

人流計測の精度向上を目的とした 複合センサの配置計画シミュレータの開発

○森本 哲郎*¹ 上善 恒雄*² 福田 知弘*³

キーワード：人流 位置情報 IoT センシング

1. はじめに

近年、ダイナミックに移動する人の流れを解析する分野が注目されている。人の流れを人流と呼び、道路や街中における歩行者の動線や通行量などの人流情報は、都市計画、防災計画、新たなビジネスの創出など多岐にわたる分野で活用可能であり重要な情報である。これまでに我々は、Wi-Fi パケット解析による人流・交通流の分析を行い施設管理やマーケティング、交通分野に応用している¹⁾²⁾。一方で、過剰な人流分析は個人の追跡に陥る可能性があるためプライバシーに配慮しなければならない。我々の計測手法は計測対象者の同意の上で実施する参加型の人流計測を前提としており、今後この参加型手法は高齢者や子どもの見守り、防犯対策などで需要が大きくなると予想している。本研究では、ローコストな複数のセンサを用いて動線、移動量、滞在時間、入退室判定を計測することを目的としている。効率的なセンサの配置計画とその効果検証には3次元空間上でシミュレーションを行うことが重要である。

2. 関連研究

屋外環境ではGPSの普及によりビルが立ち並ぶ都市部を除き人流計測が可能である。屋内環境ではUWB(Ultra Wide Band)測位³⁾でGPSより高精度な人流計測が可能であるが、専用のデバイスが必要であるため普及していない。測域センサ⁴⁾は人が計測機器を保持することなく位置測位が可能であるが価格面のコストが高い。屋内外問わずシームレスに位置測位するための技術としてIMES(Indoor Messaging System)があるがGPSとの互換性がなく、社会インフラと言えるまでの導入は進んでいない。

屋内環境におけるローコストな人流計測手法では赤外線センサやドップラーセンサを用いた研究が多くある。Miyazakiら⁵⁾は天井に複数の赤外線センサを取り付ける方法で移動を推定する手法を提案し、Jiら⁶⁾は4台の赤外線センサに囲まれた範囲内の特徴量抽出から人数と位置を推定する手法を提案している。また、本田ら⁷⁾は、赤外線センサを多地点に設置しセンサの隣接関係から構成されるグラフ構造をもとに移動経路の推定を行っている。移

動と移動方向に加えて脈拍や呼吸のバイタル情報をローコストに計測可能であるドップラーセンサは、介護や医療分野で応用されている⁸⁾。しかしながら、先行研究では追跡範囲の狭さと、センサ間の移動推定が問題として残っている。また、複数人を対象とした場合に検出精度が低下する問題も課題として残っている。

我々はこれまでにWi-Fiパケット解析による人流計測を行っており、追跡範囲が広域な商業施設や高速道路を対象に計測を行っている¹⁾²⁾。パケット解析において、人流はスマートフォンやタブレット端末などのWi-Fiを対象にし、交通流はカーナビなどのBluetoothを対象にした方がより流動解析が向上することも分かっている。本稿では、Wi-Fiパケットセンシングに加え、赤外線とマイクロ波の人感センサを組合せて施設内の移動や滞在、入退室の検知を行い人流計測の向上を試みた。さらに、センサ配置のためのシミュレータを構築しその性能を評価した。

3. 人流計測の実験

本実験で使用するセンサは、赤外線センサとドップラーセンサとWi-Fiパケットセンサの3種類であり、各センサの特性を表1に示す。また、ハードウェア構成を表2に示す。赤外線センサはパッシブタイプで人体から放出される赤外線を受信するためドアや椅子などの物体には反応せず人体を検出する特徴を持つ。ドップラーセンサは24GHz帯のマイクロ波ドップラによる移動体検知を行う人感センサで、検知範囲内での人の接近と離反挙動を検知する。ドップラーセンサの検知対象は物体と人体を区別せず移動体を検出する。赤外線センサとドップラーセンサでは個体の区別は不可能であるが、Wi-Fiパケットセンサでは個体の区別が可能である。

