

## IEEE802.11bとBluetoothの干渉によるスループットの劣化の解析

荒井 隆之<sup>†1</sup> 若原 俊彦<sup>‡</sup> 松本 充司<sup>†2</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学 大学院国際情報通信研究科

<sup>‡</sup> 早稲田大学 国際情報通信研究センター

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10 早大 29-7 号館

E-mail: <sup>†</sup> RHD03442@nifty.ne.jp

E-mail: <sup>‡</sup> wakahara@giti.waseda.ac.jp, <sup>†2</sup> matsumoto@giti.waseda.ac.jp

あらまし ホット・スポットなどで使用されているIEEE802.11b無線LANと、手軽な近距離通信として使用されているBluetoothは、同時に近傍エリアで使用するとこれらの相互干渉によりスループットが低下したり、途中で通信断などの現象が発生する。

この両システム間の互いに与える干渉を定量的に評価するため、干渉による影響 についてスループットの劣化に注目して実験を行い、昨年5月の本研究会にて結果を発表した。

本稿では、この実験で得られたデータを基に受信機のBER特性やFER特性を分析し、スループット特性の関係を解析し、実験で得られたデータと解析結果の良好な一致を得たので報告する。

キーワード 2.4GHz帯無線LAN 802.11b, Bluetooth, 干渉問題, スループット

## An Analysis on the Interference between Bluetooth and IEEE802.11b

### Wireless LANs

Takayuki ARAI<sup>†1</sup> Toshihiko WAKAHARA<sup>‡</sup> and Mitsuji MATSUMOTO<sup>†2</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

<sup>‡</sup> Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University

29-7 building, 1-3-10 Nishi-Waseda Shinjuku-ku Tokyo 169-0051 Japan

E-mail: <sup>†</sup> RHD03442@nifty.ne.jp

E-mail: <sup>‡</sup> wakahara@giti.waseda.ac.jp <sup>†2</sup> matsumoto@giti.waseda.ac.jp

**Abstract:** The paper analyzes the interference problems between the Bluetooth and the 802.11b IEEE Wireless LAN systems and shows data throughput characteristics. We already presented the experimental data at the conference last year. This paper presents the interference analysis between these systems and shows the good consistency with the calculated analysis data and experiment data.

**Keyword** 2.4GHz IEEE 802.11b, Bluetooth, interference, throughput

## 1. はじめに

近年のノートブック PC には、Bluetooth(BT)または、IEEE802.11b 無線 LAN カードが実装されているものが増加している。また、PCMCIA カード・タイプも発売されていて、オフィスや家庭内でプリンターとのデータ転送やパソコン間のデータ転送などに利用され、ポピュラーなシステムとなっている。

これらのシステムでは、2.4GHz 帯の ISM (Industrial Scientific and Medical) バンドが使用されていて無線従事者免許がいらないことや、機器が手軽にセット・アップできなおかつ安価で入手可能なので、普及が著しい。この ISM バンドでは、電子レンジや医療機器のような電波応用機器や移動体識別装置 (RFID)、アマチュア無線など無線 LAN や Bluetooth 以外の機器にも多用されている。このため、同一空間で同一周波数で同時に複数のシステム機器が動作すると、相互に干渉が発生する。

一般に周波数を共用する無線通信システムには、他システムとの干渉を自動的に防止する機能 (例：キャリアセンス) が実装されていて通信障害を回避する機能が取入れられているが、この ISM バンドは上述のように通信用以外の機器にも使用されているので干渉を回避しながら周波数を共用することは極めて困難である。

802.11b 無線 LAN には他局の使用状況を監視して電波の衝突による干渉を防ぐキャリアセンス機能が実装されているが、Bluetooth には実装されていない。また両システムは独立に動作するため、両システムを近傍で使用するとお互いに干渉し、相互の通信に妨害を与え、接続性やデータ転送スピードに影響を与えている [1][2]。

この 802.11b と Bluetooth システム間の干渉に関するデータを取得して 2001 年 5 月の研究会で報告した [3]。

本稿ではこれら両システムの電波干渉に関する解析を行い、実験で得られたデータと比較してその妥当性を確認し、システムの設置条件から実効的なスループットの予測に役立てることとしたい。

