

Wi-Fi パケット人流解析システムの実環境への適用

望月 祐洋¹ 鬼倉 隆志² 福崎 雄生³ 西尾 信彦²

概要: スマートフォン等の Wi-Fi 対応機器が常時発信している Probe Request フレームを受信する Wi-Fi パケットセンサを多地点に配置してデータを収集し, 匿名化処理を施してクラウドストレージサーバに蓄積することでリアルタイムに人の滞留・流動を分析し, 人流の時空間分布を把握するための汎用システムの概要およびその実環境への適用について報告する. 平成 26 年 1 月 29 日, 30 日の二日間, グランフロント大阪のナレッジキャピタル内の The Lab. アクティブラボにおいて, また, 平成 26 年 2 月 8 日, 9 日の二日間, 大阪電気通信大学の卒業制作展である「なわてん」にて Wi-Fi パケットセンサ (AMP センサ) を設置して Probe Request 収集の実証実験を実施した. この結果, 現在構築中のシステムで人流の傾向を把握できることを確認した.

A Pedestrian Flow Analysis System using Wi-Fi Packet Sensors and its Application to a Real Environment

MOCHIZUKI MASAHIRO¹ ONIKURA TAKASHI² FUKUZAKI YUUKI³ NISHIO NOBUHIKO²

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日 (金) にはじまる東日本大震災以降, 災害からの安全性向上のために, 特に人が集中する都市部等における人の分布・流動状況をリアルタイムに把握するシステムの重要性が高まってきている [1].

本研究は, 人々が持ち歩く Wi-Fi 搭載情報機器が定期的に発信する管理パケット (Probe Request) に含まれる MAC アドレスを収集して分析用サーバにデータをアップロードする機能を有するセンサを都市内の多数の箇所に配置することで, 地域における人の流動・分布をリアルタイムに把握し, 防災計画・災害対応に活かすためのシステム構築を目的とする.

Wi-Fi 対応のスマートフォンなどの多くは, 機種によっても異なるが, アクセスポイントとの接続のために Probe

Request フレームを常時 30 秒から 120 秒程度の間隔で送出しており, このフレーム内には機器を特定する MAC アドレスが含まれているため, これをキーとして収集・分析することで情報機器利用者の流動・分布状況を把握できる.

なお, 情報機器利用者の匿名性を確保するため取得した MAC アドレスはそれをキーとして一方向性ハッシュ関数によって変換を行う. 本論文ではハッシュ関数により変換を行った MAC アドレスを匿名 (Anonymous) MAC アドレス, 略して AMAC アドレスと呼ぶ. また, Wi-Fi 対応機器が送出する Probe Request フレームを収集し, MAC アドレスを AMAC アドレスに変換した後に分析用サーバにアップロードする Wi-Fi パケットセンサのことを「AMAC アドレス Probe センサ (略して AMP センサ)」と呼ぶ.

AMP センサの利用法として, まずは AMP センサ周辺にある Wi-Fi 対応機器の数から, その付近での人の相対的な滞在数を推定できる. また, 複数箇所に設置した AMP センサから収集される AMAC アドレスを分析することで, ある匿名の個体の地点間の交通流動パターンの把握や移動速度を計測できる. スマートフォン所持者の歩行移動だけでなく, 公共交通による移動や自動車による流動把握も可能となる. 災害時における人の分布・流動情報の重要性は論を俟たないが, これらの情報は平常時でも都市計画, 交

¹ 立命館大学 総合科学技術研究機構
Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

² 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

³ 立命館大学大学院 情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

通計画などの公共計画の策定に大きな価値を持つ。さらに流通業や広告業などの民間事業においても価値ある情報となり、データ利用の範囲は大きく広がると考えられる。

本方式による人流把握手法はインフラ投資コストが小さく、人流密度の高い都市部だけでなく、スマートフォンが普及している地域であれば郊外や広く発展途上国への応用も期待できる。特にタイ・バンコク、インドネシア・ジャカルタ他、交通渋滞が都市問題となっている地域は多く、防災機能の向上のみならず交通の制御のための情報が必要な都市は ASEAN を中心に数多く存在する。

さらに、匿名性の確保とは逆に、子供達や障害者の見守り等のために積極的に所在地を知りたい場合には、AMAC アドレスに個人属性の識別子を付与して登録しておくことで、災害等の緊急時に収集された AMAC アドレスから、対象となる個体の概略の分布状況をリアルタイムに把握可能である。

本論文では、2章で関連研究について紹介し、3章でシステムの概要について説明する。4章で実証実験の結果について報告した後、5章でまとめとする。

2. 関連研究

本章では Probe Request を用いたトラッキング手法および人流解析手法について紹介する。

2.1 Probe Request を用いたトラッキング手法

Musa ら [2] はスマートフォン自体に手を加えずにトラッキングを実現するために、Wi-Fi モニタによって Probe Request を収集する手法を採り、移動経路の推定に Viterbi アルゴリズムを適用している。また、受動 Wi-Fi トラッキングでの検出端末数および各端末から受信するパケット数を増加させて推定精度を高めるために、(1) 人気の高いフリー Wi-Fi ホットスポットのエミュレーション、(2) 端末が送出する Directed Probe Request の宛先 SSID を持つアクセスポイントのエミュレーション、(3) 検出されたスマートフォンに対して Wi-Fi モニタから定期的に RTS を送信して CTS による応答をさせることで、各スマートフォンからの受信パケット数を増加させるといった Wi-Fi モニタ側でのパケットの受信機会を増やすための細かな技巧を凝らしている。

