

プライバシーに配慮した深度センサ式人流計測システムの試作と実装

Prototype and implementation of privacy-sensitive human flow measurement system using depth sensor

大塚孝信 *1*2 西田智裕 *2 柴田大地 *1 伊藤孝行 *1*2
Takanobu Otsuka Tomohiro Nishida Daichi Shibata Takayuki Ito

*1名古屋工業大学大学院 情報工学専攻

Department of Computer Science, Nagoya Institute of Technology

*2名古屋工業大学 コレクティブインテリジェンス研究所

Center for Collective Intelligence, Nagoya Institute of Technology

In urban design, design considering pedestrian flow lines is important. Large scale redevelopment around Nagoya station is planned due to opening of Linear Central Shinkansen's Nagoya Station. Along with redevelopment, it is necessary to design a flow line that is easy to use for users by considering flow lines around the station. In this research, by collecting actual human flows at major stations in Nagoya city and modeling it, it is utilized for simulation aimed at redevelopment of cities.

1. はじめに

都市デザインにおいては、歩行者の動線を考慮した設計が重要である。我々の住む愛知県名古屋市においては、2017年に開業を予定しているリニア中央新幹線の名古屋駅の開業に伴い、名古屋駅周辺の大規模な再開発が予定されている。再開発に伴い、駅周辺の動線を考慮することで、利用者にとって使いやすい動線設計を行う必要がある。利用者にとって使いやすい動線を設計するためには、実際の人間行動をモデル化し、出入口や構造物の位置を最適な配置をシミュレーションすることが重要である。しかし、歩行行動を単純にモデル化するだけでは現実的なシミュレーションとは言い難い。そのため、実際の人流(人の流れ)を収集し、多様な歩行行動のモデルを生成することで、現実的なシミュレーションが可能となる。

人流データの収集について、歩行している個々人からの同意を取得することが難しい。一般的には、監視カメラ等から取得した動画データを画像認識することで人流を計測することが可能である。しかし、動画データを用いる以上、個々人の肖像権の問題が発生する。特に、自らの所有地ではなく公共の空間においては、個人情報保護の観点から、被験者には事前告知や同意書が必要となることが多く、現実的に不可能である。そのため我々は、個々人からの同意を取ることが困難な状況を想定し、深度センサを用いて個人情報を収集することなしに人流データを収集する方法を用いることで、実際の人間行動データに基づく行動モデルを作成し、シミュレータ上の歩行者行動則に反映することで、駅構内や歩道、および公園などの空間における歩行者行動シミュレートのための人流計測手法を実装し、実際の駅構内の人流を計測することを可能とした。さらに、電源確保できない場所への設置を前提とし、モバイルバッテリーを利用することで19時間以上計測可能な自律型計測装置を実現した。

本論文の構成を示す。まずはじめに、2章にて人流計測における関連研究を示す。次に、3章にて本研究の特徴であるプライバシーに配慮した人流計測手法について述べる。4章では、深度データから取得したセンサ値によるデータ化について述べ、

5章にて実験設定と実験結果について述べる。最後に6章にてまとめと今後の課題を示す。

2. 関連研究

人流計測手法には多くの方法があり、広く研究されている。我々と同じく深度センサを用いて人流を計測する研究[山下 09]があるが、深度センサの情報をリアルタイムに処理し、ネットワーク経由で送信しているため高性能な計算機が必要であり、AC100V電源が供給可能な場所にしか設置ができない問題がある。

また、ステレオカメラを用いて人流を計測する手法[柴田 13][大西 10]については、視差情報を活用した処理にて人流を計測することが可能であるが、撮影エリア内に重なって存在する人間の認識が困難であり、かつ動画での撮影のため、個人情報保護の観点から問題がある。さらに、超音波センサを利用して通過人数をカウントする研究[味呑 11]もあるが、センサエリアが狭く、大規模な人流測定を行うには適さない。その他にも、RFIDタグを用いた研究[山下 11]や、WiFiのmacアドレスを利用した研究[森本 15]による人流計測も存在する。しかし、RFIDタグ方式については、被験者に対してRFIDを配布する必要がある上に、専用のRFIDタグを常に身につけて貰う必要が生じる。また、WiFiのmacアドレスを利用した方法については、事前に被験者の持つデバイスのmacアドレスを入手することが必要である。WiFiのmacアドレスやRFIDについては、個人の氏名等と照合可能である場合は個人情報にあたるため、被験者の同意が必要となる。そのため、公共空間を代表とする実験環境において、大規模な人流計測を行うことが困難である。

