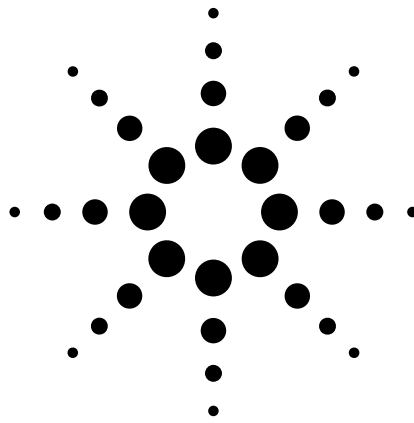


IEEE 802.11無線LANの PHYレイヤ(RF)の動作と測定

Application Note 1380-2



はじめに

このアプリケーション・ノートは、無線LAN(WLAN)デバイスのテスト・システム構成とテスト方法、およびそれに関するいくつかの問題について理解していただくことを目的としています。ここで述べるさまざまなトピックスに関する詳細は、付録に記載されています。

有線のLAN(ローカル・エリア・ネットワーク)の普及は著しく、数台のコンピュータの接続にさえ用いられることが珍しくありません。このように広く使われるようになった理由は、価格の低下とともに、システム構成が容易になり、信頼性が高くなったことにあります。

固定LANに必要なケーブル接続が不要になることで利益が得られるアプリケーションはたくさんあります。問屋から小売店、大学のキャンパスに至るまで用いられているリモート・データベース・アクセスがそのよい例です。WLANカードを使った公衆インターネット・アクセスもまもなく利用可能になる見込みです。これは、空港やホテルなどの特定の「ホットスポット」において、主に静止しているユーザに広範囲の中・高速デジタル・サービスを提供するものです。

IEEE 802.11無線LAN仕様は、IEEE 802.3有線LAN標準の機能を拡張することを目的として記述されています。無線インタフェースのためにかなりの複雑さが加わりますが、高集積度の無線回路の進歩により、無線デバイスの価格は手頃な水準にまで下がってきました。

ETSI BRAN HiperLAN/2はWLANのもう1つの仕様で、より広範囲なサービスを特長としていますが、商業的なサポートは減少しつつあります。この仕様の無線周波数(RF)の動作は802.11aと似ていますが、伝送タイムスロットの割当てが全く異なります。これら2つの標準に関わる人々の間で、共同作業が進行中です。

有線LANではすでに、セントラル・サーバにアクセスする複数のユーザを管理するさまざまな手法が用いられていますが、予測が難しいWLANリンクではさらに追加的な手段が必要です。WLANリンクの伝送特性にはさまざまな障害が存在します。例えば、信号エラーが物理的な位置に依存することや、近くのRFデバイスによる盗聴や干渉のおそれがあることなどです。

無線伝送では常にセキュリティが重要な問題になります。WLANに対して十分なセキュリティをできるだけ簡単な方法で実現できるようにするために、大きな努力が払われています。

このアプリケーション・ノートでは最初に、IEEE 802.11無線LANシステムについて、無線レイヤすなわち物理レイヤを中心に簡単に説明します。このレベルでの一貫性が、広範囲のデバイスの相互運用性の基本となります。

セルラ無線システムとの比較により、これら2種類のリンクの動作の重要な違いを明らかにします。IEEE仕様への適合を検証するために必要なトランスミッター/レシーバ測定について紹介し、被試験デバイスと試験用機器をセットアップする方法も説明します。付録Aでは、Agilent Technologiesの関連機器を紹介します。最後に、付録BとEで多数の推奨文献と参考文献を示します。



Agilent Technologies

目次

はじめに

1	IEEE 802.11無線LANの基本概念	3
1.1	無線搬送波と変調の使用	3
1.1.1	搬送波動作のモード	3
1.1.2	周波数帯域とパワー・レベル	4
1.2	WLANデバイスの詳細	5
1.2.1	動作の説明	5
1.2.2	データ受信	5
1.2.3	データ送信	5
1.3	時分割デュプレックスとフレーム構造	6
1.4	MACレイヤ	7
1.5	コンタクトの確立	7
1.5.1	アクティブ・スキャン	7
1.5.2	パッシブ・スキャン	7
1.5.3	認証	8
1.6	データの交換：2つの方法	8
1.6.1	2ステップ交換	8
1.6.2	4ステップ交換	8
2.	PHYレイヤ(RF)テスト・スイート	8
3.	トランスミッタ測定	8
3.1	テスト条件と測定セットアップ	9
3.1.1	測定トリガ	9
3.1.2	DSPとの相互作用	9
3.2	テスト・モード	10
3.3	トランスミッタ・パワー	10
3.3.1	平均出力パワー	10
3.3.2	ピーク出力パワー、CCDF	10
3.3.3	トランスミッタ・パワー制御	11
3.4	送信出力スペクトル	12
3.4.1	入力減衰設定	12
3.4.2	トランスミッタ・スペクトル・マスク	12
3.4.3	パワー密度	13
3.4.4	IEEE 802.11aの中心周波数 リーケージ	14
3.4.5	IEEE 802.11bの搬送波抑圧	14
3.4.6	スペクトラム・フラットネス	14
3.5	変調テスト	15
3.5.1	コンスタレーション・エラー	15
3.5.2	エラー・ベクトル振幅	15
3.6	トランスミッタ・ビット・エラーおよびパケット・ エラー・レート	16
4.	タイミング・テスト	17
4.1	パワー対時間	17
4.2	スペクトログラム・テスト	18
4.3	トランスミッタ-レシーバ、レシーバ- トランスミッタ・ターンアラウンド・タイム	18
5.	トランシーバ・スプリアス・テスト	18
6.	レシーバ測定	19
6.1	テスト条件およびセットアップ	19
6.2	ビット・エラー・レート	19
6.2.1	ビット・エラーとRF	20
6.2.2	ビット・エラー対パケット・エラー	20
6.3	レシーバEVM測定	20
6.4	フレーム・エラー・レート、パケット・エラー・ レート	21
6.5	最小入力感度、最大入力レベル	22
6.6	隣接チャンネル、非隣接チャンネル除去	22
6.7	HiperLAN/2レシーバのブロッキング性能	22
6.8	CCA(クリア・チャンネル・アセスメント)、 RSSI	23
7.	電源測定	23
付録A	Agilentの無線LANソリューション	24
付録B	推奨文献	26
付録C	用語集	27
付録D	記号と略語	27
付録E	参考文献	27

1. IEEE 802.11無線LANの
基本概念

名前からわかるように、無線LANは有線LANのデータ転送機能を拡張するために設計されました。動作を規定した標準は絶えず進化しても、WLANの中核は、無線を使ってデジタル・データの packets を、送信元のコンピュータが送りたいときにいつでもエラーなしに送れるようにするシステムです。この点で、WLANは非同期のBluetoothリンクと似ていますが、アナログ伝送に基づく同期セルラ・ボイス・コネクションとは異なります。WLANでは、送信しようとするデバイスはまずチャネルを確認し、空いていることを確認します。この方法をCSMA/CA (Access/with Collision Avoidance) と呼びます。これはセルラ電話やコードレス電話で用いられる厳密なタイムスロット割当てとは基本的に異なります。このため、他のテクノロジーから移ってきたエンジニアはとまどいを感じるかもしれません。

有線経路に比べてはるかに予測可能性が低い無線経路による伝送にLAN packets を適合させるために、ソフトウェアが用いられます。このプロトコルは、LLC (論理リンク制御) およびMAC (媒体アクセス制御) と呼ばれます。ユーザ・データがエンコードされ、ヘッダが付加され、長いパ

ケットは送信前に分割 (フラグメント化) されます。

最も広く用いられているWLANシステムには、ネットワーク・インタフェース・カード (NICまたはステーションとも呼ぶ) とアクセス・ポイント (AP) が用いられます。ユーザはこれらを使って、インフラストラクチャBSS (基本サービス・セット) と呼ばれる無線LANと有線LANのリンクを構築できます。ESS (拡張サービス・セット) では、ネットワーク全体を構築することが必要です。アクセス・ポイントの役割には、有線デバイスと無線デバイスとの間でデータを転送することだけでなく、対象となるクライアントに対して無線チャネルを割り当てることも含まれます。

WLANが使用する免許が不要な帯域に他のユーザがいない場合、通常BSSは無線スペクトルを効率的に利用するように構成できます。この場合でも、個々のユーザのスループットは、WLANシステムの公称ピーク・データ・レートの数分の1にしかありません。代表的な場合、最大スループットは公称ピーク・レートの半分で、クライアントの数が増えたり (上限はあらかじめ決められていない)、NICがアクセス・ポイントから遠ざかった

りするとさらに低下します。到達範囲は、物理環境と周波数帯域の両方に依存します。ただし多くの場合、どこか他の場所にボトルネックがあるために、WLAN経由のファイル転送時間は有線LANと同程度の遅さになります。

WLANには他に2つの方式があります。ピアツーピア (アドホック) IBSS (独立基本サービス・セット) は、2台のNICを使います。ベンダ間のデザインの相違によってカード間の相互運用性が制限される場合がありますが、それ以外の点ではこれは、相互に信頼できるデバイス間で無線データ転送を行うための最も簡単な方法の1つです。エクステンダはより特殊化されたシステム・コンポーネントで、無線伝搬の問題に対処する役割を果たしますが、特定のネットワークのエンドポイントとしては動作しません。

1.1
無線搬送波と変調の使用

802.11仕様に記述されている媒体は無線だけではありませんが、このアプリケーション・ノートではもっぱら無線について扱います。

送信の前にデータを無線搬送波に乗せる必要があります。搬送波はいくつかの方法で用いられます。

1.1.1
搬送波動作のモード

- FHSS—周波数ホッピング・スペクトラム拡散

単一の搬送波の周波数を切り替えることにより、他の搬送波との間の干渉を防ぐ方式。

表1： 各システムの周波数帯域、データ・レート、変調方式								
システム	周波数帯域	最大データ・ レート (Mbps)	伝送 方式		変 調			
			CCK	PPC	OFDM	BPSK	QPSK	16QAM
802.11b	2.4GHz	11		オプション		差分	差分	
802.11g	2.4GHz	54		オプション		差分	差分	
802.11a,h	5GHz	36、オプションで54まで						
HiperLAN/2	5GHz	54						
HiSWAN	5GHz							

注記：差分=差分変調エンコーディング
802.11gにはミックスドCCK-OFDMのオプションあり

• DSSS－直接シーケンス・スペクトラム拡散

データ・ビットにBarkerキーという特殊な11ビットのパターンを乗算することにより、1つの搬送波のエネルギーが広いスペクトラムに拡散されます。この方法により、狭帯域のソースからの干渉を減らすことができます。IEEE 802.11b-1999仕様では8ビットのキーを使っています。

802.11bでは、2つの方式で1つの搬送波のスペクトルを拡散しています。CCK (相補コード・キーイング) は必須で、PBCC (パケット・バイナリ・コンボリューショナル・コーディング) はオプションで追加できます。オプションでチャネル・アジリティを追加することもできます。

• CCK－相補コード・キーイング

これは、QPSK (4相位相シフト・キーイング) 変調を使いながらIEEE 802.11bのピーク・データ・レートを2Mbpsから11Mbpsに上げるために用いられます。このためにまず、データ・クロック・レート (シンボル・レート) を1Mbpsから1.375Mbpsに上げ、データを8ビットのブロックにします (8×1.375=11)。8ビットのうち6ビットは、64通りの相補コードの1つを選択するために用いられます。このコードは8チップ長で、11MHzで出力されます。したがって、8チップすべてが使い尽くされるには(1/1.375)μsかかります。これは次のバイトが準備されるまでの時間です。残りの2ビットはQPSK変調器でコードと結合されます。

• PBCC－パケット・バイナリ・コンボリューショナル・コーディング

この方式はIEEE 802.11bおよびgのオプションです。この方式では、ノイズが制限要因である場合に、フォワード誤り訂正を使ってリンク性能を改善します。スクランブルされたデータがコンボリューショナル・エンコーダに入力されます。エンコーダは6ステージのメモリから構成され、特定のタップが結合されて2つの出力を与えます。可能な4つの出力ステート(00,01,10,11)は可能な2つのQPSKステート(11Mbps)にマッピングされます。選択されたステートが時間とともにどのように入れ替わるかは、コー

ドワードによって制御されます。RF変調器はここからドライブされます。

IEEE 802.11a、HiperLAN/2、HiSWANでは、OFDMが用いられます。

• OFDM－直交周波数分割多重通信

OFDMは複数の搬送波を使用します。その数は52で、間隔は312.5kHzです。データは48個の搬送波で同時に送信され、残りの4個はパイロットとして用いられます。各ビットを送信する時間は、搬送波の数に比例して長くなります。これにより、歪みの主な原因であるマルチパス干渉の影響を受けにくいシステムを実現できます。

このノートでは、主にDSSSおよびOFDMシステムについて扱います。802.11gなど一部のシステムでは、802.11bシステムとの互換性を実現するために、同じRFバーストで両方の方法を使用することがあります。

• 変調

RF搬送波は変調する必要があります。このノートで解説するすべてのWLANシステムは、何らかの形の位相シフト・キーイングをプリアンブルに使用します。64QAM (直交振幅変調) などのもっと複雑な方式を使えば、ユーザ・データのビット・レートを高めることはできますが、潜在

性能をフルに生かすには、無線性能が高く、ノイズが少なくなければなりません。BPSK (2値位相シフト・キーイング)、QPSK、QAMについての説明は、RFの標準的な教科書にあります。

変調フォーマットが伝送中に変化することも珍しくありません。バーストの前の方には、バーストに関する重要な情報が含まれます。例えば、周波数などのアナログ特性や、バースト長などのデジタル情報があります。単純な変調フォーマットの方がビット・エラーに強いので、バーストの初期で使うのに適しています。

1.1.2
周波数帯域とパワー・レベル

WLANシステムは、下の図1に示すいずれかの周波数帯域で動作します。最大送信パワーも示してあります。HiperLAN/2仕様に含まれる送信パワー制御と動的周波数選択は、欧州の規制適合要件を満たすために802.11aに追加される予定です。

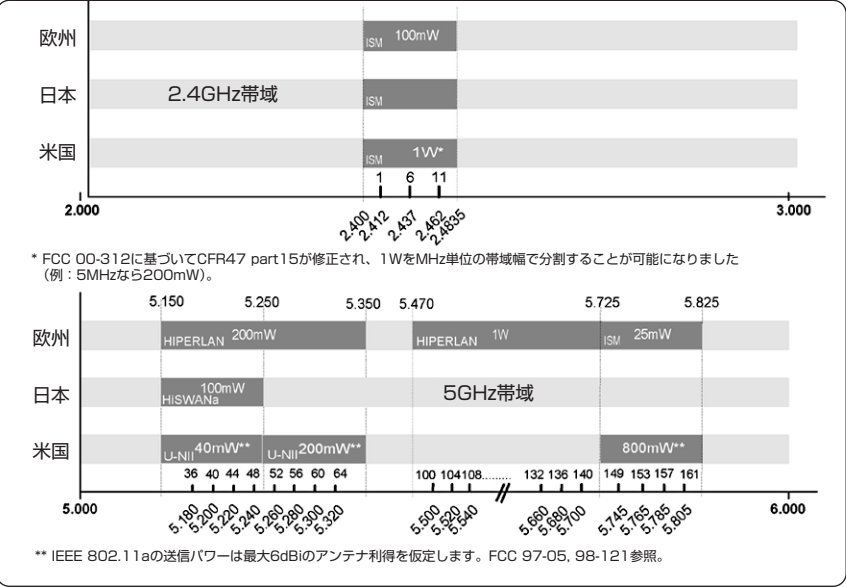


図1：
主なチャネル割当てとパワー・レベル

1.2 WLANデバイスの詳細

WLANデバイスの最も一般的な物理的な形状は、PCカード (PCMCIA) です。これはラップトップ・コンピュータに直接接続するのに適しています。アクセス・ポイントとして、単にマザーボード上にPCカードを取り付けるだけの場合もあります。

WLANカードは電気的には2つの主要な部分に分けられます。1つはアナログRF (PHYレイヤ)、もう1つはデジタル・ベースバンド (MAC, すなわち媒体アクセス制御) 処理です。ホスト・コンピュータとの間は、PCカードまたはコンパクト・フラッシュ・インタフェースで接続されるのが普通です。

