

# ソーシャルディスタンス誘導のための 人物照合機能を備えるプロジェクションマッピング

菅井 ゆり佳<sup>1</sup> 酒井 優妃<sup>1</sup> 杉村 大輔<sup>1</sup>

**概要:** 新型コロナウイルス感染症流行に伴い、2m 以上のソーシャルディスタンスを保つことが、感染症を予防する重要な手段の一つである。店舗やイベントでは、ソーシャルディスタンスを保つための目印として 2m 間隔の白線が床や地面に引かれている。しかしながら、この方法は、ユーザが白線に合わせて行動する必要がある。これは、ユーザの行動を制限することになる。このような問題に対処するために、本研究では、プロジェクションマッピングを用いたユーザの行動を制限しないソーシャルディスタンス誘導システムを提案する。提案システムの特徴は以下の二つである。一つは、RGB-D カメラにより計測するユーザ間の距離に応じて、プロジェクションマッピングの映像の透明度を変化させることである。これにより、ユーザ間の距離が近づいていることをユーザに事前に視覚的に知らせることができる。二つ目の特徴は、ストーリー性のあるユーザ特有のプロジェクションマッピングを行うことで、ユーザを飽きさせることなくソーシャルディスタンスを誘導することである。これを実現するために、深層学習に基づく個人照合システムを構築し、観測環境に存在するユーザの特定を行う。これにより、ユーザの動きを制限せずに、かつ飽きさせることなくソーシャルディスタンスを保たせることができる。

## 1. はじめに

昨今の新型コロナウイルス流行に伴い、2m 以上のソーシャル・ディスタンスを保つことが、感染予防策として重要な手段の一つである。店舗やイベントでは、一部の椅子や机を撤去したり、白線や足跡マークを地面につけたりすることで、ソーシャル・ディスタンスを保つための対応を行っている。また、教育現場では、生徒が頭にソーシャルディスタンスを保つことができる大きさの帽子を被ることで、生徒同士が強制的に近づくことがないようにしている [1]。しかし、上述した方法は、ユーザの行動を制限することになる。そこで本研究では、プロジェクションマッピングを用いたユーザの行動を制限しないソーシャルディスタンス誘導システムを提案する。

本提案システムの貢献は二つある。一つは、RGB-D カメラにより計測するユーザ間の距離に応じて、プロジェクションマッピングの映像の透明度を変化させることである。これにより、ユーザ間の距離が近づいていることをユーザに事前に視覚的に知らせることができる。