中野ら [3] は、Probe Request を利用した屋内混雑度の推定手法を提案している。提案手法は、位置推定、端末選択、入退室時間補完、特徴量計算のステップから成り、混雑度の推定精度を向上させるために、観測場所の種類を観測場所自体の地理的移動の有無、その場所への入退出制約の有無によって分類した上でそれぞれの種類に応じて適用アルゴリズムを使い分けている。

Probe Request を利用したトラッキング手法は諸外国では商用化もされており、例えば Libelium 社のマルチプロト

コルルータ製品 Meshlium Xtreme[4] では、Wi-Fi または Bluetooth のインタフェースを備える機器の検知機能を提供し、MAC アドレス、RSSI、およびベンダの情報収集が可能である。また、CISCO Systems 社の Mobility Services Engine (MSE)[5] では、CISCO 製 Wi-Fi アクセスポイントで収集した Probe Request と RSSI の情報を Wireless LAN Controller (WLC) 経由で MSE に集約し、移動体の位置推定に利用する。

このように MAC アドレスを収集することを目的に開発されたハードウェアは既に存在するものの、これを地域社会のインフラとして普及させ、幅広く公共性の高い目的で利用するための仕組みを含めた研究開発は行われていない。本研究開発の特徴は、個別のハードウェアとしての AMP センサの開発にあるのではなく、その機能をオープンソース化することで MAC アドレス収集機能の普及を促進するとともに、既に普及している ICT インフラを活用して短期間で効率的に AMP センサネットワークの構築をめざすことにある。

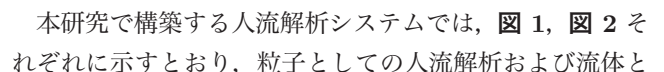
2.2 人流解析手法

馬場ら [6] は、ステレオカメラと画像処理による人流計測システムの構築を行った。通常の監視カメラが設置される位置にステレオカメラを設置し、オクルージョン問題に対処した人間抽出処理と人間追跡処理を含む人流計測アルゴリズムに基づく画像処理によってさまざまな方向の通過人数および歩行動線の獲得を可能にしている。

大西ら [7] も、ステレオカメラを用いた画像処理によって人間の動線を抽出するとともに、年単位の長期間に渡る動線の人数変化を混合正規分布でモデル化することで効率良く保存・表現する手法を提案し、実証実験を通じて二つの異なる期間の人流データを容易に比較できるとともに、閲覧性の高い可視化ができることを報告している。

中村ら [8] は、床上に設置した複数のレーザレンジスキャナの同期計測、および歩行者の足首付近のレンジデータの変化パターンを認識するアルゴリズムを適用することでオクルージョンを低減させた歩行者トラッキングを実現している。通勤ラッシュ時の駅構内コンコースでの実証実験の結果、20 m × 30 m の範囲で最大 149 人の同時トラッキングおよび 81% のトラッキング精度を実現し、広範囲での高密度の群衆計測への有効性に言及している。

和田ら [9] はレーザレンジスキャナのオクルージョン問題に対処するために、個々の歩行者の位置データを完全に捉えるのではなく、計測領域を一定サイズの単位セルに分割し、各セルの人口密度の変化を計測することで歩行者の移動経路を推定、移動経路を通る歩行者数と移動方向から、フローを算出する人流モデル化手法を提案している。

本研究で構築する人流解析システムでは、 **図 1**、**図 2** それぞれに示すとおり、粒子としての人流解析および流体と

しての人流解析の二つの側面を対象にする。前者の側面では個人の移動に着目してパーソントリップデータを抽出し、OD (Origin-Destination) 表を作成することで人の流動を把握する。粒子として人流解析は、主として施設内の見守り対象者の現在位置の把握を目的とする。後者の側面では設置した AMP センサをノードとしてノード間をエッジで結び完全グラフを作成し、ある時間における人数や人の滞留度をノード毎に算出するとともに、各エッジでの人の流量を算出する。その際、流量 0 のエッジについては人が通行しない経路と認識する。

カメラと画像認識による手法に比べてパーソントリップを取りやすく、データの長期収集、見守り対象者の識別もしやすい。また、カメラ撮影するよりもプライバシー面での利用者の心理的抵抗は少ないと考えられる。レーザレンジスキャナを用いる手法に比べると、センサ 1 台あたりの設置コストが低く、多地点への設置およびシステムを広く一般に普及させる目的に適している。さらに、実用面からは既設のカメラやレーザレンジスキャナと多数の AMP センサを併用することで相互の役割を補完しつつ精度向上を図れると考えられる。

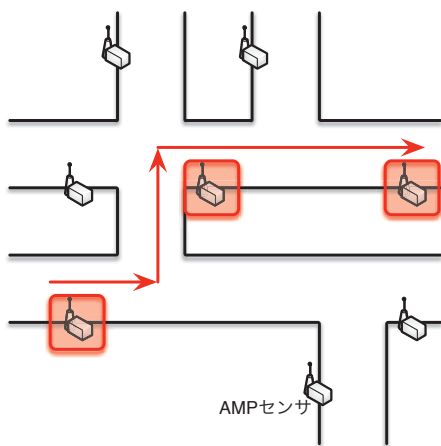
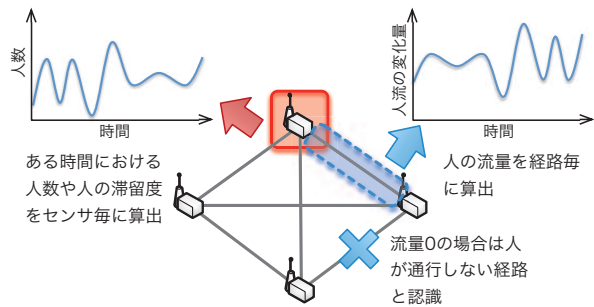


