

無線 LAN の通信品質推定における MAC 層情報の有効性調査

新谷 隆文^{1,a)} 前田 香織¹

受付日 2016年6月27日, 採録日 2016年12月1日

概要: 多種多様な機器から情報がアップロードされる IoT において, 接続場所に拘束されずにインターネットへアクセスできる無線アクセス網は必須である. また, モバイル端末の動画配信サービスの増加にともなって, 無線アクセス網の高速化も進んでいる. あらゆる場面で無線アクセス網が利用されるが, 無線アクセス網では高速なコア網に比べて品質の変動が激しく, エンドツーエンド通信の品質に与える影響は大きい. そこで, 本論文では無線アクセス網として普及の進んでいる無線 LAN に焦点をあて, その通信品質を推定するために有効な指標を提案する. 具体的には端末から無線 LAN のアクセスポイント (以下, AP) へ送信される MAC 層情報の 1 つである Null Function Data Frame (NFDF) の再送率を通信品質の推定に用いる. 最初に NFDF の再送率が無線 LAN の輻輳の検知において有効かどうかを実験により調査する. 次に調査を通じて, NFDF の送信頻度と通信品質の推定精度の相関を示し, 提案方法が無線 LAN の通信品質の推定に有効な範囲について述べる.

キーワード: 無線アクセス網, 通信品質, 無線 LAN, MAC 層, Null Function Data Frame

Effectiveness of MAC Layer Information in Communication Quality Estimation of Wireless LANs

TAKAFUMI SHINTANI^{1,a)} KAORI MAEDA¹

Received: June 27, 2016, Accepted: December 1, 2016

Abstract: In IoT (Internet of Things), various devices upload various information and wireless access networks is necessary for many devices without restriction of location to access to the Internet. Also, wireless access network speed is being rapidly accelerated by increasing of streaming services of mobile terminals. Though wireless access networks are used in many scenes, quality of wireless networks fluctuates intensely compared to wired core networks and its fluctuation gives a significant impact on quality of end-to-end communication. In this paper, we focus on wireless LANs as a wireless access network and propose an index to estimate communication quality of wireless LANs. We use a retransmission rate of Null Function Data Frame (NFDF) which is one of the Media Access Control (MAC) information as an estimation indication. First, we investigate whether retransmission rates of NFDF is effective for congestion detection of wireless LANs by some experiments. Next, we show a correlation between NFDF transmission frequency and estimation accuracy of communication quality. Finally, we describe effective scope of our proposal to estimate communication quality of wireless LANs.

Keywords: wireless access network, communication quality, wireless LAN, Media Access Control, Null Function Data Frame

1. はじめに

多種多様な機器から情報がアップロードされる IoT において, 接続場所に拘束されずにインターネットへアクセス

できる無線アクセス網の利用は必須である. 一方, 動画の配信サービスなどダウンロード方向でも無線デバイスが利用される. 無線デバイスの通信量の総量は著しく増加しており [1], LTE や無線 LAN など特性は異なるもののいずれも高速な無線通信が急速に進んでいる. また, 無線 LAN へのデータのオフロードなど接続するネットワークを切り替える利用も増えている. このようにあらゆる場面で様々

¹ 広島市立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University, Hiroshima 731-3194, Japan

a) shintani@v6.netsci.info.hiroshima-cu.ac.jp

な利用形態の無線アクセス網が使用され、その通信品質への要求も様々である。しかし、無線アクセス網では高速なコア網に比べて品質の変動が激しく、エンドツーエンド通信の品質に与える影響は大きい。

そこで、無線アクセス網の通信状況を把握し、それによって動的な通信メディアの切替えや資源割当てが必要となる。無線アクセス網でアプリケーションが求める品質を満たすための制御など課題解決に向けて、特に無線 LAN の通信品質に関する研究が進んでいる [2], [3], [4]。

本研究ではこうした背景をもとに、無線アクセス網として普及の進んでいる無線 LAN に焦点をあて、その通信品質を推定する指標を提案する。具体的には端末から無線 LAN のアクセスポイント（以下、AP）へ送信される MAC 層情報の 1 つである Null Function Data Frame（以下、NFDF）[5] の再送率を用いる。無線 LAN 上で輻輳の発生が通信品質に影響を及ぼすので、本研究では通信品質の良し悪しを輻輳の発生の有無と見なし、これを NFDF の再送率により推定する。既存研究で NFDF の再送率が無線 LAN の通信品質の推定に使用できる可能性は示されているが [6], [7], NFDF の再送率が推定に有効な条件は明らかになっていない。本論文では NFDF の再送率が通信品質の推定指標として有効な範囲を NFDF の送信間隔との相関を示すことによって明らかにする。