アクセス・ポイントでは、有線LANとのインタフェース (Cat 5/Cat 6のケーブルを使用) のために別のデジタル回路が用いられます。独立した電源を持たず、LANケーブルから電源を供給するデザインもあります。

1.2.1 動作の説明

下の図2は、無線システムの一般的なブロック図です。ほとんどの電子システムと同様、無線デザインは新しくなるほど集積度が高まりますが、性能のトレード・オフは存在します。これは特にレシーバに当てはまります。このノートで説明する中間信号については、使用しないシステムも、アクセス可能なシステムもあります。試験対象のシステムのブロック図を必ず注意して調べるようにしてください。

局部発振器 (LO) は、送信と受信の両方の機能を兼ねます。電圧制御発振器 (VCO) の性能を改善し、RF出力を他の信号から分離するために、周波数通倍または3通倍が用いられます (図には示していません)。

図2：
WLANカードのブロック図

1.2.2 データ受信

信号レベルに対するスルの影響を低減するため、ダイバーシティ受信が用いられます。短いトレーニング・シーケンスの間に実行されるRSSI (受信信号強度指標) テストによって、特定のバーストに対してどの経路が用いられるかが決定されます。選択された信号は、増幅器/ダウンコンバータを通して、直交信号のペアにミキシングされ、ディジタル化されます。アナログ利得制御のためには、A/D変換に6~8ビットあれば通常は十分です。一部のハイブリッド方式では、DSP (デジタル信号処理) を使ってIQ (同相位相と直交位相) 分離を行うため、アナログ回路との接続は1つで済みます。

イコライザやデジタル回路のその他のコンポーネントを使って、周波数誤差や振幅変動などの歪みの影響を低減することは可能ですが、高周波局部発振器の位相雑音など、その他の誤差については、必要なリンク性能を実現できるようにデザイン自体によって小さく抑える必要があります。

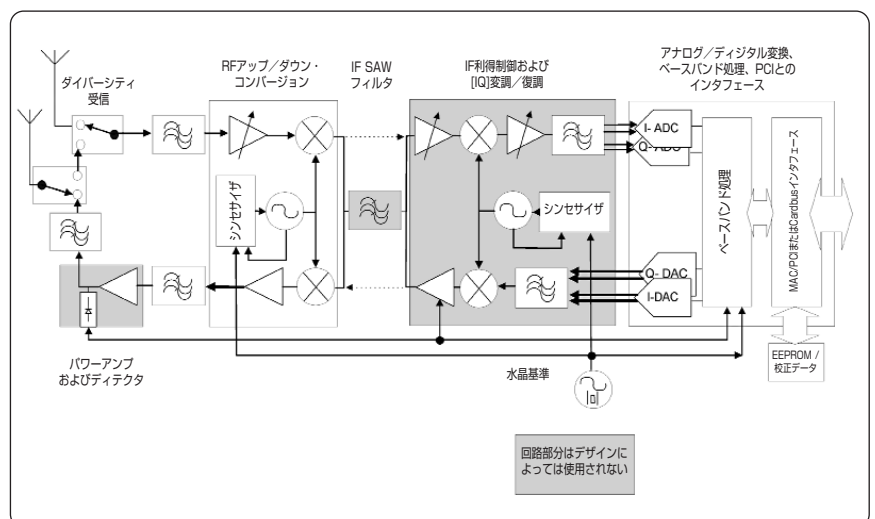
802.11bのRF部は、小型で安価にすることは難しくても、ビット/Hzの観点からはそれほど困難ではありません。これに対して、802.11aの高いデータ・レートとチャネル周波数の2倍化は、デザインと製造にはるかに困難な問題を突きつけます。

レシーバの感度が重要なのは、それがWLANリンクの動作可能な最大範囲を決めるからです。また、システムにとっての副次的な利点もあります。

す。あるリンクが他のリンクよりもパケット・エラー・レートが低いために送信を早く終了できたとすると、電池の消費が減り、他のユーザに与える干渉も少なくなります。現実のISM (産業、科学、医療帯域) やUNII (米国の免許不要無線帯域) の環境では、干渉の抑制とリニアリティが無線機の性能に直接影響します。したがって、これらは重要なテスト・パラメータです。ハードウェアの集積度が高まるとともに、特殊なテスト・モードがなければ性能不足の原因を把握することはますます困難になっていくでしょう。

1.2.3 データ送信

トランスミッタの性能要件を満たすには、通常は外部パワーアンプ (PA) が必要です。コスト、電流消費、リニアリティといった点から、この選択には細部にわたる検討が必要です。ベースバンド処理で信号にプリディストーションを加えれば、PAのデザイン要件を緩和できる可能性があります。特定の性能特性に強く依存すればデバイスの選択を限定してしまうことにもなります。ダイバーシティ送信を使用する方法もあります (図2のスイッチングではこれは不可能です)。



IF (中間周波数) にSAW (表面弾性波) または誘電体バンドパス・フィルタを使ったデザインは、通常のTDD (時分割デュプレックス) 動作に適していますが、テストと自己校正のための内部ループバック経路の選択肢が少ないという欠点もあります。自己校正機能は、アナログ回路の性能が温度に影響される場合に重要になります。

電源電圧と信号電圧が低下し、バックグラウンド・ノイズが顕著になるにつれて、差動信号経路の使用が一般的になっています。シングルエンド信号が必要な場合は、バラン・トランスを使います。

アナログ・ハードウェアは単独でテストできますが、トランシーバを完成するためにはベースバンド回路のDSP (デジタル信号処理) と組み合わせる必要があります。全システム性能をモデリングする際には注意が必要です。さまざまな誤差要因は単純に算術的に加算されるとは限らず、アナログやその他の現象から生じる可能性があるからです。

DSP内部のアルゴリズムは、送受信の両方で基本的な役割を果たします。図3は、802.11a/OFDMシステムに必要な主処理ブロックの例です。

1.3
時分割デュプレックスと
フレーム構造

WLANデバイスは、ある時点で送信か受信のどちらか一方しかできません。送信は異なる長さで間隔 (通常は数100 μ s ~ 1msの範囲) のバースト (フレーム) で実行されます。802.11bのCCA (クリア・チャネル・アセスメント) レシーバ・テストは、可能な最も長い5.5Mbpsのフレーム (3.65ms) を用いるように規定されています。

フレームの基本構造を図4と5に示します。プリアンプルは、レシーバが入力信号に適応するために使います。これは、周波数および位相誤差のイコライズと、時間調整を伴います。ヘッダには、宛先アドレスやバーストの残りの部分のフォーマットなど、さまざまな情報が含まれています。ユーザ・データは、MACレイヤに入

力される発信元パケットから取られます。リンク性能の向上に役立つと無線機が判断した場合、長いパケットはフラグメント化 (分割) されることもあります。

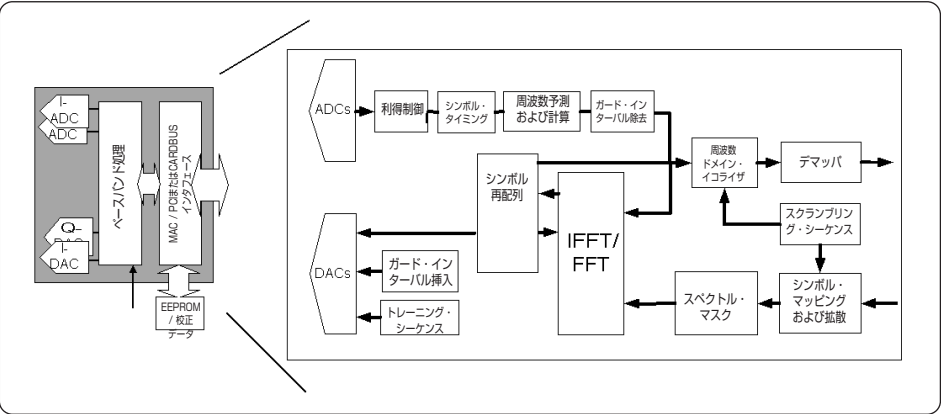


図3：
OFDMトランシーバのデジタル処理ブロック

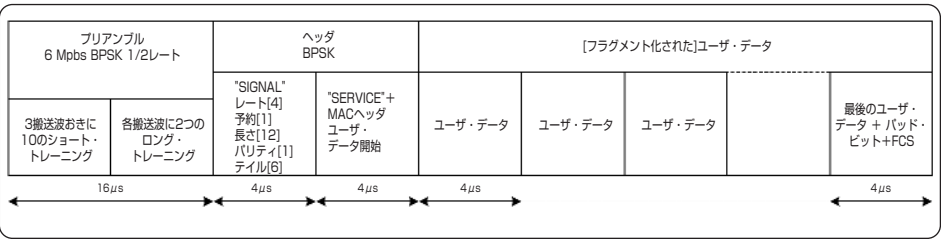


図4：
IEEE 802.11aのフレーム構造

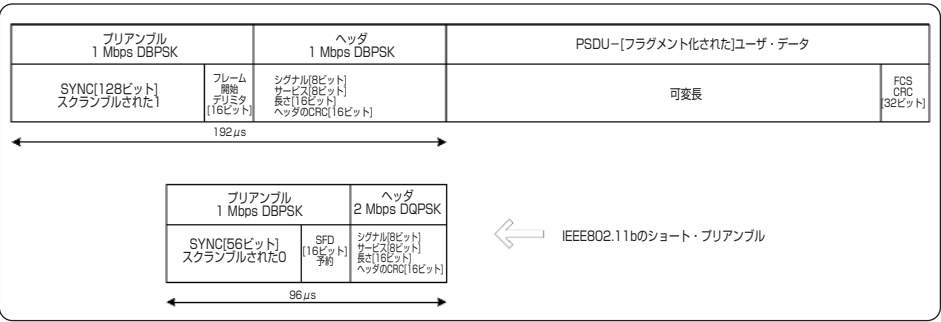


図5：
ショート/ロングSYNCを持つIEEE 802.11bのフレーム構造

802.11仕様の5種類の周期によって、送信の間隔が決まります。物理的な値は使用する標準によって異なり、表2に示されています。

表2：IEEE 802.11のタイミング間隔		
時間間隔	802.11a	802.11b
SIFS (ショート・フレーム間隔)	16μs	10μs
スロット	9μs	20μs
プライオリティIFS= SIFS+スロット	25μs	30μs
分散IFS= SIFS+2スロット	50μs	50μs
コンテンション・ウィンドウ最小値	15スロット	31スロット
拡張FS-さらに長い	可変	可変

CSMA/CAの使用、データがあるときに送信、フレーム間の時間間隔が異なるという条件の複合によって、バーストの間隔は見かけ上ランダムになります。

1.4
MACレイヤ

媒体アクセス制御 (MAC) レイヤは、LLCソフトウェアに対して非同期データ・パケット配信サービスを提供します。非同期ということは、伝送がいつ行われるかが正確に予測できないということです。MACソフトウェアはデータを受け取り、使用されているPHYレイヤを識別して、クライアントのレシーバのMACレイヤ・ソフトウェアにデータを転送します。このサービスを提供するために、3種類のMACフレームが用いられます。

• 管理フレーム

11種類のサブフレームがリンク管理のために用いられます。これらは、リンク・ビーコン伝送とプローブ要求、認証、アソシエーションの確立と終了に用いられます。

• 制御フレーム

6種類のサブフレームが、リンクを正しく機能させるために用いられます。Request To Send、Clear To Send、ACKnowledged、Power Save、Contention Free、CF-End+CF-Ackがあります。

• データ交換フレーム

8種類のサブフレームが用いられ、1種類以外はユーザ・データを伝送します。ほとんどのものは、リンク制

御情報を追加することでリンクをより効率的にする働きをします。

図6a (下) は、これらのフレームの用いられ方を示します (縮尺は不正確)。図6bは主なフレーム・タイミング・オプションを示します。

1.5
コンタクトの確立

デバイスの電源が投入されたときに、MACレイヤの上位のソフトウェアはデバイスにコンタクトを確立させる必要があります。アクティブ・スキャンまたはパッシブ・スキャンが用いられます。IEEE仕様では異なる実装を認めているので、デバイスによって特性が異なる可能性があります。

1.5.1
アクティブ・スキャン

アクティブ・スキャンは最も高速にコンタクトを確立する方法ですが、電力消費が大きくなります。コンタクトを確立しようとするデバイスは、

空きチャンネルをリスンし、プローブ要求を送信します。サービス・セットIDが一致した場合、受信者はプローブ応答を送信します。スキャンしたデバイスはこの情報を使って (I) BSSに参加するかどうかを決定しますが、この段階ではそれ以上の伝送は行われません。

1.5.2
パッシブ・スキャン

パッシブ・スキャンでは、ビーコンとプローブ要求が用いられます。スキャンするデバイスは、チャンネルを選択したあと、他のデバイスからのビーコンまたはプローブ要求をリスンします。ビーコンはBSSまたはESSのアクセス・ポイントから送信されます。これにはAPに関する情報とタイミング基準が含まれます。ビーコンの送信は1024μsのタイム・グリッド上で行われ、間隔はほぼ100msになります。他の送信と同様、空きチャンネル・テストが必要なので、送信が遅れる可能性があります。

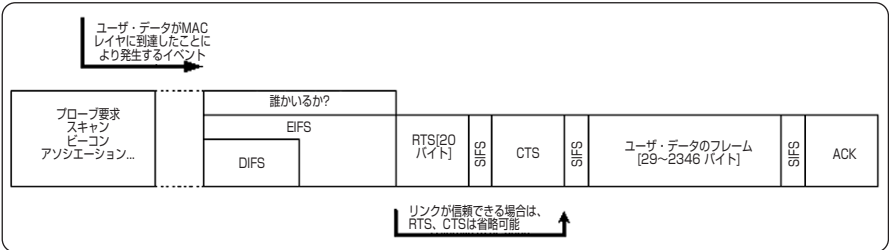


図6a：
データ送信の概略プロセス (IEEE 802.11)

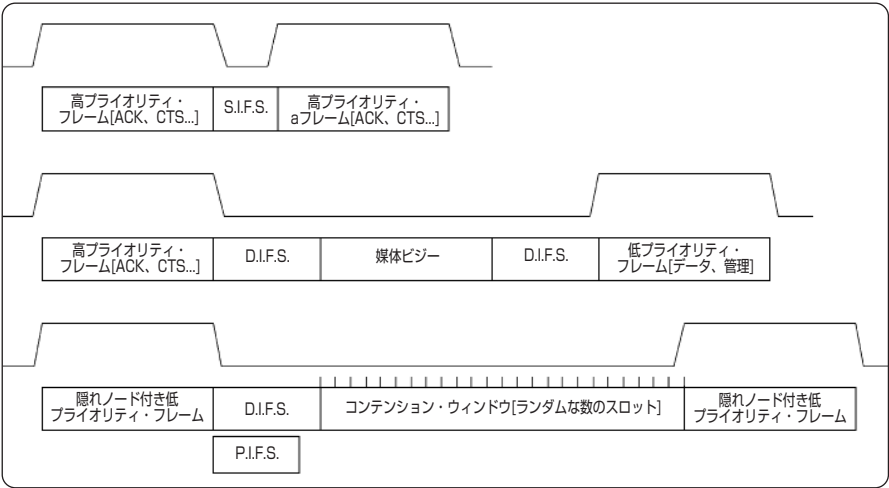


図6b：
フレームのタイミング (IEEE 802.11)

1.5.3
認証

ユーザ・データを転送するには、送信側と受信側がこれから通信することを合意する必要があります。このために、認証（最初に行われる）とアソシエーションのプロセスがあります。このほかにも、デバイスが送信しようとしたときにチャネルが空いていない場合に使用する他の方法（ランダム・エクスポネンシャル送信バックオフなど）があります。

前に、各802.11標準の変調レートの一覧を示しました。これらのレートがどのように選択されるかは、仕様では厳密には規定されていません。デザインごとにそれぞれ独自のアルゴリズムが用いられます。現時点では、MACフレームに「サービス品質」の標準はありません。ただし、送信デバイスは、コンタクト先のデバイスからACKフレームがどの程度規則正しく返ってくるかによって、リンクの忠実度を評価することができます。

