

## Probe Requestを利用した人流解析システム Pedestrian traffic flow analysis system using Probe Request

三神山 駿<sup>1</sup>・森本 哲郎<sup>2</sup>・白濱 勝太<sup>1</sup>・上善 恒雄<sup>1,2</sup>

### 1. はじめに

スマートフォンの普及が急速に進み、2013年5月で45%を超えたという報告がある。スマートフォン、タブレット、ノートPCなどの無線LANからはデータ通信を行っていない時にも制御のための通信が行なわれており、そのパケットには機器を一意に識別するMACアドレスが含まれている。Probe Requestなどの制御のためのパケットは本来、周囲に存在する無線APを探すための規格であるが、そこに含まれるMACアドレスを識別子として捉える事で、その情報端末を携帯するユーザーのマーカとして利用し、匿名の人物の行動経路を把握する事が可能となる。

本論文では、Probe Requestを用いた人流解析システム、およびそのシステムの実現可能性を調べるために行なった事前検証実験の結果と、システムを構築するうえでの課題について述べる。

### 2. 研究の背景

無線LANの規格を利用したセンシングサービスの研究・開発が近年多くなってきている。日本国内では無線APの送信するBeaconフレームを利用したPlace Engine[1]等がGPSを補完した位置即位サービスとして有名である。Probe Requestを利用したものは鉄道車内混雑度推定[2]等、プライバシー侵害を避けるためかどうかはわからないが、個体を識別するような応用はあまり見かけない。海外ではWi-FiのProbe RequestとBluetoothの近接情報を取得する製品[3]や、Bluetoothデバイスのセンシングで交通量を計測するシステム[4]が実用段階に入っている。

スマートフォンの普及率が年々増加してきている昨今、こういった情報端末から発信される電波の副次的な利用方法はさらに広がるものと思われる。

### 3. Probe Requestを利用した人流解析システム

#### 3.1 システムの概要

Probe Requestのセンシングによる人や車の流れの把握がどの程度実用性があるかを検証するために、Monitor Modeとして機能するWi-Fiデバイスを搭載した小型PCをベースにしてセンサノードを製作した。このセンサノードではProbe Requestパケットから得たMACアドレスを、それらを取得したタイムスタンプと地点情報を付与して、データ収集・解析用サーバに送信するようにした。収集したデータをMACアドレスとタイムスタンプでソートしてやれば行動経路が分かる。

#### 3.2 事前検証

スマートフォンの普及率は高いが電力消費をおさえるためにWi-FiをOFFにしている人も少なく無いであろうし、自動車からの電波は伝播損失もあり、Probe Requestの送出密度は1分に1回程度であるため、センサノードで捕捉できるタイミングを実測して、センサノードの設置方法を検討する必要がある。人通りの多い駅前、人の流れがある程度把握出来るイベント会場、人は減多に通らず自動車だけが通るトンネル等の場所で計測実験を行

なった。まずは処理すべきデータの量的な見積りを行なうため行なった計測実験では、平日の20時から20時半の30分間にJR大阪駅の中央切符売り場前の100mほど離れた2地点で取得した合計のProbe Request数は10178個で、そこから得た一意なMACアドレスの合計は1835個、2地点で取得出来た同一の一意なMACアドレスは120個であった。

#### 3.3 事前検証の考察

事前検証からも、短時間でかなりのProbe Requestが取得出来ることがわかった。20時という時間帯は通勤ラッシュはおさまっていて感覚的には1日の中で平均的な通過人数であるので、1日20万件以上のProbe Requestを見積もるべきで、同様に一意なMACアドレスとして最低3万から4万件を処理する性能が必要であると想定するべきである。

また、パーソントリップ調査等では大阪駅周辺だけで一日200万人の乗降客があるとされているので、総数からすると2%程度のサンプリング調査に相当すると考えられるが、これはアンケート等による調査とサンプリング率では大した優位性は無いが、パーソントリップ調査の実施が数年に一度で、平日・休日の違いすらカウントしていないことを考慮すると、1年中、季節・平日・休日・24時間の動向調査が可能であることには価値がある。

