アクセスポイントのログを利用したWi-Fi利用者の位置及び施設利用者数推定システムの開発

今留 駿輔[1]　神屋 郁子[2]　下川 俊彦[2]

概要：近年、スマートフォンが普及する中で、屋内で Wi-Fi が利用できる場所が増加している。人が集まりやすい場所に Wi-Fi のアクセスポイントを設置することで、屋内でも精度の高い位置情報を取得できるようになった。スマートフォンや PC が Wi-Fi を使用して測位できる一方で、Wi-Fi のアクセスポイントがこれらの端末が近接していることを知ることも可能である。この情報を元に、人がどこにいるかを推定できると考えた。また、そのアクセスポイントと通信している端末の数を数えることで、近くにいる人の数も推定できると考えた。本研究では Wi-Fi 利用者の位置及び施設利用者数推定システム ToMetion(To Me Location System) を開発した。本システムはアクセスポイントのログを利用して、特定の場所の人数を推定したり、Wi-Fi 利用者の位置を推定するシステムである。本研究では九州産業大学のキャンパス LAN である KIND Wi-Fi のアクセスポイントから得られる情報を用いて実装した。本システムの施設利用者数推定機能についてアンケートを基に評価を行った。

Development of User Location and Number of Users Estimation System using Wi-Fi Access Log

Shunsuke Imatome[1]　Yuko Kamiya[2]　Toshihiko Shimokawa[2]

1. はじめに

近年、スマートフォンが普及する中で、屋内で Wi-Fi が利用できる場所が増加している。例えば、駅や空港、大学、ホテル、飲食店など、人が多く集まりやすい場所がある。これらの場所では、屋内にいてもスマートフォンや PC の位置情報を取得できるようになった。

スマートフォンや PC 等の端末が Wi-Fi を使用して測位できる一方で、Wi-Fi のアクセスポイントがこれらの端末が近接していることを知ることも可能である。アクセスポイントは通信した端末を区別することができる。複数のアクセスポイントの情報を収集することで、広範囲に渡って端末の位置を調べることが可能である。また、あるアクセスポイントと通信している端末の数を数えることで、そのアクセスポイントの近くにある端末の数を推定することも可能である。

本研究では、Wi-Fi のアクセスポイントから得られる情報を利用して、特定の場所にどれぐらいの人がいるのか推定すること、特定の人の位置を調べることを目的とする。

2. 推定手法

本研究での人数推定手法と位置推定手法について述べる。

2.1 人数推定手法

本研究では、アクセスポイントのログから人数推定をする。そのためにあるアクセスポイントと接続した端末の数を測定する。具体的には、ある時刻から指定した時刻までの間に、そのアクセスポイントに接続した端末の MAC アドレスを集計する。この際、同一の MAC アドレスが複数回接続していても 1 つと数える。集計した端末の数をそのアクセスポイントの近くにいる人数として推定する。各アクセスポイントの設置場所の情報と合わせることで場所ごとの人数が推定できる。

1 九州産業大学大学院 情報科学研究科 情報科学専攻
2 九州産業大学 情報科学部 情報科学科

2.2　位置推定手法

無線 LAN 環境を用いた位置推定の手法としては、Triangulation 方式、Proximity 方式、Scene Analysis 方式の 3 つが広く使われている [1][2]。

本研究では、アクセスポイントのログを利用し、Proximity 方式で位置推定をする。アクセスポイントのログから、どの時刻にどの端末がどのアクセスポイントと接続したのか分かる。つまり、端末の位置は接続したアクセスポイントの設置場所周辺であることが推定できる。

アクセスポイントのログを利用することで、クライアントの端末には専用のアプリケーションを必要としない。各クライアントが Wi-Fi を使用してアクセスポイントに接続するだけで、本システムは各クライアントの位置を推定できる。

3.　ToMetion の設計

本研究で開発した「Wi-Fi 利用者の位置及び施設利用者数推定システム」を ToMetion(To Me Location System) と名付けた。ToMetion の設計について説明する。