図 1 粒子としての人流解析
Fig. 1 Pedestrian flow analysis as particles

3. システムの概要

3.1 AMP センサ

AMP センサは小型で量産時には 1 万円を切る価格を目処に、電源に差すだけで手軽に利用できる仕様を目標としている。また、性能目標として (1) 単体で設置し電波障害がない状況で分速 120 m で移動する Wi-Fi 機器の最長発信間隔 60 秒の管理パケットを受信できること、(2) 毎分 350 機の異なる Wi-Fi 機器の通過を認識できることを掲げているが、これについては事前研究調査として大阪地下街に設置し AMP センサで平日昼間に 1 分間に 350 件程度の Probe Request の取得 (1 分間の通行者数約 500 人) できる



設置したAMPセンサをエッジで結び完全グラフを作成

図 2 流体としての人流解析
Fig. 2 Pedestrian flow analysis as fluid

ことを確認している。さらに、受信した Probe Request に含まれる MAC アドレスを匿名化、暗号化することで個人特定やトレーサビリティを困難化する処理や、蓄積されたデータを暗号化されたまま解析できるなど、堅固で使いやすいセキュリティシステムの構築が目標である。

3.1.1 ハードウェア

AMP センサのハードウェアとしては、モニタモードで動作する Wi-Fi アダプタと PC があればよい。現時点では、安価なマイクロ PC を開発ターゲットとし、Raspberry PI Model B をベースとする AMP センサプロトタイプ (P 型) および Intel NUC (Next Unit of Computing) プラットフォームをベースとする AMP センサプロトタイプ (N 型) の開発を進めている。図 3 および図 4 に各 AMP センサプロトタイプの外観を、表 1 に諸元を示す。

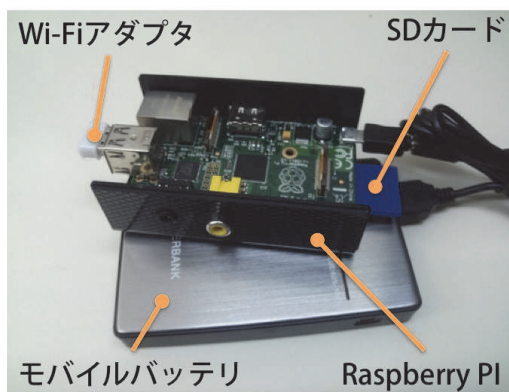


図 3 AMP センサ P 型
Fig. 3 A prototype of AMP sensor (Type P)

3.1.2 ソフトウェア

AMP センサ P 型の OS は、Linux ベースの Raspbian 3.6.1+ である。また、AMP センサ N 型の OS は、Ubuntu 12.04 LTS である。現状、AMP センサで Probe Request を取得した際、MAC アドレスを SHA-1 (160 ビット) でハッシュ化し、得られたハッシュ値、受信強度、取得時間、取

表 1 AMP センサ諸元

Table 1 Specifications for AMP Sensors

項目	P 型	N 型
基盤ハードウェア	Raspberry PI Type B	Intel NUC (DC3217IYE)
サイズ	100 (幅) × 64 (奥行き) × 30 (高さ) mm	116.6 (幅) × 112 (奥行き) × 39 (高さ) mm
CPU	ARM1176JZF-S 700 MHz	Intel Core i3 3217-U
主記憶	512 MB	SO-DIMM 8 GB DDR3 (1600 MHz)
ストレージ	8 GB	128 GB SSD (mSATA)
ネットワーク	有線: 10/100 Mbps イーサネット (RJ45) 無線: Logitech LAN-W150NU2AW	有線: Integrated Intel PRO 10/100/1000 無線: Intel Centrino Advanced-N 6235
電源	5 V, 3.5 W AC アダプタ	19 V, 65 W AC アダプタ



図 4 AMP センサ N 型

Fig. 4 A prototype of AMP sensor (Type N)

得場所の四つ組の情報をログとして保存する。ログ情報は fluentd によって定期的に後述するクラウドストレージサーバにアップロードされる。各 AMP センサは NTP によって時刻同期している。パケットキャプチャには libpcap, MAC アドレスの SHA-1 ハッシュ化には OpenSSL ライブラリを使用し、実装プログラミング言語には C, C++ を使用している。

3.1.3 センサの基本特性

これまでに Wi-Fi の電波特定について計測を行った結果 [10], [11] から、AMP センサの基本特性は次のようにまとめられる。

- センサ近傍数メートルだけ RSSI 値が顕著に大きい。
- 数メートル以上離れると RSSI は 300 m まで増減するため、単純な反比例関係等は観測されない。
- センサと観測対象の Wi-Fi 機器の間に人が立つと RSSI は急激に減衰する。
- Wi-Fi 機器の持ち方によって RSSI は大きく変動する。

3.2 クラウドストレージサーバ

我々はライブログセンシングのための分散ストレージシステム L2base[12] 構築の経験から、近年低価格化が進むクラウドサーバ上に、データ量の増加に対応してスケールア

