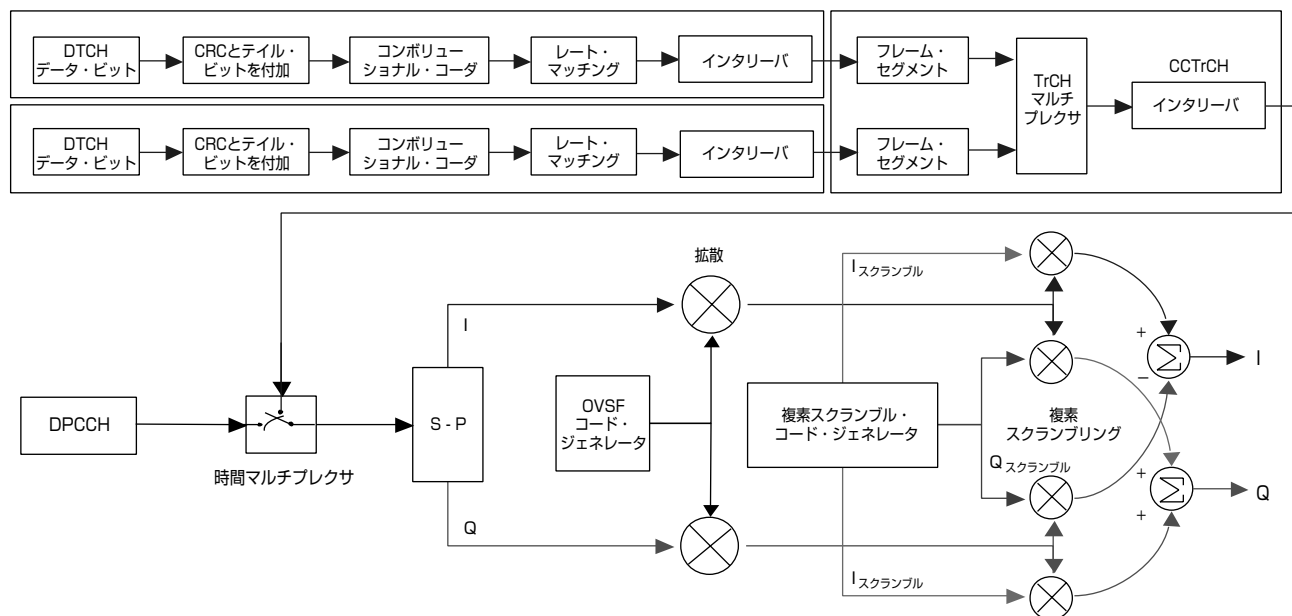


Agilent 3GPP W-CDMA基地局の デザインとテスト

Application Note 1355



ご注意

2002 年 6 月 13 日より、製品のオプション構成が変更されています。
カタログの記載と異なりますので、ご発注の前にご確認をお願いします。



Agilent Technologies

Innovating the HP Way

目次

はじめに	3
1. W-CDMAの基本概念	4
1.1 符号分割多元接続	4
1.2 基地局と携帯電話端末の識別	5
1.3 データのチャネル化	5
1.4 スロット、フレーム、パワー制御	7
1.5 プロトコル構造	7
1.6 論理チャネル、トランスポート・チャネル、物理チャネル	8
1.7 ダウンリンク物理チャネル	9
1.8 アップリンク物理チャネル	10
1.9 ダウンリンクDPDCH/DPCCHのコーディングとエア・インタフェース	11
1.10 アップリンクDPDCH/DPCCHのコーディングとエア・インタフェース	12
1.11 テスト・モデルとリファレンス・メジャメント・チャネル	13
1.12 非同期セル・サイト捕捉	14
1.13 非同期セル・サイト・ソフト・ハンドオーバー	14
2. デザインと測定に関する一般的な問題	15
2.1 干渉の制御	15
2.1.1 平均RFパワー	16
2.1.2 隣接チャネル干渉	17
2.2 高いピーク平均パワー比への対処	18
2.2.1 相補累積分布関数(CCDF)	19
2.3 変調品質の測定	20
2.3.1 QPSK EVM	22
2.3.2 コンポジットEVM	24
2.3.3 コード・ドメイン・パワー	27
2.3.4 ピーク・コード・ドメイン・エラー	29
2.3.5 シンボルEVM	30
2.3.6 シンボル・パワー対時間	32
2.3.7 復調ビット	33
2.4 受信器性能の測定	34
2.4.1 復調と逆拡散の検証	36
2.4.2 TFCIデコーディングおよびパワー・オフセット効果の検証	36
2.4.3 TPCコマンドに対する応答の検証	36
2.4.4 チャネル構成変更に対する受信器応答の解析	37
2.4.5 ビット・エラー・レート(BER)とブロック・エラー・レート(BLER)	37
まとめ	38
付録A: 適合試験セットアップ表	39
付録B: テスト・モデルとリファレンス・メジャメント・チャネル	41
付録C: AgilentのW-CDMA基地局デザイン/テスト用ソリューション	45
略語解説	51
参考文献	52
関連カタログ	53
謝辞	53

はじめに

W-CDMAは、第3世代(3G)の携帯電話市場で採用が見込まれている広帯域デジタル携帯電話テクノロジーの1つです。

日本のW-CDMA実験システムと、欧州のUMTS(Universal Mobile Telephone System)を基礎として、Third-Generation Partnership Project(第3世代パートナーシップ・プロジェクト、3GPP)の監督のもとに、統一されたW-CDMAシステムの開発作業が進められました。3GPPの構成員としては、European Telecommunications Standard Institute(欧州電気通信標準化機関、ETSI)、日本の電波産業会(ARIB)、日本の電信電話技術委員会(TTC)、韓国Telecommunications Technology Association(通信技術協会、TTA)、米国T1委員会があります。統合システムは、先行する広帯域CDMAの各バージョンと区別するため、3GPP W-CDMAと呼ばれることもあります。