3.1　ToMetion の概要

ToMetion はアクセスポイントから得られる情報を用いて、特定の場所にどれぐらいの人がいるかを推定したり、Wi-Fi 利用者の位置を推定するシステムである。ただし、Wi-Fi 利用者の位置を調査することはプライバシーの問題に関わる。従って利用者の位置の推定については、位置情報の提供を承諾した人 (以下、位置情報提供者と呼ぶ。) のみを対象とする。

ToMetion を使用することで、特定の場所の混雑する時間帯や利用しやすい時間帯を把握すること、位置情報提供者とのコンタクトを手助けすることを目標とする。

3.2　ToMetion の機能

ToMetion には、施設利用者数推定機能と、Wi-Fi 利用者位置推定機能がある。各機能について説明する。

3.2.1　施設利用者数推定機能

施設利用者数推定機能は、指定した場所の人数を時間毎に集計し、結果を表示する機能である。図書館や食堂等の施設の利用状況や混み具合を調べる際に使用する。

3.2.2　Wi-Fi 利用者位置推定機能

Wi-Fi 利用者位置推定機能は、位置情報提供者の位置を推定し、結果を表示する機能である。探したい人を検索し、地図上に表示する。

3.3　ToMetion の構成

ToMetion は図 1 のような構成になっている。アクセスポイントのログをログ解析サーバに転送し、転送されてきたログから日時、端末の識別子、アクセスポイントの識別子を抽出してデータベースに登録する。データベースに登録した情報から人数や位置の推定に利用する。クライアントは Web ブラウザから人数や位置の表示結果を閲覧することができる。

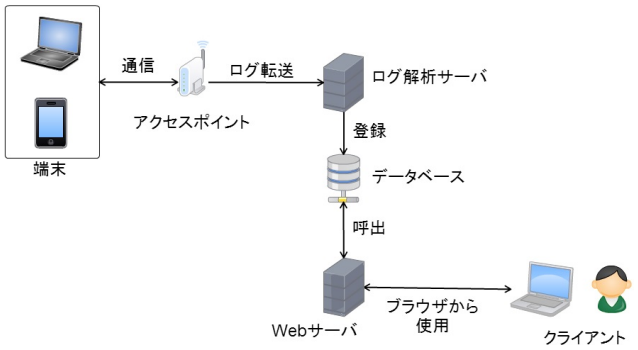

図 1　ToMetion の全体図

3.4　ログ解析プログラムの設計

ログ解析プログラムは、ログ解析サーバ内で実行するプログラムである。アクセスポイントのログ一行から日時、端末の識別子、アクセスポイントの識別子を抽出し、データベースに登録する。ログ全ての行にこの処理を繰り返す。

3.5　ToMetion の画面設計

施設利用者数推定機能は折れ線グラフを用いて、施設利用者の推移を示す。このグラフを人数推移グラフと呼ぶ。ToMetion には 3 種類の人数推移グラフがある。これらについて以下で説明する。

3.5.1　日別人数推移グラフ表示画面

日別人数推移グラフ表示画面は指定した日付と場所の人数をグラフで表示する画面である (図 2)。日付と建物、階数、部屋をプルダウンメニューから選択する。グラフには 1 時間ごとに集計した端末の数を表示する。

図 2　日別人数推移グラフ表示画面

3.5.2　月間人数推移グラフ表示画面

月間人数推移グラフ表示画面は指定した年月と場所の人数をグラフで表示する画面である (図 3)。月と建物、階数、部屋をプルダウンメニューから選択する。グラフには選択した場所の 1 日ごとに集計した端末の数を表示する。

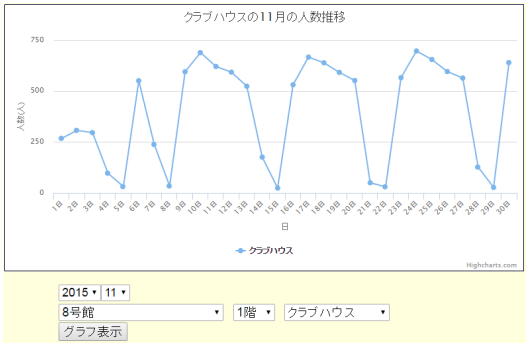

図 3　月間人数推移グラフ表示画面

3.5.3　曜日時刻別人数推移グラフ表示画面

曜日時刻別人数推移グラフ表示画面は指定した曜日と場所の人数をグラフで表示する画面である (図 4)。曜日と建物、階数、部屋をプルダウンメニューから選択する。グラフには選択した曜日の 10 分ごとに集計した端末の数を表示する。