ウト可能で、データ処理の高速化を実現できる分散型データベース処理エンジンを搭載する構成で AMP センサから送出される大量のデータを蓄積し、分析できるクラウドストレージサーバの構築を目標としている。現時点では試験的な数個の AMP センサのみを対象としているため、実験施設に付帯している Wi-Fi 環境や LTE 等の無線ルータ経由でインターネット接続し、レンタルサーバ上で稼働する MySQL に HTTP 経由で情報を集約し、計算処理を行っている。これと並行して、立命館大学内にオープンソースの仮想クラウドサーバ構築環境である CloudStack を活用したセンサデータ格納用ストレージサーバシステムのテストベッドを稼働している。図 3.3 のシステム構成図に示したとおり、クラウドストレージサーバ上には、HDFS, HBase が動作しており、その上で HBase のクライアントとして時系列データベースである OpenTSDB 2.0 が動作する。AMP センサで収集されたログは AMP センサ側の fluentd とクラウドストレージサーバ側の fluentd との間での SSL によるセキュアな通信によってクラウドストレージサーバ上に集約されとともに、OpenTSDB が提供する HTTP API を通じて OpenTSDB に蓄積される。HBase バージョン 0.98 で実装され “Transparent Server Side Encryption” 機能を利用することで、ストレージ内データに HFile 単位での暗号化を施している。

3.3 スマートフォン用アプリ

我々の開発している Wi-Fi パケット人流解析システムは、スマートフォンのような Wi-Fi 対応機器が定期的に出す Probe Request を多地点に設置される AMP センサによって観測する手法を採るため、基本的には Wi-Fi 対応機器側のハードウェアおよびソフトウェアに手を加える必要はない。

しかし、位置情報の特定を希望する利用者の情報を AMAC アドレスに対応づけるとともに、AMP センサ側での測位と既存の屋内測位手法による端末側測位とのハイブリッド測位手法によって見守り対象者の追跡精度を向上させるため、スマートフォン側に「見守りアプリ」を動的にインス

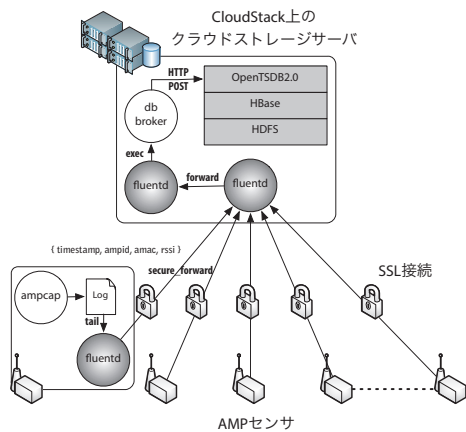


図 5 システム構成図

Fig. 5 System Architecture

ツールし、見守り期間終了後にアンインストールする機能を提供する。この機能によって、例えば施設管理者が施設内にいる見守り対象者の現在位置を把握しやすくなる、また親子が迷子対策のために双方のスマートフォンにアプリをインストールすることで現在値を確認できるなど、現実的な見守りという目標を実現できる。現状ではiOSでのWi-Fi測位機能を開発者が利用できないため、Androidスマートフォンを主な開発ターゲットとしている。

4. 実証実験

平成 26 年 1 月 29 日 (水), 30 日 (木) の二日間, グランフロント大阪ナレッジキャピタル内の The Lab. アクティブラボにおいて 2 階に 3 台と 3 階に 3 台の計 6 台の AMP センサを用いた実証実験を実施した。また, 平成 26 年 2 月 8 日 (土), 9 日 (日) の二日間, 大阪電気通信大学四条畷キャンパスで開催された卒業研究発表展示会「なわてん」において AMP センサ 10 台を設置して本方式の実証実験を行った。本実証実験の目的は, 本格的な人流解析機能の開発に先立ち, AMP センサで収集した Probe Request から抽出した情報に基づく人流解析を通じてどれだけの知見を得られるか, ノウハウの蓄積と課題の洗い出しにある。

4.1 アクティブラボ実証実験

アクティブラボでの実証実験では, 1 月 29 日 16:00 から 1 月 31 日 10:00 の撤収時までデータ収集を行った。また, 1 月 29 日 18:00 から AMAC アドレスが既知のスマートフォンを保持し, 予定した時間と場所を移動することでリファレンスポイントを作成した。各ポイントでは取得開始時刻から 1 分間滞在した。図 6 にアクティブラボのフロアマップ, AMP センサ設置箇所 (J1~J6), およびリファレンスポイント (R1~R20) を示す。また, 表 2 にリファレンスポイントの名前と取得開始時刻の一覧を示す。名前に下線が引かれているリファレンスポイントでは, スマ

トフォンを AMP センサの真上に置いて Probe Request を収集させた。

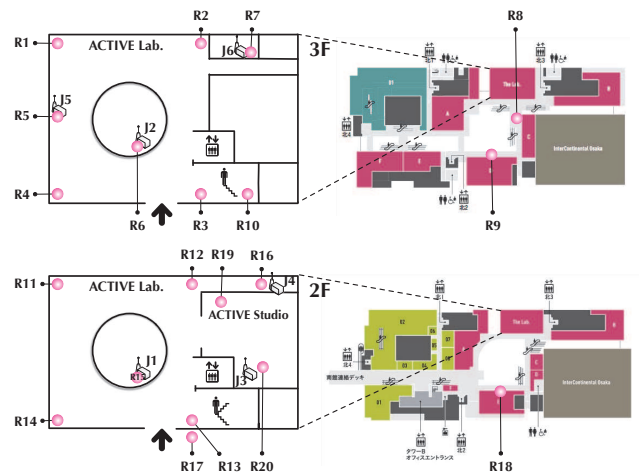


図 6 ActiveLab フロアマップ

Fig. 6 ActiveLab floor map

表 2 リファレンスポイント一覧

Table 2 A list of reference points

名前	取得開始時刻	名前	取得開始時刻
R1	18:18	R11	18:41
R2	18:20	R12	18:43
R3	18:22	R13	18:45
R4	18:24	R14	18:47
<u>R5</u>	18:26	<u>R15</u>	18:49
<u>R6</u>	18:28	<u>R16</u>	18:51
<u>R7</u>	18:30	R17	18:53
R8	18:33	R18	18:55
R9	18:35	R19	19:05
R10	18:39	<u>R20</u>	19:07