以降、2 章では通信品質データ収集や通信品質に関連する既存研究を示す。3 章では、提案する指標値が無線 LAN の通信品質の推定に有効なのか調査実験により示す。4 章では NFDF の再送率を用いる通信品質推定方法を提案し、5 章でその推定精度について述べる。6 章では、提案する指標値を用いるユースケースについて述べ、7 章でまとめと今後の課題を示す。

2. 関連研究

2.1 無線 LAN の通信品質データ収集手法

通信品質を推定するデータ収集の手法として、アクティブ計測とパッシブ計測がある。アクティブ計測は、観測点における実際の通信と同様の測定パケットを生成する。そのため、実際の環境に近い計測値を得ることができる。文献 [8] では、測定対象の無線 LAN 環境で ICMP パケットを用いて RTT を取得し通信品質を推定する有効性を示している。しかし、生成した ICMP パケットが実環境に影響を与えるという問題がある。

一方パッシブ計測は、回線を流れる情報をそのまま用いる。アクティブ計測とは違い測定パケットを生成しないため、実環境に影響を与えず、有線に比べて帯域が小さくパケット消失が多い無線 LAN 環境においてはパッシブ計測が向いている。無線 LAN の通信品質推定の指標に Received Signal Strength Indicator（以下、RSSI）を用いるものは多いが、通信トラヒックや輻輳の把握は困難であ

る。以降で、RSSI 以外のパッシブ計測による通信品質推定に関する既存研究を示す。

2.2 MAC 層情報を用いた無線 LAN の通信品質推定

IEEE802.11 においてサービスに応じた通信品質 (QoS: Quality of Service) を確保する方法として、IEEE802.11e [9] が標準化されており、トラヒックの優先度に応じて CSMA/CA のコンテンションウィンドウサイズを変更し、QoS を実現しようとしている。このほかにも MAC 層情報を用いて上位層で QoS の制御をしようとする提案はあり、文献 [4] では IEEE802.11 の制御情報を取得し、チャンネル占有率情報に応じて、アプリケーションが発生するトラヒックを制御する方法を提案している。

文献 [10] では、パッシブ計測で取得した再送フレームを指標とし、無線 LAN の通信品質を推定する有効性を示している。RSSI の悪化を検知する指標として、TCP での無線 LAN のフレーム再送回数の有用性を調査し、無線 LAN の通信品質の指標として IP 層のパケット損失を用いる。シミュレーションにより、フレームの再送数と RSSI の減衰に相関性があることを確認し、無線 LAN の通信品質の指標としての有効性を示しているが、再送フレームの対象が RTS/CTS のみという前提条件なので、RSSI 低下以外の通信品質劣化は考慮されない。

2.3 Null Function Data Frame の再送率を指標とした通信品質の推定

NFDF はすでに接続を行っている端末が power save mode [11] に遷移することを AP に通知するために送信する MAC 層のデータフレームである。送信すべきデータがない場合でも定期的に端末から送信されるという特徴を持つ。文献 [6], [7] では、NFDF の再送率が受信電波状態や輻輳を推定する指標として有効なのか調査をしている。文献 [6] では RSSI の減衰による NFDF の再送率の特性を明らかにし、RSSI の減衰による通信品質の悪化を推定する指標として NFDF の再送率は有用性を示している。文献 [7] では、無線 LAN の輻輳を考慮して、UDP パケット到達率や TCP スループットが NFDF の再送率と相関性があることを示し、NFDF の再送率を用いて高精度で無線 LAN の通信品質を推定できると考察している。そのほか、文献 [12] では電波干渉のある状態での NFDF の再送率と通信品質の関係を調査している。

これらの研究により、NFDF の送信間隔や電波状況が特定の条件を満たす場合は NFDF の再送率が通信品質を推定する指標として有用であることが示された。しかし、NFDF は NIC (Network Interface Card) の種類により送信頻度が大きく異なる。また、端末ごとに受信電波強度が異なるなど、どのような場合に有用かは示されていない。

3. NFDF の送信間隔と通信品質の関係

3.1 調査の目的

前章のような背景から、NFDF はパッシブ計測で採取できるデータで、通信品質の指標として使えることの可能性が示されている。しかし、NFDF の再送率が無線 LAN の通信品質の指標として有効な範囲が明らかにされていないので、本論文では複数の端末を用いて NFDF の送信頻度と RSSI の減衰や UDP トラフィック量の関係を調査する。この調査により、NFDF の再送率が無線 LAN の通信品質（ここでは輻輳の検知）の指標として有効な範囲を明らかにする。