## 2. 実験および解析に用いたシステム構成

### 2.1 IEEE802.11 b

実験データの解析に用いた 802.11b のシステム構成を図 1 に示す。PCMCIA カードは、日本 NCR (Lucent) (+15dBm 出力) 製の物を用い、イーサネットに接続されたサーバから、テスト用ファイルをアクセスポイント経由で PCMCIA カード実装したパソコン (クライアント) に転送し、データの送受信を行ってスループットを測定した。

スループットの評価は、アクセスポイントとクライアント間の無線回線上で転送レート測定テストプログラムを用いて行った。また、電波の受信電界測定は、標準ダイポール・アンテナと HP 製スペクトラム・アナライザを用いて行った。

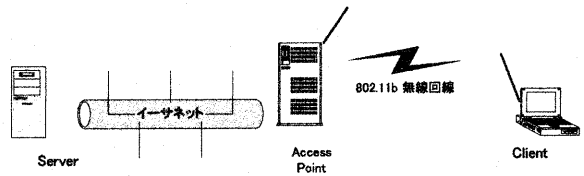


図 1 システム構成 (IEEE802,11 b)

### 2.2 Bluetooth

Bluetooth のシステム構成も同様に図 2 に示す。クライアント側のパソコンの PCMCIA カードはデジアンサー製 (20dBm 出力) を用い、その解析も 802.11b と同様に行った。

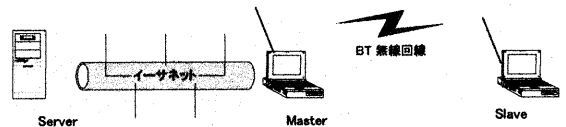


図 2 システム構成 (BT)

## 3. 信号対雑音比と誤り率の関係の算出

### 3.1 802.11b の雑音電力 N の算出

一般に受信機雑音電力 N は、(1)式で表される [4]。

ここで、F: ノイズフィギュア、G=受信機利得、k=ボルツマン定数 ( $1.38 \times 10^{-23}$ )、T=絶対温度 (常温では 290° k)、B=バンド幅である。

$$N = (F-1) G k T B \quad (1)$$

(1)式より 802.11b の雑音電力を求める。

また、市販されている一般的な製品の上記パラメータ値として B=22MHz、F=6dB、G=20dB とすると (1)式より N は、

$$N = -107 \text{ dBm} \quad (2)$$

が得られる。

### 3.2 Bluetooth (BT) の雑音電力 N の算出

同様に一般市販品の BT の雑音電力を計算する。

BT の代表的なパラメータ値として B=78MHz、F=6dB、G=20dB とすると、同様に (1)式から

$$N = -100.5 \text{ dBm} \quad (3)$$

が得られる。

### 3.3 ビット誤り率 (BER) とフレーム誤り率 (FER)

商用システムの機器の性能評価にはフレーム誤り率 FER が定義されているので、ビット誤り率 BER との関係式を求める。

フレーム誤り率 FER とビット誤り率 BER( $P_{ber}$ )の間には、一般に(4)式の関係がある[5].

$$P_{ber} = \text{ビット誤り率}, n = \text{フレーム長 (ビット)}$$

$$FER = 1 - (1 - P_{ber})^n \quad (4)$$

例えば、フレーム長が 1000 ビットの場合の計算結果を図 3 に示す。

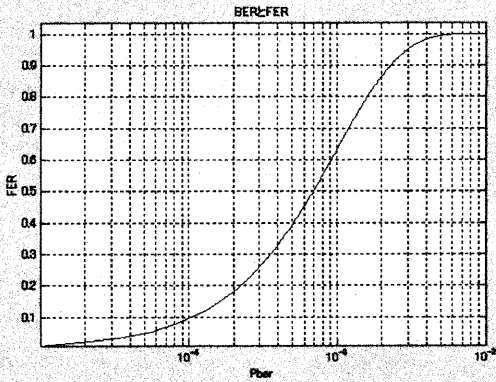


図 3 BER と FER の関係 (フレーム長 1000 ビット)

本実験から得られた、BT のフレーム誤り率と受信機入力との関係を図 4 に示す。同図より、実測した BT のフレーム誤り率は、入力レベルが -86dBm の時 0.136 程度で、この時(4)式より求めた BER は  $1.4 \times 10^{-4}$  であり、ほぼ対応している。

