

論 文

2.4 GHz帯中速無線 LAN の異機種間干渉に対する BER 及びスループット特性の実験的検討

高谷 和宏[†] 前田 裕二[†] 桑原 伸夫[†]

Experimental Investigation of BER and Throughput Characteristics for the Interference between 2.4 GHz Band Middle Speed Wireless LAN Systems

Kazuhiro TAKAYA[†], Yuji MAEDA[†], and Nobuo KUWABARA[†]

あらまし オフィス等で使用される2.4 GHz帯中速無線LANにおいては、通信信号の占有周波数帯が同一であるが、その変調パラメータの異なるさまざまな機種が存在する。これらの異機種無線LANがオフィス等において混在すれば、占有周波数帯が同一であるため異機種間干渉が生じる。本論文では、直接拡散方式無線LANの異機種間干渉特性について検討を行った。その結果、1対1の通信を行う2組の無線LANにおいて、変調パラメータの異なる2種類の無線LANをD/U比が15 dB以上となるように組み合わせることにより、スループット特性は同一システム2組を用いる場合よりも改善されることがわかった。また、異機種間干渉モデルを作成し、デジタル信号処理解析を用いて、無線LANの異機種間干渉特性に対するビット誤り率 (BER) 及びスループット特性を求めた。求めた計算結果は測定結果とほぼ一致し、異機種間干渉環境下の1対1通信におけるスループット特性をより明確化することができた。以上の結果は、異機種間干渉下における無線LANの通信特性の推定に有効であると考えられる。

キーワード 2.4 GHz帯中速無線LAN, 異機種間干渉, デジタル信号処理解析, スループット, BER

1. ま え が き

近年、LANは、コンピュータの普及や、オフィスにおけるOA等の利用形態の多様化とともに急速に普及してきた。ネットワークが大規模化されるにつれて、LANの敷設・設置、保守、変更・拡張は、コスト、時間、労力という点で大きな問題となっており、有線LANに比べて柔軟性に優れた無線LANに対する需要が高まっている[1]。現在、国内の2.4 GHz帯中速無線LAN(以下、2.4 GHz帯無線LANと呼ぶ)には数十種類の機種が存在するが、これらには、直接拡散(DS: Direct Sequence)方式と周波数ホッピング方式(FH: Frequency Hopping)方式のいずれかのスペクトル拡散(SS: Spread Spectrum)方式が適用されている[2]。

現在、SS通信を用いた符号分割多元接続(CDMA: Code Division Multiple Access)方式が、時間分割多元接続(TDMA: Time Division Multiple Access)方式や周波数分割多元接続(FDMA: Frequency Division Multiple Access)方式に続くアクセス制御方式として急

速に普及しており、移動無線通信にも適用され始めている。また、情報量やユーザ数の増加に伴い、より高い効率で通信容量を確保することが必要となってきた[3]。そのため、単一システム間のSS通信において、送信電力制御、受信側での干渉波の除去及び信号検出能力の向上等の観点から、効率良く高スループットを実現するための検討が行われている[4]~[6]。一方、無線システムが著しい成長を遂げるなかで、他システムとの電磁干渉を考慮した設計が、システムの性能を最大限に利用するために必要となってきた。

現在のほとんどの無線システムは、各々のシステム毎に無線周波数が割り当てられ、スプリアス等の帯域外輻射についても、十分な規格が定められているため、他の無線システムからの干渉波を考慮する必要性はほとんどなかった。しかしながら、2.4 GHz帯中速無線LANでは、国際標準規格としてのIEEE802.11標準[2]や、国内規格としてのRCR(現、ARIB)標準[7]において、いくつかの技術的パラメータを定めているが、それ以外のパラメータは、各装置ごとに自由に設定できる。そのため、SS通信信号の占有周波数帯が同一であるが、その変調パラメータの異なるさまざまな機種が存在する。これら異なる機種の無線LANがオフィス等

[†] NTT生活環境研究所, 武蔵野市

NTT Lifestyle and Environmental Technology Laboratories, Musashino-shi, 180-8585 Japan

で混在すれば、占有周波数帯が同一であるため、電磁干渉が生じる。このような他の無線システムが妨害源となる干渉についての検討は、これまでほとんど行われていない。

本論文では、まず、DS方式2.4 GHz帯無線LAN、2システムを用いて、変調パラメータの異なる異機種間の干渉がスループット特性に及ぼす影響について検討している。つぎに、異機種間干渉を考慮した無線LAN構築を行うために、異機種間干渉のモデルを作成し、BER劣化特性をデジタル信号処理を用いて求め、測定結果と比較している。最後に、この解析モデルを用いてスループットを求め、測定結果との比較を行っている。

2. 異機種間干渉特性

2.1 2.4 GHz 帯中速無線 LAN

通常、無線LANはブリッジ機能を内蔵したアクセスポイント（以下、親機と呼ぶ）と各ステーション端末がもつ子機とで構成されるシステムである。2.4 GHz帯無線LANのMAC（Medium Access Control）層、物理層の国際規格はIEEE801.11[2]において標準化され、国内規格はRCR（現、ARIB）[7]によって定められている。2.4 GHz帯無線LANには直接拡散方式と周波数ホッピング方式の2種類がある。本論文では、2機種目の伝送速度2 Mbit/secのDS方式無線LANを用いた。検討に用いた2機種目の2.4 GHz帯無線LANの概要を表1に示す。この2機種目の2.4 GHz帯無線LAN間では、通信フレーム形式や、変復調の過程等がすべて同じになるように設計されていないため、相互接続を行う場合は有線LANを介する必要がある。また、この2システムはCSMA/CA（CSMA/CA：Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance）方式によりアクセス制御を行う。

一般に、2.4 GHz帯無線LANの通信エリアは見通しで150 m程度、屋内通信において50 m程度とされている。

表1 2.4 GHz帯中速無線LANの概要

Table 1 Summary of 2.4 GHz middle speed wireless LANs.