3.2 調査方法

調査では図 1 のような測定環境を作り、負荷トラフィックの送信端末と受信端末、NFDF を検知する NFDF 検知端末を RSSI が $-30 \sim -45$ dBm の場所に固定で設置する。品質測定対象となる端末（対象端末）を RSSI の異なる場所に変更しながら、対象端末から送出される NFDF を NFDF 検知端末で測定する。本調査では輻輳（パケットロス）が発生しやすい IEEE802.11g を用いて実験を行った。事前に他の無線規格でも NFDF の送出状況を調査したが、規格の違いによる影響はないことを確認している。対象端末は AP への接続以外の動作はしない。負荷トラフィックの送信端末と受信端末は対象端末と同じ無線 LAN の AP の配下であり、NFDF 検知端末は有線で AP と接続されている。負荷トラフィック送信端末は iperf コマンドを用い UDP トラフィックを 0, 5, 10, 13, 15 Mbps と変更して、それぞれ 60,000 秒間負荷トラフィック受信端末へ送信する。負荷トラフィックが 10, 13, 15 Mbps のとき、パケットロスはそれぞれ約 3, 17, 37%発生する。

NFDF 検知端末はキャプチャ用のインタフェース（調査で用いたものは Atheros AR928X）で測定したフレーム内の Type フィールドより NFDF を判別する。Flag フィー

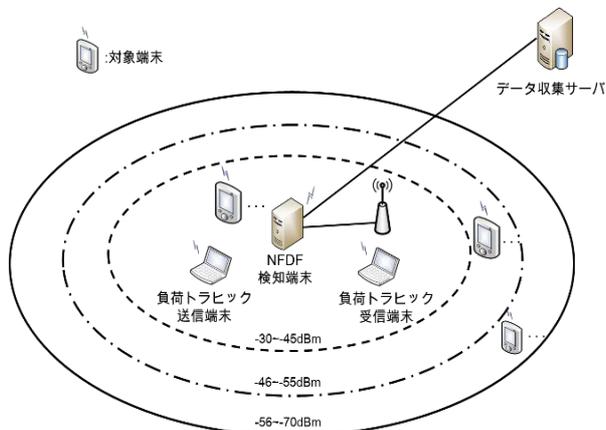


図 1 測定環境

Fig. 1 Measurement environment.

ルド内の Retry の値（1 の場合再送フレーム）により再送フレームかどうかを判断する。再送フレームの場合、そのフレームの受信や送信側の MAC アドレスをみることにより、端末単位でデータ収集サーバへ蓄積する。データ収集サーバでは 10 分ごとに蓄積した NFDF 送信数とその再送フレーム数を用いて NFDF の再送率を式 (1) のように算出する。

$$\text{再送率} = \frac{\text{再送フレーム数}}{\text{NFDF の送信数}} \times 100 \quad (1)$$

このようにして、各対象端末の NFDF の再送率を負荷トラフィック量ごとに算出する。

はじめに、NFDF の送信頻度と通信品質の関係を確認するため、5 種類の対象端末（ASUS Eee Slate, LYNX 3D, Nexus7, Nexus10, iPad）から送信された NFDF 数（正常フレーム+再送フレーム）と負荷トラフィックごとの再送率を比較した。また、送信頻度の高低は文献 [6] や [7] に示されている NFDF の送信間隔 (0.4 [sec/frame]) と比較した。

次に、RSSI による NFDF の再送率の変化を調べるため、RSSI が大きい ($-30 \sim -45$ dBm)、中程度 ($-46 \sim -55$ dBm)、小さい ($-56 \sim -70$ dBm) の 3 つのエリアに各対象端末を設置し、5 種類の負荷トラフィック (0, 5, 10, 13, 15 Mbps) を流して各対象端末の NFDF 数を測定した。測定時間は午後 2 時～翌日午前 8 時 40 分だった。測定時には使用した AP と同じ周波数帯域に SSID が 6 つ確認された。

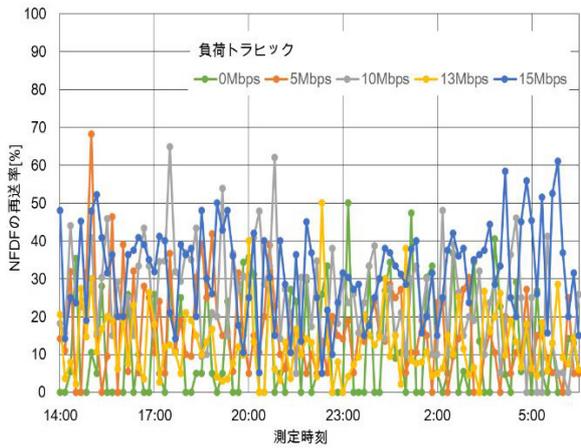
3.3 測定結果

表 1 に対象端末の情報と、それらが 10 分間に送信した NFDF 数の平均を示す。ASUS Eee Slate には実験への設定の容易さや Windows 特有の通信量を減らすため Fedora20 をインストールして利用した。表 1 では、①と②を送信頻度の低い端末、③～⑤を高い端末と呼ぶ。採取した NFDF の総数は最小 2,064 (ASUS Eee Slate)～最大 329,865 (iPad) 個だった。図 2 と図 3 に対象端末①, ④, ⑤測定データから求めた NFDF の再送率を RSSI が大きい場合と小さい場合についてそれぞれ示す。縦軸は 10 分ご

