

無線 LAN のエラー特性とネットワークエミュレータの開発

廣瀬 功一 久保 孝弘 山崎 克之 柴田 義孝[†]

株式会社 KDDI 研究所 〒356-8502 埼玉県上福岡市大原 2-1-15
[†] 岩手県立大学 〒020-0173 岩手県滝沢村滝沢字菓子 152-52

E-mail: {hirose, kubo, yamazaki}@kddilabs.jp, [†] shibata@iwate-pu.ac.jp

あらまし 有線系 IP ネットワークにおけるエラー特性と異なり、無線 LAN では重複パケットの発生やパケットの到着順序逆転等のエラーの発生が確認されている。このようなエラーは無線 LAN の伝送レイヤにおける再送処理に起因していると考えられ、特に劣悪な通信環境ではエラーの発生頻度が高くなる。2.4GHz 無線 LAN による多段のネットワークを構築し、その通信特性を評価したところ、多段接続と無線 LAN のアクセス制御方式 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) に起因すると思われる遅延揺らぎを観測した。本稿では、この評価結果を報告するとともに、無線 LAN 特有のエラーを模擬する IP ネットワークエミュレータを開発したので、その概要と性能評価結果を報告する。

キーワード 無線 LAN, 伝送エラー, IP ネットワークエミュレータ

Error Characteristics of WLAN and Development of IP Network Emulator

Koichi HIROSE Takahiro KUBO Ktsuyuki YAMAZAKI and Yoshitaka SHIBATA[†]

KDDI R&D Laboratories Inc. 2-1-15 Ohara, Kamifukuoka, Saitama 356-8502 Japan
[†] Iwate Prefectural University 152-52 Sugo, Takizawa, Iwate 020-0173 Japan

E-mail: {hirose, kubo, yamazaki}@kddilabs.jp, [†] shibata@iwate-pu.ac.jp

Abstract WLAN's error characteristics is different from wired IP network's. In particular, packet duplication and out-of-order of packet arrival are typical errors in WLAN due to mechanism of transmission layer. In this paper, a unique jitter characteristics in wireless network of tandem connections is reported. This jitter occurs due to tandem WLAN connections and CSMA/CA, which is known as WLAN's media access control. IP network emulator, designed to emulate WLAN specific errors, is also reported.

Keyword WLAN, Transmission error, IP network emulator

1. まえがき

無線アクセス技術の発展に伴い、IEEE802.11b 準拠の 2.4GHz 帯無線 LAN は、機器が低価格であることや設置が容易であることなどの利点により、企業におけるビル間通信手段やオフィス内 LAN の構築手段として広く普及している。最近では、より高速な通信を可能とする IEEE802.11a 規格や IEEE802.11g 規格等の無線 LAN 製品が登場し、無線アクセス技術は企業ユーザや通信事業者のさらなる期待を集めている。

一方、IP ネットワーク上で動作するアプリケーションの開発において、実ネットワークを用いることなく、その機能や性能の評価・検証を簡単に行うためのツールとして、リアルタイムでエラーを発生させることができる IP ネットワークエミュレータが活用されている。しかし、従来の IP ネットワークエミュレータは固定遅延等の一般的なエラーを模擬することはできるものの、無線 LAN 環境等の実ネットワークで発生するエラー特性を忠実に再現することはできない。そこで、無線 LAN 特有のエラー特性を考慮した IP ネットワークエミュレータの開発を進めてきた[1]。

今回、防災・災害支援情報ネットワークに関する研究[2]の一環として、無線 LAN を多段に接続したネットワークを構築した。当該ネットワークの通信特性を評価し、無線 LAN 特有と思われる遅延揺らぎを確認したので、その結果について報告する。また、開発した IP ネットワークエミュレータにおいて、実ネットワークで観測した遅延揺らぎを模擬させ、良好な結果を得たので、あわせて報告する。