項目	SystemA	SystemB
中心周波数	2.484GHz	2.484GHz
占有帯域幅	26MHz	26MHz
変調方式	DBPSK	DQPSK
拡散符号	Baker系列 (13Chip)	Baker系列 (11Chip)
伝送速度	2Mbit/sec	2Mbit/sec
アクセス制御	CSMA/CA	CSMA/CA

図1に示すように、多くのオフィスが混在するようなビルにおいては、境界に壁が存在したとしても、隣接するオフィスに他の無線LANの電波が到達する。したがって、通信エリアが重複するようなエリアにおいては、同一占有周波数を使用する無線LAN間で電磁干渉が生じる。このような他の無線LANが干渉源となる電磁干渉について検討を行った。

2.2 測定系

図2に示す電波半無響室における測定系を用い、干渉特性の測定を行った。図2において、無線LANの子機（ステーション）と干渉波源を固定し、対象の無線LANの親機（アクセスポイント）と干渉波源の距離 r [m]を変化させ、表2に示す条件において、スループット特性を測定した。ここで、システムA,Bは市販の2.4 GHz帯無線LANであり、通信フレーム形式や、変復調のパラメータ等が異なるため、システムA,B間での相互接続はできない。

2.3 測定結果

図2に示す測定系において、FTP（File Transfer Protocol）を用いて、子機から親機に5メガバイトの

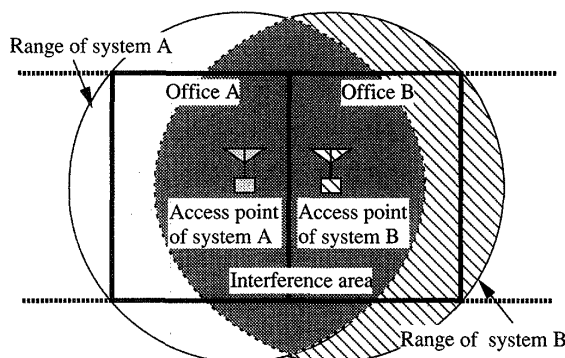


図1 2.4 GHz帯中速無線LANにおける電磁環境の問題
Fig. 1 Electromagnetic problem of 2.4 GHz band middle speed wireless LAN.

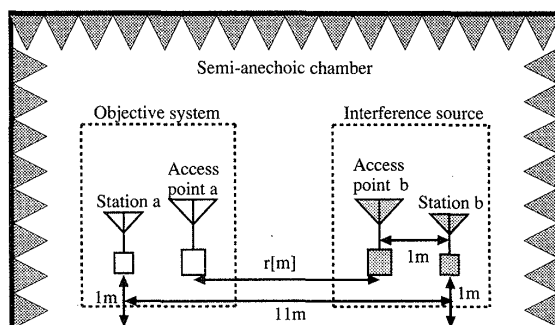


図2 無線LANの干渉特性の測定系
Fig. 2 Experimental setup to measure the interference characteristics between wireless LAN systems.

表2 異機種間干渉の測定条件

Table 2 Measurement conditions for the interference between wireless LAN systems.

	Objective system	Interference source
Case 1	System A	System B
Case 2	System B	System A
Case 3	System A	System A
Case 4	System B	System B

ファイル転送を行い、1対1通信でのスループットを測定した。このとき、スループットは数%のばらつきが生ずる場合があるため、3回の測定による平均値を採用した。無線LANの親機と干渉波源の距離に対するスループットの変動を測定した結果を図3に示す。なお、スループットは、他の無線LANの干渉の影響がない場合の1対1通信におけるスループットで規格化している。

図3より、同一機種間の干渉特性を測定したケース3及びケース4においては、親機間距離 r を変化させても、スループットはシステムAで0.6、システムBで0.7程度でほとんど変化しないことがわかる。これに対して、ケース1において $r \leq 1$ mのときは、スループットがケース3の場合以下となり異機種間干渉による影響が同機種間干渉よりも大きくなっている。しかし、 $r \geq 4$ mのときは、スループットが0.9以上となり、同機種間の干渉を受けるケース3よりも高いスループットが得られている。同様にケース2においても、 $r \leq 5$ mのときは、スループットがケース4の場合よりも小さく、 $r \geq 6$ mのときはスループットが0.9以上となっている。また、ケース1及び2において、 r が小さい場合の干渉特性が異なるのは、システムAのほうが送信電力が大きいと考えられる[8]。