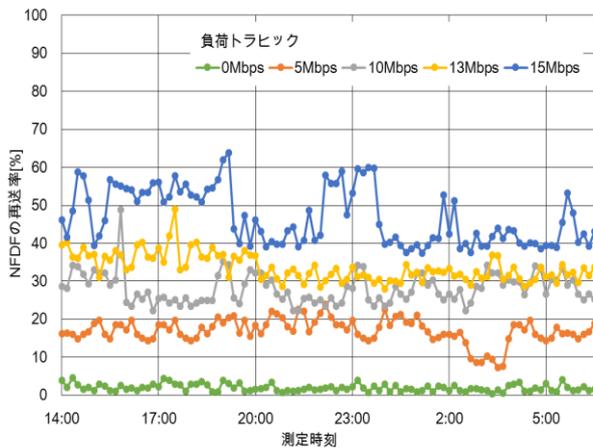
表 1 RSSI の違いによる平均送信 NFDF 数

Table 1 Average of the number of transmitted NFDFs by the difference of RSSI.

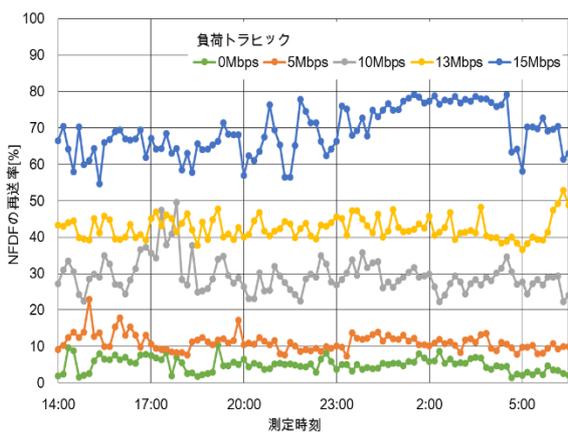
端末番号	低送信頻度		高送信頻度			
	①	②	③	④	⑤	
端末種類	ASUS Eee Slate	LYNX 3D	Nexus 7	Nexus 10	iPad	
OS	Fedora 20	Android 2.2.2	Android 4.3	Android 5.1.1	iOS 5.1.1	
RSSI [dBm]	-30~-45	19	29	1679	2015	2176
	-56~-70	20	28	582	1675	1790



(a) NFDf 送信頻度の低い端末 : ASUS Eee Slate
 (a) Terminal of low transmission frequency of NFDf's : ASUS Eee Slate.



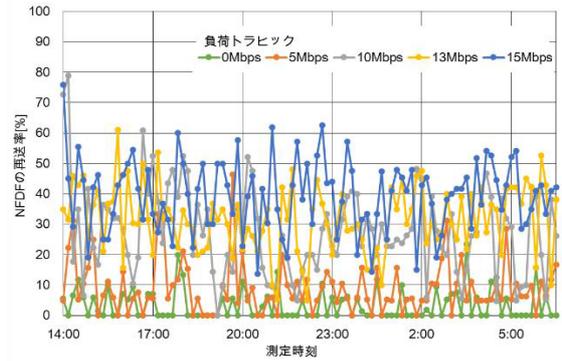
(b) NFDf の送信頻度の高い端末 1 : Nexus10
 (b) Terminal 1 of high transmission frequency of NFDf's : Nexus10.



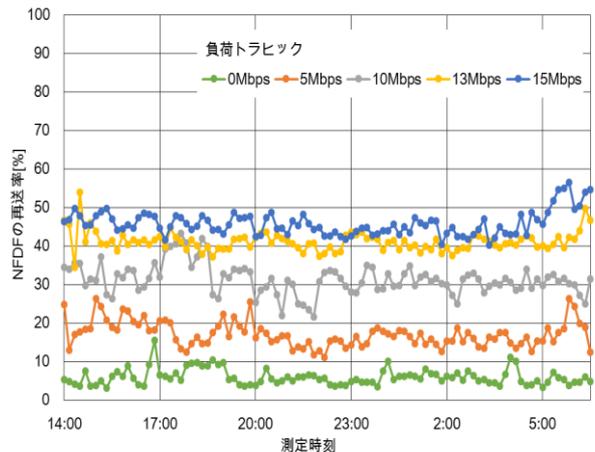
(c) NFDf の送信頻度の高い端末 2 : iPad
 (c) Terminal 2 of high transmission frequency of NFDf's: iPad.