Wi-Fiパケットセンサは、Wi-Fiを搭載したスマートフォン等がアクセスポイントを探索する際に送信するProbe Requestパケットを受信するセンサデバイスである。Probe RequestパケットにはWi-Fi機器固有の物理アドレスが含まれているため最終的には個人を区別することができる。検知範囲はWi-Fiパケットを送信するスマートフォン等のWi-Fiアンテナの性能と、人体や構造物の影響による電波の減衰により数mから数十mの範囲となる。

図1は、多種多様なセンサデータを収集・蓄積・検索するために構築したIoT (Internet of Things) センシングデータ収集基盤システムである。Raspberry Pi等のIoTデバイスがセンシングしたデータは、インターネットを通じて汎用性の高いREST (Representational State Transfer) 方式でデータベースサーバに集約する。データベース側はスケーラブルな全文検索エンジンElasticsearchを用いて大規模データに対する処理が行える仕組みになっている。

本計測実験は大阪電気通信大学四條畷キャンパスの講義室や研究室があるビルで行った。Wi-Fiパケットセンサ、ドップラーセンサ、赤外線センサは4セット用意し、図2に印した場所に約1.5mの高さに設置した。持ち歩くWi-FiデバイスはiOSとAndroid端末を用意し、iOS端末にはiPhone5 (OSバージョン10.3) を使用し、Android端末にはNexus7 (OSバージョン6.0) を使用した。実験中は、Wi-Fi接続画面を表示した状態で図2に矢印で印した通過経路に沿って歩行した。実験者1人でエントランス (1階) からスタートし、10-102 講義室 (1階)、10-111 講義室 (1階)、10-214 講義室 (2階) の3部屋を入退室する経路を通った。また、各講義室では約3分間の滞在を行った。各講義室は座席数が100から150程度の広さがある。また、実験中は建物内に実験者1名以外いない条件であった。複数人が群衆状態で移動する状況での計測は、センサでの検知の難しさから本実験では対象としていない。

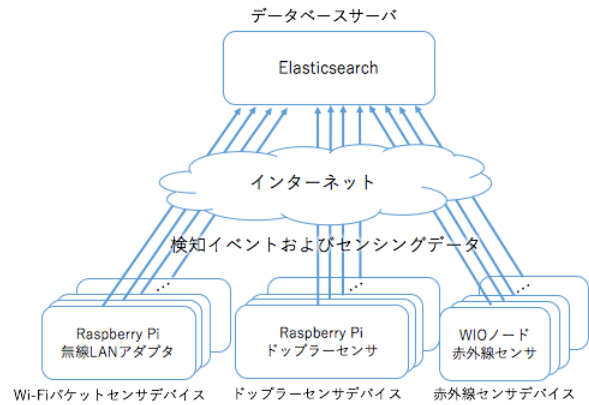


図1. IoT センシングデータ収集基盤システムの構成

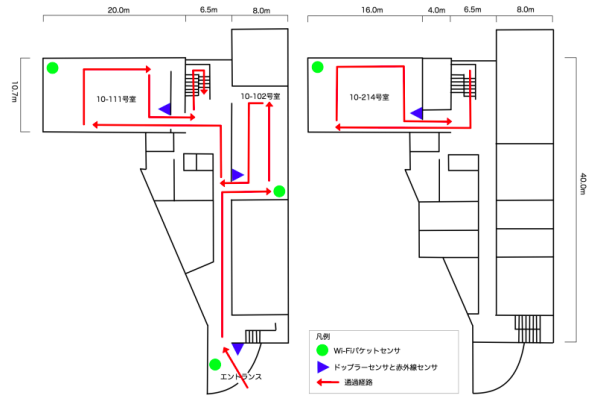


図2. センサ配置図 (左:1階、右:2階)

表1. センサの特性

センサ名	検出角度	検出距離	検出対象	個人識別	指向性
赤外線センサ	120°	6m	人体	不能	無
ドップラーセンサ	70°	5m	物体と人体	不能	有
Wi-Fiパケットセンサ	全方位	数m ~ 数十m	Wi-Fi端末	可能	無

表2. センサデバイスのハードウェア構成

赤外線センサデバイス	Seeed WIO ノード, GROVE PIR モーションセンサ
ドップラーセンサデバイス	Raspberry Pi2, NJR4265J1
Wi-Fiパケットセンサデバイス	Raspberry Pi2, Logitech LAN-W150NU2AW