図 7 は, リファレンスポイントの作成期間に対象スマートフォンの AMAC アドレスが観測された AMP センサの ID を時系列でプロットした結果である (図中の青線)。データを 1 分間隔でリサンプリングし, リサンプリング間隔内で RSSI 値が最大の AMP センサの近傍に対象スマートフォンが存在するとみなす。垂直の赤線が各リファレンスポイントでの取得開始時刻を示しており, その内, 実線がスマートフォンを AMP センサの真上に置いて収集させた分を示している。これら実線で示される各リファレンスポイントにおいて本来得られるべき正解の AMP センサ ID と AMP センサで収集されたデータの RSSI 値を元に算出した結果を示したのが表 3 である。リファレンスポイント R6 について J2 が正解であるところ, 結果として J5 という誤判定が生じたものの, 概ね期待通りの結果が得られている。

次に, アクティブラボ実証実験での人の流動をグラフ状

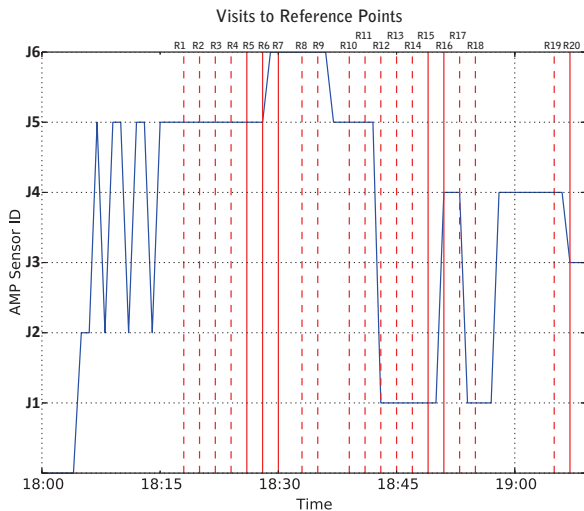


図 7 リファレンスポイントへの訪問
Fig. 7 Visits to reference points

表 3 リファレンスポイントでの計測結果
Table 3 A result of sampling at reference points

名前	正解	結果
R5	J5	J5
R6	J2	J5
R7	J6	J6
R15	J1	J1
R16	J4	J4
R20	J3	J3

表 4 アクティブラボ実証実験における OD 表
Table 4 OD Table for the ActiveLab experiment

		Destination						Σ
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	
Origin	J1	6827	596	1221	433	899	149	10125
	J2	953	4470	874	176	2140	696	9309
	J3	1925	767	3789	792	685	442	8400
	J4	510	402	812	735	164	221	2844
	J5	824	2187	672	196	9096	571	13546
	J6	102	684	412	271	581	2049	4099
Σ		11141	9106	7780	2603	13565	4128	48323

に整理した結果を図 8 に、またそれを OD 表に整理した結果を表 4 に示す。元データを 1 分間隔でリサンプリングし、ある AMAC アドレスを有する Wi-Fi 対応機器が、ある AMP センサで観測されてから別の AMP センサで観測される変化点を移動と捉え、1 月 29 日の 16:00 から 1 月 30 日の 16:00 までの 24 時間分のデータを集計した。

4.2 なわてん実証実験

大阪電気通信大学で開催されたなわてんでは、2 月 8 日 11:00 から 2 月 9 日 17:00 の撤収時までデータ収集を行った。図 9 に大阪電気通信大学四条畷キャンパスでの実証実

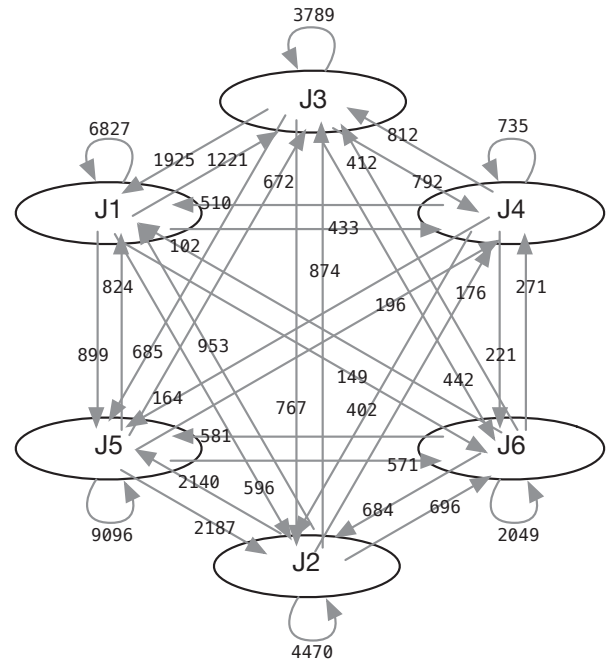


図 8 ActiveLab での AMP センサ間の人の流動
Fig. 8 Number of human flows between AMP sensors in the ActiveLab

験においてセンサを設置したエリアを示す。なわてん来場

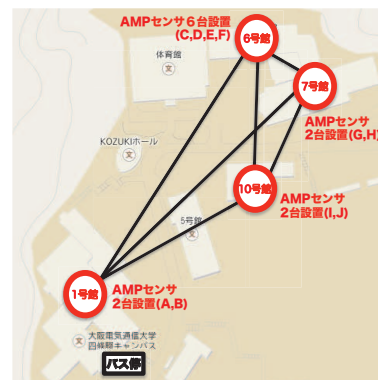


図 9 大阪電気通信大学キャンパスマップ
Fig. 9 Osaka Electro-Communication University campus map

者は 1 号館にて参加受付を行う必要があった。加えて、1 号館にはバス停が隣接している。本実験では、4 つの建物に 10 台の AMP センサを設置した。しかし、各 AMP センサでの RSSI 値の取得が非常に不安定であったため、RSSI 値による直近の AMP センサの判定は困難であった。そこで、建物単位でのユーザ位置の認識を行う。例えば AMP センサ A, B 号機は 1 号館に設置しているが、その何れかのセンサで Probe Request を捉えたら 1 号館にいると判断する。