図 2 RSSI が大きいエリアでの NFDf 再送率の変化

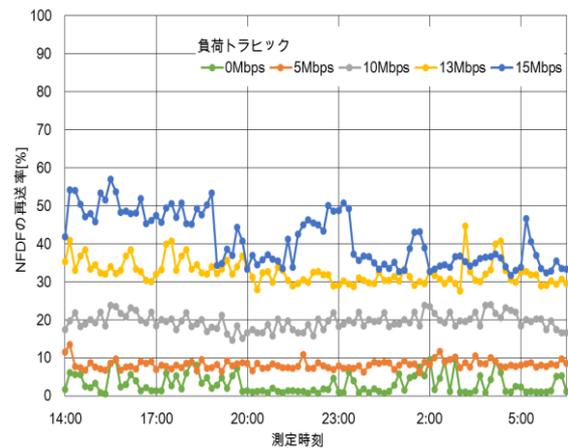
Fig. 2 Transition of retransmission rates of NFDf's in the area of large RSSI.



(a) NFDf 送信頻度の低い端末 : ASUS Eee Slate
 (a) Terminal of low transmission frequency of NFDf's : ASUS Eee Slate.



(b) NFDf の送信頻度の高い端末 1 : Nexus10
 (b) Terminal 1 of high transmission frequency of NFDf's : Nexus10.



(c) NFDf の送信頻度の高い端末 2 : iPad
 (c) Terminal 2 of high transmission frequency of NFDf's: iPad.

図 3 RSSI が小さいエリアでの NFDf 再送率の変化

Fig. 3 Transition of retransmission rates of NFDf's in the area of small RSSI.

表 2 NFDF の再送率の平均と分散

Table 2 Averages and variances of retransmission rate of NFDFs.

RSSI (dBm)	負荷トラヒック (Mbps)	端末			
		平均(%)		分散	
		①	⑤	①	⑤
-30~-45	0	11.5	4.9	148	3.8
	5	15.9	11.1	144	5.4
	10	25.1	29.4	177	22
	13	12.7	36.6	85	9.1
	15	31.7	69.1	149	42
-56~-70	0	3.4	3.1	139	6.4
	5	9.0	8.2	76	1.4
	10	27.9	19.6	219	4.6
	13	31.6	27.7	121	10.1
	15	39.5	41.1	140	49

とに算出された NFDF の再送率である。表 2 に NFDF の送信頻度の低い端末として①の ASUS Eee Slate と、送信頻度の高い端末として⑤の iPad の結果について NFDF の再送率の平均と分散を示す。

3.3.1 NFDF の送信頻度と NFDF 再送率の関係

図 2(a) より送信頻度の低い端末では各負荷トラヒックで NFDF の再送率のばらつきが大きいことが分かる。一方、図 2(b) と (c) より、NFDF の送信頻度の高い場合は各負荷トラヒック量の NFDF の再送率のばらつきが小さいことが分かる。特に図 2(c) の iPad は NFDF を最も頻繁に送信しており、NFDF の再送率のばらつきが小さくなっている。この傾向は図 3 の RSSI の小さいときも同様で、NFDF の送信頻度の高い (b) と (c) の場合が低い (a) に比べて NFDF 再送率のばらつきが小さい。これらのばらつきの違いは表 2 の分散の違いをみることで分かる。NFDF の送信頻度が高い場合、電波干渉などの瞬間的なバーストロスによる再送フレームより正常フレームの方が多く送信され、ばらつきが抑制されたと考える。

3.3.2 RSSI と NFDF 再送率の関係

図 2 と図 3 より RSSI の大小による NFDF の再送率の変動を比べる。NFDF の送信頻度の低い端末では、図 2(a) と図 3(a) より、RSSI が小さい方 (図 3(a)) が各負荷トラヒック量の NFDF の再送率は大きい傾向にある。これは表 2 の平均の違いをみることで分かる。このことから NFDF の送信頻度の低い端末では RSSI の減衰によって NFDF の再送に影響を及ぼすことが分かった。

図 2 の (b) と (c)、図 3 の (b) と (c) より、NFDF の送信頻度が高い端末では RSSI が小さくなくても NFDF の再送率の上昇は確認できなかった。これは、NFDF を頻繁に送信するため RSSI が小さくなることによる再送フレームの送出数より正常フレーム数が多いためだと考える。

4. NFDF の再送率による通信品質の推定

3.3 節の結果より、NFDF 再送率の無線 LAN の通信品質 (ここでは輻輳の検知) の指標としての有効性を考察する。ここでは輻輳の発生をパケットロスが 1 つでも生じることと定義する。

NFDF の送信頻度の高い端末では NFDF の再送率が負荷トラヒック量に応じて値が変化した。特に、輻輳が発生する負荷トラヒックが 10 Mbps のとき、0, 5 Mbps の結果より NFDF の再送率が大きく上昇していることを確認した。また、NFDF の送信頻度の高い端末では RSSI の減衰が NFDF の再送率に大きな影響を与えないことも確認した。これらより、NFDF の送信頻度の高い端末では RSSI によらず、負荷トラヒック量によって NFDF の再送率の値が変化するといえ、NFDF の再送率を無線 LAN の通信品質の推定指標として使用できると考える。