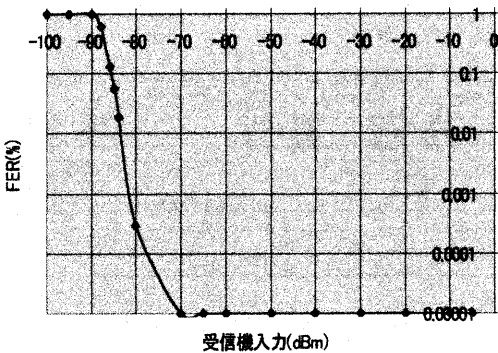


図 4 BT のフレーム誤り率

### 3.4 BT の BER

BT の変復調方式は、2 値の周波数変調方式 (FSK) にガウス型フィルタを付加し占有帯域の拡大を抑える GFSK 方式を採用している。

この方式の誤り率は FSK 方式と同値で、その値は(5)式であらわせる[6].  $E_b/N_0$  ( $E_b$ : 1 ビット当りの平均信号エネルギー,  $N_0$ : 雑音電力密度)を(6)式に示す。

$$P_{ber} = \frac{1}{2} \varepsilon^{\sqrt{E_b/N_0/2}} \quad (5)$$

$$E_b/N_0 = S/N - 3 \quad (6)$$

(5)式による BT のビット誤り率の計算結果を図 5 に示す。

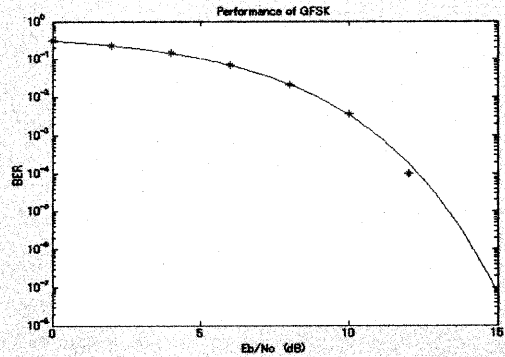


図 5 BT のビット誤り率

$1.4 \times 10^{-4}$  の誤り率が得られる  $E_b/N_0$  は 11.8dB となる。ここで、BT の  $N_0$  は 3.3 項の(3)式より -100.5dBm が得られているので受信機入力とは、(6)式の  $S/N$  との変換値 3 dB を考慮して

$$-100.5 - (-11.8) - (-3) = -85.7 \text{ dBm} \quad (7)$$

(7)式の結果は、図 4 の実測値 -86dBm とほぼ等しい値を示した。

### 3.5 802.11b の BER

802.11b の BER の計算値を求める。802.11b で標準化されている 11Mbps 伝送時の変調方式は CCK (Complementary Code Keying) であり、DPSK (Differential Phase Shift Keying) に相当するのでその値[6]を(8)式に示す。 $E_b/N_0$ を(9)式に示す。

$$P_{ber} = \frac{1}{2} \varepsilon^{\sqrt{E_b/N_0}} \quad (8)$$

$$E_b/N_0 = S/N - 3 \quad (9)$$

(8)式による 802.11b の誤り率の計算結果を図 6 に示す。

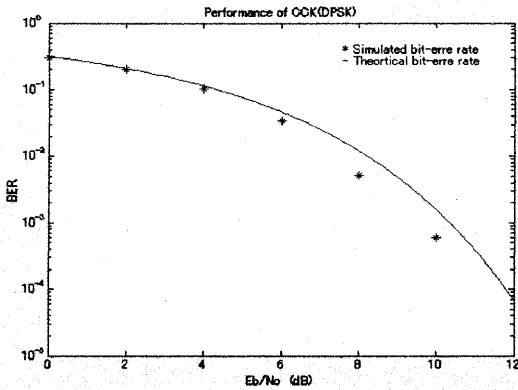


図6 802.11bのビット誤り率

#### 4. D/U比とスループット

FERとスループットの関係[7]は、(10)式より

$$T_E = \sum_{i=1}^{\infty} \{i * N / v + (i-1) * C\} * FER^{i-1} * (1 - FER)^i$$

$$= (N - C * v * FER) / \{v * (1 - FER)\} \quad (10)$$

ここで、 $v$  = 伝送速度、 $T_E$  = 平均実効伝送時間、 $C$  = バックオフ時間、 $FER$  = フレーム誤り率、 $i$  = 伝送フレーム長(bit)、 $N$  = データフレーム長とする。

