

対人距離の測定及び密集度の測定を目的とするスマートフォンアプリの実装と評価 Implementation and evaluation of a smartphone application for measuring interpersonal distance and density

吉江 治紀[†]
Harunori Yoshie

田村 仁[‡]
Hitoshi Tamura

1. はじめに

1.1 研究背景

2020 年春に確認されて以来、現在に至るまで新型コロナウイルス(COVID-19)による被害は拡大を続けており世界各地で甚大な被害を生んでいる。

そういった数々の対策のなかでも三密の回避、特にソーシャルディスタンスの維持が公共機関から民間、個人に至るまで意識されている対策である。具体的な対策として飲食店や劇場などでは座席の制限や指定などで利用客間の距離の維持を行えているが、博物館や庭園、イベント会場といった利用客が一つの場所に留まらないような施設では一度の入場者数を制限し施設内では利用者の自己判断での距離の維持に任せるに留まっている。そこで個人が各自で身を守るための個人での利用が可能な周囲の群集の密集度を判定し過密状態を警告するシステムが有用であると考えた。また個人が使用可能なデバイスの候補は複数挙げられるがコロナ対策であることから非接触式であることが望ましい。対象から距離を取って測定を行う手法として距離センサを使用するといった手法やステレオカメラの使用が考えられる。しかし新規のデバイスを使用したシステムは一般には普及させることは困難でありカメラや各種センサを備えており、すでに多くの人々に普及していることからスマートフォンのみで動作する手法が望ましいと考えた。

1.2 関連研究

カメラ映像から群集の密集度を計測する技術の前例として米司健一らの[2]がある。これは施設モニタカメラのカメラ映像を解析し施設内の混雑度や人流を計測するシステムである。このシステムは映像を用いた施設内の人流計測技術つまり映像中の動き情報を解析することで、映像内の人数や移動速度、移動方向などを抽出する技術を元としている。この研究に使用される人流計測技術は映像中から Tracklet と呼ばれる細かい動き情報(図 1)を抽出し、抽出した動き情報を解析することで、流動を計測する手法が使用されている。

これらの情報を組み合わせ混雑情報を可視化したアプリケーションが図 2 である。(a) 通過人数、(b) 滞留人数、(c) 混雑度割合グラフ、(d) 人物アイコン化画像、(e) 混雑度ヒートマップの 5 つの手法により混雑度を可視化される。このシステムによる人数の計測の精度は 80% を超えており優れていると言える。しかし監視カメラでの運用を



図 1 Tracklet の例 (図中の線が Tracklet を示す)
(引用:[1])

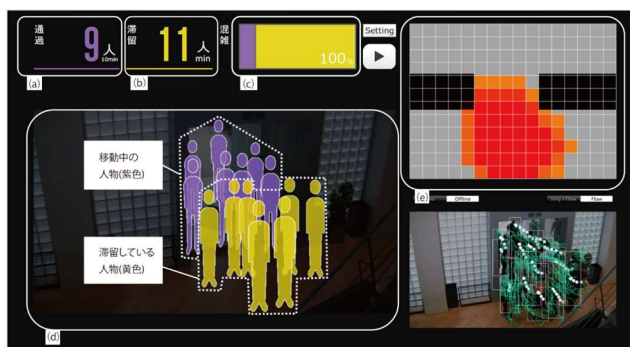


図 2 混雑度可視化アプリケーション
(引用:[1])

1.3 研究目的

本研究は、屋内屋外問わず、イベント会場等で直立した状態の集団が滞留する状態での運用を想定し、対象となる人物から人物の距離を計測することで集団の密集度を判断し、そのエリア内の密集度が安全な範囲内かを判定する人動距離計測システムの作成を目的とする。また不特定多数の人々が手軽に利用可能な媒体としてスマートフォンのみで一連の計測が可能なシステムとして開発する。このシステムの作成にあたり必要となる要素として

- (1) 対象人物の立ち位置の検出
 - (2) 対象人物までの距離の測定
- の 2 点が必要となる。

[†] 日本工業大学 機械システム工学専攻,
Nippon Institute of Technology Department of Mechanical Systems Engineering

[‡] 日本工業大学 先進工学部 ロボティクス学科,
Nippon Institute of Technology Department of Advanced Engineering Faculty of Robotic

