

携帯電話利用帯域のスペクトル解析による 街中の通行人数推定手法の提案

新井 イスマイル^{1,a)} 望月 祐洋² 西尾 信彦³

概要：エリアマーケティングや都市計画において人流計測は重要な役割を持つ。従来の人手によるカウントは人件費等のコストがかかるため、年に1回程度しか実施できない。近年はカメラ映像から歩行者を認識し自動的にカウントする手法も登場しているが、プライバシーの懸念があり積極的なカメラ設置が難しい。そこで本研究では携帯電話の電波利用状況をスペクトル解析し、LTE 通信帯域の利用状況から計測箇所周辺の大まかな歩行者の人数をカウントする手法を提案する。校内のコンピュータ室（50台規模）にて計測した結果をもとに在室数を重回帰分析により約100サンプルを推定した結果、15名程度の推定においては平均1割程度の平均絶対誤差だったが、40名程度の推定においては7割程度の平均絶対誤差となり、現状の計測方法および推定手法では大人数の推定には課題が残った。

キーワード：携帯電話、スペクトル解析、歩行者数推定

1. はじめに

エリアマーケティングや都市計画において人流計測が実施されている。従来の人手によるカウントは性別や年齢等の属性も記録しているため、詳細で正確な情報が得られる一方で、人件費等のコストがかかるため、年に1回程度しか実施できていない現状がある。実際にはイベントや天候、季節の移り変わり等による街中の人流の変動を捉えたいニーズがある。

上記の問題を解決する最も効果的な技術はカメラ映像の画像処理による解析 [1], [2] である。歩行者を認識し、年齢、性別、身長等までをリアルタイムに随時測定できる。しかし、プライバシーの懸念があり積極的なカメラ設置が難しい。他に赤外線の利用 [3], [4] が考えられるが、歩行人数を推定できる程の解像度を扱うような熱画像の処理になるとカメラと同様のプライバシー問題を抱えることになる。その他、部屋内の人数推定には CO2 センサ [5] が活

用されることがあるが、街中では空気が循環しており、精度が期待できない。無線 LAN の Probe Request を活用した人流計測 [6] が期待できるが、歩行者のスマートフォンが無線 LAN を有効にしている割合が定かではなく、また Probe Request の発信頻度に個体差があるため、研究途上といえる。属性情報は一般市民の技術の理解が深まるにつれ、さらに困難になる可能性があるため、技術的な側面では解決が難しく今後のガイドライン制定等に任される。街中の歩行人をカウントするといった目的については識別性能やコスト削減等に取り組む余地がある。

上記を踏まえて、本研究では属性情報は考慮せず、無線を用いた汎用性を重視する人流計測手法として、携帯電話の上り回線の通信状況をスペクトラム・アナライザ（以下、スペアナ）で計測し、統計処理する手法を提案する。

開講日の平日の午後6時間程度、50台のコンピュータが設置されたコンピュータ室にてスペアナのログを蓄積し、100サンプル程度の人数推定をした結果、15人程度の推定をする際には約1割の平均絶対誤差で在室人数を推定できたが、40名程度の推定においては約7割の平均絶対誤差となり、現状の計測・推定手法では大人数の推定が困難であることが分かった。

以降、2章にて関連研究を考察し、3章にて本研究の提案内容を詳述する。4章にて実験結果と考察を述べ、5章で本論文をまとめる。

¹ 明石工業高等専門学校電気情報工学科
Dept. of Electrical and Computer Engineering, Akashi National College of Technology, Akashi, Hyogo 674-8501, Japan.

² 立命館大学総合科学技術研究機構
Research Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University.

³ 立命館大学情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University.

a) ismail@akashi.ac.jp

表 1 関連研究の比較

手法	識別性能	設置コスト	プライバシー
カメラ	◎	△	×
赤外線	△	△	△
レーザ	○	×	○
CO2	×	○	○
無線 LAN Probe Request	○	○	△
携帯電波	△	×	○

2. 関連研究

街中での歩行者のカウント手法として様々なセンシング手法があるため、識別性能、プライバシー、設置コストを評価軸に考察する。なお、表 1 に関連研究をまとめる。

カメラ画像の解析 [1], [2] による歩行者カウント手法は人や顔を検出して、性別・年齢・身長等の属性情報も解析が可能となっている。本来のエリアマーケティング等の目的を考慮すると最も識別性能の優れた方式であるが、識別性能が高いが故、一般歩行者にはプライバシー情報が取得されているとみなされ、設置の理解が得られないことが大きな問題となっている。画像処理技術については汎用化されつつあるため、カメラに対する画像処理資源のコストは下がりつつある。