全てのユーザに同じ特徴のプロジェクションマッピングを行うと、どのユーザのためのエフェクトなのかの判別が困難となる。加えて、単調な投影となるため、ユーザが飽

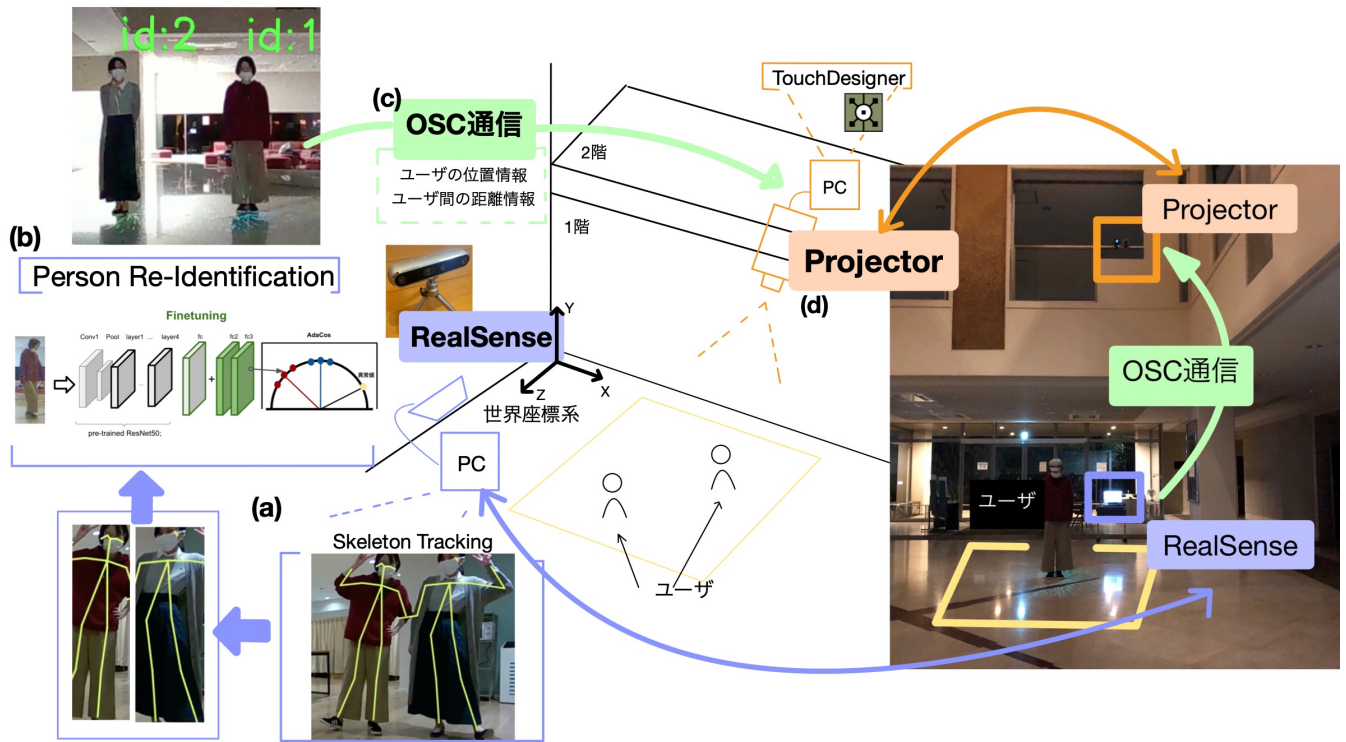
きずにソーシャルディスタンスを保ち続けるとは限らない。

これに対処するために、ユーザ特有のストーリー性のあるプロジェクションマッピングを行うことで、ユーザを飽きさせることなくソーシャルディスタンスを保つように誘導する。そこで、深層学習に基づく個人照合システムを構築する。これにより、個々のユーザを識別することができる。これが本提案システムの二つ目の貢献である。

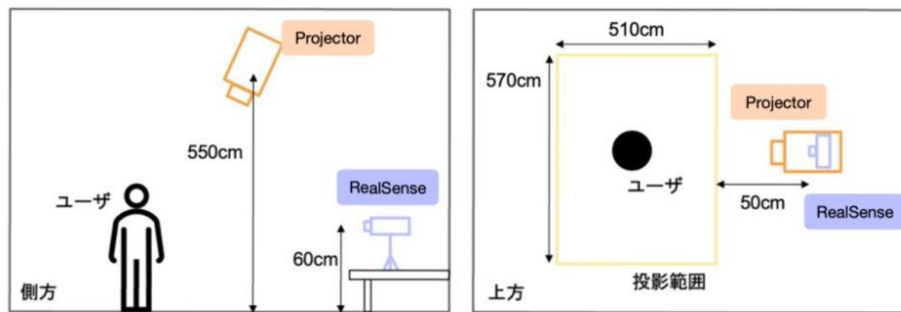
前述した本提案システムの二つの貢献により、ユーザを飽きさせることなくユーザにソーシャルディスタンスを取り続けることを促すことができると考える。