本システム開発において先行研究である[3]にて立ち位置の検出に Google から発表されている機械学習向けに開発されたエンドツーエンドのオープンソースプラットフォームである TensorFlow にて発表されているブラウザ node.js で機械学習のトレーニングおよび実行が出来るライブラリである TensorFlow.js を使用した WEB カメラなどの入力からブラウザ上でリアルタイムにユーザーの姿勢検出ができるシステムである PoseNet[4]を使用し、距離の測定に同じく Google から発表されているスマートフォンの内蔵カメラやモーションセンサーのみの使用で周辺環境の 3D スキャンが可能な ARCore[5]を使用した。ARCore にも人体検出は存在するが通常版では精度に難があり、精度を向上させるには Google の有料のデータサービスに登録が必要なることから多くの人々に使用可能であるという運用想定にそぐわないため ARCore では距離の測定のみを行う。

以上の二つのシステムを使用し Android で動作する距離測定システムを制作した。このシステムは

- (1) 床面の認識
- (2) 対象人物の撮影
- (3) 立ち位置の推定
- (4) 認識した人物間の距離の測定

の 4 つの手順で測定を行う。

まず初めにまずスマートフォンのカメラで周囲の床面を写し ARCore にて床面の位置の認識(図 3)を行う、この床面の認識は最大で撮影者から直線距離で 15m の範囲を認識可能となっている、そして床面を認識した後に対象人物の撮影を行う。続いて姿勢推定を利用して撮影対象人物の立ち位置の二次元的な座標(x,y)を取得する(図 4)。その取得した座標を ARCore にて認識した床面に投影し対象者の三次元的な立ち位置の座標(x,y,0)に変換を行う。そして最後に取得した座標間の距離を求めることにより人物間の距離の測定を行う、

作成した距離測定システムが実用に足る精度かを検証するために各種計測を行った所 ARCore を使用した距離測定



図 3 床面の認識

の精度については直径 300[mm]の対象物を地面に設置しその対象物からスマートフォンを 1[m]刻みで 1[m]から



図 4 姿勢推定での二次元座標の取得

5[m]まで距離を離しながらの計測を 10 回行った結果、対象物から 1[m]離れるごとに約 9[mm]の誤差が生じた(図 3)が、十分許容できる範囲の誤差に収まった。

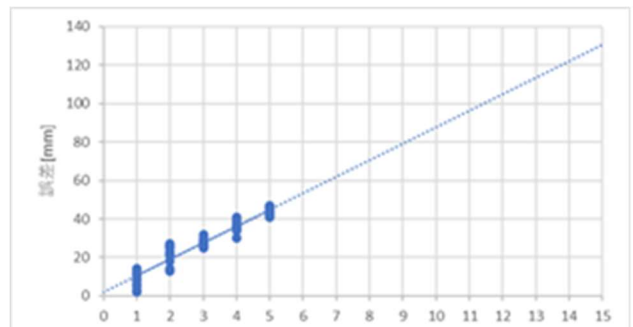


図 5 ARCore の誤差の近似直線
(引用:[3])

しかし対象人物の頭部直下の地面をその人物の立ち位置として PoseNet で推定された両足首を基準とする立ち位置との誤差の計測及び対象人物の服装が精度に与える影響の確認のための異なる服装の人物での検証において脚部の輪郭線が比較的鮮明な対象人物の計測結果の誤差平均が 187.8 (mm)。

脚部の輪郭線が比較的不鮮明な対象人物の計測結果の誤差平均が 289.4(mm)と大きな誤差が生じた。誤差が発生した主要原因として PoseNet で推定された立ち位置は両足首の間が基準であるので踵の高さの分だけ本来の立ち位置からズレが生じるためだと考えられる。これを改善する手法として人間の身長と足のサイズは比例せず踵の高さに大きな差異がない[6]、ということから推定された姿勢の頭部から足首までの長さから踵の高さを推定して足首下に踵を追加するという手法を考えた、しかし人間の踵の高さには大きな差

異は無いが靴には差異が存在するため、靴を変更した際に立ち位置推定にどの程度誤差に差が生じるか検証を行った。靴を変更した際の立ち位置推定の誤差を計測するために対象者に立ち位置の目印となるマークを両足首の中間に挟み込むように直立してもらいそれを 5m 離れた地点から計 10 回撮影(図 6)を行い目印と両足首の中間の地点が画像上で y 軸方向に何ピクセル誤差が存在するか計測する実験を

- 1.運動靴.
 - 2.踵を 5cm 上げた運動靴.
 - 3.革靴.
 - 4.ビニール袋で覆い隠した運動靴.
- の 4 種類の靴で行った.