これらの結果より、異機種干渉のスループット特性に対する影響は、異機種間の距離が非常に近い場合には同機種間の干渉による影響よりも大きく、異機種間距離がある程度離れた場合には同機種間の干渉よりも小さいことがわかる。そのため、システムAでは4 m以上、システムBでは6 m以上の異機種間距離の場合には、各々のシステムがほとんど独立して通信が行われている。

これは、同機種間干渉では無線信号の強弱によってスループットが変動するのではなく、CSMA/CA方式の理論どおり、ユーザ数の変動に対して1ユーザ当りのスループットが一意的に定まるのに対して、異機種間干渉では、異機種無線LANの通信信号が干渉波となる

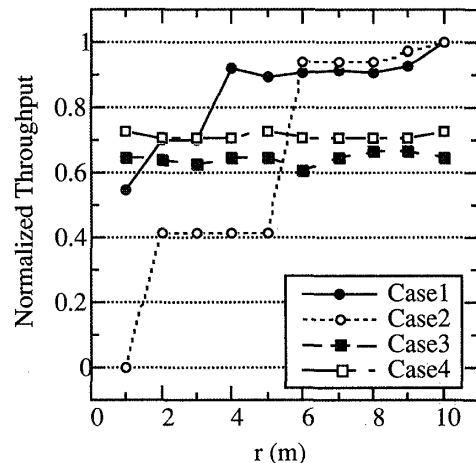


図3 電半無響室における干渉特性
Fig. 3 Interference characteristics in a semi-anechoic chamber.

ため、その強度によってスループットがほぼ決定されるためであると考えられる。

この測定結果より、二つのシステムが1対1の通信を行う場合においては、異機種間干渉の干渉エリアが、同機種間干渉の場合よりも小さくなる場合があることがわかる。実際のシステムにおいては本測定のような単純な場合とは異なるため、更に検討が必要ではあるが、異機種間干渉が生じないようにエリア設計を行うことにより、エリア半径によっては、2組の同一システムを用いる場合よりも高い通信効率を得られる可能性があると考えられる。

3. 異機種間干渉特性モデル

異機種間干渉では、同機種間干渉とは異なり、受信点における希望局と干渉局の位置関係によってスループットが大きく変動することがわかった。異機種間干渉環境下においても、異機種無線LANの混在による通信速度の低下が生じないようにLANを構築するためには、異機種間干渉の各種パラメータに対するメカニズムを明確化する必要がある。そこで、異機種無線LAN間の干渉特性のシミュレーションを行い、異機種間干渉環境下でのスループット特性について更に検討する。シミュレーションは、汎用の信号処理解析ツール[9]上で図4に示す手順に従って行った。

信号処理解析ツールには、正弦波等の理想的な信号発生器や加算、乗算、論理演算等の演算子のほか、遅延素子、フィルタ等の非線形素子が用意されており、GUI上で任意のサンプル間隔、伝達関数をもつシステムをモデル化することが可能である[10]。本論文では、図5に示すブロック構成を図4における干渉モデルと

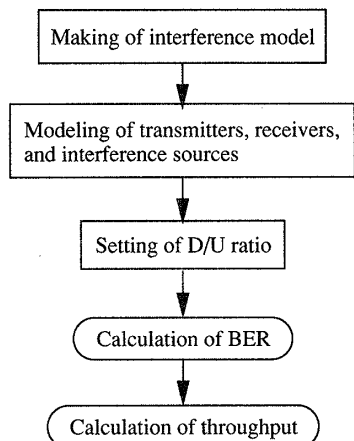


図4 シミュレーション手順
Fig. 4 Procedure of simulations.

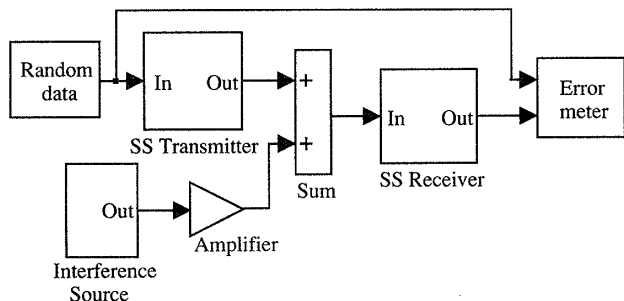


図5 BER特性解析の干渉モデル
Fig. 5 Interference model of BER characteristic analysis.

し、図6～図8に示すブロック図のシミュレーションモデルを送受信機及び干渉波源のモデルとして図5の干渉モデルに用いた。また、 D/U 比 (Desired signal to Undesired signal ratio) は受信機入力における希望波の干渉波に対する電力比で定義した。各々の電力は、システムA、B及びCの信号電力スペクトルが $(\sin(x)/x)^2$ の形をしていると仮定し、搬送波電力と占有周波数帯域内 (2.471～2.497 GHz) の累積分布[11]から求めた。

ここでは、無線LANの信号処理解析モデルを作成し、ビット誤り率 (BER : Bit Error Rate) やスループットを評価尺度とした異機種間干渉特性と D/U 比の関係についてのシミュレーションを行う。

3.1 BER 特性シミュレーション

干渉が発生するメカニズムとしては、通信信号のマルチパスによる干渉、周波数帯域を同じとする他の通信用電波との干渉、通信目的以外の漏洩電波との干渉が考えられるが、本論文では、異機種間の干渉を検討しているので、他の通信装置からの干渉のみを考えた。また、他の通信装置からの干渉を考える場合、複数の装置からの干渉を考える必要があるが、ここでは

表3 無線LANのシステムパラメータ
Table 3 Technical parameters of wireless LAN systems.