1.6
データの交換：2つの方法

2台のWLANデバイスがデータを交換しようとする場合、2つの方法のどちらかを選ぶ必要があります。どちらが選ばれるかは、無線リンクの予想される性能に依存します。

1.6.1
2ステップ交換

2ステップ・データ交換は、単に以下のシーケンスからなります。

- 送信
- 確認応答

これは短いパケットや過疎地でのRF環境に適しています。

1.6.2
4ステップ交換

より一般的なデータ交換は、以下の4ステップで行われます。

- 送信要求 (RTS)
- 受信許可 (CTS)
- 送信
- 確認応答

これは、RFノイズの多い環境で干渉を起こしやすい長いフレームに用いられます。フレーム長を選択するには、特殊なMAC信号 (dot11RTSThreshold) が用いられます。

2. PHYレイヤ (RF) テスト・スイート

以下に説明する測定は、主にWLANデバイスが関連する標準に適合するかどうかを判定するために用いられます。ただ1つ必須のRFテストは、さまざまな国の規制法に含まれています。

アンテナやライブ・ネットワークを使った伝送は、予測困難な場合があります。ここで説明するテストの多くがライブ・ネットワークでも実行できますが、通常は遮蔽されたRF接続やRF環境が用いられます。これは再現性のあるレシーバ測定を実行するために必要なことです。2.4GHzや5GHzの信号の振る舞いは、一般的なオーディオ信号やデジタル信号とは全く異なります。

初めてRF測定を実行される方は、信頼できる技術的アドバイスを受けられることをお勧めします。

3. トランスミッタ測定

多くのトランスミッタ・パラメータを制御できないと、WLANシステムの性能を低下させたり、他のRFデバイスが動作しない原因となる場合があります。このような事態を防ぐためのテストが考案されています。表3に一覧を示します。

トランスミッタ・テストについて最初に説明する理由は、送信出力を調べることでトランシーバの問題のいくつかをすばやく発見できるからです。図2 (5ページ) のダイアグラムを

表3：IEEE 802.11a、bのトランスミッタ・テストおよび構成の一覧

IEEE参照番号	テスト	パケット・タイプ	ペイロード	機器構成
18.4.7.1 18.4.7.2 17.3.9.1	送信パワー平均	最長フレームド ≥ 1024バイト・ペイロード	PN9 (15)	エッジ・トリガ、トリガ・ホールドオフ使用 (フレーム長に設定)
	送信パワーピーク	最長	PN9 (15)	ピーク捕捉のため測定帯域幅 ≥ 18MHzまたは測定帯域幅の制限に合わせて適切に調整
	パワー密度 802.11a	最長	PN9 (15)	RBW 1MHz ディテクタ・タイプ、掃引タイプ：注記参照
18.4.7.6	パワー立上がり／ 立下がり 802.11b	最長		RBW ≥ 18MHz、VBW ≥ 1 MHz、< 2μsの 立上がり時間に合わせて
18.4.7.3 17.3.9.2	スペクトル・マスク	最長 アンフレームド・ テスト・モード信号 またはタイム・ ゲーティングを使用	PN15 スクランブラ・ オン	802.11b：RBW 100kHz、VBW 100kHz ディテクタ・タイプ、掃引タイプ：注記参照 802.11a：RBW 100kHz、VBW 30kHz ディテクタ・タイプ、掃引タイプ：注記参照
18.4.7.7	RF搬送波抑圧 802.11b	最長フレームド	0101 DPSK スクランブラ・ オフ	RBW 100kHz、VBW 100 kHz ディテクタ・タイプ：注記参照
17.3.9.6.1	中心周波数リレーケージ 802.11a	最長フレームド		基準と結果はどちらもバーストのチャネル評価部分 で測定
17.3.9.6.2	スペクトラム・ フラットネス 802.11a	最長	PN9 (15) スクランブラ・ オン	プリ測定イコライザによるチャネル評価を使用
18.4.6.8	送信スプリアス	最長	PN9 (15) スクランブラ・ オン	RBW > 1MHz これより小さい場合、1MHzの (準)ピーク・ディテクタに相当するように結果を 積分
17.3.9.4 18.4.7.4	中心周波数許容範囲	最長フレームド	PN9 (15) スクランブラ・ オン	802.11aでは送信クロックとシンボル・クロック を同じ発振器から得ることが必要。方法はテスト・ モードに依存。
17.3.9.5	シンボル・クロック 周波数許容範囲			802.11a RF中心周波数からの推測でテスト
17.3.9.6.3	コンスタレーション・ エラー 802.11a	802.11a 20フレーム ≥ 16 OFDMシンボル	PN9 (15) スクランブラ・ オン	測定前にイコライザを使用。ショートまたは ロング・トレーニング・シーケンスが対象。
18.4.7.8	エラー・ベクトル 振幅 802.11b	アンフレームド	1111 スクランブラ・ オン	測定前にイコライザで周波数誤差を除去

注記：イタリック体で記したパケット・タイプ、ペイロード、測定構成は、仕様が不明確な場合の推奨テスト条件です。テスト参照番号が17で始まるものはIEEE 802.11aに適用します。テスト参照番号が18で始まるものはIEEE 802.11bに適用します。

調べればその理由がわかります。周波数のアップコンバージョンとダウンコンバージョンのための局部発振器 (LO) は共通なので、レシーバに影響を与えるようなLOの欠陥の多くが送信で明確になります。

3.1
テスト条件と測定セットアップ

トランスミッタ経路のテストには、2つの構成が主に用いられます。これらの違いは、信号インタフェースとデバイスの制御方法です。1つの構成はRF/アナログ回路だけに適しており、もう1つの構成はWLANデバイス全体に適用できます。図7 (右) に示すのは、RF/アナログ用の構成です。回路の制御には専用のハードウェアが必要ですが、送信経路をドライブするためのIQベースバンド信号はESG-D信号発生器から供給できます。

一部のWLANデザインでは、中間信号が利用できます。通常は数100 MHz程度の信号です。これは、この周波数をカバーするシグナル・アナライザ／信号発生器の選択に便利です。

実際のシステムのアンテナは、送信パワーを特定の方向に集中するように設計されている場合があります。このため、異なるRFハードウェアの性能を比較するのは場合によっては困難です。このため、一部の測定では実効等方放射電力 (EIRP) を使います。物理測定ではリモート・アンテナをテストに使いますが、これは実現困難な場合があります。その代わりに、理論的に計算した補正係数を使って、直接のケーブル接続による測定結果を補正することができます。

3.1.1
測定トリガ

フレームドRF信号の測定には、トリガ信号が必要です。多くのテスト機器はこの機能を内蔵しています。802.11a、HiperLAN/2、802.11bの場合、変調によって信号レベルが大きく変動するため、複雑になります。トリガ・レベルを慎重に選択することで、問題を解決できる可能性があります。別の方法として、フレーム周期がある程度一定している場合は、トリガ・ホールドオフ機能が使用できます。トリガ・ホールドオフとは、トリガ信号が発生したあと一定時間トリガ回路の動作をオフにすることです。

3.1.2
DSPとの相互作用

WLANカード全体をテストしなければならない場合もあります。この段階で初めて、デジタル信号処理 (DSP) とアナログ回路との相互作用の問題が生じます。これには、電源回路のデカップリングといった単純なものから、電磁結合のような複雑なものまでがあります。図8は、WLANデバイス全体をテストするための構成です。MACプロセッサから試験信号が供給されるため、図7より単純な構成になっています。したがって、MACのDSP制御とその後のアナログ回路の性能が複合した結果が得られ

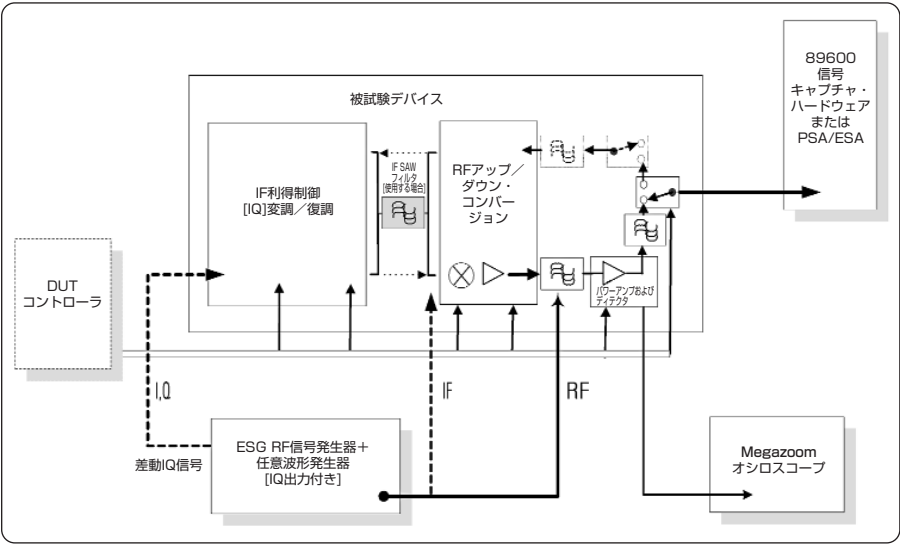


図7：
RF/アナログ回路用のトランスミッタ・テスト構成

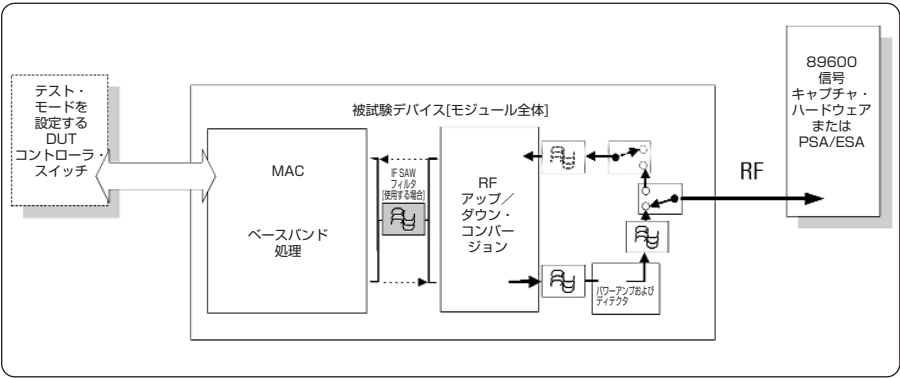


図8：
WLANカード全体用のトランスミッタ・テスト構成

3.3
トランスミッタ・パワー

ます。ユーザが利用できるMAC制御ソフトウェアによって、実行時にも回路評価時にも、テストに制限を加えることができます。

3.2
テスト・モード

IEEE 802.11仕様ではさまざまなテスト・モードが規定されています。テスト・モードでは、無線機の動作状態といくつかの送信パラメータを制御します。これらは通常WLANカード全体のテストに用いられます。表4にテスト・モードを示します。802.11aではこれ以外のパラメータ・オプションも使用できるようになる可能性があります。

IEEE 802.11仕様には、テスト・モードの無線制御については記述されていません。このため、今日の無線デバイスに必要な複雑な統合テストを実現するのは必ずしも容易な作業ではありません。専用のデバイス制御ソフトウェアが必要になる場合もあります。テスト・モードがサポートされる場合、図8に示すもう1台のWLANデバイスは通常は不要です。ただし、運用（ファンクション）テストの実行には役立つ場合もあります。

試験用機器とデバイス制御を独立させることの副作用として、システム制御ソフトウェアが測定トリガとタイミングに特別な注意を払わなければならないことがあります。

表4：802.11テスト・モードの説明			
名前	タイプ	有効範囲	説明
TEST_ENABLE	真理値	真、偽	真のときにテスト・モードが有効
TEST_MODE	整数	1、2、3	01：トランスバアレント受信 02：連続送信 03：50%デューティ・サイクル
SCRAMBLE_STATE	真理値	真、偽	真のときにスクランブラがオン
SPREADING_STATE	真理値	真、偽	真のときに拡散がオン 802.11aには該当しない
DATA_TYPE	整数	1、2、3	未定義データ・パターンを選択。 例：111,000、ランダム
DATA_TYPE	整数	02、04、11、22	値は送信ビット・レートの半分。 例：22=11Mbps
PREAMBLE_TYPE	真理値	ヌル、0、1	0：ロング 1：ショート
MODULATION_CODE_TYPE	真理値		0：CCK 1：PBCC

以下で説明するパワー測定は、測定に使用するケーブルやその他のRFコンポーネントの損失と電圧定在波比（VSWR）に影響されます。2.4GHzでも5GHzでも、周波数レンジに適したコンポーネントを使用することが重要です。

802.11では、アンテナ・ポートのインピーダンスやテストする周波数レンジについて、許容リミットを定めていません。25~100Ωのインピーダンス変動に相当する10dB（VSWRが約2：1）のポート整合がよく用いられます。アンテナで組み合わせて、他の損失がないとすると、信号の変動は最大±1dBになります。さらに、高調波周波数での不整合から増幅器のノンリニアリティが生じ、変調品質の問題につながるおそれがあります。これらについては設計時に解析が必要です。

3.3.1
平均出力パワー

デバイスのトランスミッタとレシーバが他のすべての点で正しく動作していたとすると、WLANの到達範囲を決めるのは主に平均送信パワーです。

通常のWLANの伝送はすべてフレームド（バースト状）です。テスト・ソフトウェアで固定のマークスペース比を生成すれば、平均応答を示すデテクタを使ってパワー測定を実行できます。得られた測定値のうち小さいものは、補正係数を使って補正できます。ただし、この方法はいくぶん手間がかかります。図9の測定はバースト・エッジでトリガしているので、さらに簡単に実行できます。

アンフレイムド・データを使って平均パワー測定だけを実行することも通常行われます。これによりデバイスの動作レベルがどの程度かはわかりますが、変調品質またはスペクトラム・テストと組み合わせて行わない限り、トランスミッタ経路の動的性能に関する情報は全く得られません。

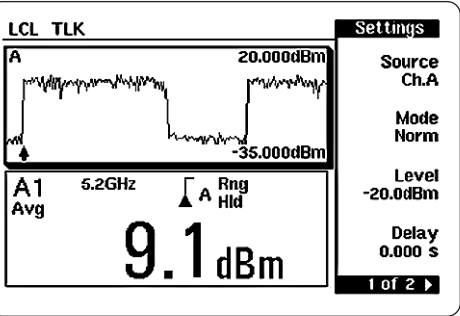


図9：
EPM-Pを使ったIEEE 802.11aの
平均パワー測定

3.3.2
ピーク出力パワー、相補累積分布関数（CCDF）

バーストRFを使用するシステムの場合、パワーのピークにターンオン・スパイクが伴うことがしばしばあります。図10に示すように、IEEE 802.11aおよびHiperLAN/2の場合、バースト全体の中に大きなピークが見られます。標準的な信号では、1個のフレーム内で平均値よりも11dBも高いピークが見られることがあります。ピークが正しく伝送されないと、レシーバはビット・エラーまたはパケット・エラーを記録します。これにより、リンク全体の品質が低下します。

IEEE 802.11bで用いられる変調フォーマットの場合も、バースト全体で平均パワーよりも2~3dB高い変動が見られる場合があります。これらの変動は非常に短時間なので、信号を正しく評価するには広い測定帯域幅が必要です。測定帯域幅が信号帯域幅よりも小さい場合、ピークを正確にトラッキングすることはできません。例えば、信号のパワー分布がガウス型で、ビデオ測定帯域幅が5 MHzの場合、ピーク・パワー・レベルは2~3dB低く表示されます。ただし、平均パワーは0.5dB以内の確度で表示されます。規制適合要件では通常、「問題

のエミッションに対するチャネル帯域幅全体での真のピーク測定」が要求されています。このためには、捕捉帯域幅が最低18MHzでなければならないことになります。

幸い、802.11の変振幅フォーマットを扱える測定方法が開発されています。図10のパワー対時間プロットを見ると、最大パワーの発生頻度は比較的低いことがわかります。パワーしきい値を上げるほど、信号がその値を超える確率は低くなります。ピークの一部がクリッピングされる場合、増幅器のバイアス電流を調整するために、それがどの程度頻繁に起きるかを知っておく必要があります。