### 4. システム設計上の課題

#### 4.1 大量データの収集

実験程度のデータであれば集中的にRDBに集約して、個々の移動履歴やマクロな流動を解析することは容易であるが、数千、数万の大量のセンサノードを地理的に分散させて人流を把握しようとする、データの格納と解析処理の分散化のためのデータ構造とフローを検討する必要がある。

データ量を減らす工夫としては、Probe Requestは1周期あたり5個ほどのリクエストを一気に送信することがわかっているため、数秒以内に同一ノードで受信された同一MACアドレスのデータは同一のもののみなし、ノード側で初回データ以外のデータを弾く、などが考えられる。

計算量を減らす工夫としては、データを全てサーバに集約するのではなく、ノードにもある程度のデータを持たせる手法が考えられる。理想はノードごとに1地点の全データを持たせ、サーバからのリクエストに応じてデータを返す手法で、この手法であればサーバ側の計算はレスポンスデータのソートのみとなるが、想定として各ノードは非力なマシンであるため、現実的な解決策はその地点に存在したことがあるMACアドレスのリストを持たせておき、サーバのリクエストに応じてMACアドレスが存在する・しないのデータを返す、というものである。全データをノードに持たせる手法には及ばないが、目的のMACアドレスが存在しない地点の探索を省くこ

1 大阪電気通信大学総合情報学部デジタルゲーム学科

2 大阪電気通信大学総合情報学研究科

とができるため、地点の数が増えた場合、全探索よりも効率の良い方法となる。

#### 4.2 人流推定方法

今回の事前検証で、2点間が数百メートル離れているにも関わらず Probe Request は数秒差で届く、というようなケースが複数見受けられた。情報端末の電波送信強度が強い場合は遠距離の Probe Request を受信してしまうため、位置精度にかなりの差が発生し、自動車の渋滞観測等への応用では観測対象のスピード推定に致命的な影響がある。そのため電波強度を考慮した観測が必要である。

大ざっぱには観測地点に近づく時は電波強度は増加し、離れる時には減少するはずだが、実際には電波の反射や干渉のために、そのような単純な特性にはならない。

#### 4.3 不安定な電波強度からの距離推定

実測すると1台のセンサノードで観測した電波強度にはかなりのゆれがある。そのため、1観測地点あたりに複数のセンサノードを設置し、地点での相対強度を見てある程度補正をかける必要がある。

今回、2台のセンサノードとなるPCを30m離して設置し、その間でスマートフォンを移動させる実験を行なった。グラフを以下に示す。なお、PC間には電波を阻害するものは設置していない。