W-CDMAシステムは、周波数分割デュプレックス(FDD)と時分割デュプレックス(TDD)の2つのモードの広帯域CDMAを採用しています。本アプリケーション・ノートはFDDのみを対象としますが、内容のほとんどは両方のモードに当てはまります。本アプリケーション・ノートでW-CDMAという語を使う場合は、すべて3GPP(リリース99)仕様のW-CDMA FDDモードのことを指します。

本アプリケーション・ノートは、W-CDMA基地局(BS)の物理レイヤ(レイヤ1)について扱います。下記の内容があります。

- W-CDMAテクノロジーの概要
- このテクノロジーに関連したデザイン上の問題や測定に関する諸概念のうち、W-CDMAと第2世代の諸技術(特にGSMおよびPDC)との違いのために、W-CDMAの携帯電話端末エア・インタフェースにおいて重要な意味を持つものの説明。このセクションでは、これらの測定が重要な理由と、デザインの特性試験とトラブルシューティングにこれらの測定を使用する方法を紹介します。これらの測定は、基地局の開発の全段階を通じて役立ちます。このセクションは適合試験のための基礎知識として利用することもできます。
- 標準で要求されているBTS送信機、受信器、性能適合試験の概要を記載した表[1]。多くの場合、これらの試験はその前に説明しているより一般的な測定を元としています。この表は、各試験に使用する測定と機器を調べるための早見表として利用できます。
- W-CDMA基地局の物理レイヤのデザインとテストに使用できるAgilent Technologiesのソリューション一覧。

3Gテクノロジーの詳細については、下記のURLをご覧ください。

<http://www.agilent.com/find/3G>

1. W-CDMAの基本概念

W-CDMAは、同じRF搬送波を多くのユーザが効率的に共有できるようにするために、システム内の各ユーザの要求に正確に合わせてデータ・レートとリンク・バジェットを動的に再割当てするように設計されています。2Gや3Gの一部のCDMAシステムと異なり、W-CDMAはGPS(Global Positioning System)などの外部時間同期信号源を必要としません[2]。

1.1 符号分割多元接続

その名前からわかるように、W-CDMAは符号分割多元接続(Code Division Multiple Access、CDMA)のシステムです。時分割多元接続(Time Division Multiple Access、TDMA)と異なり、CDMAではすべてのユーザが同時に送信します。周波数分割は用いられますが、非常に広い帯域幅で行われます。しかも、複数のユーザが同じ周波数の搬送波を共有します。各ユーザの信号は固有のコードを使用しており、正しい受信器以外にはノイズとして見えます。したがって、**チャンネル**という語は搬送波周波数とコードの組合わせを指します。受信器は相関(コード・コリレーション)を利用して、同じ周波数で同時に送信されている多くの信号の中から1つをデコードすることができます。図1に、CDMAシステムの送受信プロセスを簡略化したものを示します。この例ではW-CDMAのデータ・レートと帯域幅パラメータを使用していますが、基本プロセスはすべてのCDMAシステムで同一です。W-CDMAと既存の2G CDMAシステム(IS-95)との違いの1つは、W-CDMAのほうが帯域幅が広い(3.84 MHz、IS-95は1.23 MHz)ことです。