また、実効伝送速度  $S_r$  [bit/s] は、(11)式で表せる。

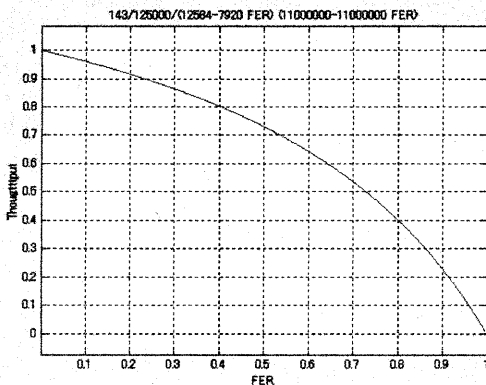
$$S_r = N / T_E \quad (11)$$

#### 4.1 802.11bのスループット

802.11bの無線回線を含めた図1のアクセス・ポイントまでのスループットの計算値を(10)、(11)式より求める。

$v=11$ Mbps バックオフ時間  $C$  は、バックオフ待ち時間の平均的な値[3]として  $C=320 \mu S$ 、 $N=12464$ bitとし、計算した結果を図7に示す。

図7よりスループットが70%に劣化するFERは0.53%となる。また、図3よりFER 0.53%はBER



で0.0008となる。実測した802.11bのフレーム誤り率は図8から、FER 0.53%時の受信機入力は-93dBmである。

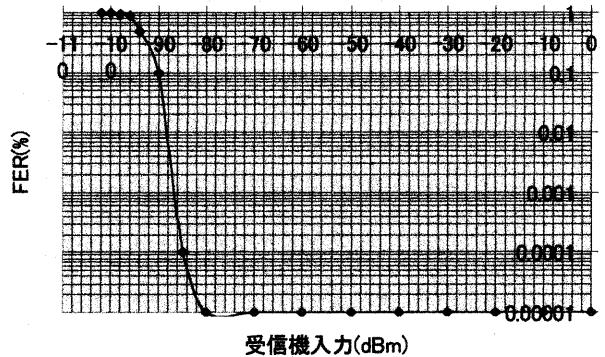


図8 802.11bのフレーム誤り率

この-93dBmは、3.1項で求めた  $N_0$  値-107dBmを使用し、 $E_b/N_0$ に換算すると14dBとなり図6の理論値12dBと良く一致する。

以上の検討結果により、実測で得られた値と理論値がほぼ一致していることが確かめられた。

#### 4.2 802.11bとBluetoothの干渉データの解析

取得した実験データ(802.11bからBTへと、BTから802.11bへの影響)について、D/U比とスループットの劣化率に関する解析を行った。

##### 4.2.1 802.11bがBTに与える影響の取得データ処理

図9にBTが802.11bに与える影響に関する取得したデータを示す。

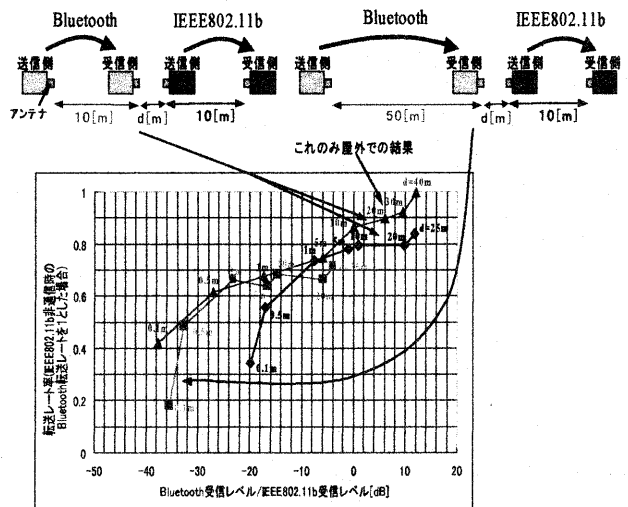


図9 802.11bがBTに与える干渉の取得データ

取得したデータを、最小2乗法(内挿補完法) [8] により図9のBT-BT間の距離10m, 同様に802.11b-802.11b間の距離10m固定で両システム間の距離を可変した時のデータを処理し, その結果を図10に示す。