ユーザにソーシャルディスタンスを保たせる方法として、カメラ映像からユーザ間の社会的関係を推測し、親族等の関係がない場合、ユーザが近づいた時に警告を出す方法 [2] がある。これ以外にも、深層学習に基づく物体検出モデルを用いて、ソーシャルディスタンスと顔マスク検出するシステムが提案されている [3]。また、ソーシャルディスタンスを誘導する既存手法としては、人の歩行に連動する空間演出の楽しさでソーシャルディスタンスを誘導するシステムが提案されている [4]。このシステム [4] では、LiDAR と ToF カメラを用いて、歩行中の人々の位置をリアルタイムに計測し、人物間で適切な距離を保たない場合に、映像が見えなくなるプロジェクションマッピングを行っている。しかしながら、このシステムは、ユーザに対してラ

<sup>1</sup> 津田塾大学 学芸学部 情報科学科



(1) システム構成



(2) システム配置図

図 1: 提案システム概要

ンダムにプロジェクションマッピングを行っている。つまり、ユーザ毎に特定の映像が投影されるわけではない。最初は、ユーザはプロジェクションマッピングを見るために距離を保つことが予想される。しかし、慣れによる意識の低下から、長時間見飽きることなく距離を保ち続けることは難しいと考える。また、ユーザ間の距離が保たれなくなった瞬間に投影映像が変化するため、ユーザが互いにどのくらい近づいているのかが視覚的にはわかりにくい。

これに対し本研究では、ユーザ間の距離が近づくとつれてプロジェクションマッピングの映像の透明度を変化させることにより、ユーザ間の距離が近づいていることを事前に視覚的に知らせることができる。また、ストーリー性のあるユーザ特有のプロジェクションマッピングを行うことで、ユーザを飽きさせることなくソーシャルディスタンス

を誘導する。この二点において先行研究 [4] とは異なる。

## 2. 提案システム

図 1 に提案システムの概要図を示す。図 1 (1) には提案システム詳細を、図 1 (2) には提案システムの詳細な配置図を示す。

一階に RGB-D カメラの RealSense を配置し、ユーザの行動を観測する。skeleton tracking により、ユーザの骨格情報を取得する (図 1 (1) - (a))。そして、この骨格情報をもとに人物領域を切り抜き、人物照合を行う (図 1 (1) - (b))。人物照合 (Person Re-Identification; ReID) で得たユーザ ID 及びユーザの位置情報とユーザ間の距離情報を、二階に配置した PC の TouchDesigner に OSC 通信を用いて送信する (図 1 (1) - (c))。OSC 通信により受信した情

報に基づき、TouchDesigner により投影映像を生成し、二階に配置したプロジェクターを用いて、プロジェクションマッピングを行う (図1 (1) - (d)).

RealSense による人物検出システムは、骨格検出したユーザに対しランダムに ID を付与する。これは、ユーザに割り当てられた ID のスイッチが発生する可能性があることを示唆している。ID スイッチが発生すると、同一人物を識別することができず、ユーザ特有のプロジェクションマッピングをすることが難しい。

これに対処するために、ReID を用いる。ReID とは、複数のカメラ・視点や、同じカメラ・視点の異なる場面間において人物照合を行う技術である [5]。これを活用することにより、個々のユーザ照合が可能となる。これにより、ユーザ特有のプロジェクションマッピングが可能となる。

## 2.1 キャリブレーション

世界座標系と画像座標系のキャリブレーションを行う。三次元空間における複数の位置座標を計測し、それぞれに対応する画像座標空間における位置の対応関係を求める。これらに対して、最小二乗法を適用することでカメラの外部パラメータを求める [6][7]。これにより、ユーザの三次元空間における足元に対してプロジェクションマッピングすることが可能になる。

## 2.2 ユーザ間の距離測定

### 2.2.1 ユーザの位置情報

RealSense により計測された RGB-D 画像について、Skeleton Tracking SDK by Cubemos と Intel RealSense SDK を用いることで、ユーザ 1 人に対して最大 18 箇所の関節位置を検出する。

本システムでは、首元の座標をユーザ間の距離測定に用いる。首元の座標は手や頭に比べて大きく動くことが少ない。また、人間の上半身重心位置に近く、ユーザ間の距離測定に適している。