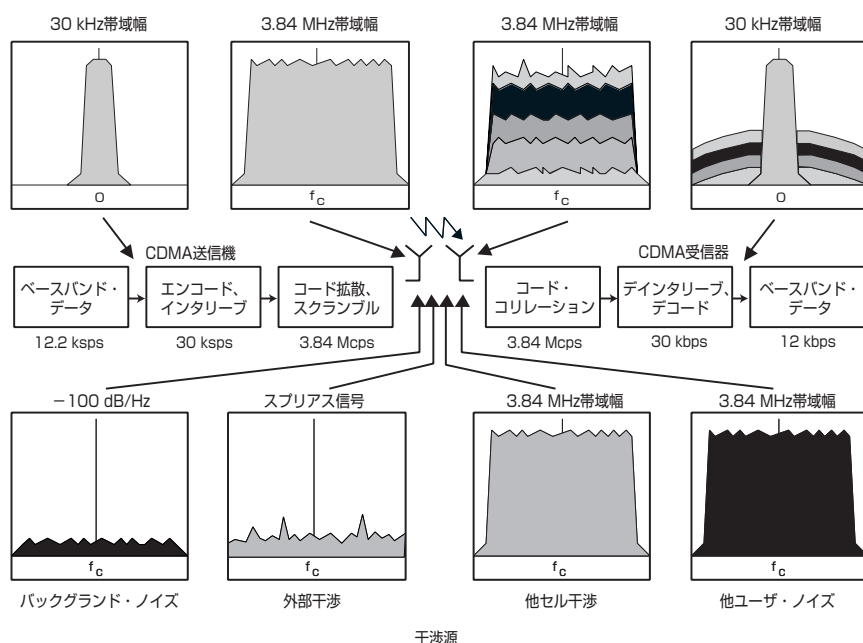


図1. CDMAの送受信プロセス

上の例では、W-CDMAシステムはデータ・レートが12.2 kbpsの狭帯域信号から出発します。実際にはこのデータ・レートは可変で、最大2 Mbpsです。コーディングとインタリーブの後、この例ではシンボル・レートは30 kbpsになります。コード拡散により、これは3.84 MHzの帯域幅に拡散されます。拡散結果の最終的なビットはチップと呼ばれ、最終的な拡散レートはチップ毎秒で表されます(W-CDMAでは3.84 Mcps)。拡散後のデータ・レート(3.84 Mcps)とエンコード後のデータ・レート(この例では30 kbps)のことを拡散利得と呼びます。拡散後のデータ・レートと初期データ・レート(この例では12.2 kbps)のことを処理利得と呼びます。CDMAシステムの場合、拡散利得が処理利得に大きく寄与します。受信器の相関器が目的の信号をノイズから取り出すことができるのは処理利得のおかげです。送信されたCDMA信号には、他のCDMAユーザの信号を主体とする大きな干渉が生じます。この干渉には、同じセルの他のユーザから来るものと、隣接する他のセルから来るものの2種類があります。全体としての干渉には、バックグラウンド・ノイズと他のスプリアス信号も含まれます。信

号が受信されると、相関器が目的の信号をリカバリ、干渉を除去します。これが可能なのは、各チャネルの固有のコードと干渉源との間に相関がないからです。W-CDMAの場合、各チャネルの固有のコードは、スクランプリング・コードと直交可変拡散率(Orthogonal Variable Spreading Factor、OVSF)コードとの組み合わせです。これについてはこのあとの部分で説明します。

1.2 基地局と携帯電話端末(UE)¹の識別

他のCDMAシステムと同様W-CDMAでも、各基地局の出力信号は、すべてのデータ・チャネルを固有の疑似ノイズ(Pseudo-Noise、PN)コードで乗算することによってスクランブルされます。このコードをW-CDMA仕様ではスクランプリング・コード(SC)と呼んでいます。携帯電話端末受信器は、受信信号のスペクトラムを目的の基地局で用いられているのと同じスクランプリング・コードと相関させることにより、基地局を識別することができます。同様に、各携帯電話端末の出力信号も固有のSCでスクランブルされており、これによって基地局の受信器は携帯電話端末同士を区別することができます。スクランプリング・コードは3.840 Mcpsの固定レートで適用されます。スクランプリング・コードは直交していないため、2台の携帯電話端末の間で多少の干渉が生じる可能性があります。

1.3 データのチャンネル化

CDMA受信器は、信号を送信している送信機を区別するだけでなく、同じ送信機から送信されている複数のチャネルを相互に区別しなければなりません。例えば、基地局は多くの移動機ユーザに対してそれぞれ固有のチャネルを送信しており、各携帯電話端末受信器は基地局が送信している他のすべてのチャネルから自分のチャネルを区別する必要があります。W-CDMAの場合、この機能のためにチャンネル化コード、別名OVSFコードが用いられます。

OVSFコードは、IS-95やcdma2000で用いられているWalshコードに似た直交コードです。W-CDMAの基地局や携帯電話端末から送信される各チャネルは、異なるOVSFコードで乗算されます²。IS-95の場合、CDMA Walshコードは長さ64チップに固定されていました。W-CDMAの場合、コードの長さ(拡散率(Spreading Factor、SF)とも呼ぶ)は4~512チップの範囲で可変で、生成されるダウンリンク(DL)シンボル・レートは3.84 Mcpsのシステム・チップ・レートをSFで割ったものになります。例えば、SFが4ならシンボル・レートは960 kpspsです。

OVSFコードの組全体は、各携帯電話端末および基地局で同一です。スクランプリング・コードが用いられるため、同じ地理的位置にある携帯電話端末や基地局が同じOVSFコードを再使用できます。すなわち、携帯電話端末と基地局との間で固有の通信チャネルを確立するのは、OVSFコードとスクランプリング・コードの組み合わせです。

基地局と携帯電話端末との間のW-CDMA無線リンクは、複数のデータ・チャネルを同時にサポートする必要があります。例えば3Gのコネクションには、双方向の音声、ビデオ、パケット・データ、バックグラウンドのシグナリング・メッセージなどが存在し、それぞれが固有のデータ・チャネルとして1つの周波数の搬送波で送信されます。

1. W-CDMA仕様では、携帯電話端末(UE)という語で、移動電話機、無線機能付きコンピューティング・デバイス、その他W-CDMAシステムに無線アクセスを行うすべてのデバイスを指します。
2. 後で説明するように、同期チャネルは例外です。

図2に示すのは、2個の基地局と4台の携帯電話端末からなるW-CDMAシステムです。携帯電話端末と基地局はSCによって一意に識別されます。1つのセル内の携帯電話端末または基地局が伝送するチャネルは、OVSFコード割当てによって一意に識別されます。例えば、SC₂がBS 2を、SC₆がUE 4を識別します。BS 2はOVSF₄とOVSF₅を使って音声とシグナリング情報をUE 4に送信します。UE 4はOVSF₁とOVSF₂を使って音声とシグナリング情報をBS 2に送信します。他の基地局と携帯電話端末も同じOVSFコード(OVSF₁とOVSF₂)を使っていることに注目してください。これで問題が生じないのは、同じOVSFコードを再使用してもスクランプリング・コードのために相関がなくなるからです。