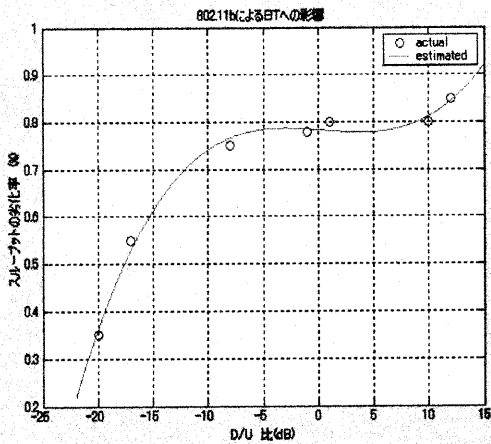


図10 最小2乗法による802.11bがBTに与える影響

#### 4.2.2 BTが802.11bに与える影響の取得データ処理

802.11bがBTに与える干渉に関する取得したデータを図11に示す。

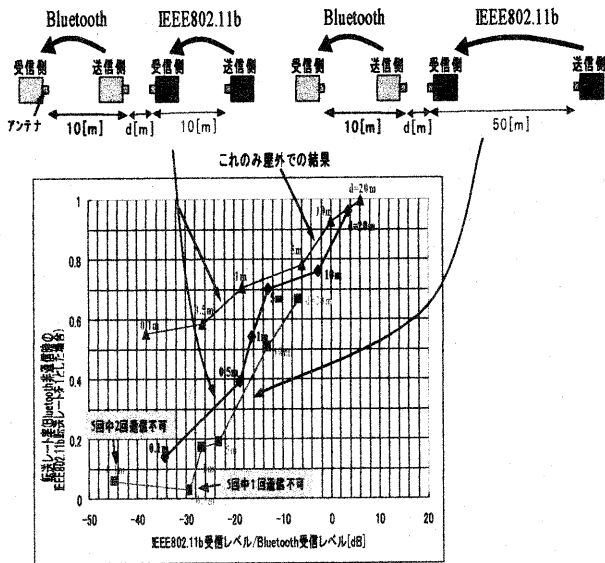


図11 BTが802.11bに与える干渉の取得データ  
4.2.1項での検討と同様に最小2乗法によるデータ処理の結果を図12に示す。

4.2.1項での検討と同様に最小2乗法によるデータ処理の結果を図12に示す。

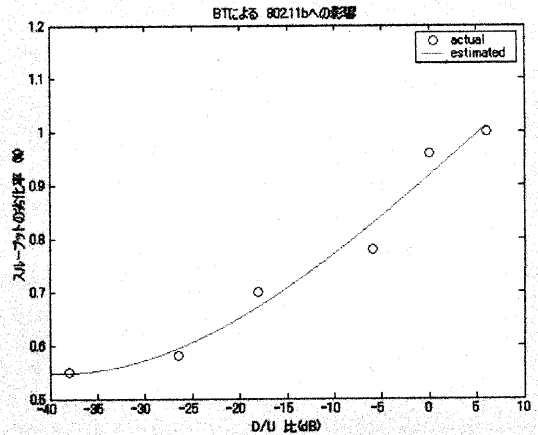


図12 最小2乗法によるBTが802.11bに与える影響

最小2乗法によりデータ処理を行うことにより, 取得したデータを数式化し, スループットの劣化状況が把握できた。

図10からBTの干渉耐力はD/U比-8dBより悪化すると急激にスループットが劣化している。

また, 図12から802.11bの干渉耐力は, ほぼD/U比に比例して劣化していることが明らかとなった。

#### 4.3 実験データと計算値の検討

取得した802.11bとBTの相互干渉データから, スループットが70%に劣化する点における実験データと計算値の関係を検討した。

DS-SS方式の802.11bは, その処理利得分だけD/U比が改善される[9]ので, (12)式に示す値となる。

$$\text{妨害波電力} : U / \text{希望波電力} : D \text{ とすると} \\ D/U = \text{処理利得} + \text{アンテナ端} D/U \text{ 比} \quad (12)$$