4.2.1 移動軌跡の生成

本実験における解析では、2 つ以上の建物で観測された

同一 MAC アドレスがあれば、移動端末 (携帯端末を所持している参加者) としてみなす。各移動端末からは図 10 に示す手法で移動軌跡を生成する。

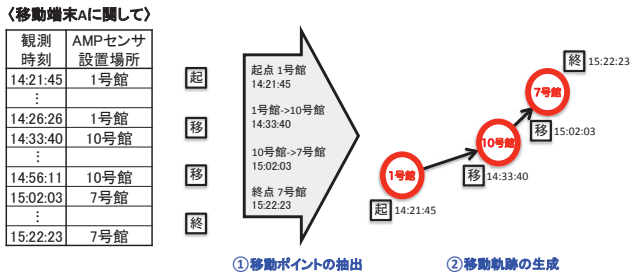


図 10 移動軌跡の生成

Fig. 10 Generation of trajectory data

本手法では以下 3 つのポイント抽出する。

- 起点：移動端末が最初に観測されたポイント
- 移転ポイント：観測場所が切り替わったポイント
- 終点：移動端末が最後に観測されたポイント

移転ポイントはどの観測点からどの観測点へと移転したかという情報を保持する。抽出された起点、移動ポイント、終点を時系列順に繋ぐことで、移動軌跡を生成する。複数の移動端末から収集した移動軌跡群を活用して、流体としての人流解析を行う。

4.2.2 流体としての人流解析結果

本節における解析では 2 月 8 日 11:00 から 2 月 8 日 20:00 までの観測を対象にしている。対象期間で抽出された移動端末は 331 台であった。移動軌跡群の移転ポイントを基にどの観測点からどの観測点へ移動しているかという情報を取得する。それらの情報から作成した OD 表を表 5 に示す。移転ポイントを基に OD 表を作成しているため、

表 5 なわてん実証実験における OD 表

Table 5 OD Table for the Nawaten experiment

		Destination				Σ
		1号館	6号館	7号館	10号館	
Origin	1号館	0	55	5	7	67
	6号館	59	0	1168	172	1399
	7号館	14	2204	0	8	2226
	10号館	23	163	7	0	193
Σ		96	2422	1180	187	3385

各端末の滞留具合を認識することはできていない。6号館と7号館の間の移動が顕著に現れているが、これは6号館と7号館が隣接関係であるために発生する誤認識が影響していると考えられる。例えば、移動端末が6号館にあるにも関わらず、7号館までパケットが届く状況では、携帯端末自体が6号館に存在したとしても、7号館に移動したと認識され、誤った移転ポイントが生成される。これらの誤認識

を防ぐ為に、RSSI 値や観測タイミング等を活用を考えている。

次に 15 分毎に解析した移転ポイントの集計結果を図 11 に示す。2 月 8 日は 11:00 から 17:00 までがなわてんの開催

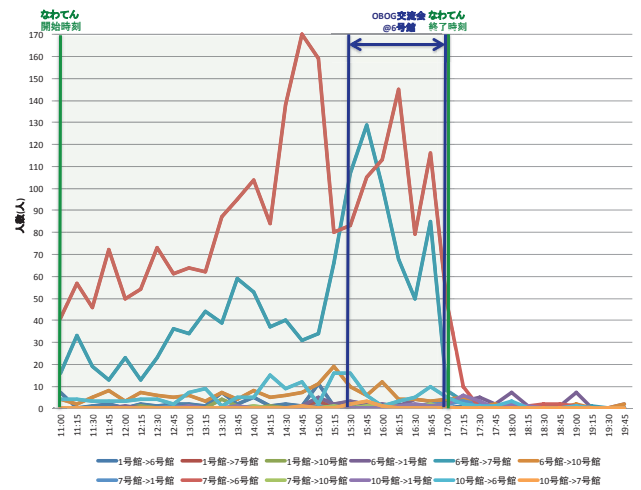


図 11 単位時間あたりの人の流量

Fig. 11 Pedestrian flow per unit of time

時間に指定されている。実際に、17:00 以降は移転ポイントの生成数が少なくなっており、加えて、2 月 8 日には 15:00 から 17:00 の間にホームカミングデーと呼ばれる OBOG 交流会が 6 号館で行われていた。15:00 前後に人の移動が活発になっていることが図 11 より読み取れる。

イベントが及ぼす人流への影響

15:00 から 17:00 の間に開催された OBOG 交流会がなわてん実施日の人流に与えた影響を検証するために、6 号館へ向かった人、6 号館から出て行った人の推移を示すグラフをそれぞれ図 12、図 13 に示す。