我々は、深度センサを用い、個人情報を取得することなく人流計測可能なシステムを実装した。さらに、電源確保できない場所への設置を前提とし、モバイルバッテリーを利用することで連続19時間以上計測可能な自律型計測装置を実現した。この結果により、屋内外の大規模な空間において、設置自由度の高い人流計測が可能となる。

連絡先: 大塚孝信, 名古屋工業大学, 愛知県名古屋市昭和区御器所町, otsuka.takanobu@nitech.ac.jp

3. 個人情報保護に配慮した大規模人流計測

3.1 人流計測における個人情報

個人情報とは、個人が特定可能な符号や画像等である。日本の外郭団体である個人情報保護委員会の発行した資料[個人情報保護委員会 17]の定義では、

”当該情報に含まれる氏名、生年月日その他の記述等（文書、図画若しくは電磁的記録（電磁的方式（電子的方式、磁気的方式その他の知覚によっては認識することができない方式をいう。次項第2号において同じ。）で作られる記録をいう。第18条第2項において同じ。）に記載され、若しくは記録され、又は音声、動作その他の方法を用いて表された一切の事項（個人識別符号を除く。）をいう。以下同じ。）により特定の個人を識別することができるもの（他の情報と容易に照合することができ、それにより特定の個人を識別することができることとなるものを含む。）”

とある。そのため、mac アドレスや RFID などの、個別の ID と個人の氏名などが照合可能な場合についても個人情報に該当する。現実空間における人流計測の方法として、ビデオカメラに代表されるイメージセンサを用いた方法が広く使われている。イメージセンサを用いた人流計測については、既存のネットワークカメラ等を用いて収集した動画データにより物体認識を行い、人の流れを計測することで、人流計測が可能である。そのため、既に防犯用としてネットワークカメラが設置されている駅構内や施設、公園などでは、既存設備を利用できるため、広く活用されている。しかし、イメージセンサを用いた方式では、収集した生データ内に個人を特定可能な情報が多く含まれているため、個人情報保護の観点においては広く収集することは困難である。特に、カメラ画像を利用した人流追跡実験については、2014 年に大阪駅にて行われた実証実験が市民の要望により中止となった事例も存在するため、完全に個人情報を判別不可能な計測手法とする必要がある。

我々は、イメージセンサ方式ではなく、赤外線を用いた深度センサを用いることで、個人情報を特定不可能な状態でのデータ収集を行う人流計測手法を提案することで、愛知県名古屋市のターミナル駅構内において、実際の人流データを収集することに成功した。実際に使用した機材構成について以下に示す。

- 深度センサ: Intel Realsense R200
- スティック PC: Diginos Stick DG-STK4D
- microSD カード: 64GB
- モバイルバッテリー: 26,800mAh

本システムの最大の特徴は、外部電源供給を必要とせず、19 時間以上の人流計測が可能である。連続稼働時間を 19 時間以上とした根拠として、駅構内への設置は、乗降客の妨げとならないように列車の始発時間帯に設置することが求められる。名古屋地区においては、5 時台が始発時間帯となるため、設置後の 18 時間後は 23 時となり、朝と夕方の通勤時間帯の混雑した時間の両方の人流データを収集することが必要である。以上の理由により 19 時間以上の連続稼働可能時間を設定した。そのため、本研究にて用いるスティック PC は省電力プロセッサ搭載モデルを選定すると共に、WiFi や不要なサービスの停止についても行っている。

また、深度センサについては Intel 社製の RealSense R200 センサを選定している（以下 R200）、R200 の選定理由として、USB によるパワースタビリティが可能かつ小型な点が挙げられる。

類似のセンサとしては、Microsoft 社の Kinect や LinX 社の Xtion が挙げられるが、Kinect センサは外部電源が必要であり、Xtion についてはパワースタビリティが可能であるが、R200 と比較した場合、センサ本体が比較的大型という問題点がある。さらに、Kinect と Xtion の一部モデルは製造が打ち切られており、入手性の問題もあることから R200 を選定している。深度センサ R200 の詳細を図 1 に示す。

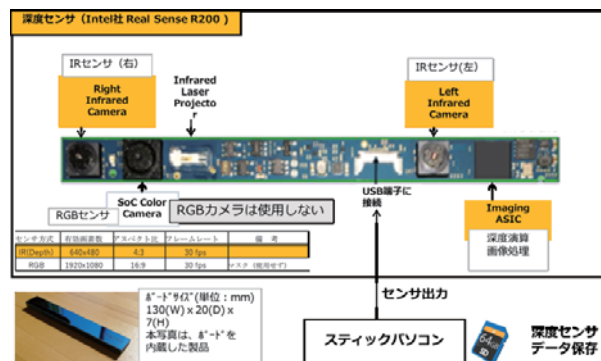


図 1: 深度センサ詳細

R200 は他の深度センサと同じく、非可視光線である赤外線を対象物に照射し、対象物からの反射赤外線を 2 つの赤外線イメージセンサから収集することで 640x480 (VGA) の各画素点の深度情報を収集することが出来る。