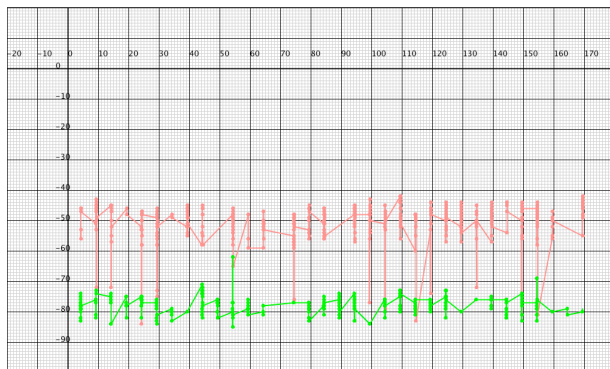


図1 PC1から0m、PC2から30mの地点

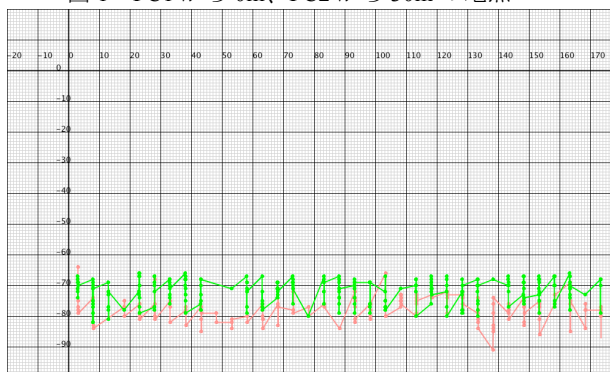


図2 PC1から15m、PC2から15mの地点

横軸が秒数、縦軸が信号強度[dB]である。4.1で述べたように、同じタイミングで複数のパケットが送出されるため、縦線が出現している。おおむね距離と対応した位置関係となっているが、まれにイレギュラーな点が存在するため、平均を取る等、複数サンプリングデータからの平滑化が必要である。

#### 4.4 ハードウェア

4.3で述べたセンサノードの台数を増やして Probe Request を捉える機会を増やす仕組みでは設置箇所ごとのコストがかさむため、低コストなセンサノードの開発が不

可欠となる。またインターネット経由でサーバにデータを即時集約する方法では充電機による運用は不可能であるため、電源の確保も課題となる。実験に用いたノートPC(Macbook)ではWi-FiのMonitor Modeとデータ通信が共存するため観測データを即時アップロードできたが、デバイスによってはNetwork Interfaceをモニタ用とデータ通信用を分離する必要がある。

#### 5. 今後の展望

センサノードのデバイス開発について、上述のように現在はARMベースの小型PCベースのデバイスを試作しているが、消費電力削減のための最適化がまだまだ必要である。

大量の観測データを分散処理する方法は別途検討中で、基本的に地理的な構造、交通ネットワークの構造に依存するデータであるし、公共交通では時刻表に連動するデータ移動であるため、計画的なセンサノードの最適配置とスケジューリング、エリアや経路毎の前処理もエネルギーとデータ解析に有効な方法を模索したい。現実のセンサノード設置施行についても同一観測地点の有線接続とあわせて電源系統の設計も課題である。

歩行者の人流解析、駅の乗降パターン、高速道路の旅客経路/速度計算などから、まちづくり、道路計画、防災・減災対策など幅広い分野での応用を見据えて実証実験を計画している。

#### 6. まとめと結論

海外でのBluetoothセンシングシステムの例もあるため、本論文で述べた事を実現可能であることは推定出来るが、現状のままではデータ不足のため、今後も継続して実験を進めていきたい。

スマートフォンなどの情報端末の位置情報を取得する技術としては既にGPSが存在するが、Probe Requestは電波強度の制限があるため、GPSよりも細かな範囲での解析が可能である。また、情報端末が発信するパケット情報さえ取得出来れば解析が可能のため、地下でも問題なくシステムを動作させることができる。

3.2の事前計測からも分かる通り、情報端末所持者が、自らの情報を常に発信し続けていることを自覚しているとは考え辛く、すでにMACアドレスの使用に関して懸念の声もよく聞くが、個人情報と同様に利用者にとっても有用なサービスの構築も望まれる。ICカードを端末にかざすような行動は、これまでの実証実験のシステム利用を見る限りは実際的でなく、近づけば有用な情報を提示してくれるデジタルサイネージ等、まだまだ生活環境に役立つ可能性はある。しかし、使い方を間違えると特定個人の完全な行動経路把握が可能となるため、不用意なプライバシー侵害に結びつかないようにノンスを含めた一方ハッシュ関数を通して実験データを蓄積する。

#### 参考文献

- [1] Place Engine  
<http://www.placeengine.com/>
- [2] 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利用した鉄道車内混雑度推定”
- [3] Vehicle Traffic Monitoring Platform with Bluetooth Sensors over ZigBee  
[http://www.libelium.com/vehicle\\_traffic\\_monitoring\\_bluetooth\\_sensors\\_over\\_zigbee/](http://www.libelium.com/vehicle_traffic_monitoring_bluetooth_sensors_over_zigbee/)
- [4] Bluetooth travel time system  
<http://www.calgary.ca/Transportation/Roads/Pages/Traffic/Traffic-management/Bluetooth-detection-system.aspx>