赤外線による人体検知 [3], [4] も考えられるが、街中の気温によっては区別が難しくなる。また、識別性向上のために熱画像を用いることになるとのカメラと同様のプライバシーおよびコストの問題が浮上する。

レーザレンジファインダを用いた歩行者カウント [7], [8] はセンサの設置台数により精度が左右される。レーザレンジファインダ単体が高価なため街中での歩行者を十分に検出しようとする設置コストが高くなる。歩行者の属性は取得しないことが理解されているため、プライバシー問題は生じない。

屋内の人数と二酸化炭素濃度には相関があるため、CO2 センサで屋内の人数カウント [5] が可能である。プライバシー上の問題もコストの問題もない。しかしながら、風通しの良いところでは二酸化炭素が滞留しないため、街中での使用は難しい。

無線 LAN の Probe Request を用いた人流計測 [6] は無線 LAN を有効にしているスマートフォン端末から Probe Request が送出されていることに着目し、街中に設置した Wi-Fi 端末でそれらを収集することでその場の歩行者（無線 LAN 端末）をカウントできる。しかし、外出時に無線 LAN を有効にしている端末が未知数で、Probe Request の発信頻度に個体差があるため、汎用性に課題が残る。

一方で、携帯電話の通信（携帯電波）を観測し、発信源を特定するという研究 [9] がある。これは入試時のカンニング対策に開発されたもので、そのまま街中の人流計測

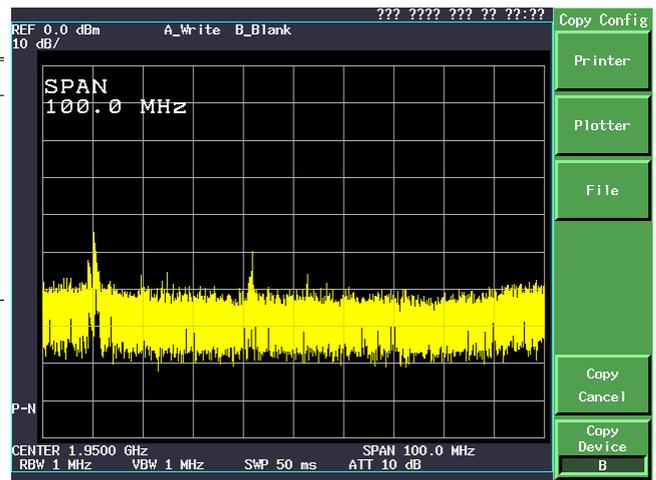


図 1 携帯電話無通信時のスペクトル

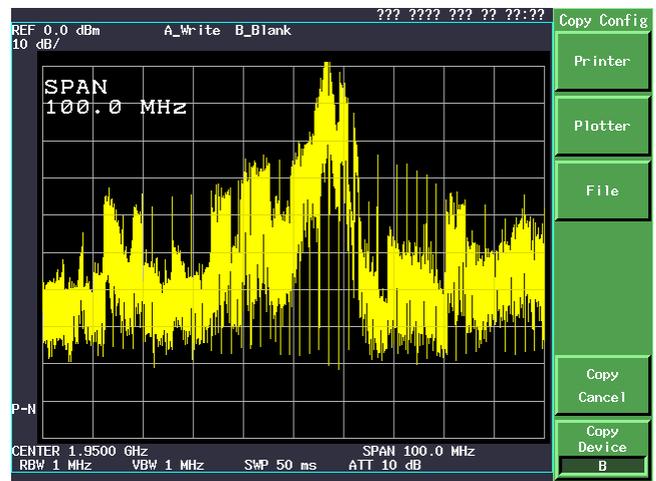


図 2 携帯電話上り通信時のスペクトル

表 2 ピークリストの例

周波数 [GHz]	電界強度 [dB]
1.93E+09	-1.07E+01
1.94E+09	-2.46E+01
1.94E+09	-2.87E+01
1.94E+09	-3.60E+01
1.94E+09	-3.63E+01
1.94E+09	-3.73E+01
1.94E+09	-5.43E+01
1.93E+09	-4.23E+00
1.95E+09	-4.27E+01
1.96E+09	-5.44E+01