一方で、NFDF の送信頻度の低い端末は電波干渉や電波強度の弱い場所にいることで受けるエラーの発生が NFDF の送出に影響を与え、NFDF 再送率が大きくばらつく。そのため、負荷トラヒック量に関係なく NFDF の再送率が上昇し、無線 LAN の通信品質の指標として有効ではない。

以上より、NFDF の送信頻度の高い端末から収集した NFDF の再送率を無線 LAN の通信品質の推定に用いる方法を提案する。

5. NFDF の再送率を用いる通信品質の推定精度の調査

5.1 調査目的

4 章で述べた通信品質の推定では、NFDF の送信頻度が通信品質の推定精度に影響を及ぼすため、ここではその影響の度合いを調査する。通信品質の良し悪し (輻輳の発生の有無) に対して 3 章で調査した NFDF の再送率はどういう結果を示すのかを調査する。

5.2 調査方法

3 章の調査で、負荷トラヒックを 10 Mbps としたときに初めてパケットロス (輻輳) が発生し始めることが確認できた。そこで端末ごとに調査した負荷トラヒックが 10 Mbps の場合の NFDF の再送率の時系列データの最小値を求めた。これを各端末の輻輳発生閾値 (θ) とする。表 3 に各端末の輻輳発生閾値 (θ) を示す。

10 Mbps 未満の負荷トラヒック (0 または 5 Mbps) のときはパケットロスを発生していないので、端末ごとに採取した NFDF の再送率のデータの中に閾値 (θ) を上回る再送率はないはずであるが、実際には採取したデータには θ を超えるデータがある。逆に、10 Mbps 以上の負荷トラヒック (13 または 15 Mbps) の場合はパケットロスが発生しているときがほとんどなので、採取したデータはほとん

表 3 各対象端末の輻輳発生閾値 (θ)

Table 3 Threshold (θ) of congestion occurrence of each target terminal.

端末種類		ASUS Eee Slate	LYNX 3D	Nexus 7	Nexus 10	iPad
RSSI (dBm)	-30~ -45	5.2	10.7	7.7	15.4	3.7
	-56~ -70	4.8	20.8	4.3	7.7	10.8

表 4 推定の誤り率

Table 4 Rates of wrong estimate.

(a) 通信品質が良いと誤って推定する場合

(a) The case of estimate of mistaking good quality.

		低送信頻度		高送信頻度		
端末番号		①	②	③	④	⑤
端末種類		ASUS Eee Slate	LYNX 3D	Nexus 7	Nexus 10	iPad
RSSI (dBm)	-30~45	44.5%	27.5%	1.0%	0.5%	0.0%
	-56~70	58%	39.5%	6.5%	4.5%	0.0%

(b)通信品質が悪いと誤って推定する場合

(b) The case of estimate of mistaking bad quality.

		低送信頻度		高送信頻度		
端末番号		①	②	③	④	⑤
端末種類		ASUS Eee Slate	LYNX 3D	Nexus 7	Nexus 10	iPad
RSSI (dBm)	-30~45	0%	0.5%	0%	0.0%	0.0%
	-56~70	0.5%	1.0%	0.5	0.0%	0.0%

ど θ より大きいはずである。しかし、この場合も θ より小さい値が採取データ中に存在する。

以上から、(a) 輻輳発生しない条件（負荷トラフィックが 5Mbps 以下）にもかかわらず採取データが閾値 θ を超える（輻輳発生する）場合と、(b) 輻輳が発生する条件（負荷トラフィックが 13Mbps 以上）にもかかわらず採取したデータが閾値 θ を下回る（輻輳発生しない）場合の 2 つの推定誤りのパターンがある。ここでは、これらがそれぞれ全データの何パーセントかを誤り率と定義し、端末ごとの NFDF の送信頻度や RSSI の違いによる誤り率の変化を調べた。

5.3 調査結果

表 4 に端末ごとの誤り率の結果を示す。(a) と (b) はそれぞれ 5.2 節の (a) と (b) の場合の誤り率である。誤り率が高いほど通信品質の推定精度が低いことを示す。NFDF の送信数は表 1 と同じである。

5.3.1 NFDF の送信頻度と推定精度の関係

表 4(a) より NFDF の送信頻度の高い端末（③～⑤）は誤り率が低く、輻輳の有無を正確に推定可能であることを確認した。これは 3 章で述べたように送信頻度の高い端

末では負荷トラフィックに応じて NFDF の再送率が変化し、輻輳の有無を推定できたと考える。一方で、NFDF の送信頻度の低い端末（①と②）は誤り率が高く、推定精度が悪い。表 3(b) は全体的に誤り率が小さいが、表 4(a) と同様に NFDF の送信頻度の低い端末は誤り率が高いことを確認した。

