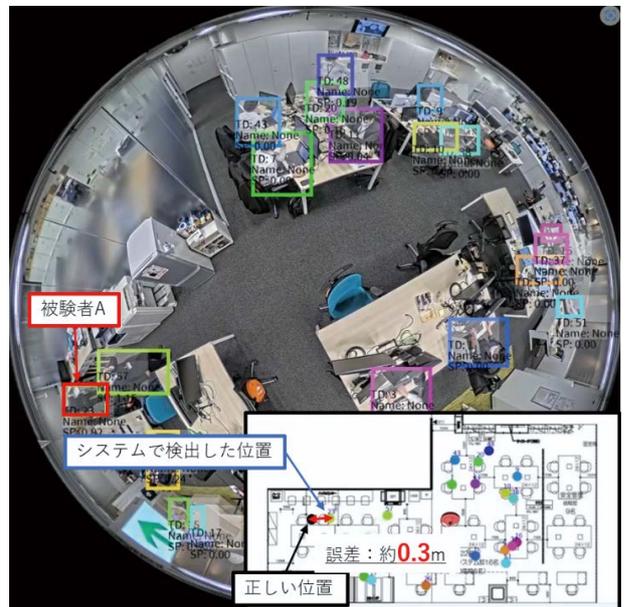
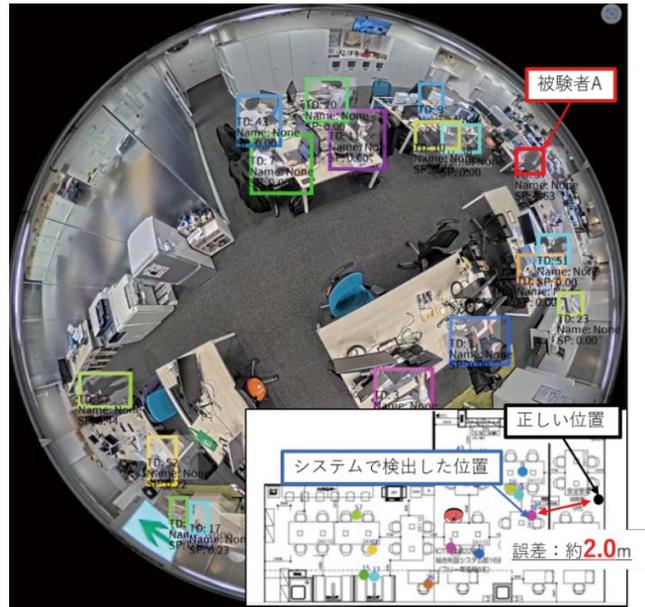


図8 測定誤差例 (上：東側 下：西側)

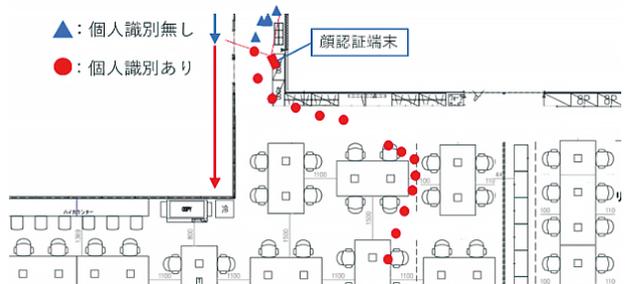


図9 個人識別測定結果