4. 分析と評価

計測実験時に行動と時刻を記録し、これを正解データとして分析を行った。分析結果から浮き彫りになった課題と解決策を述べる。

図3は各センサの集計結果と正解データを比較した結果である。図3の横軸は経過時間を表し、縦軸は各センサの区別を表している。Wi-Fiパケットセンサのデータについては、各地点で最初と最後に観測されたデータを検知イベントとして集計した。正解データと赤外線センサデータを比較すると、入退室の時刻と赤外線センサが反応した時刻はほぼ同時刻となっているのが分かる。ドップラーセンサのデータと比較すると、赤外線センサと同様に入退室はほぼ同時刻である。また、移動方向 (接近、離反) は正解データの入退室と一致する結果となっている。ただし、10-102号室に設置したドップラーセンサのみ反応しておらず、指向性を持つドップラーセンサの検知漏れと考えられる。この時、同じ場所に設置した赤外線センサは検知しているため、赤外線センサとWi-Fiパケットセンサのデータから入退室の推定を行うか、ドップラーセンサの設置数を増やす必要がある。

iOS端末とAndroid端末のWi-Fiパケットセンサデータを比較すると、端末のWi-Fiアンテナの性能と設置環境の影響による計測差は見られるがWi-Fiパケットの計測

特性はほぼ同じであることが分かる。入退室の時刻と講義室での滞在時間もおよそ正確に算出された結果となった。

正解データと各センサで検知したデータの計測差を表3に示す。入退室時に赤外線センサは平均 1.57s、ドップラーセンサは平均 2.8s で検知しており誤差は微小である。Wi-Fi パケットセンサは設置環境の影響で計測のばらつきが大きいので平均 5.5 秒で入退室を検知している。正解データから算出した歩行速度 3.7km/h で歩行した場合 5.65m の計測差を含むこととなり、解析を行う上で考慮しなければならない。

本稿での実験は、建物内に実験者以外の人がない条件であった。このため各センサのデータを組み合わせることによって、正解データとほぼ一致する人物追跡を確認できた。しかし、実際には複数人の通過を検知し、人数や移動方向を推定するアルゴリズムが必要である。また、Wi-Fi 機能をオフに設定している場合、Wi-Fi パケットセンサで計測することが不可能な点と、アクセスポイントに接続後は Probe Request パケットの送信頻度が著しく低下する点を補正するためには、赤外線センサとドップラーセンサで通過人数、通過方向を計測する必要がある。また、赤外線センサとドップラーセンサでは人と人が重なりセンサで検知できない範囲が生じた場合、計測は不可能になる。各センサにはメリットとデメリットがあるため、センサの特性を考慮しながら効率的にセンサを設置するためにはシミュレーションによる配置計画を行う必要がある。

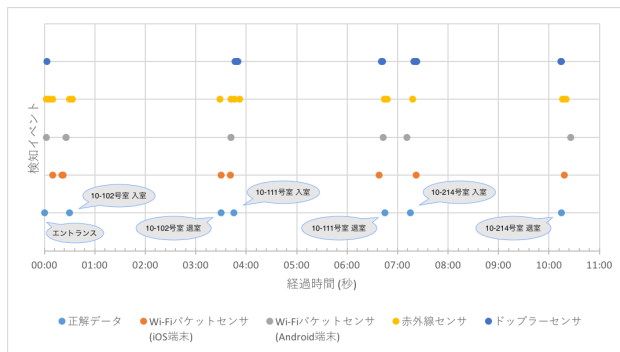


図 3. 実験データの集計結果

表 3. 正解データと各センサの計測差

	Wi-Fi パケットセンサ	赤外線センサ	ドップラーセンサ
平均 (単位 s)	5.5	1.57	2.8
分散 (単位 s ²)	12.68	1.10	1.36
距離 (単位 m)	5.65	1.61	2.88

5. 人流シミュレーション

複合センサの配置計画のためにマルチエージェントシステムを応用した人流シミュレータを構築した。ゲームエンジン Unity を用いて開発し、図 4 は Unity 上でモデリングした実験対象ビルである。ビルの 1 階と 2 階を作成し階段で行き来ができるようになっている。図 5 は各センサを図 2 と同じ場所に設置した条件でのシミュレーションのワンシーンであり、センサの反応状況とアバタの移動状況を確認することができる。Unity 上のシーン画面ではモデリングしたビル内を移動するアバタの様子を自由な角度から観察することができ、ゲーム実行画面では一人称視点でゲーム内のアバタの目線で観察することができるようになっている。