### 2.2.2 ユーザ間の距離計算

世界座標系におけるユーザの位置情報を用いて、ユーザ間の距離を測定する。本システムでは、同じフロア (一階) でのユーザ間距離計測を想定している。そのため、世界座標系における  $X-Z$  平面での距離を計算する。

投影範囲に存在するユーザの数を  $N$  とする。また、 $i$  番目のユーザの  $X-Z$  平面における位置を  $(X_i, Z_i)$  と定義する。 $i$  番目と  $j$  番目のユーザ間距離  $D_{ij}$  は、ユークリッド距離を用いて以下のように計算される：

$$D_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2}. \quad (1)$$

これに基づき、全ユーザ間距離集合  $D = \{D_{ij}\}_{i=1,2,\dots,N,j=1,2,\dots,N,i \neq j}$  を得る。距離が近いユーザに離れてもらうために、集合  $D$  のうち最小値を計算

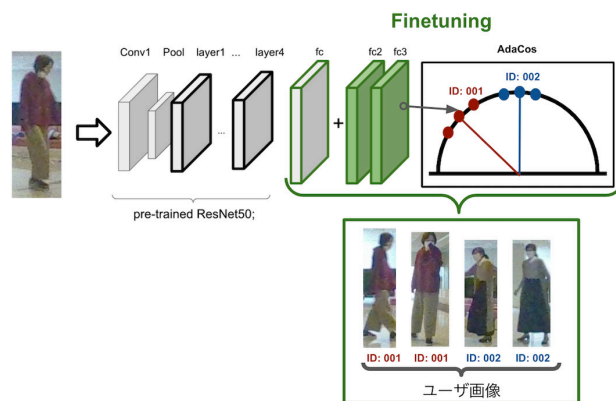


図 2: 深層学習に基づく ReID システムの構築

する：

$$D^* = \min\{D_{ij}\}. \quad (2)$$

最小値  $D^*$  を用いて、プロジェクションマッピングされる映像の透明度を制御する。

## 2.3 ReID システムの構築

### 2.3.1 深層学習に基づく人物照合

ユーザ特有のプロジェクションマッピングを行うために、人物照合を行う。具体的には、ResNet50[8] に基づく 1000 クラス分類の事前学習済み ReID モデルを使う [5]。

本システムが対象とするユーザを分類することに特化したモデルを構築するために、事前学習済みモデルをファインチューニングする。具体的には、事前学習済みモデルの全結合層の後に、新たに全結合層を 2 層追加する。そして、最終層に個人照合性能を高度化する AdaCos[9] を追加し、AdaCos の出力を分類したいユーザ数に置き換える。最後の 3 層の全結合層および AdaCos 層のパラメータを学習し、それ以外の層のパラメータは固定する。図 2 にその概要を示す。

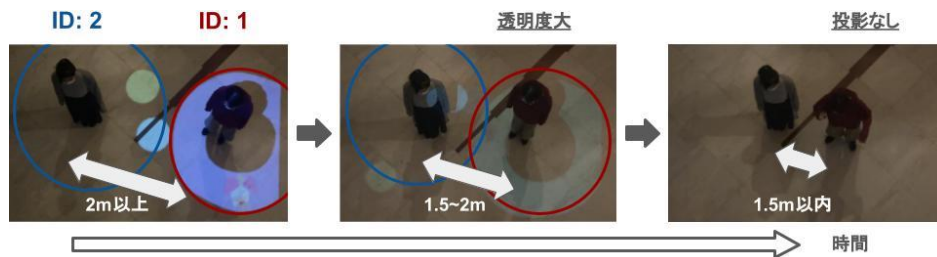
### 2.3.2 データセットの作成

人物照合をする際に用いる画像は、RealSense を用いて取得したものであるため、事前学習済みモデルを作成するために用いた学習データと比べて画像の明るさや見え方が異なる。これは識別性能低下を引き起こす。これに対処するために、収集した学習データに対して、ガンマ補正を行うことで明るさを調整する。これにより識別性能の向上を実現する。