本研究では、R200 との通信において、RGB カメラの情報は取得せず、深度センサの情報のみをスティック PC が取得し、microSD カードにデータを保存している。また、R200 のカメラ部については、マスキングテープを貼付することにより、外観からカメラ部が隠されていることを認識できるようにしている。通信制御については Intel RealSense SDK 内のソフトウェアを改良し、PC 起動時に自動的に起動し、あらかじめ設定された収集時間に到達した時点で自動的にシャットダウンさせるソフトウェアを開発した。

3.2 個人情報に配慮したクリッピング手法の実装

深度センサは、赤外線レーザーを広範囲に照射し、赤外線反射情報をセンサユニット上に配置された複眼の赤外線イメージセンサにより読み取ることで、各画素における深度（対象物までの距離）を出力する仕組みとなっている。深度センサからの情報は、USB3.0 規格にてスティックパソコン上のデータ収録アプリケーションにより SD カードに時系列データとして保存する。また、深度情報を広範囲に測定する場合、対象となる測定物の外形がおおまかに把握可能である。個人情報を特定するまでの情報は得られないと考えるが、体型の情報が入手できるという問題がある。そのため我々は、深度センサからの距離情報を画素ごとクリッピングすることで、全身の深度データではなく、肩から上のみの深度データのみ収集する方式を提案することで、個人情報を完全に秘匿した状態での人流計測が可能なる方法を提案している。深度センサ情報のクリッピングイメージを図 2 に示す。

深度センサ情報のクリッピング処理は、VGA サイズの深度データの Y 軸方向毎に取得可能な範囲を設定することで、全身の輪郭を収集不可能な設定としており、深度センサから取得されるデータ列を接続された PC 内にて処理し、処理後のデータを microSD に保存している。

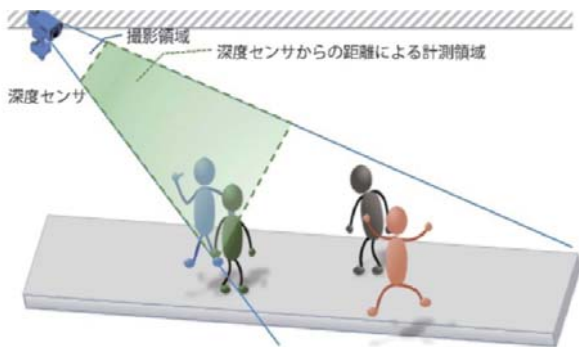


図 2: 深度センサ情報のクリッピングイメージ

4. 深度センサ情報の認識と行動モデル構築

4.1 深度センサ情報

深度データの情報は、VGA サイズのデータ列を 30fps にて収集している。深度情報は各画素点におけるグレイスケールの濃淡として表示が可能である。本研究では、コンピュータビジョン向けのライブラリである OpenCV を用いて人間の行動を認識し、行動パスとして表現することで、個々人の動きをモデル化する。センサ情報取得から行動軌跡への変換の概要を図 3 に示す。本図においては、参考のため RGB カメラにより取得された画像についても参考情報として表示している。

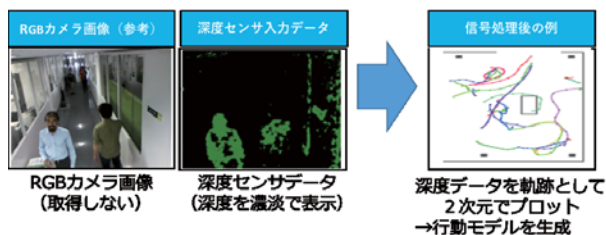


図 3: データ処理の流れ

以上のように、深度センサ情報を用いて 2 次元平面上に軌跡をプロットすることで、個々人の歩行速度や対向した際の動線を表現することが出来る。

4.2 OpenCV を用いた人体認識と座標変換手法

本節では、実際に取得した深度データからの座標変換方法について述べる。深度センサは、駅構内の案内看板等に設置されるため、上方から約 50 度の角度にて深度データを収集する。そのため、センサ取得範囲の中で複数の人間が重なり合った場合には、同一の深度情報が取得されることとなる。つまり、前後に取得された深度情報から、個人の動線を特定することが必要となる。実際に駅構内で得られた深度情報を OpenCV によって認識させた例を図 4 に示す。