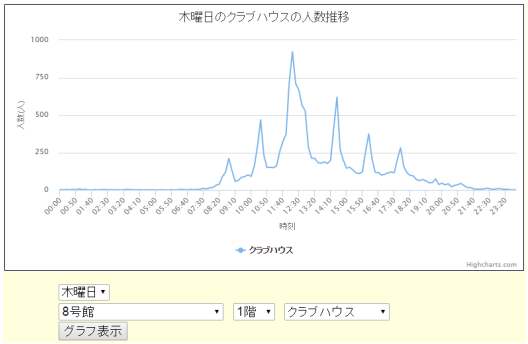

図 4　曜日時刻別人数推移グラフ表示画面

4.　ToMetion の実装

本研究では、九州産業大学のキャンパス無線 LAN である KIND Wi-Fi のアクセス情報を用いて、ToMention を実装した。

ただし、KIND Wi-Fi では、802.1X 認証を利用しているため、アクセスポイントのログ情報と合せて、802.1X 認証サーバの認証ログも利用している。前述のように、アクセスポイントのログからは無線 LAN クライアントの MAC アドレスしかわからないが、802.1X 認証サーバのログでは、利用者名が分かるという利点がある。すなわち、[2] のように各利用者の端末を事前に登録する必要がなく、また、利用者が複数の端末を使ったり、端末を買い換えたりしても正しく追跡できるというメリットが有る。ただし、各端末（利用者）が、いつ、各アクセスポイントと接続したか (認証したか) が分かるだけなので、本質的にはアクセスポイントから情報を得るのと同等だと考えている。

利用者数推定のためには、アクセスポイントのログをそのまま用いている。ただし個人情報保護のため、端末の MAC アドレスをハッシュ化した後、ログ解析サーバに転送している。この際、現在は KIND Wi-Fi 上の 3 台のアクセスポイントからの情報のみを転送している。これは、KIND Wi-Fi 上には 600 台弱のアクセスポイントが有り、また潜在的な利用者が 1 万人を超えるため、ログの総量が膨大になるためである。現時点では、プロトタイプシステムとして上述のように限定したアクセスポイント情報のみを利用している。将来的には、全アクセスポイントの情報を対象にすることを検討している。

Wi-Fi 利用者の位置推定のためには、802.1X 認証サーバのログを利用している。こちらも個人情報保護のため、現時点では本論文の著者の認証ログのみを、ログ解析サーバに転送している。こちらは、KIND Wi-Fi 上の全てのアクセスポイントでの認証が対象となるため、学内全域での位置推定が可能である。将来的には、情報提供を許諾したすべての利用者を対象にすることを検討している。

現在は、端末 MAC アドレスハッシュ化を週に一度バッチ的に処理しているため、ログの転送も週に一度となっている。したがってリアルタイムの情報を表示することはできない。

4.1　実装環境

Web アプリケーションは PHP で記述した。ログ解析プログラムは Java で記述した。また、データベースには MySQL を用いた。

4.2　施設利用者数推定機能

施設利用者数推定機能は、指定した場所の人数を時間毎に集計し、結果を表示する機能である。表示結果には折れ線グラフを用いて人数推移グラフを表示した。グラフの表示は Highcharts を用いた。現在は過去のログ情報を用いて、指定した場所の利用状況や混み具合の傾向を調べることができる。

4.3　Wi-Fi 利用者位置推定機能

Wi-Fi 利用者位置推定機能は、位置情報提供者の学内での位置を地図上に表示する機能である。地図上の位置表示には Google Maps API を用いた。過去のログから誰が、いつ、どこに居たかが分かる。