項目	測定・解析対象	干渉波源		
		無線LAN (SystemA)	無線LAN (SystemB)	白色ガウス雑音
中心周波数	2.484GHz	2.484GHz	2.484GHz	2.484GHz
占有帯域幅	26MHz	26MHz	26MHz	60MHz
変調方式	CSK	DBPSK	DQPSK	
拡散符号	M系列 (127Chip)	Baker系列 (13Chip)	Baker系列 (11Chip)	
伝送速度	100Kbit/sec	2Mbit/sec	2Mbit/sec	

単純化のため1種類のみを考えている。

図5に示すSS送信機の帯域フィルタ通過後の送信電力を固定し、干渉源の電力を変化させることにより D/U 比を与え、各々の D/U 比に対してBERの計算を行った。図6～図8のモデルのように、各々のシステムに対応したモデルを作成し、図5の送受信機及び干渉波源に用いることで干渉モデルを変化させた。

表3に示すシステムCのシミュレーションモデルを作成し、白色ガウス雑音及びシステムA、Bの2.4 GHz帯無線LANを模擬したシミュレーションモデルの送信信号を干渉波とした場合のBER特性シミュレーションを行った。図6～図8のシミュレーションモデルは表3に示す条件に従い、文献[12]～[15]を参照して作成した。作成したシミュレーションモデルを図6～図8に示す。

図6において、送信機の通信データにはM系列のランダムデータを用いた。差動符号器では、通信データを $m(t_k)$ すると、差動符号器の出力 $c(t_k)$ は、

$$c(t_k) = (c(t_{k-1}) + m(t_k)) \bmod 2 \quad (1)$$

となるように差動符号化を行う。ここで、 $\bmod 2$ はModulo 2の加算を表す。差動符号化された通信信号は、Baker系列13符号長の拡散符号により拡散され、ローカルオシレータによって無線信号となり、Butterworth型、3 dB帯域 (2.471～2.497 GHz) の帯域フィルタを通過後、送信信号となる。受信機では、帯域フィルタ通過後、ローカルオシレータ及び低域フィルタによって検波される。検波出力は、拡散符号に対応したサンプル時間が1チップの遅延素子で構成される整合フィルタにより相関出力に変換され、比較器によって通信信号が決定される。更に、差動復号器により次式のように復号化される。

$$m(t_k) = (c(t_{k-1}) + c(t_k) + 1) \bmod 2 \quad (2)$$

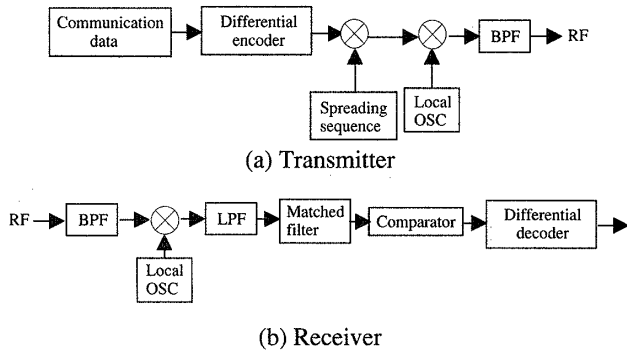


図6 システムA送受信機のシミュレーションモデル
Fig. 6 Simulation model of system A.

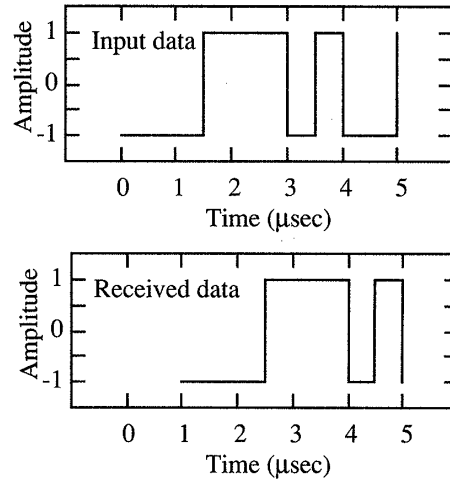


図9 シミュレーションモデルのデータ波形
Fig. 9 Data of simulation model.

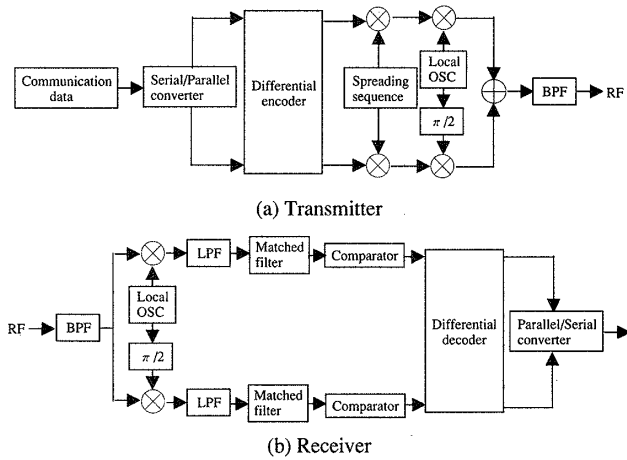


図7 システムB送受信機のシミュレーションモデル
Fig. 7 Simulation model of system B.