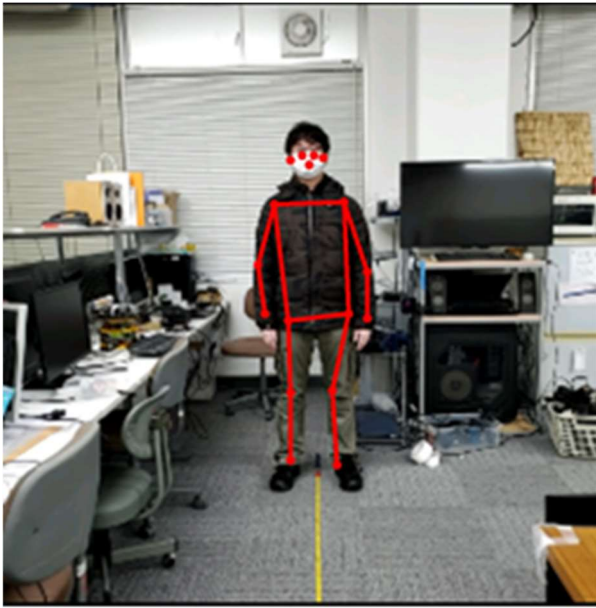


図 6 撮影風景
表 1 測定結果

	運動靴	5cm	革靴	袋
誤差(px)	25	25	23	30
	29	23	32	21
	27	24	20	37
	25	26	30	29
	26	29	24	23
	24	26	28	30
	28	27	30	17
	27	27	26	25
	29	26	30	20
	26	29	24	23
平均	26.6	26.2	26.7	25.5

測定を行った所結果は上記の表 1 のような結果となった。運動靴の誤差平均が 26.6(px), 踵を 5cm 上げた運動靴の誤差平均が 26.2(px), 革靴の誤差平均が 26.7(px), ビニール袋で覆い隠した運動靴の誤差平均が 25.5(px)となった。実験結果から靴の種類,及び踵の高さの差異が立ち位置推定にさほど影響を与えないことが読み取れた。

今回は上記の結果を元に踵の高さの分の誤差の軽減を行う手法と計測した距離から空間内の人密集度を測定する手法について提案を行う。

2. 提案手法

2.1 立ち位置の誤差の修正

推定された姿勢の肩部から足首までの長さから踵の高さを推定して足首下に踵を追加するという手法で立ち位置推定の誤差を軽減することが可能であると考えられる。

今回は踵の高さを先ほどの実験から姿勢推定した際の肩部から足首部間の距離の 5%を踵の高さとする。

2.2 密集度の判定方法

密集度の判定方法としては複数の案が挙げられるが今回は測定した対象人物のうち最も距離の近い対象の距離が一定以下の場合を検出するという手法で判定を行う。

具体的な距離として一般的なソーシャルディスタンスで推奨されている 2M を基準の距離とする

3. 実験

3.1 踵の高さ補正の有無による精度の差の検証

直立した対象人物と対象人物から 2000[mm]離れた地点に設置したマーカー間を制作したシステムを使用して対象人物から 3000[mm]離れた地点から計 5 回計測を行う。この検証を立ち位置の検出手法を修正したものとされていないもので行い精度に改善が見られたか確認する。

3.2 密集度の判定の精度の検証

2000[mm]離して設置した二つのマーカー 1 と 2 とその二つのマーカーからそれぞれ 2000[mm]と 1800[mm]離れた地点に設置したマーカー 3 の計 3 つのマーカー間の距離を制作した距離測定システムで測定しマーカー 1 とマーカー 3 間の距離とマーカー 3 に最も近いマーカーとの距離を表示させその精度を確認する。この検証を屋外と屋内(図 7)の双方で計 10 回行った。



図 7 撮影場所(左:屋内 右:屋外)