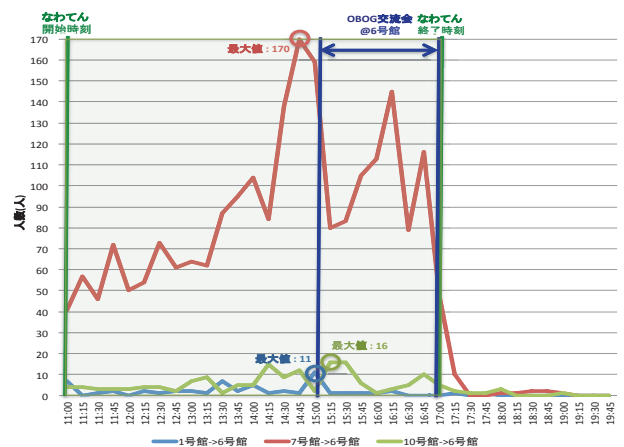


図 12 6号館へ移動した人数の変化

Fig. 12 Number of people going to the building 6

図 12 から読み取れるように、1 号館から 6 号館へ移動した人数、7 号館から 6 号館へ移動した人数、7 号館から

6号館へ移動した人数のそれぞれが15:00前後でピークを迎えている。加えて、OBOG交流会の途中で6号館に向かっている人も数多くではないが確認できる。OBOG交流会の終了時刻はなわてん自体の終了時間ということもあり、17:00以降に6号館へ向かう人の数は激減している。

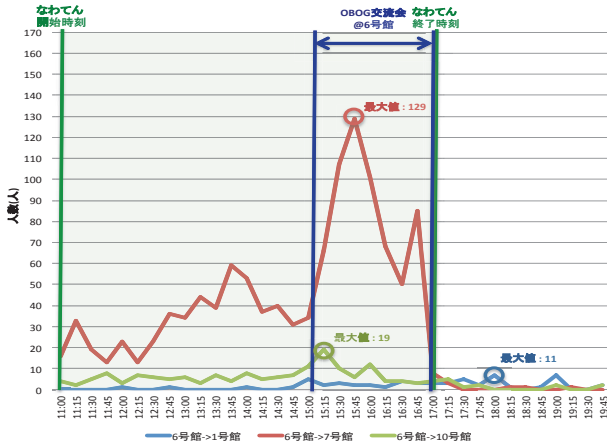


図 13 6号館を離れていった人数の変化
Fig. 13 Number of people leaving the building 6

次に6号館から出て行く人に着目する。6号館から7号館へ移動した人数、6号館から10号館へ移動した人数はOBOG交流会の開始時刻よりも遅い時間にピークを迎えていることが分かる。6号館から1号館へ向かった人の人数はOBOG交流会の終了後にピークを迎えている、1号館付近にはバス停があることを考えると、OBOG交流会を終えた後にバス停に向かい帰路についた人が多く存在したということが推測される。

来場者数の変化

抽出した移動端末から起点が1号館である移動端末が存在する場合は、その移動端末を所持する人は起点時刻になわてんに来場したものと判断し、来場者の変化を求めた。その結果を、図 14 に示す。

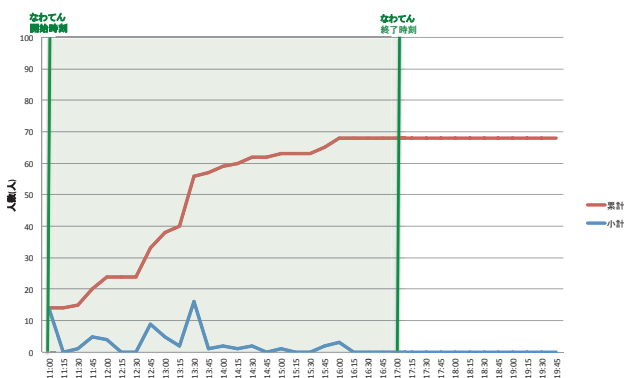


図 14 なわてんへ来場した人数の変化
Fig. 14 Number of attendees

13:00 までは来場者の増加が顕著に見られる。12:00 台、13:00 台に人の増加が多いのは昼食を済ませてから来場する参加者が存在するからだと推測される。なわてんが終了する 17:00 が近づくにつれて来場者数の伸びは緩やかになっていくことが確認できる。

退場者数の変化

一方で、抽出した移動端末群から終点が1号館である移動端末が存在する場合は、その移動端末を所持する人は終点時刻になわてんを後にしたと判断し、退場者の変化を求めた。その結果を、図 15 に示す。

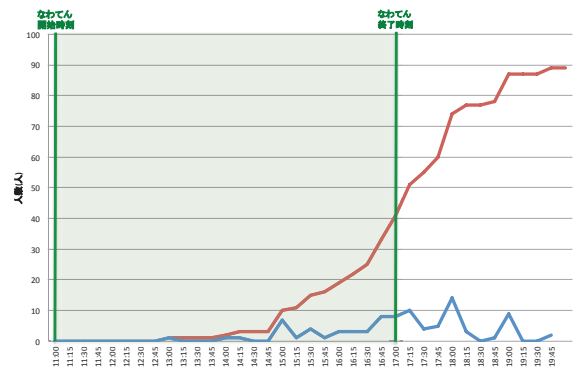


図 15 なわてんから退場した人数の変化
Fig. 15 Number of people leaving the Nawaten

午前中になわてんを退場する参加者はほとんどいなかったということが推測される。なわてんの終了時刻である 17:00 であり、その時刻が近づくにつれて退場者数は増加する傾向にある。19:00 台まで会場に残っている参加者が数名いたということも同時に読み取れる。

4.3 プライバシ保護対策

一般来街者を対象にした実証実験において我々が行ったプライバシー保護対策について述べる。アクティブラボ実証実験では、実験会場であるアクティブラボ 2F、3F の入口、および AMP センサが入った紙箱の脇に以下の内容を含む告知パネルを掲示することで実験中である旨周知した。また、なわてん実証実験でも同様に、AMP センサの設置場所と展示ブースに告知パネルを設置した。