2. 無線 LAN のエラー特性

2.1. 無線 LAN 特有のエラー特性

これまでに、上福岡無線 LAN 実験[3]や奄美大島の離島遠隔医療実験[4]において無線 LAN を用いたネットワークの構築および評価を実施し、有線系 IP ネットワークと異なる以下のようなエラーの発生を確認し

ている[5][6]。

- ・ パケット到着順序の逆転
- ・ 重複パケットの発生

このようなエラーは無線 LAN の伝送レイヤにおける再送処理に起因していると考えられ、特に干渉が大きい場合等の劣悪な通信環境ではエラーの発生頻度が高くなる。これらのエラー特性はリアルタイムの通信を行う IP 電話や動画像ライブ伝送等の通信品質に大きく影響する。

2.2. エラー特性の具体例

(1) ネットワーク構成

今回、岩手県において、防災・災害支援情報ネットワークとして、無線 LAN によるネットワークを構築した(図 1)。使用した無線 LAN 装置は KDDI 研究所が開発した 2.4GHz 無線 LAN 装置 CFO-SS 無線システムである[7]。本装置を 3 対向用い、無線 LAN の多段ネットワークを構成し、岩手県立大学と滝沢村役場を接続した。両端間の通信速度は、FTP (File Transfer Protocol) による実測で 4~5Mbit/s であった。

本ネットワーク構成では、多段構成とアクセス制御方式 CSMA/CA が要因となって遅延揺らぎが大きくなることが予想されるため、遅延揺らぎの測定を主とした通信特性評価を行った。以下ではその評価結果について報告する。

(2) ネットワークの特性評価方法

無線 LAN のエラー特性として、IP 電話等の音声品質に影響を与える遅延揺らぎとパケット損失を測定する。構築したネットワークの岩手県立大学側と滝沢村役場側に各々配置した IP ネットワーク特性評価ツール[8]により、片側から一方向に固定パケット長の UDP パケットを 100ms 間隔で送信し、送信側と受信側の両

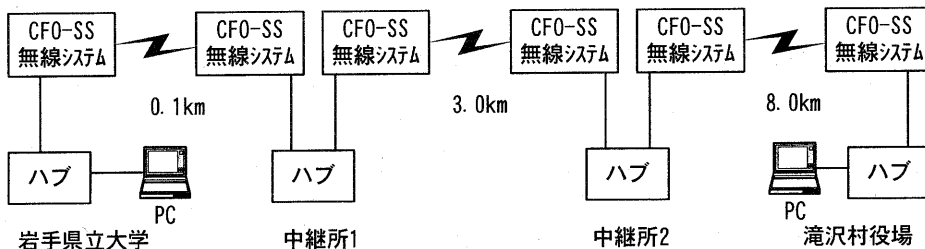


図1 ネットワーク構成

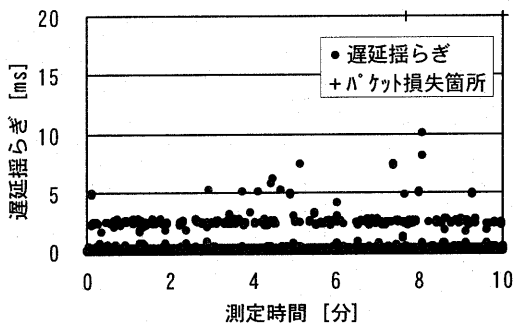


図2 上り方向計測結果 (パケットサイズ 256bytes)

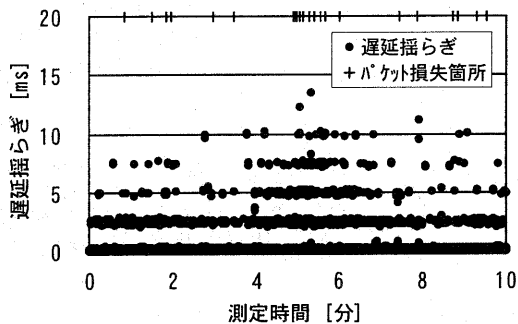


図4 下り方向計測結果 (パケットサイズ 256bytes)