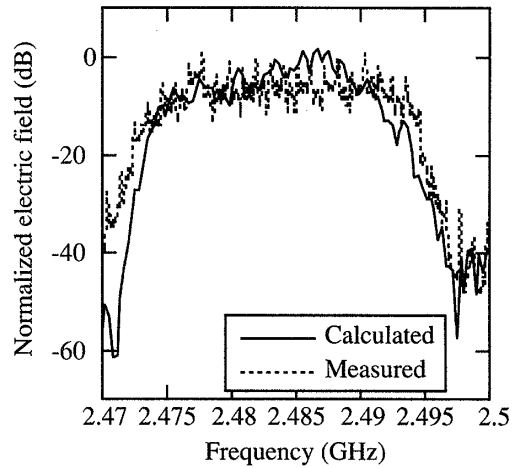


図10 送信信号スペクトル
Fig. 10 Transmission signal spectrum.

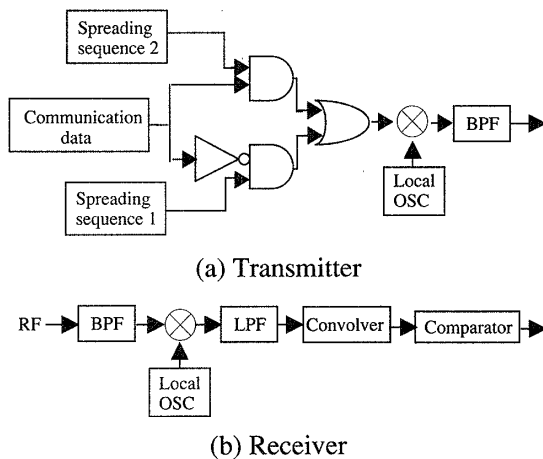


図8 システムC送受信機のシミュレーションモデル
Fig. 8 Simulation model of system C.

図7においては、図6とほぼ同様であるが、DQPSK変調を行うために、通信データはまず直並列変換される。また、図8においてはCSK変調を行うため、拡散符号1にM系列(7,1)を、拡散符号2にM系列(7,3)を用い、通信データが1のときは拡散符号1が、-1のとき

は拡散符号2が拡散信号となるように設定した。

図9に、干渉がない場合のシステムAの送信データと受信データの例を示し、図10にシステムAの送信信号の帯域フィルタ通過後のスペクトルを測定結果とともに示す。図9より、送信データは2ビット(1 μ s)遅延し、復調されていることがわかる。また、図10に示すように、シミュレーションモデルの送信信号のスペクトルは測定結果とよく一致している。図9及び図10より、作成したシミュレーションモデルが、時間領域、周波数領域において正常に動作していることがわかる。

3.2 BER特性の測定

ここでは、シミュレーションモデルの妥当性を確認するために、BER特性の測定を行い、シミュレーション結果との比較を行った。干渉波に対する評価には

表4 BER特性に対する測定及びシミュレーションの条件
Table 4 Measurement and simulation conditions for BER characteristics.

	Objective system	Interference source
Case 5	System C	Gaussian noise
Case 6	System C	System A
Case 7	System C	System B

BER特性がよく用いられるが、市販されている無線LANでは、1,000バイト程度のフレーム単位で通信が行われるうへ、測定可能なパラメータであるスループットにはキャリアセンスや再送等の通信制御の影響が含まれているため、BER特性の測定は困難である。そのため、BERの測定が可能な表3に示すシステムCを作成し、BERの測定を行った。

図2に示す測定系において、システムCを用い、受信機と干渉波源の距離 r を変化させてBER特性の測定を行った。表4に示すように、干渉波には、システムA、システムBの無線LANの通信信号及び白色ガウス雑音を用いた。なお、測定では干渉波に通常の無線通信信号を用いているため、干渉波電力がシステムCの最大入力電力(-25 dBm)以下であり、ミキサ等のRF部が飽和しない条件で評価を行っている。ここでも、 D/U 比は受信アンテナにおける希望波と干渉波の電力比とした。

白色ガウス雑音に対するBER特性は、通常の無線通信特性の評価に用いられるため、シミュレーションの妥当性を検証するために測定を行った。図11に情報1ビット当りの電力に対する白色ガウス雑音の電力スペクトル密度の比(E_b/N_0)をパラメータとしたシステムCの特性を示す。測定においては、白色ガウス雑音発生器を干渉波源とし、計算においては、平均値0、分散 σ^2 の白色ガウス雑音を加えた。図11より、 $E_b/N_0 \leq 0$ dBの場合には $BER \geq 10^{-2}$ と通信状態が悪く、 $E_b/N_0 \geq 14$ dBの場合には $BER \leq 10^{-6}$ で通信状態が良いという特性を示している。

つぎに、干渉波源がシステムA、Bの場合の干渉特性を図12に示す。ケース6及びケース7は、熱雑音(約-100 dBm)や所要受信電力(約-75 dBm)に対して希望波及び干渉波の受信電力が十分大きい状態(受信電力-60~-30 dBm)において、受信アンテナにおける希望波と干渉波の受信電力比(D/U 比)をパラメータとした評価結果である。図12より、干渉波源がシステムA、システムBの無線LANの場合は、同様なBER特性を示しており、システムCに対して、本測定に用いた2機