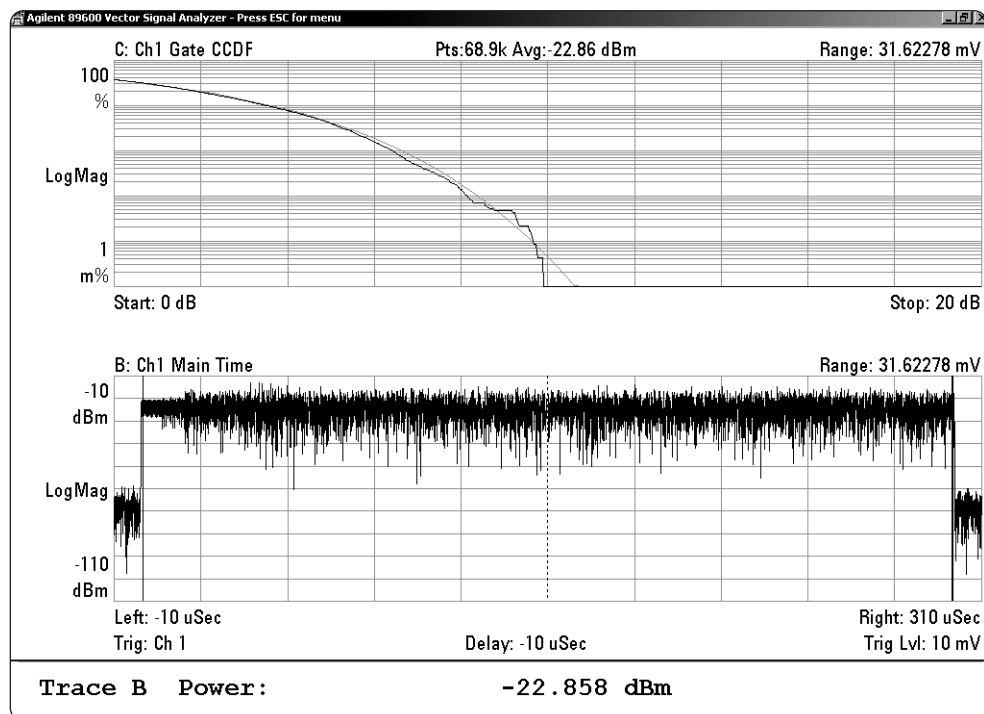
図10には、パワー・レベル(横軸)と確率(縦軸)のプロットも示されています。これを相補累積分布関数(CCDF)プロットと呼びます。左側のパワー基準は、測定信号の平均値、すなわちこの場合は-22.858dBmに自動的に設定されます。

グレーの曲線はガウス分布のノイズに対応するもので、問題を発見する手がかりとなります。

必要な場合、CWRF(連続RF)信号とパワー・メータを使って、シグナル・アナライザの絶対パワー・レベルの校正を実行することができます。テスト機器とソフトウェアに自動機能が用意されている場合もあります。

3.3.3 トランスミッタ・パワー制御

送信パワー・レベルの制御は、HiperLAN/2仕様に含まれており、IEEE 802.11bでは100mWを超える送信パワーに対して規定されています。802.11aにはこの規定がありませんが、802.11h仕様で取り入れられる予定です。これは、欧州のDynamic Transmit Control要件に適合させるためです。この要件の目的は、5GHzを使用する他のユーザのニーズに応えることです。



注記：バーストとバーストの間のゼロ・パワー測定値が生じるのを避けるため、測定ゲーティングを使用する必要があります。

図10：
IEEE 802.11aのCCDF測定を含む複合表示プロット

HiperLAN/2では、アクセス・ポイントと移動端末 (MT) の要件が異なります。APには16個のパワー・レベルがあり、+30dBm～-15dBmの範囲に3dB刻みで分布しています。MTの送信パワー間隔は、-15dBm～-9dBm、-9dBm～+9dBm、+9dBm～+18dBm、+18dBm～+30dBmです。

パワー制御のテストのための構成は、出力パワーのテストの構成にトリガ信号を加えたものです。このトリガ信号は、デバイスが新しいパワー・レベルにセトリングした後で測定を実行するためのものです。

注記：WLANシステムには、一部のセラ・システムが備える高速なパワー制御アルゴリズムは装備されていない可能性があります。デザインと製造で別々のテスト制御が必要になる可能性があります。

3.4 送信出力スペクトル

3.4.1 入力減衰設定

スペクトル掃引測定の測定帯域幅は、18MHzという信号帯域幅に比べて大幅に小さい100kHzです。この結果として、ノーマル・マーカの表示値は実際よりも小さくなります。しかし、シグナル・アナライザの入力ミキサには全信号パワーが供給されるので、過負荷による歪みが生じるおそれがあります。このため、入力減衰を手動で制御する場合には、全信号パワーに基づいて調整を行う必要があります。測定器ではこれはチャンネル帯域パワー (または全パワー) として表示されます。

3.4.2 トランスミッタ・スペクトル・マスク

このテストの目的は、複数のWLANデバイスが相互に不正な干渉を及ぼさないことを検証することです。これはセクション6.6の隣接チャネル・レシーバ・テストと関連しています。

リニアなトランスミッタ経路の必要性についてはすでに述べました。デザイナーは、平均送信パワーと歪みの間のトレードオフの決定を避けられません。パケット・エラー・レートのような直接的な指標ではありませんが、スペクトル・テストは性能低下の有力な指標の1つです。変調エラーのためにパケット・エラーが発生するよりもずっと前に、スペクトラムに目に見える変化が起きることがあります。スペクトル・テストとエラー・パケット振幅測定を組み合わせることは問題の根本原因を突き止めるために役立ちますが、一部のEVMエラーはスペクトラムの改善に伴って悪化することに注意すべきです。

IEEE 802.11では、送信変調フィルタ機能について規定していません。しかし、スペクトル・マスクではフィルタの使用が前提とされています。図11に示す802.11b信号は、変調フィルタリングは正しいのですが、デザイナーがアンチ・エリアジング (復元) 機能を付け忘れた場合のものです。

- 信号フレーム
IEEE 802.11bのスペクトル・マスクは連続信号のものです。連続出力に対してトランスミッタを構成することの問題点は、最終結果がバースト条件での実際の性能を反映しない可能性があることです。一部の標準では、フレームド信号の使用を明示的に要求しています。
- 実際にはスペクトルを測定するにはいくつかの方法があります。
- 伝送を変更して連続 (アンフレームド) 信号を生成する
- 掃引周期を低速にしてフレームド信号の完全な表示を得る
- ベクトル・シグナル・アナライザを使って何らかのゲート・スペクトル解析をバーストに対して行う

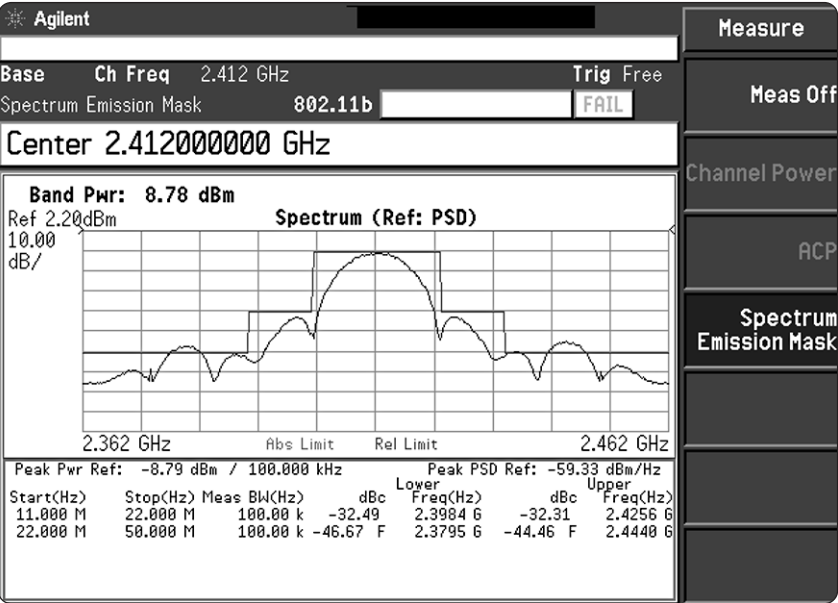


図11：
スペクトル・マスク・テストに不合格のIEEE 802.11b信号。
規制適合テストでは外側のリミット・ライン・レベルを定めています。

• ディテクタ・タイプ、掃引時間、信号ペイロード、基準レベルの設定

スペクトル・マスクは相対的なもので、基準レベル測定に基づいています。掃引時間が高速な場合、掃引ごとに測定される基準レベルが変動する可能性があります。これが起きるのは、バースト中に生じるレベル変動の一部が表示ポイントに含まれない場合です（セクション3.3.2のピーク・パワー測定の注記を参照）。フレームごとにペイロード・データが異なる場合、基準レベル変動の可能性が高くなります。

図11と12の基準測定には、500msの掃引が用いられています。

IEEE 802.11では、使用する測定ディテクタのタイプを規定していません。経験上、スペクトラムの形状は（アンフレームド信号の場合）、掃引スペクトラム・アナライザを使ってもベクトル・シグナル・アナライザを使ってもあまり変わりません。

GSMやBluetoothなど、今日の他の通信標準のいくつかは、隣接チャネル・テストにゼロ・スパンのマルチ・オフセット測定が用いられ、平均値ディテクタが使用されています。掃引時間を比較的遅くした連続掃引を使えば同様の結果が得られます。

図11と12では、平均値ディテクタを装備した掃引スペクトラム・アナライザを使っています。測定ゲーティングは使われていません。伝送全体に対するスペクトル応答が測定されますが、フレームド信号の絶対レベルは信号のマーク・スペース比に応じて変化することに注意してください。PSA/ESAスペクトラム・アナライザの平均値ディテクタ機能は、従来ビデオ・フィルタリングによって実現されていた手法の代わりとなるものです。

注記：平均値ディテクタを使用する際にビデオ帯域幅を手動で小さく設定しすぎると、Uncalエラー・メッセージが表示されます。

ピーク・ディテクタを使った場合でも、短時間の過渡現象がなければ同様のプロットが得られます。絶対レベルがより高くなり、データ・パターンの違いによる基準レベル設定の変化に対してより敏感になります。

ベクトル・シグナル・アナライザでもよい結果が得られ、フレームの特定のポイントに測定を同期させるようにプログラムすることもできます。これにより、基準レベルの表示値が安定します。

3.4.3 パワー密度

IEEE 802.11aはノイズが多いという性質を持つため、スペクトル・テストのための基準測定に似たいくつかの測定が、パワー・スペクトル密度として定義されています。この結果は指定された帯域幅内のパワーで表され、名目上は測定帯域幅に依存しません。測定は一般に現実的な動作条件で行われます。送信するデータ・パターンのために信号レベルが周波数とともに変化する場合、変動が起こります。このような場合には、データ・パターンまたはスクランプリング・ステートを指定する必要があります。日本では、最大送信パワーを10mW/MHzで表します。米国では変換係数16を使って、例えば2.5 m W / M H z の パワー 密度 を40mW/MHzに変換します。

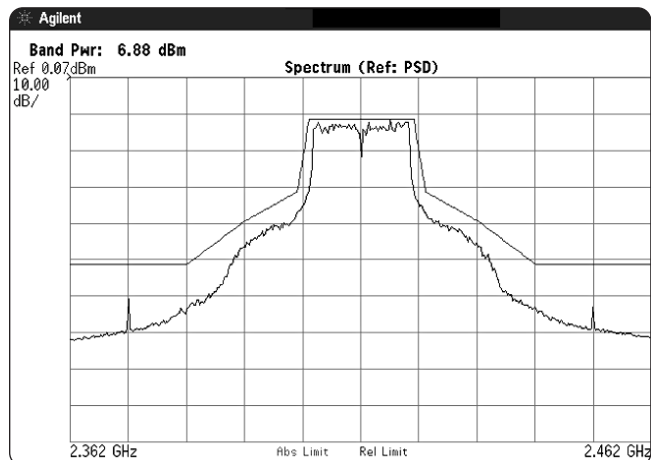


図12：
Agilent
パフォーマンス・
スペクトラム・
アナライザで
測定したIEEE
802.11a信号

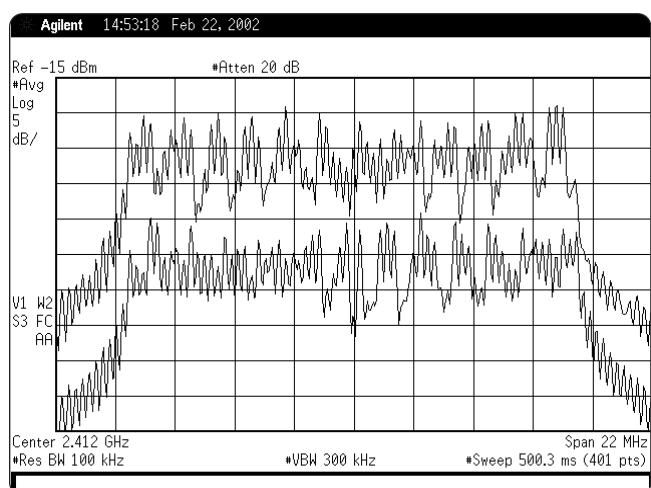


図13：
O1パターンを使い、
スクランプリング・
オフでIEEE 802.11a
信号のパワー・スペクトル
密度測定を行った結果。
データ・パターンによる
リップルが見られます。

注記：各チャネルのパワーにばらつきがあると疑われる場合、セクション3.4.6のゲート・チャネル応答測定を使って個別に調べることができます。

3.4.4
IEEE 802.11aの中心周波数
リーケージ

搬送波の中心周波数のエネルギーは、ゼロ周波数の中間信号を使用するレシーバ・デザインで問題を生じる可能性があります。IEEE 802.11aでは、中心搬送波を伝送に使用することを意図的に避けています。測定はプリアンプルの8 μ sのチャネル評価セッションでゲーティングされます。波形のこの部分では、搬送波が3つおきにオンになります。

3.4.5
IEEE 802.11bの搬送波抑圧

802.11b信号の正常なスペクトラムでは、中心周波数のレベル低下がはっきりしない場合があります。"01"のテスト・パターンを使って、スクランプリング・オフの状態では、適切な条件を生成します。見つかった信号のうちで最も大きい値が基準として用いられます。搬送波は最も大きい信号よりも15dB以上小さくなくてはなりません。

3.4.6
スペクトラム・フラットネス

このテストは、IEEE 802.11aおよびHiperLAN/2のOFDM信号だけが対象です。搬送波フラットネスが変動すると、復調のマージンが狭まり、リンク性能が低下します。測定は、バーストの8 μ sのチャネル評価フェーズの間で、52個の搬送波をすべてオンにして行われます。これは通常のバーストの開始から8 μ s後です。

