

(302) ネットワーク

重回帰分析による Wi-Fi 実効スループットのパッシブ推定方式

A Passive Estimation Method for Wi-Fi Effective Throughput Based on Multiple Regression Analysis

池田 優子[†]

石川 直樹[†]

前田 香織[†]

Yuko Ikeda[†]

Naoki Ishikawa[†]

Kaori Maeda[†]

[†]広島市立大学 情報科学部 情報工学科

概要

本論文では、Wi-Fi ネットワークにおける通信品質のパッシブ推定方式を提案する。ダウンリンクの実効スループットを通信品質の絶対的な指標とし、フレームから得られる複数の MAC (media access control) 層情報を推定材料とする。MAC 層情報として、アップリンクフレーム再送率、ダウンリンクフレーム再送率、フレーム数を測定する。実効スループットの推定式は MAC 層情報を説明変数として重回帰分析により導出する。トラフィック量が常に変動する実環境で推定式の評価実験を行い、負荷トラフィックをかけてダウンリンクの実効スループットと全ての Wi-Fi フレームを測定する。結果から予測値と実測値の間に一定の相関があることを示し、推定式の有効性を評価する。

1 はじめに

現在インターネットに接続する端末の増加や動画配信サービスの普及により、データ通信を中心としたネットワークトラフィックが増大している[1]。街中の至る所に、AP (access point) が設置され、自宅だけでなく外出先でも Wi-Fi に接続できる環境が整備されている。その反面、Wi-Fi ネットワークは輻輳や電波干渉の影響を受けやすいという問題がある。

ネットワークを効率的に運用するためには通信品質を継続的に推定する必要がある。数多くのパッシブ推定方式が提案されてきた。特に NFDF (null function data frame) の再送率からフレームの輻輳を検知する方式が実装コストと演算量の点で優位にある[2]-[4]。既存のパッシブ推定方式の代表として NFDF 関連方式を考慮した、実効スループットのパッシブ推定方式について検討する。

2 従来方式

品質のパッシブ推定方式として、NFDF 再送率を用いる研究がある[2]-[4]。NFDF は端末が省電力モードに遷移する、または省電力モードから復帰することを AP に通知するための MAC 層のフレームである。文献[2]、[3]において NFDF 再送率は輻輳を推定する指標として有効であることが示され、文献[4]では理想環境での NFDF 再送率 R_{nfd} とアップリンクの FER (frame error rate) FER_{up} の相関が以下

の式で示されている。

$$FER_{up} = R_{nfd} \quad (1)$$

NFDF 再送率を用いる方式はアップリンクのみに注目し、ダウンリンクやスループットの推定に関しては検討されていない。

3 提案方式

NFDF を用いる推定式(1)では NFDF 再送率のみを用いて推定を行う。これに対して、提案方式では全てのフレームを対象に再送率と観測フレーム数からダウンリンクのスループットを推定する。

スループット推定式は、ダウンリンクの実効スループットを目的変数、複数の MAC 層情報を説明変数とし、交互作用を考慮した重回帰分析を行う。

フレームから得る MAC 層情報は、単位時間内ごとのアップリンクのフレーム再送率 R_{up} 、ダウンリンクのフレーム再送率 R_{down} 、フレーム数 N である。 R_{down} は送信先アドレスが AP であるフレームの再送率とする。 R_{up} は受信アドレスが AP であるフレームの再送率とする。 N は測定した単位時間内のフレーム数とする。以上の説明変数を用いて、重回帰分析によって得られたダウンリンクにおける実効スループットの予測値 T_d の推定式を以下に示す。

$$T_d = 1.20 \cdot 10^8 - 3.97 \cdot 10^8 R_{down} + 8.43 \cdot 10^8 R_{up} + (-1.06 \cdot 10^3 + 2.78 \cdot 10^3 R_{down} - 4.45 \cdot 10^3 R_{up}) N [bps] \quad (2)$$

4 評価実験

4.1 評価実験

実験に使用した機器を表1に、実験環境を図1に示す。規格は IEEE802.11ac とし、使用チャネルは 36ch (5.18 [GHz]) に固定する。簡単のため、帯域幅を 20~160 [MHz] まで動的に変化させるチャネルボンディングは無効にする。パケットアナライザの Tshark[5]を用いてすべての Wi-Fi フレームを収集する。ダウンリンクの実効スループット測定と負荷トラフィックの制御には iPerf[6]を用いる。

実験は接続端末数と総トラフィック量が常に変動する実環境で行う。ダウンリンクの実効スループット測定用 iPerf 送信端末は有線で、スループット測定用 iPerf 受信端末は無線で AP と接続しスループ