本図のように、対向する人間がすれ違う際には、センサに対して手前側の深度データ情報のみが取得可能である。

本研究では、連続するデータに対してすれ違いの際の動線を分離するために、空間拡張法 (Region Growing) を用いている。空間拡張法は、空間的に連続した領域を拡張することで、目標とする輪郭を時系列的に抽出する方法である。そのため、センサ範囲に存在する物体の重なりについて、連続したデータとし

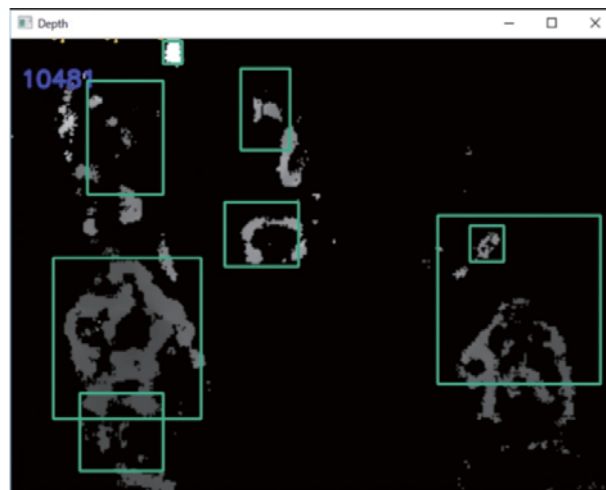


図 4: OpenCV による認識例

て入力することで、個々人の動線を分離することが可能である。図 5 に、空間拡張法によって分離された各個人の動線を示す。縦軸は各個人の連続した動線が分離された状態を示しており、下面の XY 軸はセンサ認識範囲 (約 5m 角) を示している。センサの左右方向はセンサ中心を 0 として、センサ範囲の長手方向は 1m-5m として表現されている。

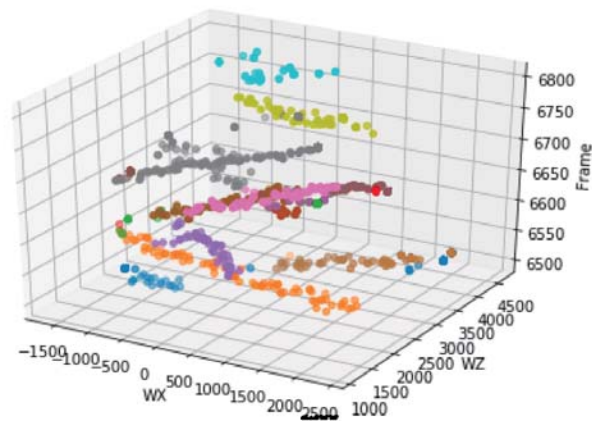


図 5: 空間拡張法による動線分離

以上により、深度センサ情報から個々人の行動軌跡を取得している。次章では駅構内にて実施した実験結果について述べる。

5. 評価実験

5.1 実験設定

本節では実際に機器を設置した実験設定について述べる。本実験では、愛知県名古屋市のターミナル駅に本研究で実装した深度センサ収集装置を設置し、データ収集を行った。以下に実験期間と機器数について述べる。

- 実験期間: 2017 年 11 月 3 日～16 日の間の 6 日間
- 実験時間: 午前 5 時～午前 0 時 (約 18 時間)

- 設置機器数：5 台（1 日ごとに計測場所を変更して実施）

実験に関しては、始発時間帯である午前 5 時に機器を設置し、終電時間後に回収した。案内看板への設置例を図 6 に示す。

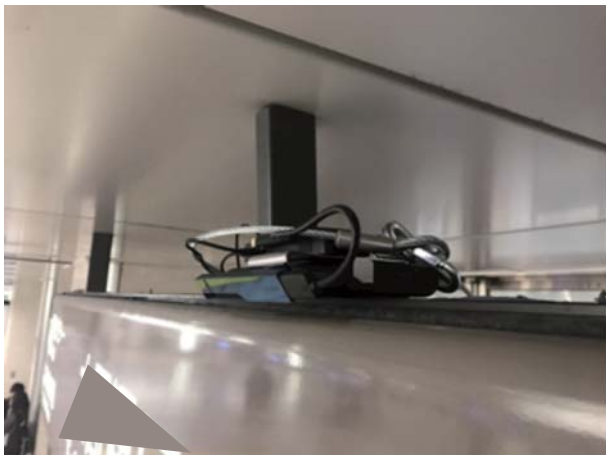


図 6: 案内看板への設置例

案内看板は、平均して高さ 3.1m に存在することから、被験者は装置の存在に気づくことなく行動を行っている。また、告知事項として常時 2 名、告知パネルを持った説明員を装置設置箇所近傍に配置することで、データ収集を希望されない被験者が存在する場合に迂回路を案内するなどの配慮を行った上で実験を実施した。案内看板への設置には、看板の塗装面を痛めることなく貼付が可能な両面テープを利用し、万が一の落下時に対しても落下することのないよう、セフティワイヤーを取付けることで設置及び安全面への配慮を行っている。