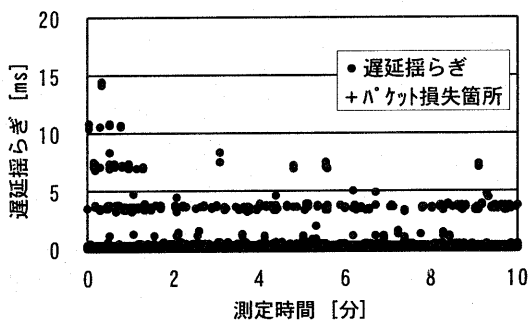


図3 上り方向計測結果 (パケットサイズ 1500bytes)

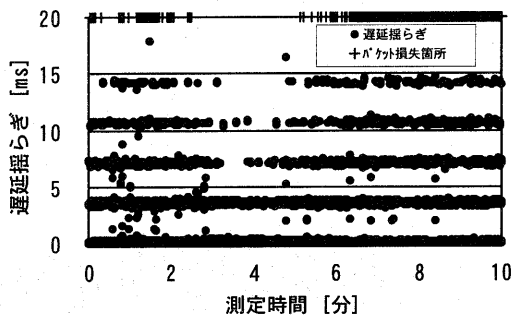


図5 下り方向計測結果 (パケットサイズ 1500bytes)

方で tcpdump コマンドにより全パケットを収集する。補足したパケットの送信側における送信間隔と受信側における受信間隔の差を遅延揺らぎとして算出する。これは RFC1889[9]で記述している連続 RTP パケットの送信間隔と受信間隔の差分 $D(i, j)$ と同等である。パケット損失については受信側パケットの IP ヘッダにおける識別子(ID)を確認し、パケット欠落を検出する。本測定は片方向につき64bytesから1500bytesまでのパケットサイズ毎に実施し、逆方向についても同様に測定する。

(3) 評価結果

岩手県立大学から滝沢村役場方向 (以下、「上り方向」という) について、遅延揺らぎとパケット損失箇所をパケットサイズ毎に 10 分間測定した。パケットサイズが 256bytes と 1500bytes について測定した結果を図 2、図 3 に示す。滝沢村役場から岩手県立大学方向 (以下、「下り方向」という) についての同様な測定結果を図 4、図 5 に示す。いずれのグラフも、パケット送信間隔とパケット受信間隔の差の絶対値として遅延揺らぎを表示している。測定結果から以下の事象が確認できる。

- ① 各方向とも遅延揺らぎの帯状の分布が存在する。帯の分布間隔はパケット長の増加に伴って広がる傾向にある。
- ② 上り方向に比較して、下り方向の方が帯の数が多く、全体的に遅延揺らぎが大きい。すなわち、上り方向と下り方向の間で、遅延揺らぎ特性の違いが発生している。
- ③ 上り方向に比べ、下り方向の方がパケット損失の発生数も多く、且つ、遅延揺らぎの帯の数の多い箇所でもパケット損失が頻繁に発生している傾向にある。
- ④ 10 分間の計測において、各測定結果とも遅延揺らぎの時間変動がみられる。すなわち、エラー特性が時間的に変化している。

遅延揺らぎの帯状分布は多段接続と無線 LAN のアクセス制御方式である CSMA/CA に起因すると考えられる。下り方向で遅延揺らぎとパケット損失が大きいのは、中継所 2 における滝沢村役場向けアンテナが盛岡市街地方向からの干渉波を受けているためと考えられる。詳細要因の解析については、タンデム構成の区

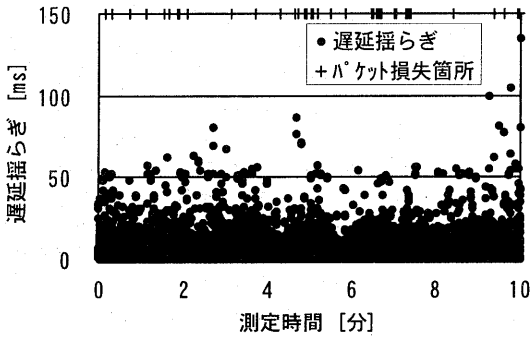


図6 上り方向計測結果
(パケットサイズ 128bytes、背景負荷あり)