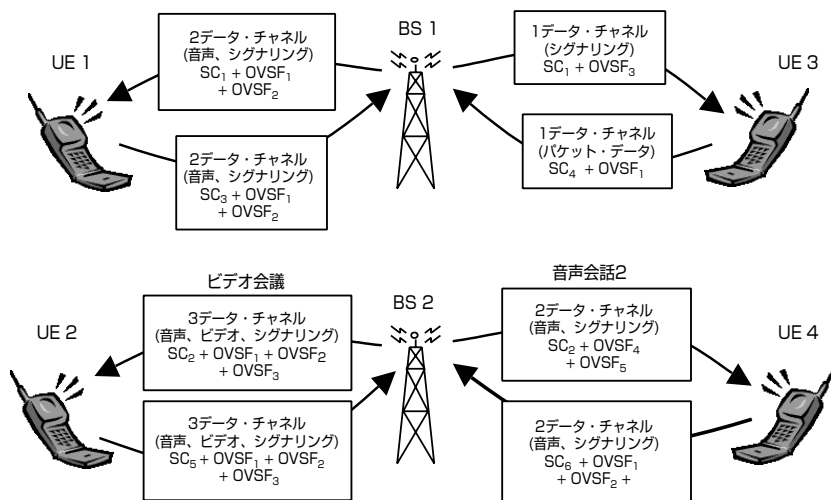


図2. W-CDMAのコード割当て

OVSFコードとスクランプリング・コードの組合わせにより信号の拡散が行われ、受信機の相関器が目的の信号をノイズから取り出すために必要な拡散利得が得られます。拡散利得の大きさはSFによって決まります。データ・レートが高い信号の場合、SFと拡散利得は小さくなります。干渉が同じレベルの場合、ビットごとのエネルギーとノイズの比(E_b/N_0)をすべてのチャネルで等しくするには、データ・レートが高いチャネルの振幅を大きくする必要があります。

SFは10 msごとに再割当てが可能です。これにより、W-CDMAネットワークは帯域幅が無駄にならないように動的に再割当てを行うことができます。このため、W-CDMAの全データ容量の割当ては、固定長の直交コードを使用する2G CDMAシステム(IS-95)に比べて効率的になっています。

1.4 スロット、フレーム、パワー制御

W-CDMAのアップリンクとダウンリンクの全データ・チャネルは、タイム・スロットとフレームに分割されています。スロットの長さは666.667 μ sで、システム・チップ・レートの2560チップに相当します。タイム・スロットが15個組み合わせられて10 msのフレームになります(図3)。フレームは、チャネルのコーディングとインタリーブのプロセスにおける基本的な時間単位です。ただし、パワー制御ビットなど一部のタイムクリティカルな情報は、すべてのタイム・スロットで送信されます。これにより、携帯電話端末のパワー制御を毎秒1500回のレートで更新でき、セル容量の最適化に役立ちます。

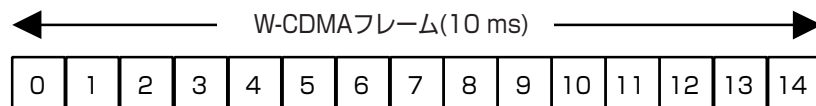


図3. W-CDMAのスロット/フレーム構造

あらゆるセルラCDMAシステムにおいて、基地局は携帯電話端末の送信パワーを高速かつ精密に制御することにより、リンク・バジェットを最適化する必要があります。これをアップリンク(UL)パワー制御と呼びます。その目的は、すべての携帯電話端末から基地局に到達するパワーを数dBの範囲内で一致させることです。これはアップリンクのスペクトラム拡散リンク・バジェットを最適化するために不可欠です。IS-95と異なりW-CDMAでは、携帯電話端末も基地局に対して同じレートでパワー制御ビットを送信し、基地局はそれに応じてそれぞれの携帯電話端末に向けたデータ・チャネルのパワーを調整します。これをダウンリンク(DL)パワー制御と呼びます。

1.5 プロトコル構造

W-CDMAシステムのプロトコル構造は、業界標準のOSI(Open System Interconnection、開放型システム間相互接続)モデルに従っています。図4に下の3つのレイヤを示します。