表 1 使用機器

項目	機器名	OS
AP	RT-AX88U	-
スループット測定 用 iPerf 受信端末	Let's note CF-MX3	Windows 10
スループット測定 用 iPerf 送信端末	Inspiron 13-7348	Linux 18.04
フレーム測定用端 末	MacBookPro14,2	macOS 10.14.6
負荷トラフィック 用 iPerf 送信端末 1	Let's note CF-MX3	Cent OS 7
負荷トラフィック 用 iPerf 送信端末 2	dynabook R73/PB	Windows 10
負荷トラフィック 用 iPerf 受信端末 1	dynabook RZ73/VB	CentOS 7.5.1804
負荷トラフィック 用 iPerf 受信端末 2	dynabook RZ73/VB	CentOS 7.6.1810

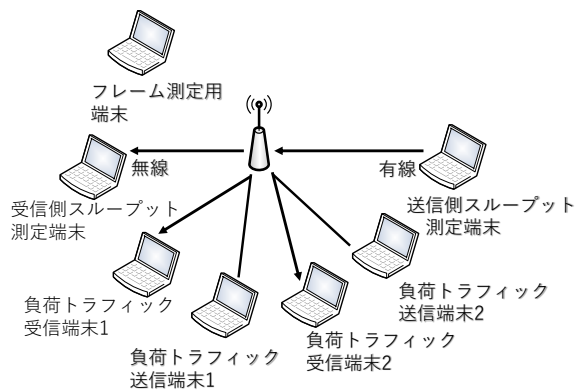


図 1 測定環境

ットを計測する。フレーム測定用端末は受信側のスループット測定端末の近くに設置する。

実効スループットを変化させるため、UDP トラフィック量を片側合計 0~140 [Mbps]の間で変動させる。iPerf 送信用端末、iPerf 受信用端末を2組作り、電波干渉および輻輳により通信品質を劣化させる。

スループットの測定結果から、10 秒ごとに平均値を算出し実測値とする。フレームを分析して得られた MAC 層情報から、10 秒ごとに説明変数 R_{down} 、 R_{up} 、 N を算出する。推定式（2）からダウンリンクの実効スループットを推定する。予測値と実測値の相関の調査により推定式（2）の有効性を調べる。

4.2 実験結果

評価実験の測定結果から得られた予測値と実測値の関係を図 2 に示す。相関係数は 0.909、 p 値は 2.0×10^{-16} であり 0.05 を下回っているため、予測値と実測値の間に一定の相関がある。つまり、限られた環境においては、重回帰分析による実効スループットの推定は有効である可能性がある。実測値から予測値を引いた残差は、重回帰分析の特徴により正規分布に従う。残差の四分位偏差を用いて検出した外れ値の割合は 3.76%であり十分低い。

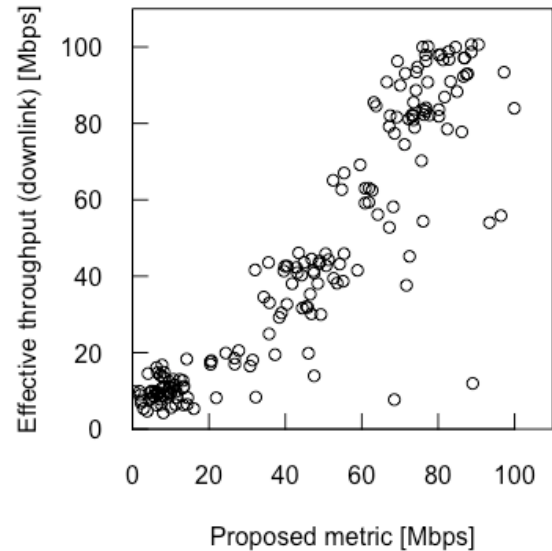


図 2 予測値と実測値の関係

6 まとめ

IEEE802.11ac の Wi-Fi ネットワークにおいてダウンリンクの実効スループットをパッシブ計測により推定する方式を提案した。本研究で用意した実験環境においては、実効スループットを高精度に推定できる可能性があることがわかった。

今後は学習データと評価データを分離し、交差検証により推定精度を厳密に評価する。また、より多様な環境、動的周波数選択やチャネルボンディングを有効にした状態で長時間の観測を重ね推定式が一般環境で有効に機能するよう改善する。

7 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 19K11929, 19K14987 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 総務省, “令和元年版情報通信白書,” 2019 年 7 月.
- [2] 小清水郁, 上岡英史, “無線 LAN の MAC 層情報を用いたスループット推定方式,” 社会法人映像情報メディア学会技術報告, BCT2009-80, pp. 27-32, 2009 年 8 月.
- [3] 新谷隆文, 前田香織, “無線 LAN の通信品質における MAC 層情報の有効性調査,” 情報処理学会論文誌, vol. 58, no. 3, pp. 664-671, 2017 年 3 月.
- [4] N.Ishikawa, Y.Ohishi, K.Maeda, “Nulls in the Air: Passive and Low-Complexity QoS Estimation Method for a Large-Scale Wi-Fi Network Based on Null Function Data Frames,” IEEE Access, pp. 28581-28591, Mar. 2019.
- [5] <https://www.wireshark.org/docs/man-pages/tshark.html>
- [6] <https://iperf.fr>