5.2 実験結果

本節では実際に得られた深度データを基に、4 章にて述べた提案手法を用いて座標変換を行っている。本研究では、まずはじめに歩行速度の分布を収集することで、歩行速度の異なる人間の分布を把握することとした。歩行速度については、座標変換を行った後、センシング範囲に入り、範囲外に出るまでの速度を mm/s として分布をグラフ化した。本実験結果は 2017 年 11 月 7 日に取得された 1 台の収集装置の約 1000 件のデータを利用している。図 7 に結果を示す。

実験結果により、平均して歩行速度 1000mm/s 近辺の割合が高いことがわかった。分布グラフにおける 4000mm/s が歩行者が走った際の速度限界と考えられるため、4000mm/s 以上のデータについてはノイズデータと考える。本実験では、平日だけではなく、休日のデータについても収集しているため平日の混雑時と休日の人流の差異についても表現できる。また、本実験においては 11 月の特定日のみ実験を行っているが、年末年始の帰省ラッシュ時やクリスマスや鉄道機関の運行停止発生時の人流情報を収集することにより、さまざまな条件下での人流モデルを構築することも可能である。本手法により、実際の人流情報を収集することが可能であることを示した。

6. 今後の課題

本論文では、プライバシーに配慮した人流計測装置を試作するとともに、実際の駅構内に設置することで人流データを収集可能なことを示した。また、座標変換を行うことで、個々の歩行軌跡を表現することが出来るため、障害物や他人と対向した

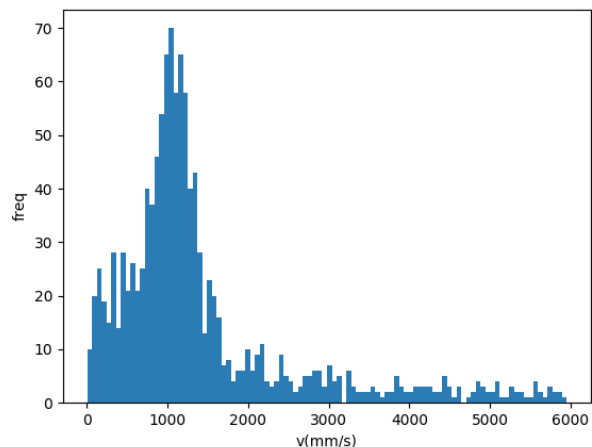


図 7: 歩行速度の分布グラフ

場合の行動パターンをモデル化することが出来る。今後は、歩行速度の分布だけではなく、軌跡データをパターンとして認識させることで、都市計画のシミュレーション等に利用していく。

参考文献

- [山下 09] 山下倫央, 副田俊介, and 野田五十樹. "人流計測による避難誘導効果の実証的検証." 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 2009.25 (2009): 1-8.
- [柴田 13] 柴田雅聡, et al. "差分ステレオを用いた人流計測手法の屋外実環境における実証実験." 日本機械学会論文集 C 編 79.800 (2013): 1036-1045.
- [大西 10] 大西正輝, and 依田育士. "大型複合施設における長期間にわたる人流比較と可視化手法." 電子情報通信学会論文誌 D 93.4 (2010): 486-493.
- [味呑 11] 味呑翔平, et al. "超音波センサーによる人流観測システムの開発と評価 (インターネット計測, ネットワーク監視, ネットワークセキュリティ, トラヒック理論及び一般)." 電子情報通信学会技術研究報告. IA, インターネットアーキテクチャ 111.347 (2011): 13-18.
- [山下 11] 山下倫央, et al. "センサデータマイニングを活用した安全安心な避難誘導への取り組み." 電子情報通信学会誌 94.4 (2011): 294-298.
- [森本 15] 森本哲郎, et al. "Wi-fi パケットセンサを用いた人流解析と可視化." データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2015) 論文集 (2015).
- [個人情報保護委員会 17] 個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン, 平成 29 年 3 月版, 個人情報保護委員会, <https://www.ppc.go.jp/files/pdf/guidelines01.pdf> (2018.3.8 閲覧)