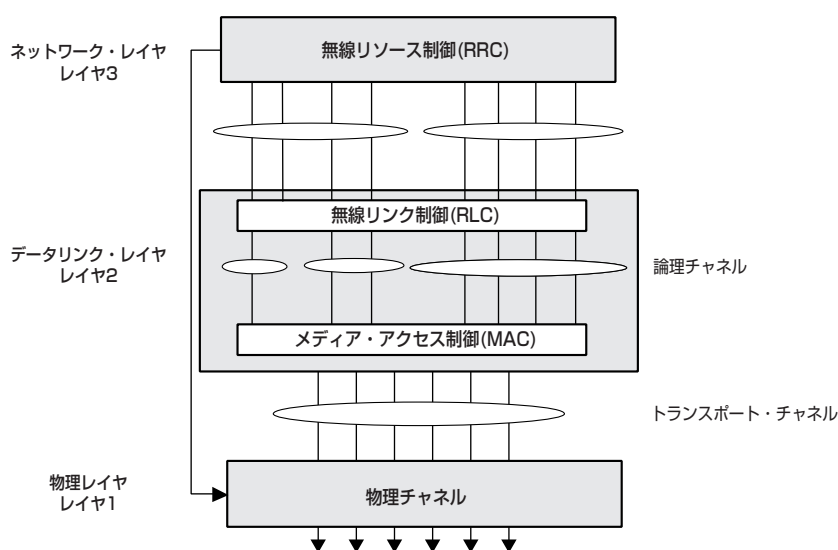


図4. W-CDMAのプロトコル構造

ネットワーク・レイヤ(レイヤ3)は、主にGSM標準を元にしています。このレイヤはネットワークから携帯電話端末にサービスを接続する役割を果たします。データリンク・レイヤ(レイヤ2)は、無線リンク制御(Radio Link Control、RLC)とメディア・アクセス制御(Medium Access Control、MAC)の2つの主要な機能ブロックから構成されます[3]。RLCブロックは、ユーザ・データ、エラー訂正、フロー制御、プロトコル・エラー検出/リカバ、暗号化を担当します。レイヤ2のMAC機能は、論理チャネルとトランスポート・チャネルの間のマッピング(このあとの部分を参照)と、さまざまな論理チャネルを1つのトランスポート・チャネルに効率的に多重化/逆多重化する役割を果たします。物理レイヤ(レイヤ1)は、トランスポート・チャネルを物理チャンネルにマッピングし、システムの動作に必要なすべてのRF機能を実行します。これらの機能としては、周波数/時間同期、レート・マッチン

グ、拡散と変調、パワー制御、ソフト・ハンドオフなどがあります。本アプリケーション・ノートでは主にレイヤ1を扱い、必要に応じてレイヤ2に簡単に言及します。レイヤ2の詳細については、[4]と[5]を参照してください。レイヤ3については[6]を参照してください。プロトコル・アーキテクチャの詳細については[7]を参照してください。

1.6 論理チャネル、トランスポート・チャネル、物理チャネル

論理チャネルとは情報の内容で、最終的には物理チャネル上で送信されます。論理チャネルとしては、Broadcast Control Channel(ブロードキャスト制御チャネル、BCCH)、Paging Control Channel(ページング制御チャネル、PCCH)、Common Control Channel(共通制御チャネル、CCCH)、Dedicated Control/Traffic Channels(専用制御/トラフィック・チャネル、DCCH、DTCH)などがあります。

W-CDMAでは、複数のサービスで物理リソースを共有するため、トランスポート・チャネルという概念を導入しています。データ、FAX、音声、シグナリングなどのサービスは、上位のシグナリング・レイヤによってそれぞれ別のトランスポート・チャネルに載せられます。これらのサービスは、データ・レートもエラー制御メカニズムもそれぞれ異なっています。これらのトランスポート・チャネルは必要に応じて多重化されてから、1つまたは複数の物理チャネルで送信されます。データ・レートが高いサービスや、低いレートのトランスポート・チャネルをいくつか組み合わせたものを、複数の物理チャネルに多重化することもできます。このような柔軟性により、データ・レートが異なるさまざまなトランスポート・チャネル(サービス)を効率的に物理チャネルに割り当てることが可能です。トランスポート・チャネルを効率的に多重化することにより、システムの容量が最適化されます。例えば、3つのトランスポート・チャネルの総合データ・レートが1つの物理チャネルの最大値を超える場合、合計データ・レートが必要なレートにできるだけ近い2つの低レートの物理チャネルに載せることができます。トランスポート・チャネルには、Broadcast Channel(ブロードキャスト・チャネル、BCH)、Paging Channel(ページング・チャネル、PCH)、Forward Access Channel(フォワード・アクセス・チャネル、FACH)、Dedicated Channel(専用チャネル、DCH)、Random Access Channel(ランダム・アクセス・チャネル、RACH)などがあります[8]。

W-CDMAのダウンリンクは、いくつかの物理チャネルから構成されます。ダウンリンクの重要な物理チャネルとして、Common Pilot Channel(共通パイロット・チャネル、CPICH)、Primary Common Control Physical Channel(1次共通制御物理チャネル、P-CCPCH)、Secondary Common Control Physical Channel(2次共通制御物理チャネル、S-CCPCH)、Dedicated Physical Data/Control Channels(専用物理データ/制御チャネル、DPDCH/DPCCH)があります。アップリンクを構成するのは、Physical Random Access Channel(物理ランダム・アクセス・チャネル、PRACH)、Physical Common Packet Channel(物理共通パケット・チャネル、PCPCH)、Dedicated Physical Data/Control Channels(専用物理データ/制御チャネル、DPDCH/DPCCH)です。これらのチャネルについてはこのあとの部分で説明します。

図5に示すのは、ダウンリンクのチャネル・マッピングの例です。携帯電話端末がアイドル・モードにある場合、基地局はDCCH論理チャネルからFACHトランスポート・チャネルを通じて専用シグナリング情報を送信します。この場合、情報はS-CCPCH物理チャネルにマッピングされて携帯電話端末に送信されます。携帯電話端末が専用接続モードにある場合は、同じシグナリング情報がDCHトランスポート・チャネルに載せられます。この場合、情報はDPCH(DPDCH/DPCCH)物理チャネルにマッピングされて携帯電話端末に送信されます。

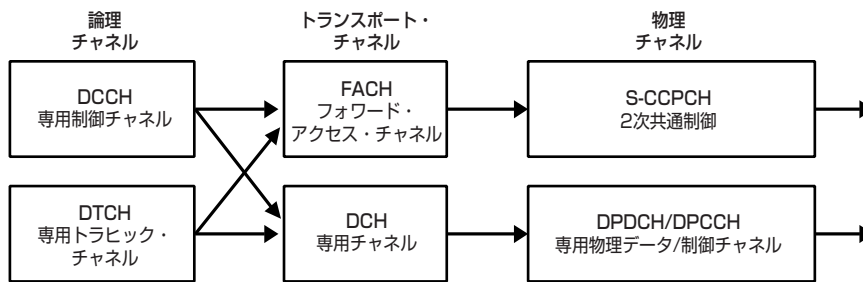


図5. 論理/トランスポート/物理チャンネルのマッピング例(ダウンリンク)