4.3.1　位置推定表示画面

位置推定表示画面は位置情報提供者の位置を調べ、結果

を地図上に表示する画面である (図 5)。探したい位置情報提供者の所属学部と学科、氏名をプルダウンメニューから選択し、検索ボタンを押す。検索後、地図とマーカーが表示される。その場所の付近に対象の位置情報提供者がいることが分かる。複数マーカーがある場合、マーカーを線で結んで表示される。また、マーカーをクリックすることで、吹き出しを表示する。吹き出しには、位置情報提供者がいた時刻と建物の階数、教室名が表示される。

図 5　位置推定表示画面

5.　評価

ToMetion では、位置情報提供者とのコンタクトを手助けすることを目標としていた。現在はリアルタイムの情報を利用できていないため、本論文では、施設利用者数推定機能について評価した。3 つの人数推移グラフと、施設利用者数推定機能全体の評価について述べる。

5.1　施設利用者数推定機能の評価方法

本研究で開発した「ToMetion」の施設利用者数推定機能を下川研究室の学生と教員に利用していただき、アンケートを実施した。

日別人数推移グラフ、月間人数推移グラフ、曜日時刻別人数推移グラフについて以下の条件を選択し、操作してもらった。また、システムの操作性や別のグラフの例などの意見を求めた。

- 日付：2015/9/1〜2015/12/31
- 場所：クラブハウス (食堂)

各グラフについて 5 段階で回答をいただいた。また、選択した理由を自由記述形式で回答していただいた。アンケートには 12 名から回答を得た。このアンケートを 5 段階評価で集計し、その平均点を評価する。評価の振り分けは表 1 の通りである。

5.2　日別人数推移グラフ

日別人数推移グラフの評価結果と考察について述べる。

表 1　人数推移グラフ評価点数

点数	質問 1	質問 2
5	分かりやすい	有益だと思った
4	やや分かりやすい	やや有益だと思った
3	普通	普通
2	やや分かりにくい	やや有益とは思わなかった
1	分かりにくい	有益とは思わなかった

表 2　日別人数推移グラフ評価結果

アンケート項目	平均点
グラフからクラブハウスの利用しやすい時間帯は分かり易いですか？	4.3
あなたがクラブハウスを利用する際にこのグラフはあなたにとって有益だと思いましたか？	3.4

5.2.1　日別人数推移グラフの評価結果

日別人数推移グラフ評価結果を表 2 に示す。

「あなたがクラブハウスを利用する際にこのグラフはあなたにとって有益だと思いましたか？」という質問では以下の理由が得られた。

- 人数が多い時間を知ることができるのでその時間を避けることができる。
- 売店に行く人のログも一緒に計算されてそうだから。それはシステムではわからないことだから普通だと思った。
- このグラフから何を読み取ればいいか、何に使えばいいかわからない。

有益だと判断された理由には、人が多い時間帯を把握して混雑を回避できるという理由がほとんどだった。また、細かい時間での表示や曜日毎の平均を表示するといったグラフの有用性が高くなる意見も得られた。

有益と判断されなかった理由には、クラブハウスの利用者以外の人も数に入っていそうや、他の日のグラフと見分けがつきにくいという理由があった。

5.2.2　日別人数推移グラフ考察

日別人数推移グラフでは、混雑を回避できる時間帯をユーザが把握することは表 2 から分かりやすいといえる。しかし、グラフの使用目的が不明瞭な点やグラフの見分けがつきにくい点から、このグラフはユーザにとって少し役に立つ程度と考えられる。また、時間毎ではなく時間割、休み時間毎に集計することでユーザにとって知りたい時間帯が更に分かりやすくなることから、このグラフの有益さが向上すると考える。

5.3　月間人数推移グラフ

月間人数推移グラフの評価結果と考察について述べる。

5.3.1　月間人数推移グラフの評価結果

月間人数推移グラフ評価結果を表 3 に示す。

「あなたがクラブハウスを利用する際にこのグラフはあなたにとって有益だと思いましたか？」という質問では以

表 3　月間人数推移グラフ評価結果

アンケート項目	平均点
グラフから 1 ヶ月間のクラブハウスの利用状況は分かり易いですか？	3.8
あなたがクラブハウスを利用する際にこのグラフはあなたにとって有益だと思いましたか？	2.8