5.3.2 RSSI と推定精度の関係

表 4 の送信頻度の低い端末（①と②）について (a) と (b) の結果より、NFDF の送信頻度の低い端末は RSSI の小さい場合と大きい場合を比較して大きな差があることを確認した。特に、NFDF の送信頻度の最も低い端末である表 3(a) の① ASUS Eee Slate では、RSSI の小さいときは大きいときより約 13.5 ポイントも誤り率が増加している。これは、NFDF の送信頻度の低い端末は RSSI の変化による影響を受け、NFDF の再送率のばらつき幅が大きくなり、誤り率が上昇したと考える。一方で、NFDF の送信頻度の高い端末（③～⑤）は、RSSI の変化による誤り率の大きな差は見られない。

5.4 推定精度に関する考察

5.3 節の結果より、NFDF の送信頻度による通信品質の推定精度の差異について考察する。

NFDF の送信頻度の高い端末は負荷トラフィック量に応じて NFDF の再送率が変動するため、通信品質の良し悪し（輻輳の有無）を推定可能であることを確認した。一方、NFDF の送信頻度の低い端末は負荷トラフィックに関係なく NFDF の再送率が上昇するため通信品質の推定は困難である。

以上より、無線 LAN 内の NFDF の送信頻度の高い端末のデータを用いることで、NFDF の再送率を通信品質の推定に使えると考える。3 章の対象端末以外にも iPad (iOS:9.3.2) や iPhone6 (iOS:9.3.1) など最近のスマートフォンやタブレットほど NFDF の送信頻度が高い傾向にあることを調べている。

6. NFDF の再送率による無線 LAN の通信品質推定システムの実装に関する検討

6.1 無線アクセス網全体の通信品質推定

本章では、通信端末ごとに収集された NFDF の再送率を無線 LAN 全体の通信品質の指標としてどのように用いるかについて検討する。

前章までの調査結果より、送信頻度の高い端末からの NFDF の再送率を用いた通信品質の推定は精度が高いことが判明しているため、AP 配下の全通信端末のデータのうち、一定期間で最も NFDF の送信頻度の高い端末のデータを無線アクセス網全体の指標とするような方法を検討する。ただし、AP 内に NFDF の送信頻度の高い端末がない場合もある。その場合は一定期間に採取したデータに対し

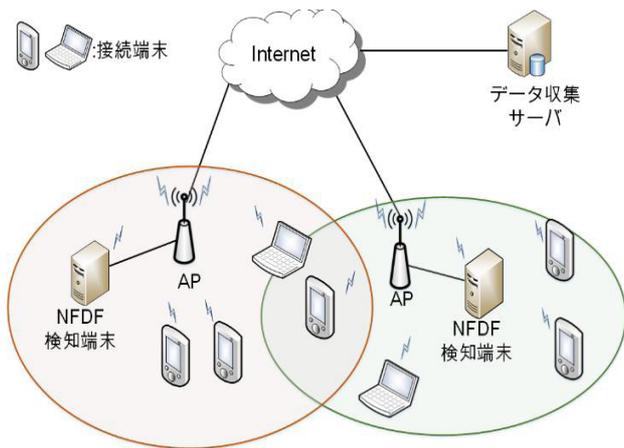


図 4 通信品質の推定システムの構成

Fig. 4 Configuration example of an estimation system.

て送信頻度の高い順に重みをかけた加重平均値を用いて多くのデータを収容する方法も検討すべきである。

無線アクセス網全体の通信品質を推定することができれば、本論文の冒頭で述べたように、通信品質への影響度が大きいアクセス網の品質に応じたサービスの提供も可能となる。

6.2 NFDF の収集

ここでは提案方法のもととなるデータである NFDF の収集に関する検討事項について述べる。

AP 配下の通信端末の NFDF を収集するためには、AP 配下に流れる全フレームをキャプチャする必要がある、通信端末個々での収集は困難である。そのため、たとえば図 4 のように AP に直結した NFDF 検知の機能を備えた端末が必要となる。また、この端末はキャプチャした NFDF を解析し、AP と NFDF を送信した端末の MAC アドレス、再送フラグの情報を取得する機能を持つことが要求される。図 4 では AP とは独立した端末がこれらの機能を行う例となっているが、AP にその機能を組み込むことも可能である。

収集したデータの蓄積や NFDF の再送率を算出したりする機能も必要となるが、これはインターネット上（クラウド上）のサーバ（図 4 ではデータ収集サーバ）が担える。

NFDF の収集時間も検討事項の 1 つである。今回の調査実験では NFDF を 10 分間蓄積し、NFDF の再送率を算出した。しかし、多くのモバイル通信の場合、移動端末が同じ AP へ 10 分間接続し続けるとは限らない。そのため、複数の端末からのデータをマージするなど短時間でのデータの蓄積方法を検討しなければならない。