注記：測定経路のフィルタがスペクトラム・フラットネスに影響する場合があります。線形エラーを除去するため、校正または正規化を行う場合があります。

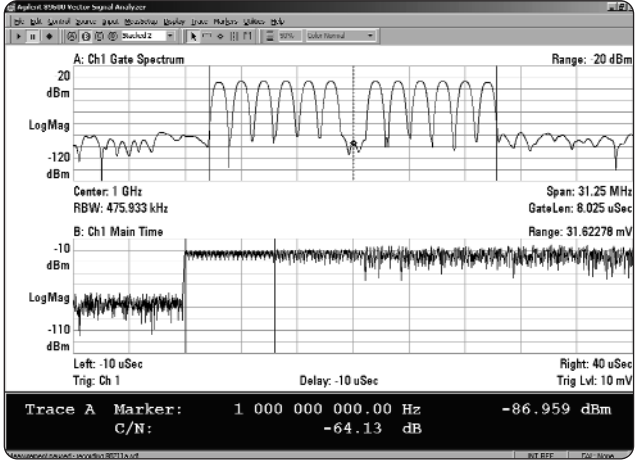


図14：
IEEE 802.11a信号の
中心周波数リーケージを
示すプロット

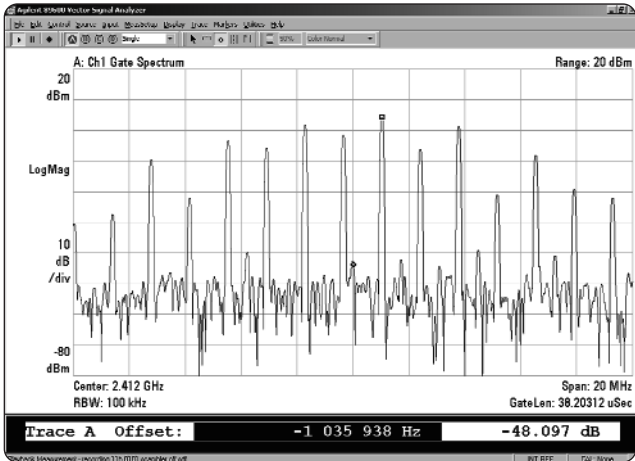


図15：
IEEE 802.11b信号の
RF搬送波抑圧を示す
プロット

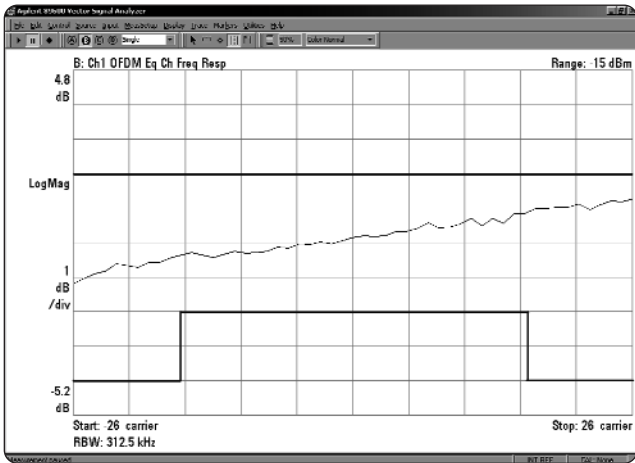


図16：
IEEE 802.11aの
スペクトラム・
フラットネスの
プロット

3.5
変調テスト

3.5.1
コンスタレーション・エラー

コンスタレーション・エラーはIEEE 802.11aだけで直接言及されており、このあとのEVMと同様に測定します。結果はデシベル (dB) 値で、テストする変調レートに依存します。コンスタレーション・エラーが増大する原因となる問題と、スペクトラム・マスクの異常の原因となる問題との間には、相互作用が存在する可能性があります。OFDMを使う場合、変調エラーの多くが単一搬送波の場合とは異なる現象を示します。詳細については参考文献を参照してください。

3.5.2
エラー・ベクトル振幅

IEEE 802.11では、エラー・ベクトル振幅 (EVM) という指標を変調品質の尺度として使います。これは、携帯電話からケーブル・テレビまで、広範囲のアプリケーションで業界標準となっています。EVMの基本概念は、劣化した信号 (通常は複素数の信号) は理想信号とエラー信号の和で表されるということです。エラー信号は直接測定できないので、テスト機器

は受信データを元に理想信号を再構成し、実際の信号から減算することによってエラー信号を求めます。

エラー信号には、以下のようなエラーのすべての原因が含まれます。

- 相加性雑音
- 非線形歪み
- 線形歪み、例えば周波数応答
- 位相雑音
- スプリアス信号
- その他の変調エラー、例えば量子化エラーやオフセット

任意の時点で、エラー信号はIQ平面上の複素ベクトルで表されます。ベクトルの始点は実際の位置、終点は本来あるべき位置です。各チップにそれぞれのエラー・ベクトルがあります。EVMは、1000チップの2乗平均平方根 (RMS) と定義されます。

• EVM値の組合わせ

下のリストからわかるように、エラー要因の中にはノイズに似たものと系統的なものがあります。EVMは多くの要因の組合わせなので、トランスミッタやレシーバのさまざまなコンポーネントから得られるEVMの間の数学的関係を正確に定義することは不可能です。ただし、互いに無関係なエラーは通常RMSで加算されます。正確な解析にはデバイスのシミュレーションが必要です。

歪みの原因をもっと簡単に突き止めることのできる新しい方法が開発されています。最新情報については、Agilentウェブサイトwww.agilent.com/find/wlanをご覧ください。計測お客様窓口までお問い合わせください。

IEEE 802.11bのEVM仕様は、35%というきわめて緩い値です。これはQPSK信号に対しては不十分ですが、DSSSではスペクトラム拡散による符号化利得があるので十分なのです。802.11a、gでは状況は全く異なります。表5には、EVM仕様がビット・レートによってどのように変わるかが示されています。24Mbpsより上のデータ・レートはIEEE 802.11aではオプションです。

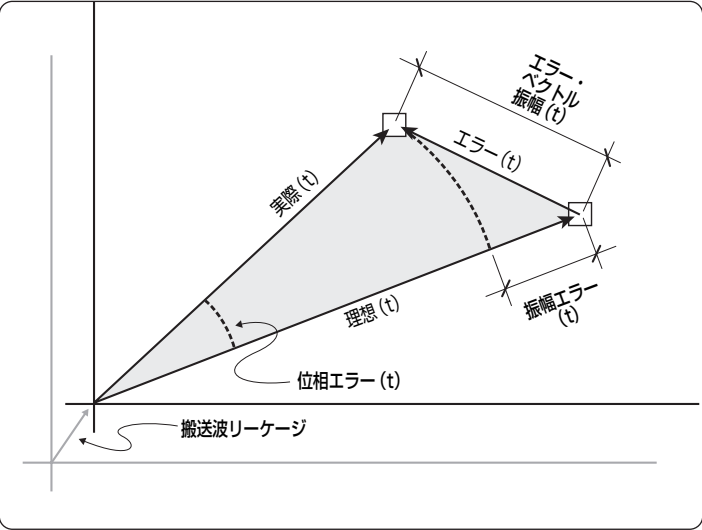


図17
EVM測定の定義に用いられる成分

表5：IEEE 802.11aのコンスタレーション・エラーおよび等価EVM			
データ・レート (Mビット/s)	相対 コンスタ レーション・ エラー (dB)		EVM (%rms)
HiperLAN/2 802.11a			
6	-19	-5	56.2
9	-19	-8	39.8
12	-19	-10	31.6
18	-19	-13	22.3
24	-19	-16	15.8
36	-19	-19	11.2
48	-	-22	7.9
54	-24	-25	5.6

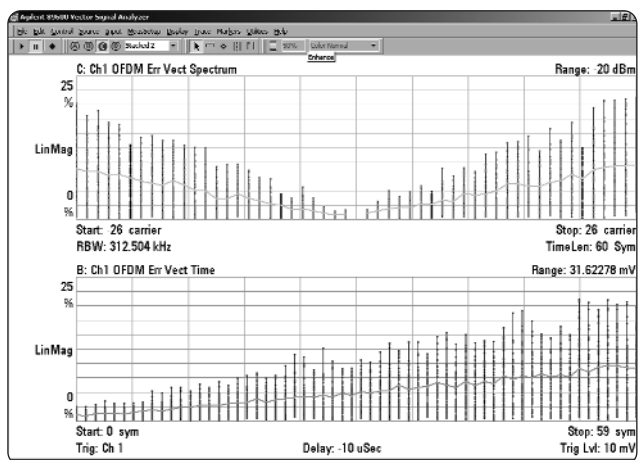


図18：
タイミング・エラーのあるIEEE 802.11a信号のEVM対時間
およびEVM対チャンネル

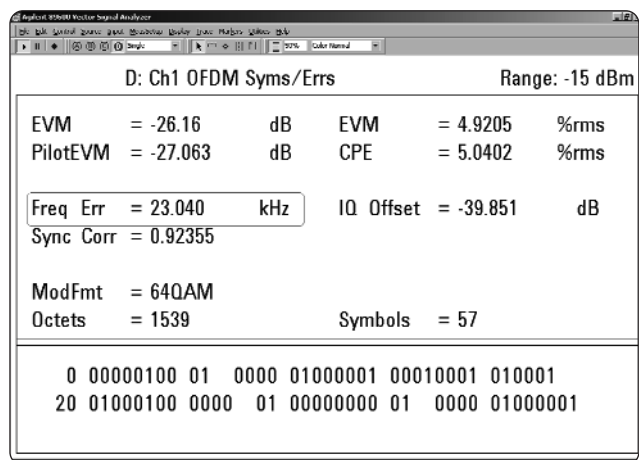


図19a：
IEEE 802.11aデバイスの周波数エラー

パワー対時間プロットやゲート・スペクトラム・プロットがパワー測定の数値よりもはるかに診断に役立つ情報を与えてくれるように、EVM対時間およびチャンネル(802.11aの場合)からは問題の原因に関する豊富な情報が得られます。図18はタイミング・エラーの特性を示す複合表示です。バーを横切る実線は、各ポイントでのRMS(2乗平均平方根)EVM値を示します。

• 中心周波数の許容範囲

中心周波数の許容範囲の測定方法は、テスト・モードが使用できるかどうかによって異なります。変調をオフにすれば単に周波数カウンタを使うだけですみますが、通常の変調された信号を使ったほうがより正確で現実的な結果が得られます。それは、アナログ回路やデジタル回路の状態変化に伴う消費電流の変化によって、局部発振器周波数に過渡的な変化が発生する可能性があるからです。実際のデバイスのレシーバに装備されたイコライザは、伝送されたプリアンプルの一部を使用するため、これが正しいことが重要です。

図19aでは、復調プロセスの副産物として周波数エラーが出力されています。表示されている2進データはプリアンプルの内容です。スペースは搬送波0を表します。図19bはフレーム内で周波数が変化する例です。

HiperLAN/2と将来の802.11には、動的周波数選択の要件が規定されます。これによりWLANシステムは、レーダの存在に適応できるようになります。HiperLAN/2の場合、搬送波は1ms以内に切り替わる必要があります。

IEEE 802.11bでは、チャンネル・アジリティ・オプションが認められています。この動作は必須ではありません。必要なセトリング時間の指標は、動作チャンネル周波数が最終値から±60kHz以内に落ち着くまでの時間で、224 μ s以下です。

3.6 トランスミッタ・ビット・エラー およびパケット・エラー・レート

これまで説明してきた変調テストには、広帯域の測定機器が必要です。トランスミッタ・テストのもう1つの方法として、既知のゴールデン基準レシーバを使ってパケット・エラー・レート(PER)またはビット・エラー・レート(BER)をテストする方法があります。このテストは簡単で便利ですが、いくつか重大な制限があります。

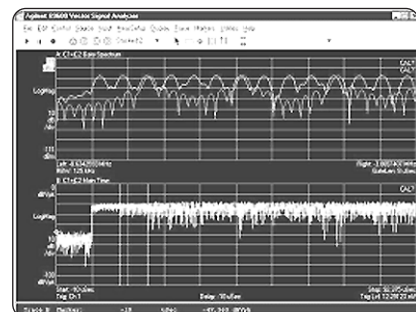


図19b：
フレーム内での周波数変化

- 結果はレシーバのアナログ回路の性能に依存しますが、これは低コストのハードウェアでは再現が困難です。
- 結果はレシーバのデータ・リカバリ・アルゴリズム(ビタビなど)に依存しますが、これはデザインによって異なる可能性があります。
- パケット・エラーが発生することは、他のすべての性能マージンを使い切ったということです。これは性能低下を監視するよい方法とは言えません。

EVMやスペクトラムの測定の方が、トランスミッタ性能に関してはるかに豊富な情報を与えてくれます。このような理由で、このアプリケーション・ノートではトランスミッタのPER/BER測定に関しては詳しく説明しません。

4. タイミング・テスト

WLANシステムは時分割デュプレックス (TDD) なので、送信と受信との切替えが発生します。CCA (クリア・チャネル・アセスメント) を使うということは、状態間の遷移を厳密な管理の元に短時間で行う必要があることを示します。

個々のステーションは、最初は独自のタイミング基準を使用します。これは送信と受信の間隔を決めるために用いられます。ネットワーク内で有効に動作するためには、ステーションは互いにタイマを同期させる必要があります。これはアソシエーションに先立って行われ、ステーションがBSS内に留まる限り維持されます。

アナログ回路とベースバンド処理の間の相互作用はきわめて重要です。試験用機器を組み合わせることにより、2つのドメインの信号を同時に測定できます。オシロスコープまたはロジック・アナライザを使えば、複雑なトリガ構成を定義できます。図27 (21ページ) に、信号接続の例を示します。

4.1
パワー対時間

IEEE 802.11aではパワー対時間のテンプレートは規定されていませんが、これはあらゆる無線標準において重要な測定です。WLAN信号は変調帯域幅が広いため、スイッチングによるスペクトル・マスク異常は、立上がり時間がマイクロ秒以下の場合でも起こりにくくなっています。しかし、802.11aレシーバはバーストのわずか16 μ s分だけを使って入力信号に適應する必要があります。他の標準では、バーストの前に何が起きるかについて規定がないために問題が生じたこともあります。図20と21のプロットは、802.11bで相互運用性の問題を引き起こす2つの現象を示しています。

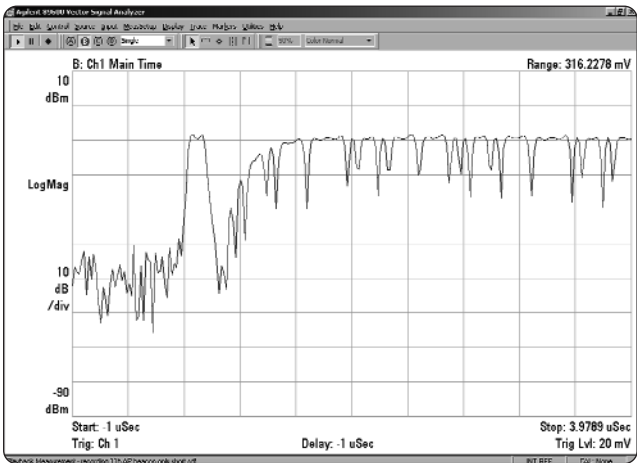


図20 :
IEEE 802.11b
デバイスでの
異常なランブ
条件の例

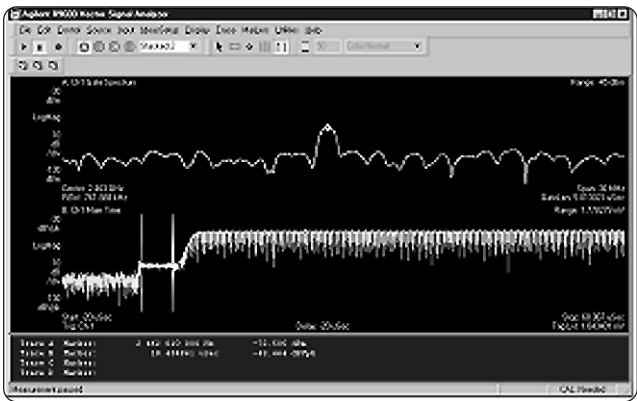


図21 :
IEEE 802.11b
デバイスでの
異常なランブ
条件の例

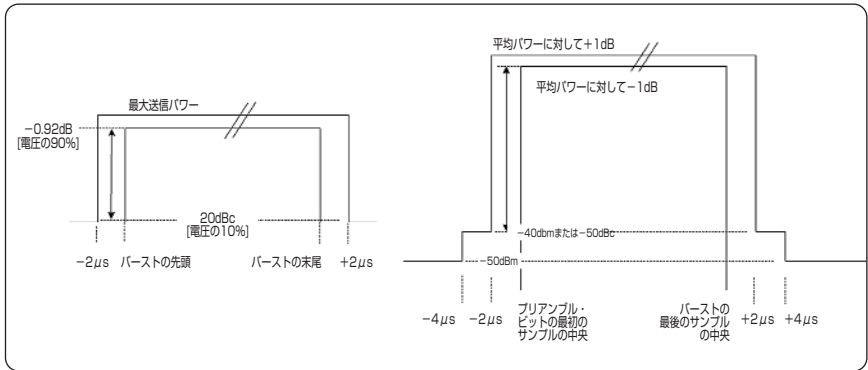


図22 :
802.11bおよびHiperLAN/2のパワー対時間マスク

図20では、短いパワー・バーストが主バーストの前に発生しています。図21では、バーストの先頭でRFレベルに明らかなステップが生じています。このデバイスを詳細に解析した結果、データ送信が始まる前にパワーアン