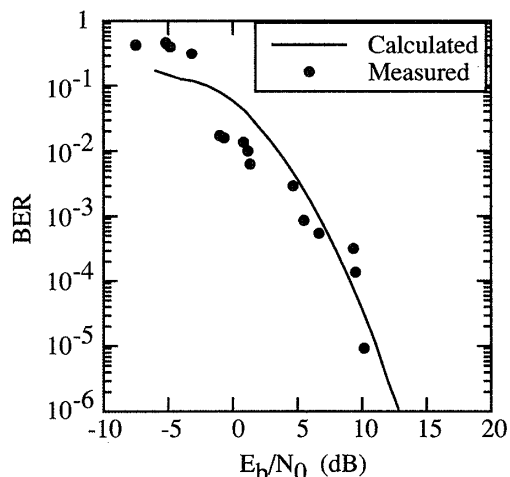


図11 白色ガウス雑音に対する干渉特性
Fig. 11 Interference characteristics for white Gaussian noise.

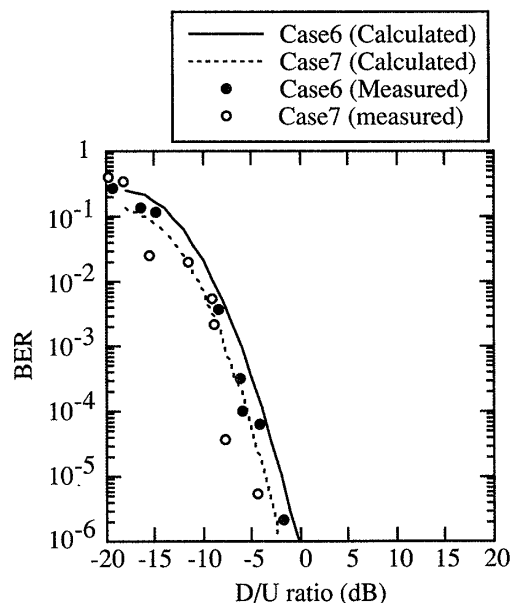


図12 システムA, Bに対する干渉特性
Fig. 12 Interference characteristics for systems A and B.

種の無線LANの通信信号が同様の干渉性をもっていると考えられる。

ここで、システムCとシステムA、Bの相関特性について検討を行う。ケース6、7では熱雑音等の雑音に対して希望波の受信電力が大きく、各々のシステムが使用する拡散符号の相関特性の影響が支配的な干渉特性であると考えられる。システムCで使用する拡散符号の自己相関特性の最大値を1とすると、システムA、Bで使用されている拡散符号との相互相関特性の最大値はそれぞれ11/127, 9/127である。したがって、システムCの受信機において、希望波による相関出力とシステムA、Bの干渉波による相関出力の値が同等となるの

は、干渉波の受信電力が希望波の127/11(10.6 dB), 127/9(11.5 dB)倍程度となるときのことであると考えられる。このことは、図12においてD/U比が-10 dB程度でBER > 10⁻³となり、システムCのBERが大きくなる結果と一致している。

図11, 図12より, 10⁻⁶ ≤ BER ≤ 10⁻¹における測定結果と計算結果の差は, ケース5において最大3.7 dB, 平均1.7 dB, ケース6において最大2.1 dB, 平均1.3 dB, ケース7において最大3.4 dB, 平均1.3 dBであり, よく一致していることがわかる。測定及び計算結果における若干の差は, 測定では図2に示す測定系を用いたため希望波と干渉波の電波伝搬特性の影響が含まれているのに対して, 計算結果では希望波と干渉波の電波伝搬特性を無視したことによる差が生じたためと考えられる。しかしながら, 測定及び計算結果の差は4 dB以下であることから, この計算モデルを用いて, 異機種間干渉に対するBER特性シミュレーションも可能であると判断した。

4. 異機種間干渉特性シミュレーション

図6, 図7に示すシステムA, Bのデジタル信号処理シミュレーションモデルを使用し, 実際の無線LANの異機種間干渉特性シミュレーションを行った。シミュレーション結果を図13に示す。図13より, ケース1とケース2での差は2 dB以下であり, どちらのケースにおいても同程度の異機種間干渉を受けることがわかる。

つぎに, デジタル信号処理シミュレーションにより求めたBER特性からスループット特性を求める。2.4

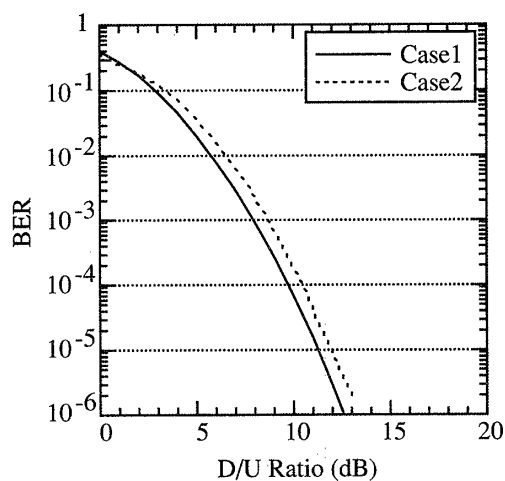


図13 異機種間干渉に対するBER特性の計算結果

Fig. 13 Simulation results of BER characteristics for the interference between wireless LAN systems.