を行うにはコスト高となるシステムだが、現在普及している iPhone や Android 端末等のスマートフォンはメールチェックや SNS の新着情報取得等、何かしらポーリングしており、上りパケットが定期的送信されているため、汎用性が期待できる。

3. 携帯電話の利用帯域のスペクトル解析による 通行人カウント手法の提案

無線 LAN の Probe Request による手法の汎用性の問題と、携帯電波観測手法の設置コスト面の問題を解決するために、携帯電話利用帯域のスペクトルを解析し、通行人の人数を推定する手法を提案する。

携帯電話の通信は上りと下りで帯域が別れており、下りの電波は概ね一様に微弱に飛んでいるため、スペクトル解析によってその場の通行人を推定することは難しい。それに対して、上り通信は端末に近ければ近いほど電界強度が強くなるため、センサ周辺の端末がポーリングにより一定割合で上り通信を行っているとは仮定すると、その上り帯域の利用状況から通行人を推定できると期待する。図 1 にスペアナに接続したアンテナから 30cm 程度の距離に 1 台の通信していないスマートフォンを置いた時の、スペアナのスクリーンショットを示す。NTT ドコモの LTE 端末を用いたので、上り通信は 1920~1980MHz を利用しているはずである。1870MHz 付近に多少のピークが出ているがこの端末によるものではない。次に図 2 にファイルをアップロードしている際の上り通信の様子を示す。LTE 上り通信帯域全域に渡って 1970MHz 付近をピークに強い電界強度が観測されていることが分かる。なお、スペアナは高価な計測機器であるが、このような特定の周波数帯の電界強度を測定することに特化した計測機器を作成すれば設置コストが軽減できると考えられる。

LTE は CDMA でのスペクトラム拡散による通信方式を採用しており、複数端末が同時に通信しても同じ周波数帯で電波が送信されるため、必ずしもこのピークの数数を数えて周辺の通信中の端末数を推定することはできない。しかし、一度の通信で通信帯域を占有する時間は短いため、通信の密度が上がるにつれ、無通信と比べて強い電界強度が観測される時間が長くなると考えられる。したがって、無通信状態よりも強い電界強度の観測頻度を入力パラメータとして、正解の通行人数を学習させることで、携帯電波のスペクトル解析による通行人数カウントが実現できると仮定する。

図 2 に示すような詳細な通信帯域利用状況から、無通信状態の差分を算出し、積分値をパラメータとすることが理想だが、使用しているスペアナの仕様の都合上、サンプリングデータの出力が GPIB インタフェースにのみしか対応しておらず、持ち合わせていなかったため、本論文においてはスペアナのピーク検出機能を活用し、その出力結果をシリアル通信で 1 秒間隔で取得する。ピーク検出機能は同時に最大 10 個のピークを最大のものからリスト化ができるため、周辺端末通信時には、無通信時の電界強度を超えるピークのリストが得られると考えた。

ある時刻にスペアナに比較的近い端末が上り通信を行っ

表 3 在室者数推定結果

講義名	平均推定人数	正解人数	平均絶対誤差 (%)
講義 1	29	43	68
講義 2	14	14	11

た時に取得したピークリストを表 2 に示す。1.93GHz 周辺において -10db から -54db までのピークが得られている。なお、無通信時には概ね -60db よりも弱い分布となっている。

本設計では -60db よりも強い通信を 10db 毎に区分して度数分布表を作成し、各区分のパラメータを独立変数として、周辺の人数を従属変数とする重回帰分析によって、携帯電波のスペクトル解析から周辺人数を推定する。

4. 実験

2014 年 2 月 6 日に明石工業高等専門学校 電気情報工学科 情報基礎演習室にて 6 時間程度のサンプリングを行った。情報基礎演習室はデスクトップ PC が約 50 台設置されたコンピュータ室で、サンプリング中に 2 つの講義があった。1 つ目の講義は 43 名が出席するプログラミング演習講義（以下、講義 1）、2 つ目の講義（以下、講義 2）は 14 名が出席するプログラミング演習講義であった。講義外の時間は学生が自習のために自由に入出入りできる。従属変数となる在室者数が講義時間外に変化するため、部屋の後方からカメラ撮影し、後ほど手作業で人数をカウントして従属変数に設定した。