1.7 ダウンリンク物理チャンネル

図6に示すのは、CPICH、P-CCPCH、SCHのスロットおよびフレーム構造です。

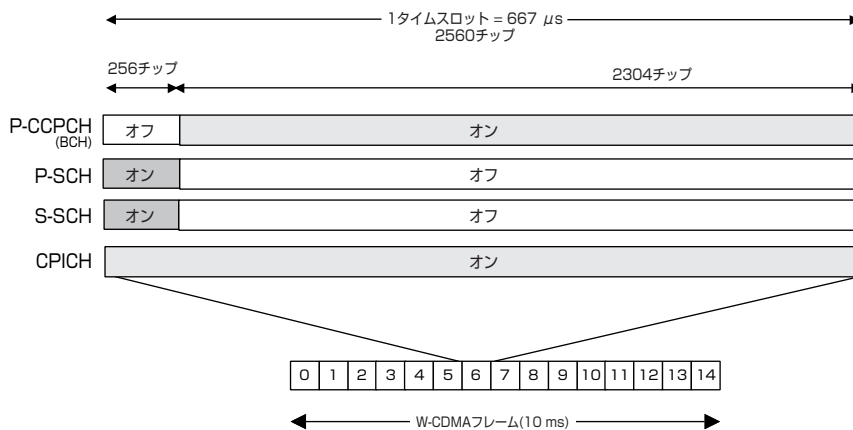


図6. CPICH、P-CCPCH、SCHのスロットおよびフレーム構造

CPICHは基地局スクランプリング・コードの連続ループ・ブロードキャストです。すでに説明したように、基地局の伝送はスクランプリング・コードによって識別されます。携帯電話端末は、CPICHを基地局の時間基準を精密に測定するためのコヒーレントな基準として使用し、セル・サイトのハンドオーバーの前と途中には周囲の基地局の信号強度を求めるために使用します。この信号には特に拡散が適用されないため、携帯電話端末はこの基準に容易にロックすることができます。他のすべてのチャンネルを受信するためには、このロックが確立される必要があります。

P-CCPCHはSynchronization Channel(同期チャンネル、SCH)と時間多重化されます。これはシステム捕捉中に携帯電話端末が使用する重要なチャンネルです。このチャンネルは、Primary Synchronization Channel(1次同期チャンネル、P-SCH)とSecondary Synchronization Channel(2次同期チャンネル、S-SCH)の2つのサブチャンネルを持ちます。これらのチャンネルはPrimary Synchronization Code(1次同期コード、PSC)とSecondary Synchronization Code(2次同期コード、SSC)という2つのコードから構成されます。PSCは256チップ固定のコードで、すべてのW-CDMA基地局によってブロードキャストされます。初期捕捉中に携帯電話端末はPSCを使ってW-CDMA基地局が存在するかどうかを判断し、基地局のスロット・タイミングを決定します。SSCは、コード・グループと呼ばれる長さ256チップの16個のサブコードのグループを表します。基地局は、フレームの各タイム・スロットごとに1個のSSCサブコードを、決められた順番で送信します。連続する15個のSSC送信をデコードした携帯電話端末は、基地局のフレーム・タイミングを決定でき、基地局スクランプリング・コードの識別に役立つ情報も得られます(第2章参照)。

SCHは、P-CCPCHがオフになっている各タイムスロットの最初の256チップで送信されます(図6)。各スロットの残りの2304チップではP-CCPCHが送信されます。これには18ビットのブロードキャスト・データ(Broadcast Transport Channel(ブロードキャスト・トランスポート・チャンネル、BCH)情報)が15 kbpsのレートで載せられます。セルのブロードキャスト・パラメータ・メッセージには18ビットでは足りないので、ブロードキャスト情報はいくつかのフレームにわたる場合があります。

Dedicated Physical Channel(専用物理チャネル、DPCH)は、すべてのユーザ・データおよびユーザ・シグナリングと、スロット・フォーマットおよび携帯電話端末内部ループ・パワー制御用の物理チャネル制御ビットを送送します。DPCHはDPDCHとDPCCHから構成されます。DPDCHでは、ユーザのデジタル化された音声やデジタル・データと、レイヤ3のシグナリング・データが伝送されます。ユーザ・データとシグナリング・データは、それぞれ別にエラー保護コーディングとインタリーブを施された後、互いに多重化されてDPDCHを構成します。次にDPDCHはDPCCHと多重化されます。DPCCHには、Transmit Power Control(送信パワー制御、TPC)ビット(携帯電話端末の送信パワーの制御用)、Transport Format Combination Indicator(トランスポート・フォーマット組合わせインジケータ、TFCI)ビット(スロット・フォーマットとデータ・レートを通知)、埋込みパイロット・ビット(各スロットに埋め込まれた短い同期パターン)が含まれます。多重化されたDPDCH/DPCCHはDPCH(Dedicated Physical Channel、専用物理チャネル)を構成します(図7)。