GHz帯無線LANの誤り制御方式として, 複数のフレームを同時に送信し, 誤りが発生すると相手局からの要求に応じてその誤りフレーム以降のデータを再送する方式が広く採用されている。この方式の実効伝送速度(スループット) S [bit/s]は, 通信フレームのビット長を N [bit]と通信フレームの平均実効伝送時間 T_E [s]から次式で表される。

$$S = N / T_E \quad (3)$$

ただし, 無線LANの伝送速度を v [bit/s], 誤りフレーム発生から次のフレーム伝送を開始するまでの時間を C [s]とすると, 文献[16]より, 平均実効伝送時間 T_E は

$$T_E = \sum_{i=1}^{\infty} \{i \cdot N / v + (i-1) \cdot C\} \cdot P_F^{i-1} \cdot (1-P_F)^i \\ = (N - C \cdot v \cdot P_F) / \{v \cdot (1-P_F)\} \quad (4)$$

である。ここで, 通信フレームの誤り率 P_F は, 無線LANのBERを P_{BER} とすると,

$$P_F = 1 - (1 - P_{BER})^N \quad (5)$$

である。

式(3)において, $N=(1,216 \times 8)$ bit, $v=2$ Mbit/s, $C=25$ msの場合のスループットの計算結果を図14に示す。計算において, P_{BER} は図13で求めた値を用いた。図3の測定結果では, システムごとに送信電力が異なること

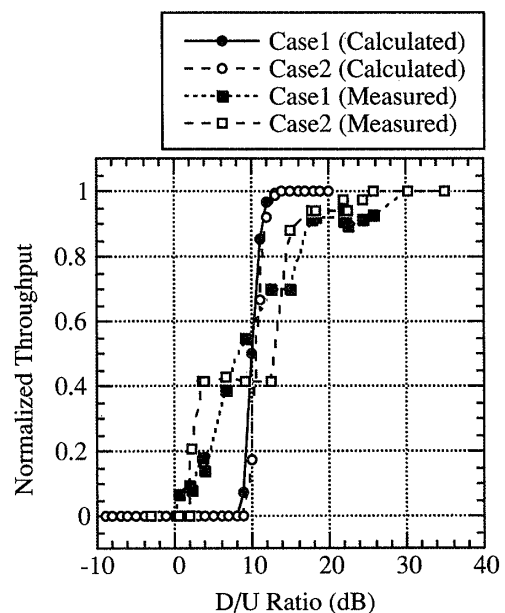


図14 異機種間干渉に対するスループット特性の計算結果

Fig. 14 Simulation result of throughput characteristic for the interference between wireless LAN systems.

[8]を考慮していないため、図14では、受信機（図2のアクセスポイント）における希望波と干渉波の電力比（ D/U 比）をパラメータとして示した。

図14より、スループットは $9\text{ dB} \leq D/U \leq 12\text{ dB}$ のとき変動し、 $D/U \leq 8\text{ dB}$ では0、 $D/U \geq 13\text{ dB}$ で1となっている。

$0\text{ dB} \leq D/U \leq 20\text{ dB}$ の測定及び計算結果において、最大7.2 dBの差が生じている。これは、本シミュレーションにおいては、希望波及び干渉波の受信強度が時間的に変動しないと仮定して行っているのに対して、実際は希望波及び干渉波の受信強度変動の影響が生じたものと考えられる。

通常の無線回線設計においては、サービス品質から定まる所要伝送品質と、それを確保できない通信エリア内の場所的割合である劣化率とを規定することが行われている[17]。この無線回線設計において、受信レベルの標準偏差 σ が5~10 dB程度で見積もられていることや、劣化率1%を満足するための所要 D/U 比に対して15~25 dB程度のマージンが設けられていること[17]、[18]を考慮すると、瞬時変動が移動体通信に比べて緩やかな無線LANにおいても、伝搬特性を考慮したマージンを設けることが妥当であると考えられる。

したがって、図14の計算及び測定結果の差は、伝搬特性の影響により生じたものと考えられるため、伝搬特性に対する劣化マージンを考慮したシミュレーションを行うことにより、通信特性の推定が可能であると考えられる。以上の結果より、本論文におけるシミュレーションは、異機種間干渉環境下の1対1通信におけるスループット特性の推定に有効であると考えられる。

5. むすび

2.4 GHz帯無線LANの異機種間干渉特性について、スループット及びBERを評価尺度とした検討を行った。異機種間干渉がスループット特性に及ぼす影響について実験的に検討した結果、測定に用いた2システムについては、 $D/U \geq 15\text{ dB}$ のとき、干渉の影響はスループット特性に現れないことがわかった。また、二つのシステムが1対1の通信を行う場合においては、異機種間干渉の干渉エリアが、同機種間干渉の場合よりも小さくなる場合があることがわかった。実際のシステムにおいては、更にさまざまな検討が必要ではあるが、異機種間干渉が生じないようにエリア設計を行うことにより、エリア半径によっては、2同一システム