実験機器はスペアナに Advantest 社製 R3465（測定可能帯域：9kHz~8GHz、分解能帯域：300MHz~3MHz）、アンテナにブースタ付き指向性アンテナである AARONIA AG 社製 HyperLog 7060X（対応周波数：700MHz~6GHz、利得：45gBi (typ.)) を使用した。スペアナと PC は RS-232C ケーブルで接続し、ピークリストを取得するコマンドを 1 秒おきに送信する。カメラからは 10 秒毎に静止画を撮影し、ピークリストと周期が異なるが、撮影間の在室者数は同じとした。

重回帰分析時には講義 1 と講義 2 の該当時間からそれぞれ連続した 2 分間のデータを後の推定実験のために無作為に除外して、切片と偏回帰計数を求めた。得られた重回帰式を式 1 に示す。count は在室人数、h はそれぞれの電界強度区分でのピークカウント数を表す。特に優位ではない偏回帰計数はなかった。

$$count = 12.9532 - 2.532h_{10} + 1.1279h_{20} + 1.8046h_{30} + 2.3124h_{40} + 5.1713h_{50} \quad (1)$$

式 1 によって、重回帰分析時に除外した期間の在室者数を推定した結果を表 3 に示す。遅刻・途中退室のない講義だったため、正解人数はそれぞれ 43 名、14 名と一定である。人数が多い講義 1 では推定結果が大きく異なった。電

界強度区分のログを目視で確認したところ、人数が多い割りに-50db以上のサンプルが少ないパターンが多かった。講義は前の席から詰めて座るため、演習室後方の学生の電波がスチール机等の影響によって十分な利得で得られなかった可能性がある。講義2については平均値を見る限りは良好な結果が得られた。但し平均絶対誤差は10%程度となっているため、今後より多くのサンプルを計測して分析して改善点を見出したい。

現在考えているものとして、PCに取り込むデータの取得間隔をより短くしてデータの詳細度を上げること、アンテナの設置位置を工夫すること、他の周波数帯の分析、スペアナのピークリスト出力機能に頼らないスペクトラム解析等がある。

5. おわりに

街中での人流解析について、識別精度、コスト、プライバシーの考慮を満たす手法として、携帯電波のスペクトラム解析を基とする手法を提案した。コンピュータ室における2講義とその前後の休み時間を利用してサンプリングしたデータを元に重回帰分析を行い、得られた回帰式で在室者数を推定した結果、10数人程度の在室者に対しては平均絶対誤差が1割程度の良好な結果が得られたが、40人程度の人数の場合は、平均推定人数についての誤差は3割程度、平均絶対誤差については7割弱の結果となり、仮説と大きく異なった。携帯電話の発する電波が微弱で短時間であることを考慮して、より詳細な解析を進めたい。

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] 大網亮磨, 石寺永記, 植木一也, 宮野博義, 藤田光洋, 井原康行: 監視カメラ映像に基づく人物行動・属性の抽出とその応用, 電磁情報通信学会誌, Vol. 95, No. 5, pp. 452-456 (2012).
- [2] 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 (2006).
- [3] 長原 一, 蛭名良雄: 熱画像を用いた人顔の個人特徴の抽出, 電子情報通信学会信学技報, Vol. PRMU96, No. 42, pp. 39-44 (1996).
- [4] 二宮裕貴, 村上和人: サーモビジョンを用いた人物検出の検討, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 33, No. 54, pp. 41-44 (2009).
- [5] 菅原正則, 榎山 愛: 居住者からのCO₂および水蒸気発生を利用した在室人数推定における誤差の許容範囲, 日本建築学会東北支部研究報告集, Vol. 75, pp. 247-250 (2012).
- [6] 三神山駿, 上善恒雄, 森本哲郎, 白濱勝太: Probe Requestを利用した人流解析システム, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 12, pp. 333-334 (2013).
- [7] 中村克行, Zhao, H., 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴木尚毅: マルチレーザスキャナを用いた通行人数の自動計測, 情報科学技術フォーラム一般講演論文集, Vol. 3,

- No. 3, pp. 195-196 (2004).
- [8] 和田悠佑, 山口弘純, 東野輝夫: レーザレンジスキャナ計測を利用した歩行者の識別手法の実験と評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-MBL-64, No. 14, pp. 1-8 (2012).
- [9] 佐野健太郎, 渡邊将博, タンザカン, 阪口 啓, 荒木純道, 林 大介, 荒田慎太郎: 携帯端末を用いた不正行為検出のための屋内位置推定方式, 電子情報通信学会信学技報, Vol. SR2011, No. 131, pp. 189-194 (2012).