下の理由が得られた。

- このグラフを見て、毎週火曜日は混雑していることがわかったので、火曜日は避けて利用しようと思いました。横軸（日）に曜日の表記があると嬉しいです。
- 1 か月ごとの利用状況のグラフを、利用するか分からなかったと思ったから。
- 時間ごとのグラフは必要だと感じたが、その日の全体利用者が分かっても、どうすれば良いか分からない。

有益だと判断された理由には、利用状況のパターンからどの曜日に利用者が多いのか傾向が読み取れるという理由がほとんどだった。有益と判断されない理由には、このグラフをどのような用途で使用するのか分かりにくいという理由が多かった。

5.3.2　月間人数推移グラフの考察

月間人数推移グラフでは、利用状況の把握は表 3 からやや分かりやすいと言える。しかし、ユーザからはこのグラフを活用しにくいという意見が多かった。有益と回答した人の理由には月よりも曜日での利用状況を知りたいという意見が多く、学生と教員を対象としている本システムでは 1 ヶ月毎の推移は望まれていないと考える。しかし、現状でもどの曜日に多いという傾向は読み取れることから、グラフの表記を改善し、本システムの対象者を食堂の運営者などとすることで活用することができると考える。

5.4　曜日時刻別人数推移グラフ

曜日時刻別人数推移グラフの評価結果と考察について述べる。

5.4.1　曜日時刻別人数推移グラフの評価結果

曜日時刻別人数推移グラフ評価結果を表 4 に示す。

表 4　曜日時刻別人数推移グラフ評価結果

アンケート項目	平均点
グラフからクラブハウスの選択した曜日の利用しやすい時間帯は分かり易いですか？	4.2
あなたがクラブハウスを利用する際にこのグラフはあなたにとって有益だと思いましたか？	3.7

「あなたがクラブハウスを利用する際にこのグラフはあなたにとって有益だと思いましたか？」という質問では以下の理由が得られた。

- 具体的な時間がわかるため、どのタイミングでクラブハウスへ行くかの判断基準になった。
- 曜日ごとの利用状況が細かい単位で見れて、特定の曜日の空いてる時間帯がわかって便利。
- どの曜日も同じような推移をしていたので、あまり有益だとは感じませんでした。また、横軸（時刻）がしきつまっていて少し見辛かったです。XX:00 のところを太字にするもしくは色を付ける等したほうが良いと思います。

有益と判断された理由には、曜日ごとで具体的な時間が分かると利用しやすいという理由が多かった。有益と判断されない理由には、他の曜日に変更しても同じ様な推移をしていることから違いが分からないという理由があった。

5.4.2　曜日時刻別人数推移グラフの考察

曜日時刻別人数推移グラフでは、表 4 から選択した曜日の利用しやすい時間帯は分かりやすいと言える。これは集計する時間を詳細にすることで利用する際の判断基準になりやすいためと考える。しかし、24 時間分全てをグラフにしたことで、見づらいという意見が多かった。24 時間ではなく、開店から閉店までの時刻にすることでグラフの見づらさは改善できると考える。しかし、ホールや屋外といった場所は決まった時間が無いため、ユーザが時間帯を指定する必要がある。調べる時間帯を指定することで、ユーザにとって必要な情報だけを表示する。これによりこのグラフの有益さが向上すると考える。

5.5　施設利用者数推定機能全体の評価結果

システムの操作性についての評価結果を表 5 に示す。この結果から、操作性としては平均的であると考える。

表 5　システムの操作性の評価結果

アンケート項目	平均点
システムとして使いやすかったですか？	3.3

また、「今回の 3 つのグラフ以外で別のグラフや別の条件でグラフを見てみたいと思いましたか？また、それはどのようなグラフですか？」という質問に、12 名中 8 名から見てみたいという回答が得られた。「どのようなグラフ」については 7 名から以下の意見が得られた。

