

## WiFi 端末の探索要求間隔を利用した混雑度推定に向けた初期的実験

Preliminary Experiment for Estimation of Congestion Level using Inter-arrival Time of Probe Request from WiFi Devices

富重 晃季<sup>1</sup>  
Koki Tomishige石田 繁巳<sup>1</sup>  
Shigemi Ishida田頭 茂明<sup>2</sup>  
Shigeaki Tagashira福田 晃<sup>1</sup>  
Akira Fukuda<sup>1</sup>九州大学システム情報科学府 / 研究院 ISEE, Kyushu University<sup>2</sup>関西大学総合情報学部 Faculty of Informatics, Kansai University

## 1 はじめに

渋滞問題の解消に向けたアプローチの1つとして、渋滞予測が行われている。例えば、行楽シーズン前には道路環境や天候、暦、車や人の移動に関する過去の統計などに基き、長期的な視点での高速道路の渋滞予測が提供されている。一方で一般道に目を向けると、全ての道路を観測するインフラの整備が難しいこと、歩行者など渋滞に影響を与える他の要因が明らかでないことから渋滞予測が困難となっている。

筆者らは、一般道におけるリアルタイムな渋滞予測システムの実現に向けた第一歩として、歩行者が渋滞に与える影響を明らかにすることを目標としている。これに向け、歩行者が所有する WiFi 端末から送信される Probe Request (探索要求) フレームの到着間隔を基に歩行者混雑度を推定するシステムを開発している。本稿では、歩行者の混雑度を推定する統計モデルの構築に向け、端末台数によって Probe Request の到着間隔にどのような違いが生じるかを確認した実験について結果を示し考察する。

## 2 Probe Request を使った端末台数推定

図1に、歩行者混雑度推定システムの概要を示す。歩行者混雑度推定システムは車両内に設置された観測端末と、車両の周囲の歩行者が所持する WiFi 端末から構成される。歩行者が持つ WiFi 端末は、WiFi アクセスポイントを探索するために定期的に Probe Request フレームを送信している。観測端末が搭載された車両が交差点などで停止すると、観測端末は WiFi 端末が送信する Probe Request フレームを受信し、その受信時刻を記録する。受信時刻から Probe Request の受信間隔を算出する。この受信間隔を、事前に用意した統計モデルに当てはめて解析し、混雑度を推定する。統計モデルとしては、WiFi 端末の多様性に影響されないモデルを用意する。

Probe Request を利用した混雑度推定 [1, 2] についてはこれまでも研究されている。これまでの手法では受信した Probe Request の送信元 MAC アドレスから端末を特定しているが、プライバシー保護の観点からアクセスポイント探索時の MAC アドレスランダム生成機能が検討されており、MAC アドレスによる端末の特定は難しくなる。また [1] は学習に基づく推定であるため、データ収集にかかる時間や環境の変化による再学習の点から適用範囲やリアルタイム性が問題となる。

また、スマートフォンを利用した混雑度推定手法として、ユーザにアプリケーションを利用させ、アプリケーション内で発生させた音などの信号を使用して混雑度を推定する研究 [3] などが報告されている。このような研究では推定の精度がアプリケーションの利用者数に依存するため、ユーザへのアプリケーション導入が課題となる。

## 3 実験

## 3.1 実験環境

混雑度推定モデルの構築に向け、実環境中で Probe Request フレームを収集し、到着間隔、各端末の送信間隔、各端末の単位時間当たりの送信回数を解析した。まず、C プログラムを実装して Probe Request フレームを収集した。pcap ライブラリを使用して Probe Request フレームのみを受信し、受信時刻、送信元 MAC アドレス、シーケンス番号を記録した。プライバシー保護の観点から、MAC アドレスは実験毎に生成したランダムソルトとともにハッシュにかけて記録し、ソルトは破棄した。なお、FCS エラーとなったフレームは破損しているものとして破棄した。次に、受信時刻の差から到着間隔を算出した。端末の区別は MAC アドレスのハッシュ値で行い、各端末の送信時刻とその端末が送信したフレームの受

信時刻は一致するものとして送信間隔を算出した。単位時間当たりの送信回数に関しては、最初の送信時刻と最後の送信時刻との差及び総送信回数から端末ごとに1秒間当たりの平均送信回数を算出した。

実験は、人が多く集中する昼食時間帯の大学の食堂、バスの中、研究室で行った。各場所において WiFi のチャンネル 1, 6, 11 のそれぞれについて 10 分間データを収集し、解析を行った。各場所における実験時のおおよその人数はそれぞれ 300 人、50 人、10 人で、受信した総フレーム数は ch1 で観測したときそれぞれ 6545, 2558, 1416 であった。