- (1) 調査の目的と概要
- (2) 計測するデータとその取り扱い
- (3) 計測を避けたい場合の方法
- (4) 問合せ先 (手持ち機器のデータ消去を希望する場合等)
 - (1) については調査の実施主体、スマートフォン等が発する Wi-Fi パケットに含まれる情報を用いて、地区内の流動・滞留を把握し、防災計画・都市計画・商業活性化・交通計画など多方面で活用可能なアノニマス (匿名性) 人流解析を行うことを目的に実施すること、調査期間について記

載した。(2)については計測データがスマートフォン等のWi-Fi パケットに含まれる識別子を擬似乱数により置き換え(ハッシュ関数処理)を行ったものであり、通信内容を傍受するものではないこと、名前やメールアドレス等の個人情報は含まれておらず個人の特定はできないこと、さらに、取得したデータを本調査の目的である流動・滞留解析以外には使用せず、また取得データを第三者に提供することはないこと、取得したデータは数学的・統計的に処理し個人の行動追跡が行われることはないことを明記した。(3)について計測を避けたい場合に、スマートフォンのWi-Fi機能をオフにすることで計測の対象から外れること、(4)については計測データの消去を希望する場合に、問合せ先に連絡して自身の機器のMACアドレスを知らせることで該当データを消去する旨を記載し、オプトアウト方法を明示した。

5. まとめ

Wi-Fi 対応のスマートフォンなどの多くは、アクセスポイントとの接続のために Probe Request フレームを常時 30 秒から 120 秒程度の間隔で送出している。このフレーム内には機器を特定する MAC アドレスが含まれているためこれを一方向ハッシュ関数で匿名化した値をキーとして収集・分析することで情報機器利用者の流動・分布状況を把握可能である。本論文では Probe Request を観測する AMP センサを実環境に設置して実施した実証実験の解析結果を示した。この結果、イベントの開始時刻、終了時刻を基にすることで、現段階のシステムでも人流の傾向をある程度で把握できることを確認した。

今後の課題として、流体としての人流解析をする際に AMP センサ間での流量をできるだけ正確に算出する工夫が必要だと考える。今回の実証実験の段階では、AMP センサが収集データは <時刻, AMAC アドレス, AMP センサ ID, RSSI 値> の組であり、ある AMAC アドレスを含む Probe Request フレームが同一時刻に複数の AMP センサで観測された場合に、それらが確かに同一の Probe Request フレームだと判定するのが困難であった。そこで収集データに Probe Request ヘッダに含まれる Sequence Control フィールドの値を含めることで、フレームの識別可能性を高め、流量算出の改善を図りたい。加えて今回オフラインで行った解析の知見に基づき、観測データのアップロード時にサーバサイドでリアルタイムに人流解析や可視化処理を行えるようシステム構築を進める予定である。

謝辞 本研究の一部は総務省の「戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)」(受付番号 132307011)の支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] Horanont, T., Witayangkurn, A., Sekimoto, Y. and Shibasaki, R.: Large-Scale Auto-GPS Analysis for Discerning Behavior Change during Crisis, *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 28, No. 4, pp. 26–34 (online), DOI: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MIS.2013.3> (2013).
- [2] Musa, A. B. M. and Eriksson, J.: Tracking Unmodified Smartphones Using Wi-fi Monitors, *Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, SenSys '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 281–294 (online), DOI: 10.1145/2426656.2426685 (2012).
- [3] 中野隆介, 沼尾雅之: 無線 LAN アクセスポイントへの検索要求を用いた屋内混雑度推定手法, *日本データベース学会論文誌*, Vol. 12, No. 1, pp. 121–126 (2013).
- [4] Libelium: Meshlium Xtreme Datasheet (Document Version:v4.2 - 11/2003), Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (online), available from (http://www.libelium.com/downloads/documentation/meshlium_datasheet.pdf) (accessed 2014-01-26).
- [5] Little, J., Brendan O' Brien: A Technical Review of Cisco's Wi-Fi-Based Location Analytics White Paper, Cisco Systems, Inc. (オンライン), 入手先 (http://www.libelium.com/downloads/documentation/meshlium_datasheet.pdf) (参照 2014-05-14).
- [6] 馬場賢二, 榎原孝明, 湯浅裕一郎: 画像処理による人流計測システム, *東芝レビュー*, Vol. 61, No. 12, pp. 35–38 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/40015220459/>) (2006).
- [7] 大西正輝, 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, 情報・システム*, Vol. 93, No. 4, pp. 486–493 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007593182/>) (2010).
- [8] 中村克行, 趙 卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴木尚毅: 複数のレーザレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価, *電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理*, Vol. 88, No. 7, pp. 1143–1152 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/10016795882/>) (2005).
- [9] 和田悠佑, 中村嘉隆, 東野輝夫: 障害物の存在する空間におけるレンジスキャナを用いた人流モデル化手法の提案, *マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2011 論文集*, Vol. 2011, pp. 1183–1192 (2011).
- [10] 望月祐洋, 上善恒雄, 西田純二, 中野秀男, 西尾信彦: Wi-Fi パケットセンサを利用した匿名人流解析システムの構築, *情報処理学会研究報告. MBL, [モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告]*, Vol. 2014, No. 45, pp. 1–8 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009676754/>) (2014).
- [11] 三神山駿, 森本哲郎, 白濱勝太, 上善恒雄: Probe Request を利用した人流解析システム, *第 12 回情報科学技術フォーラム (FIT2013) 講演論文集*, Vol. 12, M-010, pp. 333–334 (2013).
- [12] 名生貴昭, 安田充志, 安積卓也, 西尾信彦: ライフログセンシングのための分散ストレージシステム, *情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム]*, Vol. 2013, No. 19, pp. 1–8 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009579735/>) (2013).