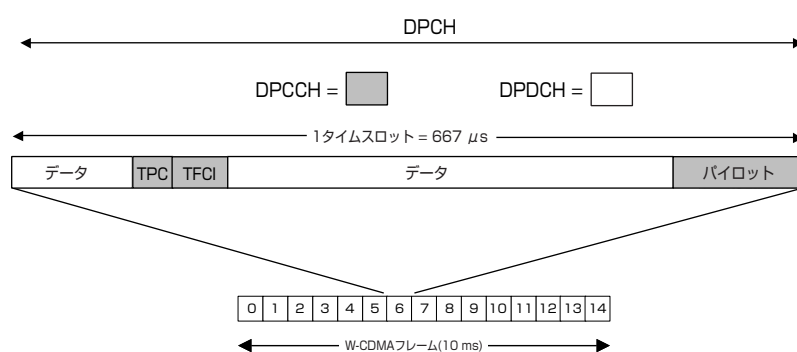


図7. DPCH(DPDCH/DPCCH)のスロットおよびフレーム構造

他のダウンリンク・チャネルを挙げれば、Secondary Common Control Physical Channel(2次共通制御物理チャネル、S-CCPCH)はアイドル状態の携帯電話端末に対してページングとシグナリングを送信するために用いられます。Acquisition Indication Channel(捕捉通知チャネル、AICH)は、携帯電話端末のアクセス要求に対する確認応答として用いられます。Paging Indication Channel(ページング通知チャネル、PICH)は、ページング・メッセージの到着を携帯電話端末に予告する役割を果たします。Physical Downlink Shared Channel(物理ダウンリンク共有チャネル、PDSCH)は、複数の携帯電話端末にパケット・データを送信するために用いられます。このほかに、1台の携帯電話端末に対するダウンリンクのデータ・スループットを上げるためにDPDCHが追加されることもあります。

1.8 アップリンク物理チャネル

PRACHは、ネットワークへの登録を携帯電話端末が要求するために使用するRACHトランスポート・チャネルを送送します。RACH伝送の最初には、RACHアクセス・メッセージの到着を基地局に予告する短いプリアンブル・パターンが送られます。RACHメッセージは携帯電話端末の識別情報を含み、目的の基地局だけがアクセスできるように、セル固有のスクランプリング・コードによって拡散されます。一般に、RACH伝送は任意の時点で開始してよいことになっているので、他のユーザと衝突する可能性があります。この場合、確認応答を受信するまで携帯電話端末は別のタイムスロットを使ってメッセージを再送信します。

PCPCHはCPCHトランスポート・チャネルを送送し、アップリンクのパケット・データ送信に用いられます。CPCHは専用データ・チャネルよりもシステム・リソースの要求が少ないため、アップリンクのパケット・データを送信する効率的な方法です。これはランダム・アクセス・チャネルで、RACHに似たアクセス手順を使用します。パケット送信は複数のフレームにわたる可能性があるため、基地局がPCPCHの送信パワーを制御する必要があります。CPCHアクセスに確認応答が返されると、携帯電話端末は送信を開始し、基地局はパワー制御ビットで応答します。送信パワーが安定化したら、携帯電話端末はマルチフレーム・パケットの送信を開始します。

アップリンクのDPDCH/DPCCHは、ユーザのデジタル化された音声およびデータのチャネルと、レイヤ3のシグナリング・データを伝送します。ペイロード・データとシグナリング・データ(DPDCH)はQPSK変調器のIパスで送信され、パワー制御、パイロット、その他のオーバーヘッド・ビット(DPCCH)はQパスで送信されます。DPDCHは複数送信することができます。この場合、DPDCHは続けてIパスまたはQパスに割り当てられます。各チャネルはOVSFコードで拡散され、それぞれの振幅は個別に調整可能です。複合された拡散後の信号は、変調前に特別な関数によってスクランブルされます。これは、IQ平面の原点を通る信号遷移と、 0° 位相シフトの遷移を最小化する役割を果たします。これにより、信号のピーク平均パワー比が改善されます[9]。

1.9 ダウンリンクDPDCH/DPCCHのコーディングと エア・インタフェース

図8に示すのは、DPCHのコーディング、拡散、スクランプリングの例です。この例では、12.2 kbpsの音声サービスが、20 msフレームを使用するDTCH論理チャネルで伝送されています。チャネルのコーディング後に、DTCHは1/3レートのコンボリューショナル・エンコーダでコーディングされます。この例では、データは次にパンクチャ(レート・マッチング)され、インタリーブされます。この時点で、DTCHは物理チャネルのフレーム・レートに合わせて10 msのフレームに分割されます。DCCH論理チャネルは、40 msのフレーム構造で2.4 kbpsのデータ・ストリームを伝送しています。DCCHはDTCHと同じ方法でコーディングされます。DCCHのフレーム分割では、物理チャネルのフレーム・レートに合わせてデータを4個の10 msセグメントに分けます。DTCHとDCCHは多重化され、コード化コンボジット・トランスポート・チャネル(CCTrCH)となります。CCTrCHはインタリーブされ、42 kbpsで動作するDPDCHにマッピングされます。

この例では、DPCCHは18 kbpsの速度で動作しています。DPDCHとDPCCHは時間多重化されて(DPCH)60 kbpsのストリームとなります。このストリームは、それぞれ30 kspsのシンボル・レートで動作する独立したIチャネルとQチャネルに変換されます。DPCHは拡散率が128のOVSFコードで拡散されて目的の3.84 Mcpsとなります。このコードは、同じセルまたはセクタ内の他の信号からこの信号を区別する役割を果たします。このプロセスの後、信号は各セルまたはセクタを識別するコードでスクランブルされます。得られたIとQの信号はフィルタリングされ、RF搬送波を変調します。