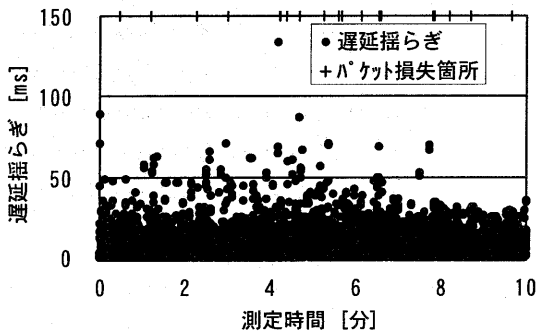


図7 下り方向計測結果
(パケットサイズ 128bytes、背景負荷あり)

表1 IPネットワークエミュレータの諸元

巧-対象	(1) 送信・受信 IP アドレス毎 (2) TCP コネクション毎	
巧-種別	(1) 遅延 ・固定遅延 ・変動遅延	遅延量の最小値および最大値はファイルで各々 0ms、300ms である。1ms 単位で遅延量を指定する。
	(2) パケットロス ・一定周期ロス ・ランダムロス ・バーストロス	0 から 1 の率を 10^{-10} 単位で指定する。
	(3) パケット操作 ・重複パケット ・パケットの順序逆転	
その他	・方向別に個別にエラーを付与することが可能 ・IPv6 対応	

間毎の特性評価を行う必要があると思われる。

次に、同ネットワークの両端で動画像ライブ伝送システム Quality Meeting [10] による双方向通信を行い、音声・動画像の背景負荷を与えた状態で、(2)項の手順

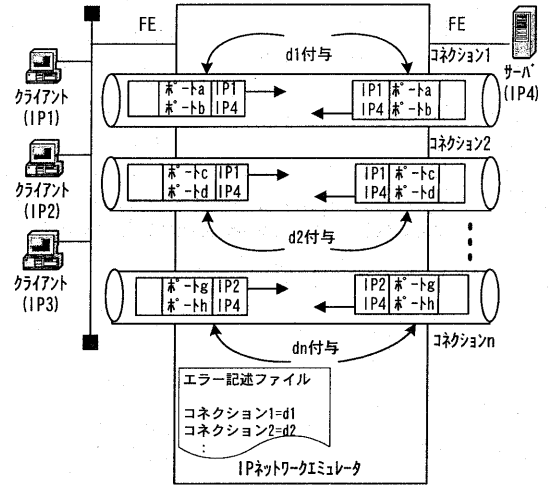


図8 IPネットワークエミュレータの構成

により、上り方向と下り方向について遅延揺らぎとパケット損失箇所をパケットサイズ毎に測定した。背景負荷がある場合の計測は全て同様な結果となり、一例として上り方向と下り方向の計測でパケットサイズが 128bytes の結果を図 6 と図 7 に示す。遅延揺らぎは帯状の分布ではなく、背景負荷が加わったことによるランダムな分布である。パケット損失もランダムに発生している。また、遅延揺らぎの値も無負荷時のそれに比べて大きいといえる。ネットワーク上のトラヒックが増大したことならびに背景負荷の IP パケットと計測用の IP パケットが無線装置内のバッファに混在したことが、遅延揺らぎ値の増加要因と考える。

3. ネットワークエミュレータの性能評価

3.1. ネットワークエミュレータの構成と機能

無線 LAN 特有のエラーを含めた IP ネットワークのエラーを擬似的に発生させることを目的として、IP ネットワークエミュレータを開発した。ネットワークエミュレータの構成を図 8 に、諸元を表 1 に示す。FreeBSD 4.7 を実装した PC に FE (Fast Ethernet) のインターフェースを 2 つ搭載する。機能検証や性能評価したいアプリケーションを搭載した PC をネットワークエミュレータの両端に接続し、ネットワークエミュレータ内で所望のエラーを指定することで、ネットワークエミュレータを通過するパケットに対して、エラーを付与することが可能である。特に、本ネットワークエミュレータはエラー種別の一つとしてパケット操作の機能を具備しているため、