プがオンになっていたことがわかりました。

HiperLAN/2では、バーストの形状についてより明確な要件が定められています。図22にそれを示します。

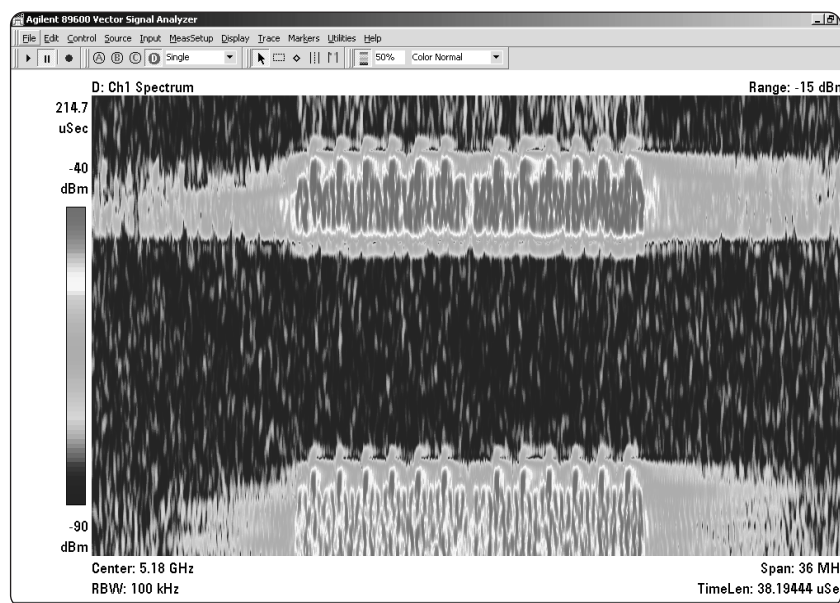


図23：
IEEE 802.11aフレームの先頭で搬送波を使用した場合の変化を示すスペクトログラム

4.2 スペクトログラム・テスト

スペクトログラム・テストは、複雑な信号の異常をすばやく発見する方法です。画面上で振幅がカラーまたはグレー・スケールで示されます。シグナル・アナライザでタイム・キャプチャを使用することにより、疑わしい信号をゆっくりと再生して、振幅、周波数、変調の遷移などを詳しく観察することができます。

このアプリケーション・ノートでは、スペクトログラム信号について詳しくは紹介しません。デモンストレーションについては、計測お客様窓口にお問い合わせいただくか、www.agilent.com/find/wlanをご覧ください。

4.3 トランスミッター-レシーバ、レシーバ-トランスミッター・ターンアラウンド・タイム

Tx-Rx、Rx-Txターンアラウンド・タイム・テストは、WLANシステムの動作にとって重要ですが、被試験デバイスに関する詳細な知識が必要で、内部のテスト・ポイントにアクセスできる必要もあります。CCA（クリア・チャンネル・アセスメント）テストのための機器構成を応用してこれらのテストを行うこともできます。

5. トランシーバ・スプリアス・テスト

高速デジタル回路を使用する場合、システムの全エミッションはアナログ効果とデジタル効果の組合わせになることが多くあります。このテストは、ここでは簡単に紹介するだけですが、長時間かかることが多く、測定構成に綿密な注意が必要です。名目上はデジタルの制御ラインでも、RF信号からのカップリングがある場合、予期しないアンテナとして動作することがあります。結果に予期しない変動がある場合、ケーブルにRF信号が入り込んでいることが珍しくありません。

トランシーバ測定には、帯域外スプリアス・エミッション・テストが含まれます。これらのテストは、WLAN無線機が規制のリミット内で動作していることを確認する役割を果たします。

エミッション・テストには、伝導と放射の2種類があります。伝導エミッションは、DUTが生成して、出力コネクタやデバイスが使用するケーブルを通過する不要な信号の指標です。

測定によっては、特殊な信号カップリング手法が必要な場合があります。

放射エミッションは、デバイスから発して外部アンテナで捕捉されるものです。公式のRFIテストでは、背景雑音を除くために無響室を使う場合があります。

機器を使用する地域によって、異なる標準が指定されています。米国では、FCC（アメリカ連邦電波管理委員会）標準のパート15.205、15.209、15.247、15.407が用いられます。欧州の国々では、ETSI（欧州通信標準化機構）のETS 300 328標準が用いられます。日本ではTELECが動作リミットを定めています。

スプリアス放射テストは、スペクトラム・アナライザを使って実行できます。CISPRのPublication 16に適合する必要があるテストでは、準ピーク・ディテクタを装備したEMCスペクトラム・アナライザが必要な場合があります。これらのテストについては、このアプリケーション・ノートでは扱いません。AgilentのEMC製品の詳細については、計測お客様窓口までお問い合わせください。

6. レシーバ測定

レシーバのデザインが難しいのは、予測が困難なものも含めて、さまざまな条件の入力信号を考慮しなければならぬからです。これが特に言えるのは、免許が不要な帯域で動作するものについてです。このアプリケーション・ノートでは、アプリケーション・エンジニアに必要なテストのうち一般的なもののだけを扱います。高度な方法の詳細については、付録BとEを参照してください。そのような方法の一例として、図24のように、ライブRF信号を記録して保存し、必要に応じて再生する方法があります。

特殊なテストの詳細については、計測お客様窓口までお問い合わせください。

6.1
テスト条件およびセットアップ

2つの基本的なレシーバ・テスト構成について以下に説明します。1つめはアナログ回路のみのテスト、2つめはレシーバ全体のテストです。

IEEE 802.11aおよび802.11bのテストは一般的に片方向の信号経路で行われますが、HiperLAN/2のデザインには信号ループバックのオプションを持つものがあります。これを使えば、返された信号を外部の試験用機器で復調し、独自にBER測定を行うことができます。

表6：
WLANレシーバ性能テストの一覧

IEEE参照番号	テスト	ペイロード	テスト構成
18.4.8.1 18.4.8.2 17.3.10.1 17.3.10.4	レシーバ最小入力感度 最大入力レベル 1000フレーム	PN9 (15) 11Mbps CCK PN9 (15) スクランプリング・オン	802.11b： 1024バイトPSDU、 -76dBm^1 、 -10dBm^2 802.11a： 1000バイトPSDU (表7参照) ¹ 、 -30dBm^2 HiperLAN/2： 54バイトPDU (表7参照) ¹ 、 -20dBm^2 (クラス1レシーバ)、 -30dBm^2 (クラス2レシーバ)
18.4.8.3	隣接チャネル除去	PN9 (15) 1000フレーム	802.11b： 帯域内の他のすべてのチャネルをテスト。 干渉信号 -35dBm 、必要信号 -70dBm 、最小値でテスト。 入力干渉信号は必要信号と非同期。
17.3.10.2			802.11a： レベルについては表8を参照。 干渉信号は必要信号と非同期。
17.3.10.3	802.11a 非隣接チャネル除去	PN9 (15) 1000フレーム	上に同じ。 帯域内の他のすべてのチャネルを、必要信号から20MHzの間隔でテスト。干渉信号は必要信号と非同期。
18.4.8.4 17.3.10.5	CCA (Clear Channel Assessment)		802.11b： 複数のテスト条件を適用。 802.11a： 1. 入力信号が -82dBm で、キャリア・センスの確率が(4 μs 以内で)90%を超える場合シグナル・ビジーを示す。 2. -62dBm を超えるすべての信号に対してシグナル・ビジーを示す。

¹ 入力感度 ² 最大入力レベル

片方向の信号経路の方が、データを返す必要がないためテストを高速にできる可能性があります。しかし、デバイス・メーカとシステム・インテグレータにかかる負担は大きくなります。測定のトリガとシーケンス設定には注意が必要です。信号源のレベルを変更すると、次の測定を開始するまでにセトリング時間が必要だからです。

6.2
ビット・エラー・レート
WLAN標準では、ビット・エラー・レート (BER) 測定について直接には言及していません。セルラ (ボイス) システムと異なり、WLANの伝送では保護されないビットが送信されることは通常ありません。もちろん、ビット・エラーからはパケット・エ

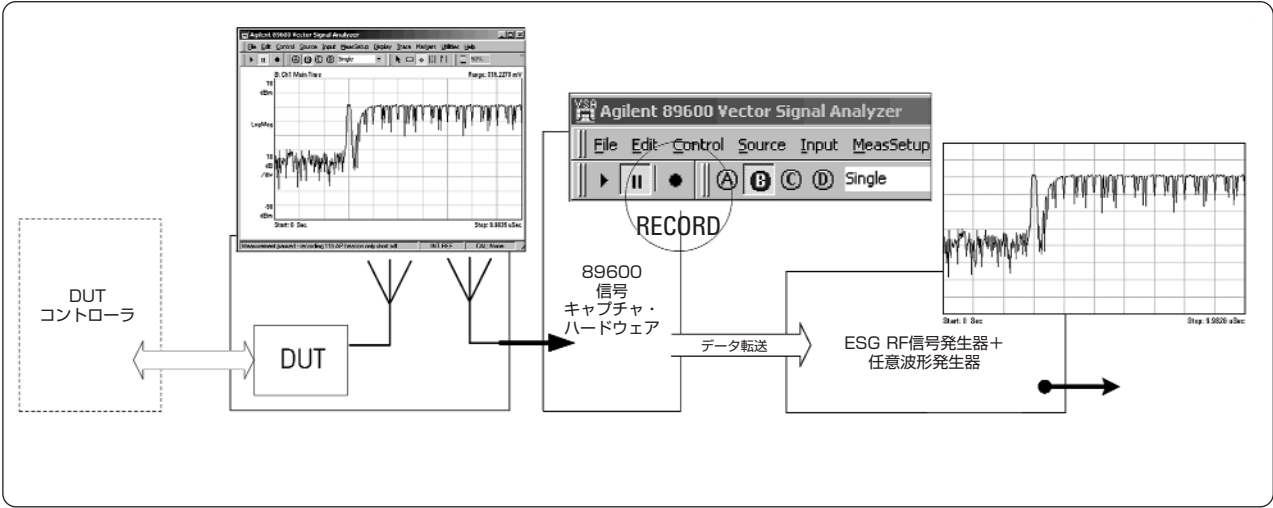


図24：
Agilent 89600ベクトル・シグナル・アナライザ
およびESGを使った疑わしい信号の記録／再生

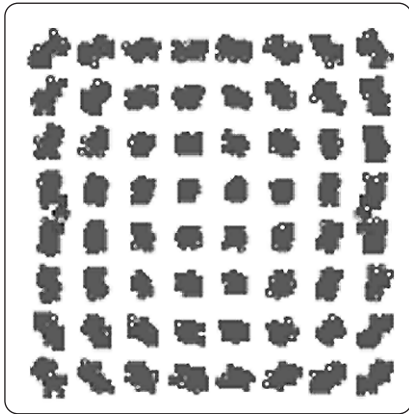


図25：
ビット・エラー発生時のIQコンスタレーション

ラーが生じるので、パケットが長いほど、信号伝搬経路の品質が低い場合にパケットが正しく復元される確率は低下します。

6.2.1 ビット・エラーとRF

レシーバがディジション・ポイントに到達したときに、信号ベクトルがIQ平面上の正しい位置にない場合に、ビット・エラーが発生します。コンスタレーションが歪む原因は数多くあり、その一部についてはセクション3.5のトランスミッタ変調テストで説明しています。図25に示すIQコンスタレーションは、EVMが5%の信号を表し、ビット・エラーが発生しています。実際のBERは、歪みの種類に依存します。

変調エラーとビット・エラーの間の相関は、複数の搬送波 (OFDM) が用いられる場合はさらに複雑になります。ここで扱っているWLAN標準はすべて、S/N比 (ビットあたりのエネルギー/ノイズ、すなわち E_b/N_o) が低いために発生するビット・エラーの確率を下げる方法を採用しています。IEEE 802.11bの場合はスペクトラム拡散、802.11aの場合はフォワード・エラー訂正が用いられます。

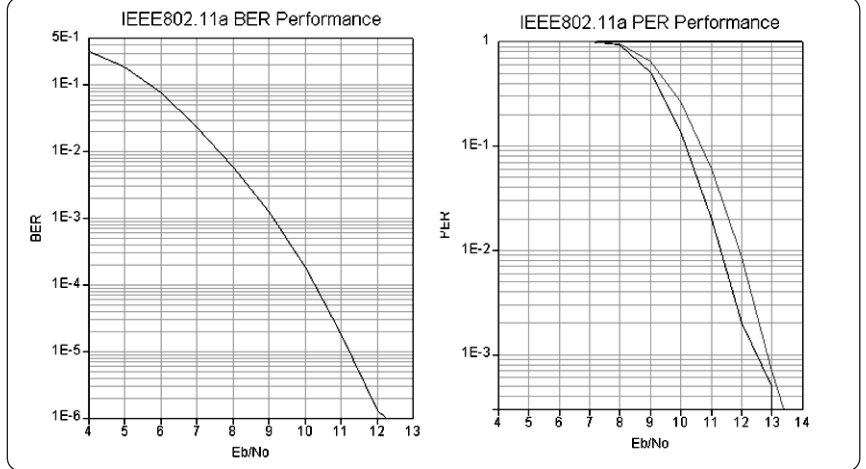


図26：
入力レベルに対するBERおよびPERの変化を示すプロット。
1024バイト・ペイロード、24Mbps。

ビタビなどのDSPアルゴリズムは、レシーバ性能を改善する効果があります。これは、短いデータの履歴を使って、最も可能性の高い送信内容を推測するものです。これによりDSPは、実際に受信した生のビットと、計算で求めた正しいビットとの差を知ることができます。この訂正プロセスの副産物として、信号品質に関する情報も得られます。

この種の手法の結果として、ビット・エラー測定はRF信号レベルにきわめて強く依存します。図26に示すように、 E_b/N_o の低下とともにビット・エラーとパケット・エラーは急速に悪化します。これらのプロットは、Agilentアドバンスド・デザイン・システム・ソフトウェアで生成したものです。

6.2.2 ビット・エラー対パケット・エラー

ビット・エラー・レート測定をWLANシステムに対して実行することは可能で、パケット・エラー・レートよりも早く性能指標を得られる場合があります。図27 (21ページ) のテスト構成が用いられます。代表的なセットアップとしては、1024バイトのペイロードを持つ繰返しフレームで、PN9またはPN15のシーケンスを使用します。スクランブルはオンにしておきます。ペンダの (専用) ソフトウェアがビット・パターンを復元し、PNシーケンスに同期させます。デコードされたデータ、クロック、フレ

ーム信号をベースバンド回路から供給できる場合、Agilent ESGだけを使ってこのBERテストを実行できます。

実際のテストでは、信号レベルを注意深く設定しないと再現性のある測定結果は得られません。

テスト信号源の変調器の性能も、PER測定結果に影響する場合があります。通常は、高品質のテスト信号源を用いることにより、この変数を除去します。必要なら意図的に信号を劣化させることもできます。

6.3 レシーバEVM測定

レシーバのダウンコンバージョンの出力をアナログ測定することにより、復元された信号の劣化についてBERやPERよりもはるかに多くの情報が得られます。セクション3.5のトランスミッタ変調測定で説明したのと同じ方法が使用できます。Agilent 89600ベクトル・シグナル・アナライザのいくつかのオプションは、RF信号がDCにダウンコンバートされる状況で使用できるように設計されています。

