

5T-06 IEEE802.11b 準拠無線 LAN のチャンネル間干渉による

TCP/IP の速度性能の評価

江坂 直紀 後藤 真孝 門間 信行 渋谷 尚久 高木 雅裕 井上 淳
(株)東芝 研究開発センター

1 はじめに

近年、2.4GHz 帯の無線 LAN 技術は、これまでの 2Mbps の製品から Ethernet 相当の 11Mbps である IEEE802.11b 規格のものが発売されたこと、法制度の規制緩和による利用できる周波数の拡大、低コスト化などにより導入が容易になったため会社や大学から一般家庭にまで広く使われるようになってきている。しかし、無線で LAN が構築できることにより配線が不要になりレイアウトを自由に変更できるようになると、無設計な基地局の配置による干渉を気付かぬうちに引き起こすことが懸念される。また今後、無線 LAN がより広く使われる際に干渉が実際どれほどになるのかといった通信性能は興味を持たれるところである。

本稿では、IEEE802.11b のスペクトル拡散方式でのチャンネル間の干渉を TCP/IP の上の挙動から解析し、その対策について報告する。

2 IEEE802.11 無線 LAN

802.11 の物理層には、周波数ホッピング、スペクトル拡散、赤外線と 3 つの仕様があるが、ここでは、802.11b の製品で使われているスペクトル拡散についてのみ説明する。

スペクトル拡散では、MAC 層から入力されたデータを、2412 MHz から 2472 MHz までを 5 MHz 毎に均等に割った 13 チャンネルに 2484 MHz を加えた、総勢 14 チャンネル¹の一つを搬送波として使い、変調を行った後 11-chip Barker sequence を拡散信号として掛け合わせ 11 倍の帯域に拡散して送出する。

例としてチャンネル 6 を搬送波として用いた場合の拡散前 / 拡散後の信号と、各々のチャンネルの中心周波数の関係を、図 1 に示す。全チャンネルで拡散符号が共通であるため、互いの干渉を完全に避けるには、スペクトル上での衝突を避ける必要がある。メインローブの衝突を完全に避けるには、少なくとも 4 ch 以上チャンネルは離す必要がある。

また、802.11 の MAC 層は主に隠れ端末²対策のため RTS/CTS フレームを用いて CSMA/CA with ACK 方式を採用している。

TCP/IP performance in IEEE802.11b channel interference environment.

Naoki ESAKA, Masataka GOTO, Nobuyuki MONMA, Naohisa SHIBUYA, Masahiro TAKAGI and Atsushi INOUE

R & D Center, TOSHIBA Corp.

¹Industrial, Scientific and Medical Band とよばれる国際的に無免許での利用が許されている帯域を使っている。

²例えば距離の問題で、送信側もしくは受信側の一方のみのフレームが聞こえる端末のことを指す。

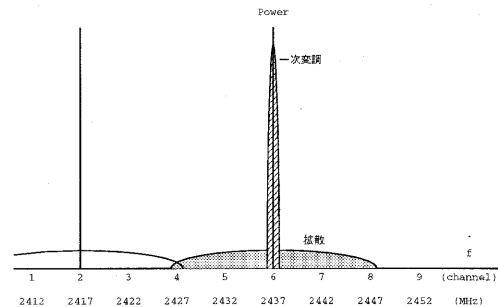


図 1 拡散前/拡散後の信号と各チャンネルの中心周波数の関係

3 干渉実験

3.1 実験内容

チャンネル間の干渉の影響を調べるために、802.11b 準拠の複数の無線 LAN を適当なチャンネルに設定して同時に通信を行う場合に、どの程度の性能が得られるかを評価した。

具体的には、図 2 に示すネットワーク構成で実験を行った。それぞれのネットワークは、固定ノード FN、モバイルノード MN、および有線 LAN と無線 LAN とを繋ぐブリッジであるアクセスポイント AP から構成される。AP 2 ではチャンネルをそれぞれ $1+i$ ($i = 0, 1, 2, 3, 4, 5$) に設定し、干渉用トラフィックとして UDP のバルクデータ伝送を行なった。一方、AP 1 ではチャンネルを 1 に固定し、AP 2 の各チャンネル設定時の UDP バルクデータ送信中に、TCP のバルクデータ伝送を行なった。

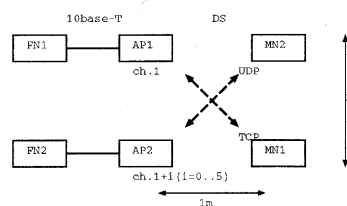


図 2 無線機器の配置図とネットワーク構成

スループット測定には、netperf³を用いた。各チャンネル設定において、TCP/UDP とともに三回ずつ MN から FN への各 10 秒のバルクデータ伝送を行ない、スループットの測定を行なった。この時、FN1, MN1 の TCP 送受信バッファサイズは共にデフォルトの 16384 byte である。AP には日本 NCR の WavePoint II に WaveLAN Turbo 11Mb のカードを挿したもの、MN, FN には、FreeBSD 3.4, FreeBSD4.1 を使用した。