ここに, 11Mbps 伝送における802.11bの処理利得は3dBなので, (12)式より3dBの改善が得られる。

今までの検討で得られた結果を表1に示す。

表1 実測値と計算値の比較

	計算値	実測値
802.11b	17 dB	18 dB
Bluetooth	14 dB	15 dB

(スループットが70%に劣化する点における比較)

## 5. まとめ

Bluetooth と IEEE802.11b システムを互いに近傍に置き使用した場合の影響について実験を行いすでに報告した[10][11].

本検討ではその実験で得られたデータを解析して実験で得られたデータの検証を行った.

スループットの劣化を 70%程度まで許すのであれば, 各システム間の距離は図 9, 図 11 より表 2 に示す距離以上に離せば良いことがわかる.

表 2 スループットが 70%に劣化する条件

	両システム間の距離	所要 D/U 比
802.11b	1m	-18dB
Bluetooth	1.5m	-15dB

注)802.11b 間の距離, BT 間の距離とも 10m に固定

計算で得られた 802.11b と BT の D/U 比を表 1 に示したが実測値と計算値との差が, 1dB 程度の誤差なので実システム設計時に本稿で検討した解析手法を用いて置局設計などの事前検討に寄与できると考える.

また, この解析法は図10よりBTから802.11bへの影響の解析には, そのD/U比が-25dBから-10dBの範囲で直線性を維持しているの(スループットの低下が75%から20%)で有効と思われる.

同様に, 図 12 より 802.11b から BT への影響の解析には, その D/U 比が -20dB から 5dB の範囲 (スループットの低下が 0 から 60%) で有効と思われる.

## 6. 今後の検討

今までの検討をもとに, 今後は, このシステムの互いの影響を軽減する方法を, 置局条件から検討する.

比較的広いサービスエリアの構内におけるセル構成による場合や, 比較的狭いエリアのホット・スポットにおける格子状配列による場合の両システムが互いに与える干渉量を低減する為の手段を検討する.

次に, 現状のシステムをより干渉に強くするため, 802.11b における送信電力制御や, Bluetooth におけるキャリアセンス機能, 指向性アンテナの使用方法などを検討する予定である.

## 参考文献

- [1] 山根 宏, 秋山佳春, 高屋和宏, "Bluetooth の 2.4GHz 無線 LAN による干渉特性", EMC 2002.4.5 (No168)
- [2] 藤田 昇, "無線 LAN における電波干渉問題とその対策", EMC 2002.7.5 (No171)
- [3] 荒井隆之, 若原俊彦, 松本充司, "2.4GHz 無線 LAN 802.11b システムと Bluetooth システムの干渉についての一考察", 電子情報通信学会 信学技報 MoMuC2002-12
- [4] 奥村義久, 進士昌明, "移動体通信の基礎", 電子情報通信学会, 1985
- [5] 三好昌弘, 菅野正嗣, 村田正幸, "ワイヤレスセルラネットワークにおける下位層プロトコルの影響を考慮した TCP スループットの性能評価", 論文誌 B VOL. J85-B pp.732-743, 2002年5月
- [6] S. スタイン, J.J ジョーンズ, 関 英男 監訳, "現代の通信回線理論", 森北出版 1981
- [7] 楠 菊信, 馬渡賢治, "通信情報ネットワーク工学", オーム社 1985
- [8] 小林一行, "MATLAB 活用ハンドブック", 秀和システム p53-68, 2001
- [9] 丸林 元, 中川正雄, 河野隆二, "スペクトル拡散通信とその応用", 電子情報通信学会 1998
- [10] 荒井隆之, 若原俊彦, 山田 勇 他, "2.4GHz 帯ブルートース・システムと 802.11b システムの相互干渉の影響に関する一考察", 電子情報通信学会全国大会, B-5-257, 2002年
- [11] 荒井隆之, 若原俊彦, 松本充司, "無線 LAN IEEE 802.11b と Bluetooth の干渉解析" 画像学会&GITS/GITI 合同セッション 6, 2002年