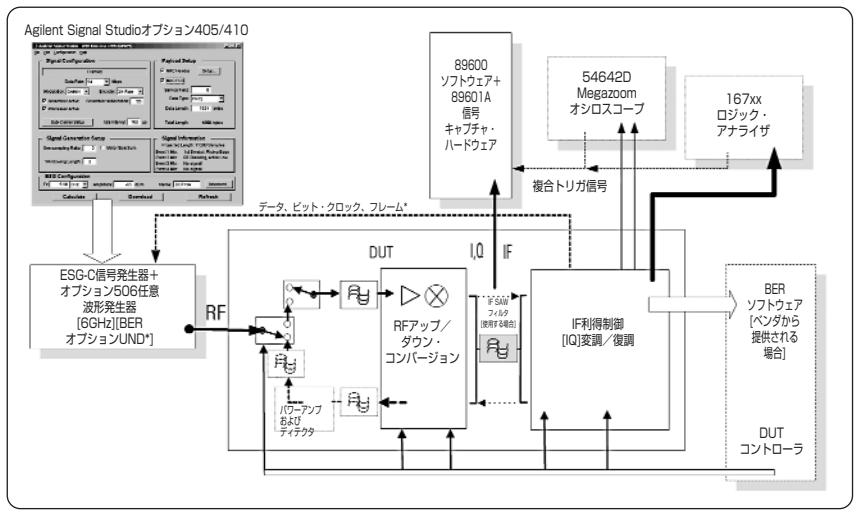


図27 :
アナログのみのレシーバ測定経路のダイアグラム

図27にこのテストのための構成を示します。この種の測定の詳細に関しては、計測お客様窓口までお問い合わせください。

6.4 フレーム・エラー・レート、 パケット・エラー・レート

WLANシステムは、明示的な確認応答 (ACK) に基づいて動作します。送信されたフレームには、ビット・エラーが発生したかどうかをレシーバが判定するための特別なデータが含まれています。この役割を果たすのが、CRC (巡回冗長検査) とFCS (フレーム・チェック・シーケンス) です。レシーバは、復元したペイロード・データを使って、送信側と正確に同じアルゴリズムでCRCを計算します。計算したCRCを受信したCRCと比較し、違いがあれば、ペイロード・データに少なくとも1個のビット・エラーが発生したことがわかります。この場合、ACKフレームは送信されません。CRC自体はエラーから保護されているので、フレームのデータ内容の品質が極端に悪くない限り、ビット・エラーが発生することはありません。

フレーム・エラー・レート (802.11b) とパケット・エラー・レート (802.11a) は、同じ測定構成が用いられます。図28に必要な接続を示します。

テストの実際の操作は、レシーバ測定に用いられるソフトウェアによって異なります。

IEEE 802.11bのテストではフレーム・エラー・レート (FER) という用語を使います。この測定は、CRCによる障害検出に基づいています。802.11bでは、ヘッダとペイロードの両方にCRCが用いられます。

FERは次のように定義されます。

$$\left(1 - \frac{\text{正常に受信されたフレーム数}}{\text{送信フレーム数}}\right) * 100\%$$

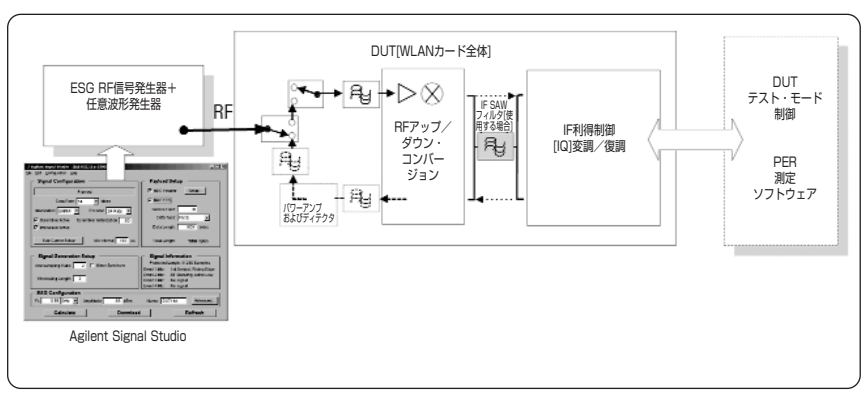


図28 :
レシーバ測定経路全体のダイアグラム

通常の動作では、CRCが正しい場合だけ受信側ステーションからACKパケットが送信されます。送信側ステーションがACK信号自体を正しく受け取れない可能性もあります。このため、リトライ・フィールドを1に設定することにより、再送や隣接フレームのその他の変化を表すことにしています。

セクション1.5.3で説明したように、通常の動作では、ACKパケットが到着しない場合にランダム・バックオフ間隔が用いられることがあります。この機能はテスト・シーケンスで問題を生じるおそれがあるので、テストの際には適当なテスト・モードによって無効にする必要があります。

同様に再送要求も、信号源が対応できない場合に問題を生じる可能性があります。この場合も、適当なテスト・モードによってこの機能を無効にしておく必要があります。

HiperLAN/2およびIEEE 802.11aにもフレーム・ベースのレシーバ性能テストがあり、パケット・エラー・レート (PER) と呼ばれています。802.11bのフレーム・エラー・レートと異なり、CRCは用いられませんが、ユーザ・データの後にフレーム・チェック・シーケンスがあり、これを使ってレシーバはデータが破損したかどうかを判定します。FER/PER測定値は、レシーバがフレームを全く検出しない場合には小さくなります。使用するテスト・ソフトウェアには、送信されたフレーム数を知るための機能が必要です。

6.5
最小入力感度、最大入力レベル

このテストは、図28の記述と構成に基づいて行われます。各標準の許容リミットを表7に示します。

表7：レシーバ感度の標準

データ・レート Mbps	感度レベルdBm	
	HiperLAN/2	802.11a
	PER <10%	
6	-85	-82
9	-85	-82
12	-85	-82
18	-85	-82
24	-85	-82
36	-85	-82
48	-85	-82
54	-85	-82
	802.11b, FER <8%	
11	-76	

6.6
隣接チャンネル、非隣接チャンネル除去

これらのテストは、同じ帯域の他のWLAN信号にレシーバが対処できることを検証します。図29にテスト構成を示します。RFアイソレータは、1つの信号源の高レベル信号のために、もう1つの信号源に相互変調成分が生じないようにする役割を果たします。両方の信号発生器で40dB以上の内部減衰が用いられる場合は、アイソレータが必要ない場合があります。

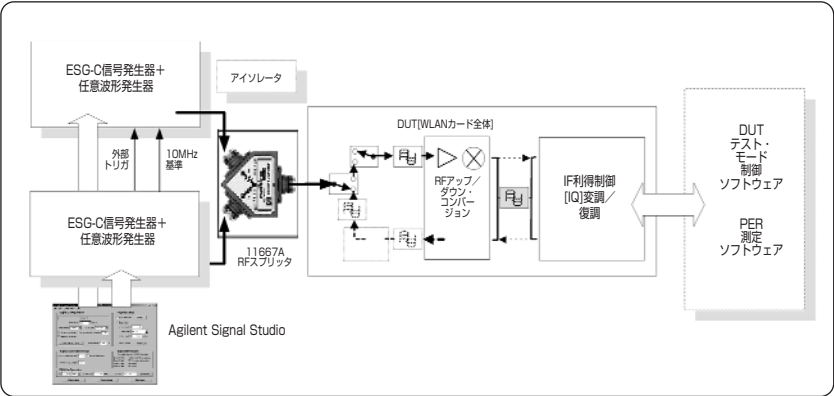


図29：
レシーバ隣接チャンネル・テストおよびブロッキング・テストのためのテスト構成

IEEE 802.11では、干渉源が目的の信号と同期してはならないと明示的に定めています。その理由の1つは、ZIF（ゼロ中間周波数）レシーバが、目的の信号フレームの中央で発生するRFバーストの影響にどのように対処するかをテストするためです。目的の信号と干渉信号のタイミング／周波数関係を1つに定めることは困難です。干渉源に対して短いアイドル期間を選ぶのが1つの方法です。デザインの段階では、テスト構成で2つの信号源の基準周波数をロックし、干渉源に対して外部トリガを使用することをお勧めします。トリガ遅延機能を使って、フレームのタイミングを調整します。遅延をフレーム周期まで段階的に変化させることで、デザインの問題が明らかになるはずです。WLANデバイスの動作リミットの範囲内で、干渉源に周波数オフセットを指定することもできます。

これらの手法を組み合わせることで、テストの再現性が向上します。

表8：
レシーバ隣接チャンネル・テストのリミット

データ・レート Mbps	隣接 チャンネル 除去 (dB)	非隣接 チャンネル 除去 (dB)
802.11a		
6	16	32
9	15	31
12	13	29
18	11	27
24	8	24
36	4	20
48	0	16
54	-1	15
802.11b		
11	35	

6.7
HiperLAN/2レシーバの
ブロッキング性能

ブロッキング・テストは、WLANシステム外部の信号が存在する条件下でのレシーバの性能を調べることを目的としたものです。この種のテストを仕様で定めているのはHiperLAN/2だけです。ライセンス不要の周波数帯域で動作するシステムの場合、何らかの形でブロッキング・テストを実行しておく方がよいでしょう。少なくとも、これによって個々のデザインの問題が発見される可能性があります。

テスト構成は隣接チャンネル除去テストの場合と似ています。必要な場合、信号源を高い周波数に対応したものに置き換えます。

表9：HiperLAN/2のブロッキング信号のリミット

ブロッキング信号の 周波数レンジ	テスト・リミット (dBm)
0.1→2500MHz	0
2.5→4.5GHz	-10
4.5→5.15GHz	-30
5.15GHz→F _C -50MHz	-30
F _C +50MHz→5.35GHz	-30
5.35→5.47GHz	-30
5.47GHz→F _C -50MHz	-30
F _C +50MHz→5.725GHz	-30
5.725→7GHz	-30
7→13GHz	-20

注記：表9のF_Cは、被試験デバイスの動作周波数です。2.4GHz ISM帯域のテストでは、802.11bデバイスの動作に合わせて調整が必要です。

6.8
CCA(クリア・チャネル・アセスメント)、RSSI

CCAの検出時間は、802.11aで4μs未満、802.11bで25μs(5μs+MACスロット1個分の長さ)未満と定められています。キャリア・センス信号にアクセスできる必要があります。信号発生器からオシロスコープをトリガすることによってテストを実行できます。図30に適切な接続ポイントを示します。

RSSI(受信信号強度指標)は、プリアンプルの間に測定されます。性能に関する唯一の規定は、単調であることです。結果はレシーバのMACプロセッサだけに報告され、信号の送信側には報告されません。RSSIは、エンド・ユーザ・ソフトウェアにおいて、システム構成に役立つように信号強度のグラフを表示するために多く用いられます。

CCAを初め、WLANデバイスの動作にとって重要なレシーバ特性のいくつかは複雑で、デバイスのメーカーから適切なソフトウェアが提供されなければ測定が困難です。

欧州の動的周波数選択要件に対応するには、さらに別のレシーバ・テストが必要になる可能性があります。いくつかのレーダ・システムは5 GHz帯域より上で動作します。

HiperLAN/2にもRSSI測定の要件があります。値は0(−91dBm)〜62(>−20dBm)の範囲で、レシーバによって記録され、アクセス・ポイントに送信されて、システムの送信パワー管理に用いられます。

7. 電源測定

あらゆる機器デザインは、たとえ仕様で要求されていなくても、電源電圧の両極端でテストすべきです。動作リミットはホスト・デバイスから課される条件によって違い、PCと複合携帯電話とは異なります。

その他の電源測定からも、役に立つ情報が得られる場合があります。例としては、デバイスの動作状態と消費電流との関係が挙げられます。レシーバ・パワー管理(RPM)が仕様に含まれているのは、リスニング時の消費電流が送信時に似ているからです。レシーバのアクティブ周期のタイミングを注意深く設定する必要があります。発振器とデジタル回路がオフになっている時間が長いほど、電池寿命は長くなります。

無線送信または受信のタイミングを基準として電源電流を監視することは、ファームウェアとハードウェアが期待したように協調して働いているかどうかを知るために役立ちます。また、ファームウェア・アップデートの前後の結果を比較することにより、予期しない変化が起きていないことを簡単に確認することもできます。バッテリー・エミュレーションを使えば、現実的な条件下でDUTに対する再現性のあるテストを実行できます。

Agilentでは、これらのテストに使用できるDC電源の豊富なラインナップを揃えています。汎用の測定器から、特に移動体通信のニーズに合わせた測定器までが用意されています。これらのDC電圧源には低電流測定機能もあるので、スタンバイ動作時の電池消費を評価するのに役立ちます。

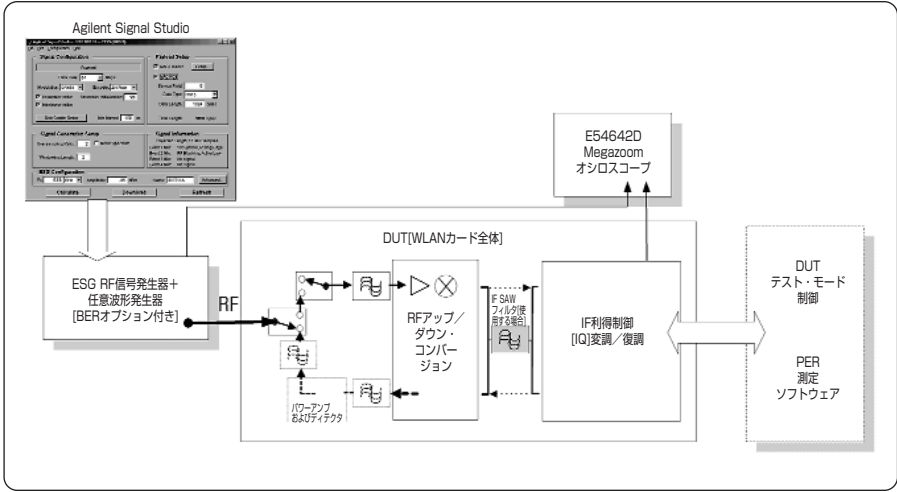


図30 :
CCAテストのためのテスト構成

付録A：Agilentの無線LANソリューション

Agilentの無線LAN PHYレイヤ (RF) テスト用機器

- 全測定機能を装備
- ◆ 一部の測定に制限あり

IEEE 802.11 RFレイヤ・テスト	IEEE 参照番号	89600シリーズ・ ベクトル・シグナル・ アナライザ	PSA、ESAシリーズ・ スペクトラム・アナライザ	ESG-Dシリーズ 信号発生器	EPM-Pシリーズ・ パワー・メータ
トランスミッタ・テスト					
出力パワー	18.4.7.1.2 17.3.9.1	●	◆ ¹		● ²
パワーの立上がり／立下がり	18.4.7.6	●			
スペクトル・マスク	18.4.7.3 17.3.9.2	◆	●		
搬送波抑圧	18.4.7.7	●	●		
中心周波数リーケージ	17.3.9.6.1	●			
スペクトラム・フラットネス	17.3.9.6.2	●	◆		
送信スプリアス	18.4.6.8	◆	●		
中心周波数の許容範囲	17.3.9.4 18.4.7.4.5	●	◆		
シンボル・クロック周波数の許容範囲	17.3.9.5	●	◆		
コンスタレーション・エラー	17.3.9.6.3	●			
エラー・ベクトル振幅	18.4.7.8	●			
トランシーバ・テスト					
帯域外スプリアス・エミッション	17.3.8.4 18.4.6.9		●		
レシーバ・テスト					
感度	18.4.8.1 17.3.10.1			●	
最大入力レベル	18.4.8.2 17.3.10.4			●	
隣接チャネル除去	18.4.8.3 17.3.10.2			● ³	
非隣接チャネル除去	17.3.10.3			● ³	
CCA (クリア・チャネル・ アセスメント)	18.4.8.4 17.3.10.5			●	

¹ チャンネル・パワー測定は平均送信パワーを示します。
² 温度センサでは真のパワー実効値が測定されます。ピーク・ディテクタでは、OFDM/変調を使用した場合にピーク／平均比が実際よりも低く測定されます。
³ 別の信号源を干渉源として使用します。CW干渉（ブロッキング・テスト用）はAgilent E8241Aマイクロ波信号発生器で生成できます。

WLAN機能を持つ
試験用機器

1. ベクトル・シグナル・アナライザ、89600シリーズ

用途が広く正確な信号解析機能、802.11aターボ・モードで36MHzの捕捉帯域幅。IEEE 802.11のトランスミッタおよびレシーバ・チェーンの詳細な解析。802.11aフォーマットを自動検出、復調。IEEE 802.11aのOFDM信号に対して、EVM対時間やEVM対副搬送波などの変調品質解析が可能。