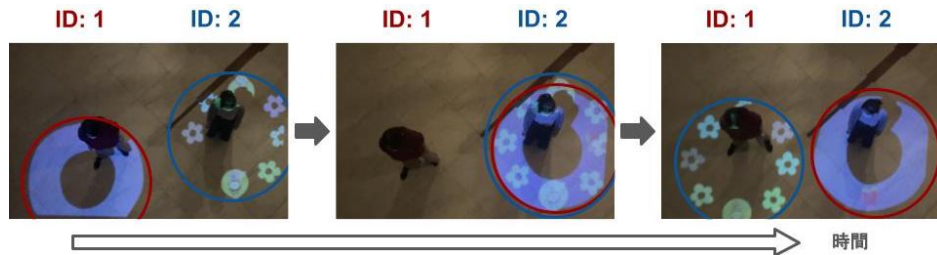
## 2.4 プロジェクションマッピング

### 2.4.1 OSC 通信

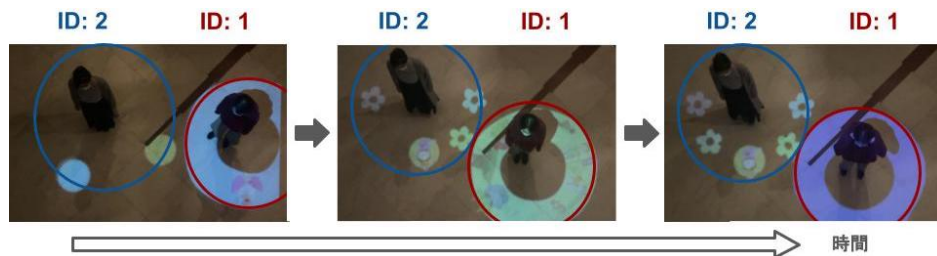
RealSense で取得したユーザの位置情報とユーザ間の距離情報を、プロジェクターを制御する PC に送信する。本システムでは、OSC 通信を用いる。これにより、ユーザの位置情報とユーザ間の距離情報を反映したプロジェクショ



(1) ユーザ間の距離に応じて投影映像の透明度が変化する様子



(2) ReID がない場合：ID スイッチにより投影映像が入れ替わっている。



(3) ReID がある場合（提案システム）：ユーザそれぞれに対して異なる映像を持続的に投影できている。

図 3: 実験結果

ンマッピングを行うことが可能になる。

#### 2.4.2 TouchDesigner によるプロジェクションの制御

プロジェクションマッピングで用いる映像の位置や大きさ、透明度をユーザの動きに応じて制御するために、TouchDesigner を用いる。TouchDesigner とは、オペレータと呼ばれるノード（結節点）を基本とし、それらを繋ぎ合わせることでビジュアル・プログラミングを可能にするアプリケーションである [10]。このノードを組み合わせることで、ユーザの位置情報と投影映像の位置およびユーザ間の距離情報と、投影映像の透明度を関連づける。これにより、ユーザの位置情報に応じて投影映像を表示し、ユーザ間の距離情報に応じて投影映像の大きさや透明度を変化させる。

#### 2.4.3 ユーザ間の距離の可視化

TouchDesigner を用いて生成した投影映像を、ユーザの足元にプロジェクションマッピングする。具体的には、投影映像の透明度をユーザ間の距離に応じて変化させる。ソーシャルディスタンスを保つことができている場合、足元に映像が投影される。一方で、ソーシャルディスタンスを保つことができている場合、ユーザ同士が近づくとつれ映像の透明度が大きくなる。このように、投影映像の透

明度をユーザ間の距離に応じて制御することにより、ユーザは投影映像が明瞭に映っている状態を保とうとする、すなわちソーシャルディスタンスを保とうとすることが期待される。