- 指定した日の、指定した曜日の時間帯別とかより詳細なものが見られると誰か嬉しいかも。
- 前のページに書いたけど、曜日ごとのグラフが全部重なって、何曜日のいつぐらいが空いてるのかな、というのが見れると楽しそう。期間を指定できると嬉しいかも（4 月から 7 月まで（授業期間）みたいに、自分が好きな期間を選択できると嬉しそう）。
- 一週間あたりで、人数が多い時間帯の平均を表示するグラフ。
- 時間割と休み時間毎に人数を見れるグラフがあったら面白いかも。火曜日の 3 限は空いてるとか水曜日の 2 限と 3 限の間は空いてるとか分かって役立ちそう。
- 号館全体とかでグラフを見てみたいと思った。

- 地図上に現在の人数をグラフィカルに表示。
- 今の時間どの場所に一番人が集まってるか上位 3 番ぐらいまでの表示。

その他には 12 名中 10 名から回答をいただき、そのほとんどがユーザインターフェースに関しての意見であった。以下にその意見をまとめる。

- 日付入力が直感的でない
- 全てプルダウンで選択するのが面倒
- 各グラフの未選択時のタイトルが気持ち悪い
- メニューで誤操作してしまう
- どのグラフを選択して良いか分からない
- リンクにホバーエフェクトを付けて欲しい
- 利用頻度の高い場所はボタンやリンクですぐ見れるようにする
- グラフの上限が固定されてないため違いが分かりにくい

5.6 評価のまとめ

アンケートの結果から曜日時刻別人数推移グラフが一番有益であることが分かった。今回のアンケート調査から学生と教員には詳細な時間での表示や曜日での利用者数、推移の違いが明確なグラフで結果を示すべきことが分かった。また、本システムの対象者によってどのようなグラフが必要であるか変わってくることも分かった。システムの使いやすさは平均的であるが、ユーザインターフェースに関する意見が多かったため改善することで、使いやすさが向上すると考える。

6. おわりに

本研究では、Wi-Fi のアクセスポイントから得られる情報を利用して、特定の場所にどれぐらいの人がいるのか推定すること、特定の人の位置を調べることを目的とし、Wi-Fi 利用者の位置及び施設利用者数推定システム ToMetion(To Me Location System) を設計し、開発した。ToMetion はアクセスポイントのログを利用して特定の場所にどれぐらいの人がいるか推定したり、特定の Wi-Fi 利用者の位置を推定するシステムである。今回の実装には九州産業大学の KIND Wi-Fi を利用した。

今後の課題として、Wi-Fi 位置推定機能は建物の座標しか分からないため、建物内を移動した情報が分からない。アクセスポイントの設置座標を所持することで、建物内でも移動した情報を表示することが可能である。現在、位置推定表示画面では位置情報提供者のみ位置を表示する。今後、位置情報の提供者に学生や教員を追加する場合、学生と教員で分けた検索機能と、位置情報の提供を承諾した人のプライバシーを守る為の機能の設計が必要である。

施設利用者数推定機能の表示結果と実際の利用者数を比較し、どれほどの精度で推定できているのか検証する必要がある。

アンケートの結果から、日別人数推移グラフ、月間人数推移グラフ、曜日時刻別人数推移グラフをそれぞれ改善する必要がある。グラフの縦軸を固定することで、グラフの違いを区別し、学生や教員がそれぞれのグラフで利用する際の状況に合わせたグラフにする必要がある。

アンケートの結果から、システム全体のユーザインターフェースに関する意見が多く得られたため改善する必要がある。

参考文献

[1] 伊藤誠悟, 吉田廣志, 河口信夫: “無線 LAN を用いた広域位置情報システム構築に関する検討”, 情報処理学会誌 Vol.47 No.12,3124-3136(Dec.2006)

[2] 松田篤, 須栗裕樹: “宮城大学における位置情報サービスシステムの試作”, 電子情報通信学会技術研究報告.SWIM, ソフトウェアインタプライズモデリング 113(453),25-30,(Feb.2014)