802.11a用の推奨構成：

89641A、DC～6GHzチューナ付き
オプションAYA/B7R：ベクトル信号解析およびOFDM復調
オプション105：EESof/ADSダイナミック・リンク

2. 信号発生器、ESG-Dシリーズ (3-4GHz)、E4438C、Signal Studio付き

トランスミッタおよびコンポーネント・テストのためのIEEE 802.11信号の生成、レシーバPERテストのためのフォーマット済みパケットの送信、MACまたはアナログ回路への直接入力のためのベースバンド信号の生成。

802.11a、b用の推奨構成：

E4438C、Signal Studio付き
オプション410：IEEE 802.11a
オプション405：IEEE 802.11b
オプション506：6GHz動作
オプションUNJ：位相雑音性能の向上
オプション002：内部ベースバンド・ジェネレータ
オプション005：6Gバイト・ハードディスク
オプションUN7：内蔵BERテスト（測定機能はベンダのテスト構成に依存）

3. スペクトラム・アナライザ、PSA (6.7～50GHz)およびESA-Aシリーズ

1ボタン自動テスト実行によるスペクトル掃引トランスミッタ測定。広範囲のスペクトル測定を実行。

推奨構成：

E4440A PSA、26.5GHz
オプションH70：70MHz IF、89611A VSAと組み合わせて使用

4. EPM-Pパワー・メータ、8482A 温度センサ、E9327ピーク・パワー・センサ

温度センサは、正確な平均パワー測定が可能。ピーク・パワー・センサは、フレームド信号の測定と観察に使用。

5. シミュレーション・ソフトウェア、ADS+E8874A WLANデザイン・ガイド

カスタムWLANシステムのデザインとシミュレーションのための基本的なソフトウェア・ツール。定義済みのWLANコンポーネント・モデルによりシミュレーション・プロセスを高速化。ESG-Dおよび89600シリーズとリンク可能。

その他の試験用機器

1. RFシールド・カバー

外部環境からの干渉を防いで再現性のあるRF測定を実現。

2. DC電源、66319、66321 B/D

高速なプログラマブル・ダイナミックDC電源、バッテリー・エミュレーション機能付き。

3. ロジック・アナライザ 1680/1690シリーズ

デジタル・ハードウェアのデザインと検証のための包括的なシステム・レベル・デバッグ機能。

4. ロジック・アナライザ 16700シリーズ

マルチプロセッサ／バス・デザインのための包括的なシステム・レベル・デバッグ機能を提供。E5904B+エミュレーション・トレース・マクロセル・ポートを使ってARMプロセッサのトリガが可能。

5. ミックスド・シグナル・オシロスコープ 54600シリーズ

IEEE 802.11ベースバンド信号の検証とデバッグに使用。

6. ネットワーク・アナライザ 8753Eシリーズ

アンテナのVSWRや、PA、LNA、RFスイッチの性能の測定に使用。

7. ファンクション・ジェネレータ、33250A、80MHzファンクション／任意波形

クロック信号およびノイズの生成、またはオシロスコープと組み合わせてベースバンド波形の再現に使用。

アクセサリ

1. オシロスコープ・プローブ 54006A

超低容量 (0.25pF) のパッシブ・プローブ。

2. 近磁界プローブ 11940A

1GHzまでの磁界放射を測定。

3. スプリッタ 11667A

比測定や等パワー分割に使用。

4. 方向性結合器 773D

2台のIEEE 802.11デバイスをケーブルでつないだ状態で1つのRF波形 (2～18GHz) をモニタするために使用。

5. デュアル方向性結合器 772D

2台のIEEE 802.11デバイスをケーブルでつないだ状態で両方のRF波形 (2～18GHz) をモニタするために使用。

付録B：推奨文献

ウェブ・リンク：

1. AgilentのWLANアプリケーションおよび製品情報：
<http://www.agilent.com/find/wlan/>

2. Agilentウェブ・トレーニング：
www.agilent.com/find/education

- Measurement Challenges for OFDM Systems、ENENアーカイブ、2001年9月18日
- Wireless LAN—A Unified Physical Layer Design and Measurement Environment、ENENアーカイブ、2002年3月6日

3. IEEE 802.11ホームページ：
<http://www.ieee802.org/11/>

4. WECAホームページ：
<http://www.wirelessethernet.org/>

5. ETSIテクニカル・ホームページ
<http://www.etsi.org/technicalfocus/home.htm>

デモ・ソフトウェア：

1. Agilent 89600デモ・ソフトウェアCDまたはダウンロードで提供 (95Mバイト)

2. Agilent Signal Studioソフトウェアダウンロードで提供 (6.5Mバイト)

Application Note：

1. 無線LAN 製品のRFテスト、Application Note 1380-1、カタログ番号5988-3762JA
2. 8つのヒント アナログRF信号発生器によるより優れた測定、Application Note 1306-1、カタログ番号5967-5661J
3. スペクトラム・アナライザ測定を成功させる8つのヒント、Application Note 1286-1、カタログ番号5965-7009J

4. Spectrum Analysis、Application Note 150、カタログ番号5952-0292

5. デジタルRF受信機デザインのテストおよびトラブルシューティング、Application Note 1314、カタログ番号5968-3579J

6. デジタルRF送信機デザインのテストおよびトラブルシューティング、Application Note 1313、カタログ番号5968-3578J

論文：

1. The Design and Verification of IEEE 802.11a 5GHz Wireless LAN Systems、Agilent論文、ウェブのみ
<http://www.chipcenter.com/networking/technote019.html>

Product Overview：

1. Bluetooth & 無線LAN テスト製品システムサービス、カタログ番号5988-4438JA
2. Agilent EPM-P Series Single and Dual-Channel Power Meters Demo Guide、カタログ番号5988-1605EN

Product Note：

1. Agilent 89600 シリーズ超広帯域ベクトル・シグナル・アナライザ、カタログ番号5980-0723J
2. Agilent 89640A ベクトル・シグナル・アナライザ Technical Specifications、カタログ番号5980-1258J
3. デジタルRF通信システム開発におけるベクトル変調解析の応用、Product Note 89400-8、カタログ番号5091-8687J

4. パーフェクトなデジタル復調測定のための10ステップ、カタログ番号5966-0444J

5. 802.11a WLAN Signal Studio Software, Option 410 for the E4438C ESG Signal Generator、カタログ番号5988-5765EN.

6. 802.11b WLAN Signal Studio Software, Option 405 for the E4438C ESG Signal Generator、カタログ番号5988-5766EN.

7. ESG-DシリーズのオプションUN8リアルタイム I/Qベースバンド・ジェネレータによるデジタル変調のカスタマイズ、Option UN8、カタログ番号5966-4096J

8. デジタル変調に対する、データの生成とESG-D RF信号発生器へのダウンロード、カタログ番号5966-1010J

9. Generating Digital Modulation with the Agilent ESG-D Series Dual Arbitrary Waveform Generator, Option UND、カタログ番号5966-4097E

付録C：用語集

確認応答 (ACK)：

レシーバがフレームを正しくデコードできたときに送信する短いフレーム。

ビーコン：

ステーションが動作範囲内に他のデバイスがあるかどうかを確認するために定期的に行うRF送信。ビーコンは大きなタイミング調整にも用いられます。

CSMA/CA (衝突防止付きキャリア・センス多元接続)：

802.11デバイスが送信する前に他のRF信号をリスンする動作を表す用語。

隠れノード：

他のステーションがCSMA/CAプロセスでリスンするときに直接聞こえないステーション。

媒体アクセス制御 (MAC)：

有線LANの伝送をRFリンクでの送信に適合させるソフトウェア機能。

ネットワーク・アロケーション・ベクトル：

各ステーションが送信までどれだけ待つべきかを知るために用いられるタイミング変数。

ステーション：

アクセス・ポイントまたは、ホスト・デバイスとRFリンクとの間のインタフェースとなるネットワーク・インタフェース・カード。

付録D：記号と略語

ACK	Acknowledgement (確認応答)
ADS	Advanced Design System (アドバンスド・デザイン・システム)
AP	Access Point (アクセス・ポイント)
BER	Bit Error Rate (ビット・エラー・レート)
BPS	Bits Per Second (ビット/s)
BPSK	Binary Phase Shift Keying (バイナリ位相シフト・キーイング)
BRAN	Broadband Radio Access Network (広帯域無線アクセス・ネットワーク)
BSS	(Infrastructure) Basic Service Set ((インフラストラクチャ)ベーシック・サービス・セット)
CCA	Clear Channel Assessment (空きチャネル・アクセスメント)
CCDF	Complementary Cumulative Distribution Function (相補累積分布関数)
CCK	Complementary Code Keying (相補コード・キーイング)
CRC	Cyclic Redundancy Check (巡回冗長検査)
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (衝突防止付きキャリア・センス多元接続)
CTS	Clear To Transmit (送信可)
CW	Continuous Wave (連続波)
DCF	Distributed Coordination Function(分散協調機能)
DFS	Dynamic Frequency Selection (動的周波数選択)
DIFS	Distributed (Coordination Function) Interframe Space (分散 (協調機能) フレーム間隔)
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying (差分直交位相シフト・キーイング)
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum (直接シーケンス・スペクトラム拡散)
DUT	Device Under Test (被試験デバイス)
ED	Energy Detect (エネルギー検出)
EFS	Extended Frame Space(拡張フレーム・スペース)
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power (実効等方放射電力)
ESG	(Electronic) Signal Generator (電子式) 信号発生器
ESS	Extended Service Set (拡張サービス・セット)
ETSI	European Technical Standards Institute (欧州通信標準化機構)
EVM	Error Vector Magnitude (エラー・ベクトル振幅)
FCS	Frame Check Sequence (フレーム・チェック・シーケンス)
FER	Frame Error Rate (フレーム・エラー・レート)
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum (周波数ホッピング・スペクトラム拡散)
HiperLAN	High Performance Local Area Network (高性能ローカル・エリア・ネットワーク)
HiSWAN	High Speed Wireless Access Network (高速無線アクセス・ネットワーク)
IBSS	Independent Basic Service Set (独立基本サービス・セット)
IF	Intermediate Frequency (中間周波数)
ISM	Industrial, Scientific, and Medical (産業、科学、医療帯域)
LLC	Logical Link Control (論理リンク制御)
LO	Local Oscillator (局部発振器)
MAC	Medium Access Control (媒体アクセス制御)
MT	Mobile Terminal (移動端末)
NIC	Network Interface Card (ネットワーク・インタフェース・カード)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (直交周波数分割多重通信)
PBCC	Packet Binary Convolutional Coding (パケット・バイナリ・コンボリュショナル・コーディング)

PDU	Protocol Data Unit (プロトコル・データ・ユニット)
PER	Packet Error Rate (パケット・エラー・レート)
PHY	Physical (layer) (物理 (レイヤ))
PIFS	Priority Interframe Space (プライオリティ・フレーム間隔)
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol (物理レイヤ・コンバージェンス・プロトコル)
PLL	Phase Locked Loop (フェーズ・ロック・ループ)
PMD	Physical Medium Dependent (物理媒体依存)
PN9,15	Pseudo Random Number (疑似乱数)
PSDU	PLCP Service Data Unit (PLCPサービス・データ・ユニット)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (直交振幅変調)
RBW	Resolution Bandwidth (分解能帯域幅)
RSSO	Receive Signal Strength 0 (受信信号強度0)
RSSI	Receive Signal Strength Indication (受信信号強度指標)
RTS	Ready To Send (送信準備完了)
RX	Receiver (レシーバ)
SAW	Surface Acoustic Wave (Filter) (表面弾性波 (フィルタ))
SIFS	Short Interframe Space (ショート・フレーム間隔)
STA	Station (HiperLAN/2で) (ステーション)
TDD	Time Division Duplex (時分割デュプレックス)
TPC	Transmit Power Control (送信パワー制御)
TX	Transmitter (トランスミッタ)
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure (米国の免許不要無線帯域)
VBW	Video Bandwidth (ビデオ帯域幅)
VCO	Voltage Control Interface (電圧制御インタフェース)
VSA	Vector Signal Analyzer (ベクトル・シグナル・アナライザ)
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio (電圧定在波比)
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance (無線LANの互換性確保のための業界団体)
WLAN	Wireless Local Area Network (無線ローカル・エリア・ネットワーク)

付録E：参考文献

- Supplement to IEEE Standard for Information Technology, IEEE Std 802.11a-1999 (IEEE Std 802.11-1999)に対する補足)
- Higher Speed Physical Layer in the 2.4GHz Band, IEEE Std 802.11b/D8.0, Sept 2001 (IEEE Std 802.11-1999に対する補足草案)
- Broadband Radio Access Networks (BRAN) ; HiperLAN Type 2; Physical Layer ETSI TS 101 475 V1.1.1(2000-04)

サポート、サービス、およびアシスタンス

アジレント・テクノロジーが、サービスおよびサポートにおいてお約束できることは明確です。リスクを最小限に抑え、さまざまな問題の解決を図りながら、お客様の利益を最大限に高めることにあります。アジレント・テクノロジーは、お客様が納得できる計測機能の提供、お客様のニーズに応じたサポート体制の確立に努めています。アジレント・テクノロジーの多種多様なサポート・リソースとサービスを利用すれば、用途に合ったアジレント・テクノロジーの製品を選択し、製品を十分に活用することができます。アジレント・テクノロジーのすべての測定器およびシステムには、グローバル保証が付いています。製品の製造終了後、最低5年間はサポートを提供します。アジレント・テクノロジーのサポート政策全体を貫く2つの理念が、「アジレント・テクノロジーのプロミス」と「お客様のアドバンテージ」です。

アジレント・テクノロジーのプロミス

お客様が新たに製品の購入をお考えの時、アジレント・テクノロジーの経験豊富なテスト・エンジニアが現実的な性能や実用的な製品の推奨を含む製品情報をお届けします。お客様がアジレント・テクノロジーの製品をお使いになる時、アジレント・テクノロジーは製品が約束どおりの性能を発揮することを保証します。それらは以下のようなことです。

- 機器が正しく動作するか動作確認を行います。
- 機器操作のサポートを行います。
- データシートに載っている基本的な測定に係わるアシストを提供します。
- セルフヘルプ・ツールの提供。
- 世界中のアジレント・テクノロジー・サービス・センタでサービスが受けられるグローバル保証。

お客様のアドバンテージ

お客様は、アジレント・テクノロジーが提供する多様な専門的テストおよび測定サービスを利用することができます。こうしたサービスは、お客様それぞれの技術的ニーズおよびビジネス・ニーズに応じて購入することが可能です。お客様は、設計、システム統合、プロジェクト管理、その他の専門的なサービスのほか、校正、追加料金によるアップグレード、保証期間終了後の修理、オンサイトの教育およびトレーニングなどのサービスを購入することにより、問題を効率的に解決して、市場のきびしい競争に勝ち抜くことができます。世界各地の経験豊富なアジレント・テクノロジーのエンジニアが、お客様の生産性の向上、設備投資の回収率の最大化、製品の測定精度の維持をお手伝いします。



電子計測UPDATE

www.agilent.com/find/emailupdates-Japan

無料の電子メール情報

Agilentからの最新情報を記載した電子メールを無料でお送りします。ご購入いただいた方には、選択された分野に関する最新情報を定期的にお届けします。対象となる分野は、サポート、製品とサービス、アプリケーション、プロモーション、イベント、その他です。購読の中止や選択分野の変更も簡単にできます。

購読申込みはこちらから：<http://www.agilent.com/find/emailupdates-Japan>

Agilentは皆様のプライバシーを尊重し、保護することをお約束します。皆様に対する当社のお約束の内容は、<http://www.agilent.com/go/privacy>にある当社のプライバシー・ステートメントに記載されています。Agilentのプライバシー方針に関するご質問はprivacy_advocate@agilent.comまでお寄せください。

アジレント・テクノロジー株式会社

本社 〒192-8510 東京都八王子市高倉町9-1

計測
お客様窓口

受付時間 9:00～19:00
(12:00～13:00も受付中)
※土・日・祭日を除く

FAX、E-mail、Webは24時間受け付けています。

TEL ☎ 0120-421-345
(0426-56-7832)

FAX ☎ 0120-421-678
(0426-56-7840)

E-mail: contact_japan@agilent.com

電子計測ホームページ

<http://www.agilent.co.jp/find/tm>

- 記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

Copyright 2002

アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

Aug 19, 2002
5988-5411JA
0000-00DEP