## 3.2 実験結果

図2に、Probe Request の到着間隔の度数分布を示す。図2から、Probe Request の到着間隔はポアソン分布に似た分布を示していることが分かる。ごく短い到着間隔が多く分布しているのは、1台の WiFi 端末が短い時間で全チャンネルに対して Probe Request を送信しているためである。WiFi では隣接チャンネルの周波数帯域が重なっていることから、隣接チャンネルに対する Probe Request も受信してしまうことがある。実際、1台の WiFi 端末から連続するシーケンス番号の Probe Request を短い間隔で受信していることが確認できた。

図3に、各端末の Probe Request 送信間隔の積み上げ度数分布を示す。この積み上げ度数分布は、端末ごとに算出した送信間隔を全端末で累計したものである。図3から、端末が多く集まると、30秒や45秒、60秒、90秒といった周期で Probe Request を送信している端末が多く観測できた。また、人数が多くなるほどこの傾向は強くなることが確認できた。各端末の送信間隔は OS や端末の使用状況によって異なるが、端末が複数台集まると Probe Request 送信間隔は全体としてある規則的な分布を示すことが確認できた。

図4に、各端末の1秒間当たりの Probe Request 送信回数  $\lambda$  の度数分布を示す。図4から、 $\lambda$  の分布も図2と同様にポアソン分布に似た分布を示していることが分かる。前述のように、各端末の  $\lambda$  は OS や端末の使用状況によって異なるが、端末が複数台集まるとある規則的な分布に従うことが確認できた。

これら3つの分布の傾向はチャンネルの違い、人数や環境の違いに関わらずほぼ同様な結果を示すことが分かった。端末数に依存しないため、混雑度推定モデル式の構築に当たって、あるモデル式によって近似できると考えている。

## 4 おわりに

本稿では、WiFi 端末から送信される Probe Request の到着間隔から混雑度を推定するための統計モデルの構築に向け、Probe Request を取得するためのプログラムを実装し、実際に取得したデータから、端末数によって Probe Request の到着間隔の分布にどのような違いが生じるかを確認した。実験結果から、端末数が変わっても到着間隔は同様な分布を示すことが確認できた。現在、混雑度推定モデルの構築を進めている。

## 参考文献

- [1] 仲野 他, “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,” DBSJ Journal, vol.12, no.1, Jun. 2013.
- [2] M. Handte *et al.*, “Crowd density estimation for public transport vehicles,” EDBT/ICDT'14, Mar. 2014.
- [3] P.G. Kannan *et al.*, “Low cost crowd counting using audio tones,” ACM SenSys, Nov. 2012.

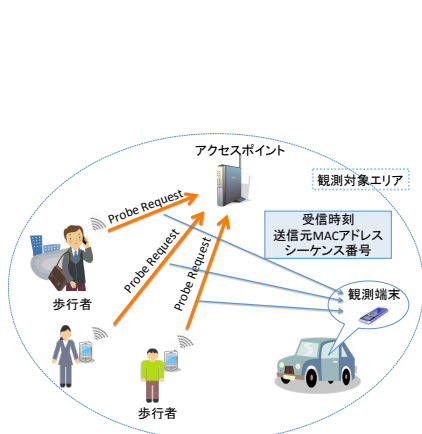


図1 システム概要

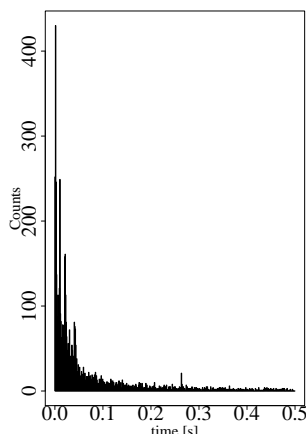


図2 Probe Request の到着間隔

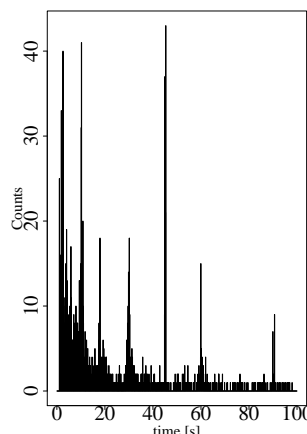


図3 各端末の送信間隔

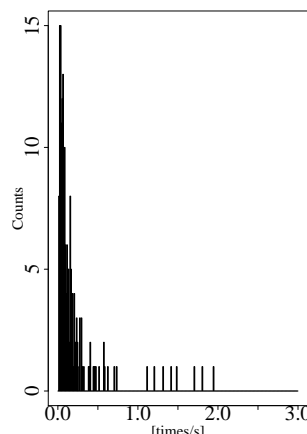


図4 各端末の