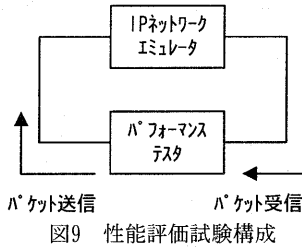


図9 性能評価試験構成

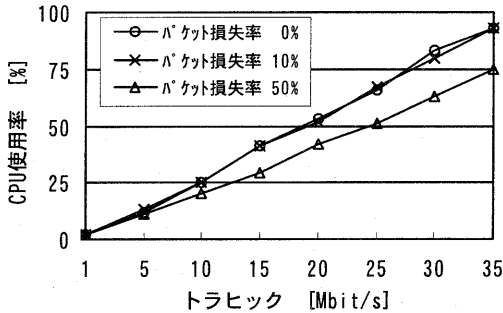


図10 性能評価試験結果

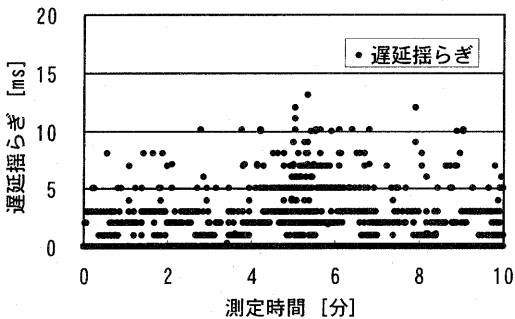


図11 遅延揺らぎ再現結果

2.1 項で述べたパケット到着順序の逆転等の無線LAN特有のエラー特性を擬似することが可能である。

本ネットワークエミュレータの一つの特徴として、TCPコネクション毎のエラー付与機能がある。擬似エラーの対象をIPレベルではなく、TCPコネクション単位とすることで、より現実的に忠実な試験が可能となる。例えば、本手法による擬似エラーは、無線LAN環境だけでなく、一般のインターネット環境におけるクライアントサーバシステムの性能評価等にも有効である。従来の手法では各クライアントからの全てのアクセスに関して、同一のエラーを一様に与えてしまうことになる。実際のインターネットでは各クライアントのアクセス経路は多種多

様であり、遅延等のエラーはアクセス毎に異なるため、TCPコネクション対応の擬似エラーが有効である。

3.2. 性能評価

ネットワークエミュレータの性能評価試験構成を図9に示す。今回、ネットワークエミュレータを搭載したPCの仕様は、CPUがペンティアム4(2.8GHz)、メモリが512MBである。ネットワークエミュレータの両方のインターフェースにパフォーマンスステスタを接続する。パフォーマンスステスタの送信側から、パケットサイズがランダムであるIPトラフィックを送信し、ネットワークエミュレータを通過後、受信側でIPパケットを受信する。エラー種別としてランダムなパケット損失を選択し、擬似対象トラックを処理する際のネットワークエミュレータのCPU使用率をUNIXのシステム情報収集コマンドであるtopコマンドで確認した結果を図10に示す。ネットワークエミュレータで指定するパケット損失率0%よりパケット損失率50%の方が、同じトラフィックを処理するにもCPUの負荷が少ないことが分かる。これは、ネットワークエミュレータの受信側において早期にパケットを間引いていることにより、ネットワークエミュレータの処理が軽くなっているためと考えられる。