構築したシミュレータを評価するためにシミュレータ上で歩行実験を行った。図 6 はシミュレータ上で計測したセンサデータと実実験で記録した正解データを比較した結果である。正解データと各センサの誤差は表 3 と同程度を示すため、センサ計測実験はシミュレーションで試験可能であることを確認した。

本シミュレータ上で Wi-Fi パケットセンサ、赤外線センサ、ドップラーセンサの配置が行え、センサの検知範囲や指向性の確認ができるため、実際に設置する場所の検討・計画に応用することができる。図 7 はセンサ配置の様子を表したものであり、赤色オブジェクトが赤外線センサで青色オブジェクトがドップラーセンサの検知範囲である。このようにバーチャルなセンサを操作しながら、センサの配置を決定し、その効果を検証することが人流計測の計画段階において重要である。本稿で扱った 3D モデルはビルの限定的なエリアだけであったが、本システムは屋内外問わずシミュレーション可能なため、人が多く集まるイベントや災害時の人流シミュレーションなどに広く応用することが可能である。

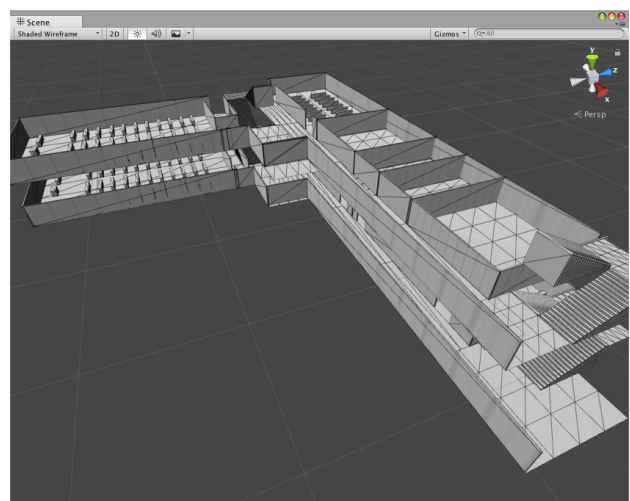


図 4. Unity 上でモデリングした実験対象ビル

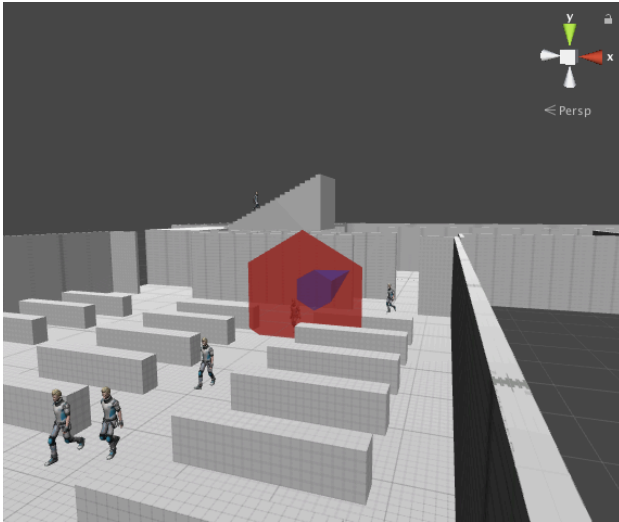


図 5. シミュレーション結果

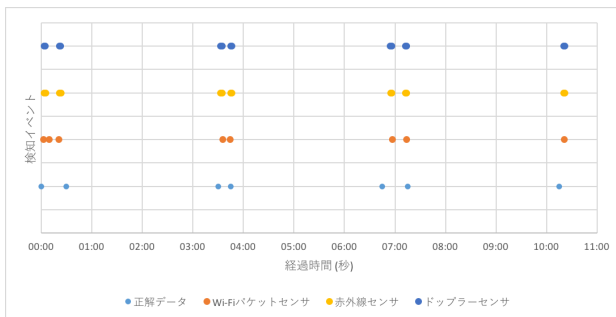


図 6. シミュレーションデータの集計結果

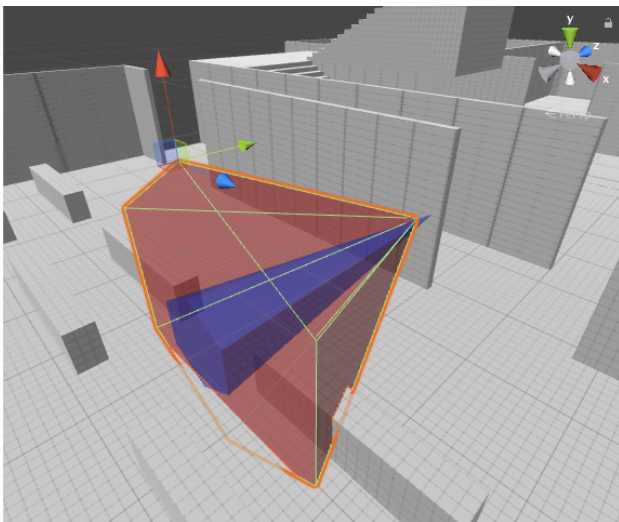


図 7. センサの配置を操作する様子

6. まとめ

本稿では Wi-Fi パケットセンサ、赤外線センサ、ドップラーセンサを用いた人流計測について報告した。実験の結果から、Wi-Fi パケットセンサと赤外線センサ、ドップラーセンサを組み合わせることにより、Wi-Fi パケットセンサのみを用いた場合よりも入退室の判定精度が向上する

ことを確認した。Wi-Fi パケットセンサは個体を区別し追跡可能であるため、本稿の複合センサによる計測手法は、高齢者の見守りシステムなどに応用可能である。

センサの検知状態や配置計画を検討するための人流シミュレータを構築し、その評価を行った。本シミュレータは、センサの計測特性を考慮して配置と検知のシミュレーションが行えるため、効率的なセンサの配置計画に活用することができる。さらに、センサを大量に用意し配置することが困難な場合や、避難誘導時の人流制御などに応用可能である。今後、より高精度な人の動きを捉えるために測域センサの併用をしていく予定である。