のみを用いる場合よりも高い通信効率を得られる可能性があると考えられる。

続いて、異機種間干渉環境下でのBER劣化特性についてシミュレーションを行い、BER特性の計算結果は測定結果とはほぼ一致した。また、異機種間干渉に対するスループット特性のシミュレーションを行い、伝搬特性を無視したシミュレーションと測定結果を比較すると最大7 dB程度の差であった。そのため、受信レベルの変動を考慮し、劣化マージンについて更に検討する必要があるが、本論文におけるシミュレーションは、異機種間干渉環境下の1対1通信におけるスループット特性の推定に有効であると考えられる。これらの結果は、異機種間干渉下での無線LANの通信特性の推定に有効であると考えられる。

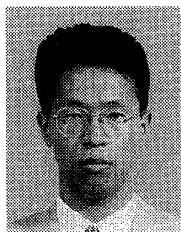
今後は、周波数ホッピング方式の無線LANを含めた多種の異機種間干渉、及びマルチパスフェージングやその他の電磁雑音の影響についても検討を行う。

文 献

- [1] 重野 寛, “無線LAN技術講座,” ソフト・リサーチ・センタ, 1994.
- [2] IEEE standard 802.11, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” IEEE, Inc., New York, 1997.
- [3] 小川 明, 片山正昭, 山里敬也, 水野俊夫, “CDMA方式と次世代移動体通信システム,” トリケップス, 1995.
- [4] G.L.Turin, “The Effect of Multipath and Fading on the Performance of Direct-Sequence CDMA Systems,” IEEE Trans. Vehc. Tech., vol.VT-33, no.3, pp.213-219, 1984.
- [5] A.M.Viterbi and J.A.Viterbi, “Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System,” IEEE JSAC., vol.11, no.6, pp.892-900, 1993.
- [6] E.Geraniotis and M.B.Pursley, “Performance of Coherent Direct-Sequence Spread-Spectrum Communications over Specular Multipath Fading Channels,” IEEE Trans. Commun., vol.COM-33, no.6, pp.502-508, 1985.
- [7] “小電力データ通信システムの無線局の無線設備標準規格,” 財団法人電波システム開発センター, RCR-STD-33A, 1993.
- [8] 高谷和宏, 前田裕二, 桑原伸夫, “2.4 GHz帯無線LANの異機種間干渉特性,” 信学論(B-II), vol.J80-B-II, no.4, pp.368-371, April 1997.
- [9] 芦野隆一, Remi Vaillancourt, “はやわかりMATLAB,” 共立出版社, 1998.
- [10] 金城繁徳, 尾知 博, “例題で学ぶ信号処理,” コロナ社, 1997.
- [11] 上岡清城, 杉浦彰彦, 稲津 稔, “スペクトル拡散通信の帯域制限周波数分割多重,” 信学技報, SST-91-56, 1991.
- [12] 清水康敬, 坪内和夫, “無線LANシステムの構成技術と事例,” ミマツデータシステム, 1996.
- [13] B.Tuch, “Development of WaveLAN, an ISM Band Wireless

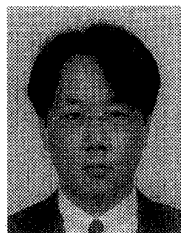
LAN," AT&T Tech. J., July/Aug. 1993.

- [14] 浅見重幸, 田子 晃, 小林 保, "2.4 GHz 帯スペクトル拡散無線LANの性能評価," 信学論(B-I), vol.J79-B-I, no.8, pp.519-527, Aug. 1996.
- [15] 佐藤拓朗, "CDMA技術の基礎から応用まで," リアライズ社, 1997.
- [16] 楠 菊信, 馬渡賢治, "通信情報ネットワーク工学," オーム社, 1985.
- [17] 奥村善久, 進士昌明, "移動体通信の基礎," 電子情報通信学会, 1986.
- [18] M.Hata, K.Kinoshita, and K.Hirade, "Radio Link Design of Cellular Land Mobile Communication System," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.VT-31, no.1, pp.25-31, Feb. 1982.



高谷 和宏 (正員)

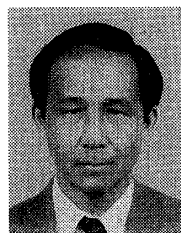
平5岡山大・工・電気電子卒。平7同大学院修士課程了。同年日本電信電話(株)通信網研究所入所。以来、無線通信システムの電磁環境設計技術に関する研究に従事。現在、NTT生活環境研究所勤務。IEEE会員。



前田 裕二 (正員)

平1熊本大・工・電子卒。平3同大学院修士課程了。同年日本電信電話(株)(現、NTT)通信網総合研究所に入所。以来、通信システムのEMC等の研究、建物内外の電磁界分布推定法の研究に従事。現在、NTT生活環境研究所研究主任。平10本会学術奨励賞受賞。IEEE会員。

賞。IEEE会員。



桑原 伸夫 (正員)

昭50静岡大・工・電子卒。昭52同大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現、NTT)茨城電気通信研究所入所。以来、通信システムの雷防護、光ファイバの信頼性評価、通信システムのEMI評価、EMCにおける光計測技術等に関する研究・開発に従事。現在、NTT生活環境研究所主幹研究員。工博。IEEE会員。

在、NTT生活環境研究所主幹研究員。工博。IEEE会員。