現在の集中型の無線 LAN コントローラにはその配下の AP の輻輳などの通信品質に関する情報を直接収集することが可能なものもある。このうち、AP 単位で無線 LAN の通信品質を制御するものもある。提案指標である NFDF

の再送率は、こうした制御に追加の指標として使える可能性がある。一方、無線 LAN コントローラを用いない小規模な無線ネットワークにおいては AP に提案指標を収集する機能を加えることも考えられる。

本提案も含め MAC 層情報を用いる種々の方法では隠れ端末などそもそもフレームが収集できない場合への対処が必要である。提案方法において、NFDF の送信頻度が高い端末がいたとしても、NFDF 検知端末が NFDF を収集できなければ提案方法を適用することができない。しかし、近年の公衆無線 LAN の利用状況では 1 つの AP に相当数の通信端末が接続していることから、NFDF の送信頻度が高い端末がほとんど電波強度の弱い場所に集中することは稀と想定されるので、RTS/CTS を使用するケース [10] に比べると影響は小さいと考える。

7. おわりに

本論文では、MAC 層情報の 1 つである NFDF の再送率を無線 LAN の通信品質の推定の指標として用いることの有効性について述べた。具体的には NFDF の送信頻度が高い端末は RSSI の変化や電波干渉によるエラーの影響を受けにくく、負荷トラヒック量によって NFDF の再送率が変動するため、通信品質を推定することが可能であることを示した。最近のスマートフォンやタブレットは NFDF の送信頻度が高い傾向にあり、公衆無線 LAN ではこれらの端末の利用者が多いため、NFDF の再送率のデータを取得できる可能性が高い。

NFDF の再送率の収集をシステム化していく場合は、6 章で述べたような検討事項がある。また、無線アクセス網の通信品質に関する情報収集の需要があるものの、事業化の観点からは具体的な情報の収集や展開も容易ではないので、これも今後の検討課題である。

参考文献

- [1] 総務省：我が国のインターネットにおけるトラヒックの集計・試算，総合通信基盤局・電気通信事業部・データ通信課 (2016)，入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000402062.pdf)，(参照 2016-05-20)。
- [2] 古閑宏幸，福田 豊，原口浩朗，鶴 正人，尾家祐二：アクセス網における通信品質を考慮した資源利用・割当制御技術，情報通信研究機構季報，Vol.51, No.3/4, pp.67-74 (2005)。
- [3] Balachandran, A., Voelker, G.M., Bahl, P. and Rangan, P.V.: Characterizing User Behavior and Network Performance in a Public Wireless LAN, *Proc. 2002 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems*, pp.195-205 (2002)。
- [4] 中島 裕，大坐島智，川島幸之助：IEEE 802.11 における MAC 層の情報を用いた通信品質制御方式の一検討，情報処理学会研究報告，2008-MBL-046 (Sep. 2008)。
- [5] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications (1999)。

- [6] 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, 電子情報通信学会技術研究報告, MoMuC2009-31, pp.27-32 (Sep. 2009).
- [7] 小清水郁, 上岡英史: ユーザ満足度を考慮した WLAN における自律的アドミッションコントロールの検討, 電子情報通信学会技術研究報告 MoMuC2009-73, pp.13-18 (Mar. 2009).
- [8] 萩嶋辰徳: ラウンドトリップタイムを指標とした無線 LAN におけるハンドオーバー手法, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, p.153 (Mar. 2007).
- [9] IEEE Std 802.11e-2005, Part11: Wireless LAN and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, IEEE (2005).
- [10] 井島亮一, 塚本和也, 榎原 茂, 尾家祐二: WLAN の再送回数をを用いたハンドオーバー決定指標の有効性調査, 電子情報通信学 2005 年総合大会シンポジウム講演, BS-3-6, pp.32-33 (Mar. 2005).
- [11] He, Y., Yuan, R., Ma, X. and Li, J.: The IEEE 802.11 Power Saving Mechanism: AN Experimental Study, *Proc. WCNC2008 - 2008 IEEE Wireless Comms. and Networking Conf.*, pp.1362-1367 (Apr. 2008).
- [12] Shintani, T., Maeda, K. and Kondo, T.: An Investigation of Effectiveness of an Estimation Method of Wireless Network Conditions using MAC Layer Informations, IEICE Technical Report, IA2015-59 (Nov. 2015).



新谷 隆文

2015 年広島市立大学情報科学部卒業。現在, 同大学大学院情報科学研究科博士前期課程在籍。無線 LAN に関する研究に従事。



前田 香織 (正会員)

1982 年広島大学総合科学部卒業。同大学工学部助手, (財)放射線影響研究所技術員, 広島市立大学情報科学部助手, 同大学情報処理センター助教授を経て, 現在, 同大学大学院情報科学研究科教授。博士(情報工学)。コン

ピュータネットワーク, マルチメディア通信, モバイル通信に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。