次に、パフォーマンスステスタで送受信パケット数を確認し、ネットワークエミュレータで指定するパケット損失率で間引かれたパケット以外の損失パケットが発生しない限界のトラフィック量を測定した。その結果、いずれのパケット損失率の場合も、負荷が20Mbit/sを超えると、ネットワークエミュレータによるパケットの取りこぼしが発生し始めることが分かった。したがって、模擬するエラーとしてパケット損失を選択した場合、現状、20Mbit/sのトラフィックまで対応可能であるといえる。模擬するエラーとして遅延を選択した場合は、負荷が4Mbit/sを超えると、ネットワークエミュレータによるパケットの取りこぼしが発生し始めることから、4Mbit/sのトラフィックまで対応可能である。今後、処理能力の向上を図る予定である。

3.3. 実ネットワークのエラー模擬

実ネットワークのエラー特性を机上で再現させることを目的として、本ネットワークエミュレータに対してRFC1889のD(i, j)に相当する遅延揺らぎの盛り込みを行った。盛り込むエラー特性として、図4に示す256bytesのパケットサイズで計測した遅延揺らぎを利用し、計測時間10分間に通過した6000パケット分の下り方向片道伝搬時間を算出する。それらをテキストファイルに記述し、遅延ファイルとして本ネットワークエミュレータに読み込ませ、当該遅延ファイルに基づいてネットワークエミュレータを起動する。ネットワークエミ

エミュレータの両端には2項の計測で用いたIPネットワーク特性評価ツールを具備したPCを接続し、2項と同様な測定を行った。パケットサイズを256bytesとして計測した遅延揺らぎの結果を図11に示す。図4の特性と同等の結果が得られ、本ネットワークエミュレータが実ネットワークのエラー特性をほぼ忠実に再現していることが分かる。

4. まとめ

本報告では、構築した無線LANの多段ネットワークにおける通信特性評価試験について述べた。無線LANの多段構成とアクセス制御方式に起因すると思われる遅延揺らぎが確認できた。また、開発したネットワークエミュレータが実ネットワークのエラー特性を再現できることから、本ネットワークエミュレータがアプリケーションソフトウェアの機能検証や性能評価に有効であることを示した。今後は、IPネットワークエミュレータの性能向上と観測した遅延揺らぎ特性に関する詳細な解析等を行う予定である。

謝辞

本研究は、岩手県立大学とKDDI研究所との共同研究として実施し、通信・放送機構が岩手県に整備した「防災・災害情報ネットワーク研究設備」の一部を活用させていただきました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- [1] 廣瀬功一, 山崎克之, “無線LANの特性を考慮したIPネットワークシミュレータの開発,” 2002年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-6-25, Sep. 2002.
- [2] <http://www.kddilabs.jp/cygnus/>
- [3] <http://www.kddilabs.co.jp/CityLAN/>
- [4] <http://www.kddilabs.jp/s-cross/>
- [5] 前島治, 廣瀬功一, 石倉雅巳, 山崎克之, 浅見徹, “2.4GHz帯無線LANによる地域インターネットの構築法と評価,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN99-167, Mar. 2000.
- [6] 北辻佳憲, 藤川裕充, 山崎克之, “奄美大島の離島遠隔医療実験における無線LANのTCP性能の評価について,” 2001年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-199, Sep. 2001.
- [7] H.Ishikawa and H.Shinonaga, “Design of Carrier Frequency Offset-Spread Spectrum (CFO-SS) System Using 2.4 GHz ISM Band,” IEICE Trans. On Fundamentals, pp.2669-2676, Vol. E82-A, No.12, Dec. 1999.
- [8] 伊藤嘉浩, 石倉雅巳, 浅見徹, “リアルタイム通信特性評価用トラヒックジェネレータ/アナライザの評価,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN97-47, June 1997.

- [9] H.Schulzrinne, S.Casner, R. Frederick, V. Jacobson, “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications,” RFC1889, Jan. 1996.
- [10] 清水智行, 柳原広昌, 米山暁夫, 中島康之, “MPEG-4 ベースブロードバンドライブ伝送システムの開発 ～システム概要～,” 2002年画像符号化シンポジウム(PCSJ2002), 第17回シンポジウム資料, P-1.03, Nov. 2002.