また、ReID を用いることで、提案システムは個々の同じユーザかどうかを識別する。これにより、ユーザ毎に特定の映像を投影することが可能となる。これはすなわち、ユーザを長時間見飽きさせることなくソーシャルディスタンスを保ち続けさせることができると考える。

### 3. 実験

提案システムの有効性を確認するために、比較実験を行った。

ユーザ間の距離が保たれている時の様子（図 3 (1) 左）と、ユーザ間の距離が小さいとき（図 3 (1) 中）、ソーシャルディスタンスが保たれていない時の様子（図 3 (1) 右）を、それぞれ示す。ユーザ間の距離が保たれている場合は、プロジェクションマッピングされる映像が薄れることなく表示されている。ユーザ間の距離が小さくなってきた場合は、投影映像の透明度が上がっており、投影映像の視認性が低下していることを確認できる。ユーザ間のソーシャ

ルディスタンスが保たれていない場合、投影映像は消失していることもまた観測することができる。このように、ユーザ間の距離に応じて映像の透明度を変化させることで、ユーザ間の距離が近づいていることを視覚的に示すことができた。

ReIDを適用していない時の様子と、ReIDを適用した時の様子を、図3(2)、および(3)にそれぞれ示す。ReIDを適用していない場合は、ユーザそれぞれに対してプロジェクションマッピングされる映像が頻繁に入れ替わっていることがわかる。ReIDを適用した場合(提案システム)は、ユーザそれぞれに対して異なる映像を持続的にプロジェクションマッピングすることができている。この比較により、ユーザそれぞれに対して異なる映像を持続的に投影することができていることがわかる。このことから、ユーザを飽きさせることなく、ソーシャルディスタンスを保たせることができると考える。

#### 4. おわりに

本研究では、プロジェクションマッピングを用いたソーシャルディスタンス誘導システムを提案した。ユーザ間の距離が近づくにつれてプロジェクションマッピングの映像の透明度を高くすることにより、ユーザ間の距離が近づいていることを事前にユーザに視覚的に知らせる。また、ストーリー性のあるユーザ特有のプロジェクションマッピングを行う。これにより、ユーザを飽きさせることなくソーシャルディスタンスを誘導することが可能となった。

#### 参考文献

- [1] 広島県教育委員会, "小学校低学年児童用のソーシャルディスタンスの取り方(アイデア)" <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/389783.pdf>
- [2] M.Cristani, et al., "The Visual Social Distancing Problem" IEEE Access, vol.8, pp.126876 - 126886, July, 2020.
- [3] V.Shetty S., et al., "Social Distancing and Face Mask Detection using Deep Learning Models: A Survey" 2021 Asian Conference on Innovation in Technology (ASIAN-CON), Aug, 2021.
- [4] Hitachi, Ltd.  
"Putting fun into maintaining physical distance by system to link walking people and spatial distance"  
<https://www.hitachi.com/rd/news/topics/2020/1130.html>
- [5] Z.Zhang, et al., "Densely Semantically Aligned Person Re-Identification" in Proc.CVPR, pp.667-676, June, 2019.
- [6] 長岡亜耶, 橋本直己, "深度センサを用いた手軽なプロジェクタキャリブレーション", 映像情報メディア学会技術報告, vol37, No.7, pp.3-6, Feb.2013.
- [7] 藤澤春香, 藤田悟, "Kinectを用いたリアルタイムプロジェクションマッピングシステムの構築", 第77回全国大会講演論文集, pp.447-448, 2015.
- [8] K.He, et al., "Deep Residual Learning for Image Recognition" in Proc.CVPR, pp.770-778, June, 2015.
- [9] X.Zhang, et al., "AdaCos: Adaptively Scaling Cosine Logits for Effectively Learning Deep Face Representations" in Proc.CVPR, pp. 10823-10832, May, 2019.
- [10] 松山周平, 松波直秀, "VISUAL THINKING WITH TOUCHDESIGNER プロが選ぶリアルタイムレンダリング&プロトタイピングの極意 改訂版第2版" BNN, 2021.