【参考文献】

- 1) 森本 哲郎, 辻本 悠佑, 白浜 勝太, 上善 恒雄, Wi-Fi パケットセンサを用いた人流解析と可視化, 第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM), 2015
- 2) 森本 哲郎, 白浜 勝太, 上善 恒雄, Wi-Fi パケットセンサを用いた人流・交通流解析の手法, 情報科学技術フォーラム講演論文集 Vol.14, No.4, pp.505-511, 2015
- 3) S. Gezici, Zhi Tian, G.B. Giannakis, "Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, pp. 70-84, 2005, DOI: 10.1109/MSP.2005.1458289
- 4) 樋口 雄大, 山口 弘純, 東野 輝夫, 測域センサと近距離無線通信を併用した高精度屋内測位, 情報処理学会論文誌 Vol. 57 No. 5 pp.1489-1498, 2016
- 5) T. Miyazaki, Y. Kasama, "Multiple Human Tracking Using Binary Infrared Sensors," Sensors, Vol.15, pp.13459-13476, 2015, DOI:10.3390/s150613459
- 6) Ji Xiong, Fangmin Li, Ning Zhao, Na Jiang, "Tracking and Recognition of Multiple Human Targets Moving in a Wireless Pyroelectric Infrared Sensor Network," Sensors, Vol. 14, pp. 7209-7228, 2014, DOI: 10.3390/s140407209
- 7) 本田 誠一, 福井 健一, 森山 甲一, 栗原 聡, 沼尾 正行, 赤外線センサーネットワークによる人物追跡, 人工知能学会全国大会論文集 Vol.20, pp.1-4, 2006
- 8) 久保 肇, 森 武俊, 佐藤 知正, マイクロ波ドップラーセンサによる移動・呼吸信号検知, 生体医工学 Vol.48, No.6, pp.595-603, 2010

*1 大阪電気通信大学 大学院総合情報学研究科 コンピュータサイエンス専攻

*2 大阪電気通信大学 大学院総合情報学研究科 教授 博士(工学)

*3 大阪大学 大学院工学研究科 准教授 博士(工学)