3.2 測定結果

スループットの測定結果を表 1 に示す。結果は三回の測定の前平均である。また、有線 LAN におけるデータ

³<http://www.netperf.org/>

トラフィックのダンプ結果から、MN1 から FN1 に送られた重複 Ack の発生回数の三回の測定の平均を表 2 に、MN1 から FN1 へ送られたセグメントのシーケンス番号の変化を図 3 ~ 図 5 に示す。

表 1 TCP, UDP の平均スループット [Mbps], ch は UDP 側

ch	1	2	3	4	5	6
TCP	2.774	0.821	0.680	5.114	4.972	4.981
UDP	4.341	4.310	5.354	6.040	5.920	6.121

表 2 重複 Ack 平均発生回数

ch	1	2	3	4	5	6
発生回数	0.7	13	11	0	0	0

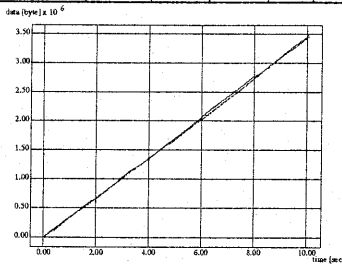


図 3 TCP シーケンス番号の変化 (ch=(1,1))

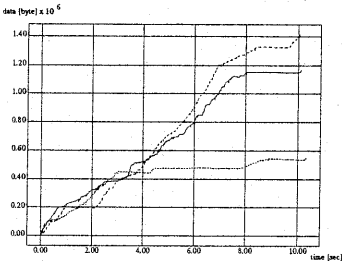


図 4 TCP シーケンス番号の変化 (ch=(1,2))

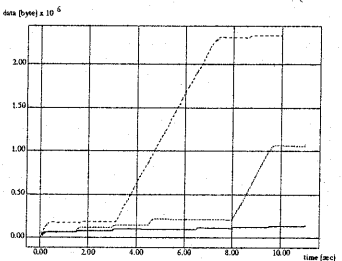


図 5 TCP シーケンス番号の変化 (ch=(1,3))

3.3 考察

表 1 より実質 $ch = (1, 4)$ ⁴ のように、3ch 以上チャネルを離せば無線の干渉による影響を避けられることがわかる⁵。また、表 2 から重複 Ack が見られないことから、無線区間でパケットロスは発生していないと考えられる。

$ch = (1, 1)$ のように同一チャネルの場合、表 2 において重複 Ack もほとんど見られず、また、図 3 においてもシーケンス番号が単調増加していることから、CSMA/CA による制御がうまく働いていることが

⁴(TCP 側のチャネル, UDP 側のチャネル)

⁵ただし、これは WaveLAN を用いた場合の結果に過ぎず、他の無線 LAN 機器を用いた場合にも必ずしも同じことが言えるとは限らない。

わかる。

$ch = (1, 2), (1, 3)$ のように隣接、隣々接チャネルに設定した場合、UDP では約 4.3 ~ 5.4 Mbps のスループットが得られているものの、TCP では 1 Mbps 未満のスループットしか得られていない。しかも、重複 Ack が平均 10 回以上発生しており、無線区間でパケットロスが頻発していることを意味する。図 4 および 図 5 では、TCP の傾向に若干違いが見られる。図 4 では Fast Retransmission により TCP の再送処理がうまく機能しているものの、図 5 では再送タイムアウトが頻発した結果、スループットが低くなっていることがわかる。

この原因を tcpdump の結果から解析してみると、 $ch = (1, 3)$ の場合は、 $ch = (1, 2)$ に比べてパケットロスの発生確率が高いので、輻輳ウィンドウのサイズが期待するように拡大していないと考えられる。これは、チャネルが一つずれている場合には隣りのチャネルのデータが復号出来ることがあり、MAC 層での制御が有効になるため $ch = (1, 2)$ のパケットロスが少ないからだと思われる⁶。

以上の結果をまとめると、以下のようなことが言える。

- 同一チャネルで通信を行なえば、CSMA/CA による多重アクセス制御がうまく働き、無線の干渉による無駄なパケットロスを発生させることなく、複数の端末間の通信を共存させることができる。
- 3ch 以上チャネルを離さない場合、隣接、隣々接チャネルでは、無線の干渉の影響によりパケットロスが頻発し、TCP を用いた通信のスループットを著しく劣化させる。

4 おわりに

本稿では、近年広く使われている 802.11b 無線 LAN に関して、スペクトラム拡散方式での異チャネル間の電波干渉実験をおこない、3ch 以上チャネルを離さないと隣接、隣々接チャネルでは無線の干渉の影響によりパケットロスが頻発し、TCP を用いた通信のスループットを著しく劣化させることがわかった。

今回は異なるチャネルの存在がどのくらいの影響をおよぼすかについて評価してみたが、周波数ホッピングの無線 LAN や、Bluetooth といったものとの評価も必要である。今後も無線 LAN はユーザが増え広く使われ続けられると思われるので引き続き評価を続けていきたい。

参考文献

- [1] IEEE802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications", May 1998
- [2] 三瓶, 杉浦, 他, "CDMA の基礎とモバイル通信技術", Interface, Feb. 2000
- [3] W.RICHARD Stevens, "TCP/IP Illustrated, Volume 1", Addison Wesley Longman Inc., 1994.

⁶実際に一つチャネルをずらしても通信が可能なが確認されている。