4. 実験結果

4.1 実験 1

実験結果を図 8 に示す。立ち位置の検出手法に修正のないものの誤差平均が 117.2[mm]、修正のあるものの誤差平均が 45.2[mm]となった。

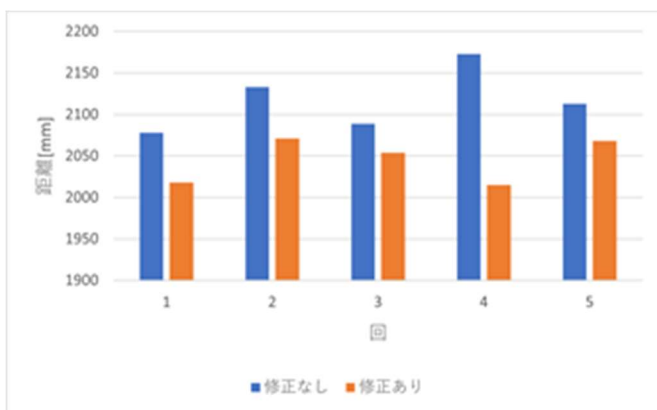


図 8 誤差の比較

4.2 実験 2

実験結果を表 2 に示す。A は屋外のマーカー1 とマーカー3 間の距離と 2000(mm)との差を示し、B は屋外のマーカー3 に最も近いマーカーとの距離と 1800(mm)との差、C は屋内のマーカー1 とマーカー3 間の距離と 2000(mm)との差、D は屋内のマーカー3 に最も近いマーカーとの距離と 1800(mm)との差を示す。

誤差の平均はそれぞれ、A が 23.9(mm)、B が 36.1(mm)、C が 17.8(mm)、D が 6.6(mm)となった。

表 2 測定結果

	A	B	C	D
	30.9	22.7	33	17.5
	51.9	34.7	68.6	68.7
	46.9	37	5.2	1.7
	31	60.4	16.7	13.2
誤差(mm)	7.6	24.5	28	12.4
	14.5	18.1	30.4	12.1
	7.8	71.2	13.6	28.4
	27.2	31	28.2	12.1
	51.5	49.7	0.6	15.1
	55.1	52.9	15	35.7
平均	23.9	36.1	17.8	6.6

5. 考察

実験 1 にて立ち位置の検出手法に修正を入れたところ誤差が平均して 60%減少するという結果が得られた。踵の高

さを今回は姿勢推定した際の肩部から足首部間の距離の 5%を踵の高さとするとしたがこの値よりもより精度が向上する値が存在する可能性も存在するが今回の運用想定から現時点の精度で問題ないと考え今後もこの値を使用するとする。

実験 2 では誤差の値から全ての結果において実際に距離の近いマーカー同士を検出できており、また今回の運用想定からソーシャルディスタンスの基準距離である 2000(mm)の割である 200(mm)まで誤差を許容するという考えの元、マーカー間の距離を設定したが問題なく動作したことから精度には問題がないと考える。

6. おわりに

本稿では、対象となる人物から人物の距離を計測することで集団の密集度を判断し十分な距離の確保を行うよう注意喚起する距離計測システムの作成を目的とし、実験から実用可能な精度であることは確認できた。

また今回は対象が複数存在する実験は人間相手ではなくマーカーで代用したが今後は複数人を対象とした姿勢推定を含む検証を行い本システムの最終的な完成を目指す。

参考文献

- [1] Rui Pascoal; Bráulio Alturas; Ana de Almeida, Rute Sofia "A survey of augmented reality: Making technology acceptable in outdoor environments", 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (2018).
- [2] 米司 健一, 松原 大輔, 秋良 直人, 飯田 都, 村上 智一, 額賀 信尾 "駅構内モニタカメラを用いた混雑度可視化技術" デジタルプラクティス 8(2), 152-159(2017)
- [3] 吉江 治紀, 田村 仁 " ソーシャルディスタンスの維持を目的とするスマートフォンアプリの実装と評価" 情報処理学会 第 84 回全国大会講演論文集 Vol.4 No.137-138(2022)
- [4] 「Pose estimation | TensorFlow Lite」
https://www.tensorflow.org/lite/models/pose_estimation/overview
(参照 2020-10-16)
- [5] 「ARCore - Google Developers」
<<https://developers.google.com/ar>> (参照 2020-7-10)a
- [6] 「AIST/HQL 人体寸法・形状データベース 2003-計測した寸法項目について」
<<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:EIusAYqQpNYJ:https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/fbodydb/data/index.html+&cd=2&hl=ja&ct=clnk&gl=jp>> (参照 2022-1-5)