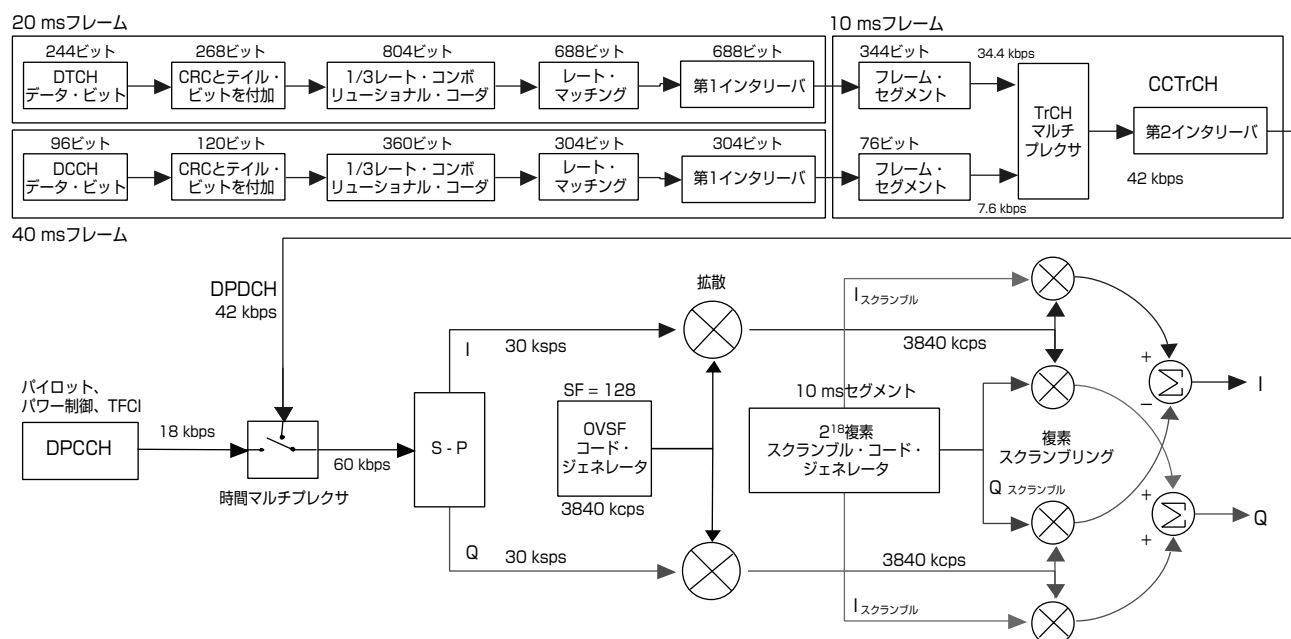


図8. ダウンリンクDPDCH/DPCCHのコーディング、拡散、スクランプリング(別の説明については[3]、[10]、[11]を参照)

1.10 アップリンクDPDCH/DPCCHのコーディングとエア・インタフェース

アップリンクのDPDCH/DPCCHで用いられる拡散とスクランプリングは、2つの重要な点でダウンリンクと異なっています。1つはI/Q多重化、もう1つはHPSK(Hybrid Phase Shift Keying、ハイブリッド位相シフト・キーイング)スクランプリング(複素スクランプリングでなく)です。図9に示すのは、アップリンクDPDCH/DPCCHのコーディングとエア・インタフェースの例です。この例では、論理DTCHが12.2 kbpsの音声チャンネル、論理DCCHが2.4 kbpsのシグナリング・チャンネルを伝送します。これらの論理チャンネルはそれぞれチャンネル・コード化され、コンボリユーショナル・コードに通され、インタリーブされます。DTCHでは20 msのフレームが用いられます。フレーム分割の時点で、物理レイヤの10 msフレーム構造に合わせてDTCHは2つの部分に分割されます。DCCHは40 msのフレームで動作するので、4つの部分に分割され、各シグナリング・フレームが4個の10 ms無線フレームに拡散されます。これらのチャンネルはその後バンクチャリング(レート・マッチング)され、多重化されてから拡散されます。この時点での多重化されたデータのことをCoded Composite Transport Channel(コード化コンポジット・トランスポート・チャンネル、CCTrCH)と呼びます。2回目のインタリーブの後、CCTrCHは60 kbpsで動作するDPDCHにマッピングされます。DPDCHは拡散率64のOVSFコードで拡散され、目的の3.84 Mcpsのレートになります。利得スケーリング(可変拡散率に合わせて送信パワーを調整するため)の後、拡散されたDPDCHはIチャンネルに載せられます。

アップリンクDPCCHのデータ・レートは常に15 kbpsです。DPCCHのデータは、SF=256のOVSFコードで拡散されて3.84 Mcpsのレートに達し、この例ではDPDCHに対して-6 dBに利得スケーリングされます。その後、DPCCHはQチャンネルに載せられます。

追加のDPDCHが存在する場合、IまたはQに割り当てられ、適切なOVSFコードで拡散されます。複合された拡散後の信号は、変調前に特別な複素関数によってスクランブルされます。これは、IQ平面の原点を通る信号遷移と、0°位相シフトの遷移を制限する役割を果たします。これにより、信号のピーク平均パワー比が改善されます。この関数は通常の複素スクランプリングの一種と見なすことができ、HPSKと呼ばれています。ただし標準にはこの呼び方は出てきません。スクランプリング・ジェネレータは2つのランダム・シーケンス(ロング・スクランプリング・シーケンスを使用する場合は標準でC_{long,1}およびC_{long,2}と呼ぶもの[10])を生成します。

2番目のシーケンスはデシメーションされ、関数 $\{1, -1\}$ および最初のシーケンスと乗算された後、複素スクランブラのQパスに載せられます。最初のシーケンスは複素スクランブラのIパスに載せられます。HPSKの詳細な説明については、[12]を参照してください。

得られたIとQの信号はフィルタリングされ、RF搬送波(図には示していない)を変調します。

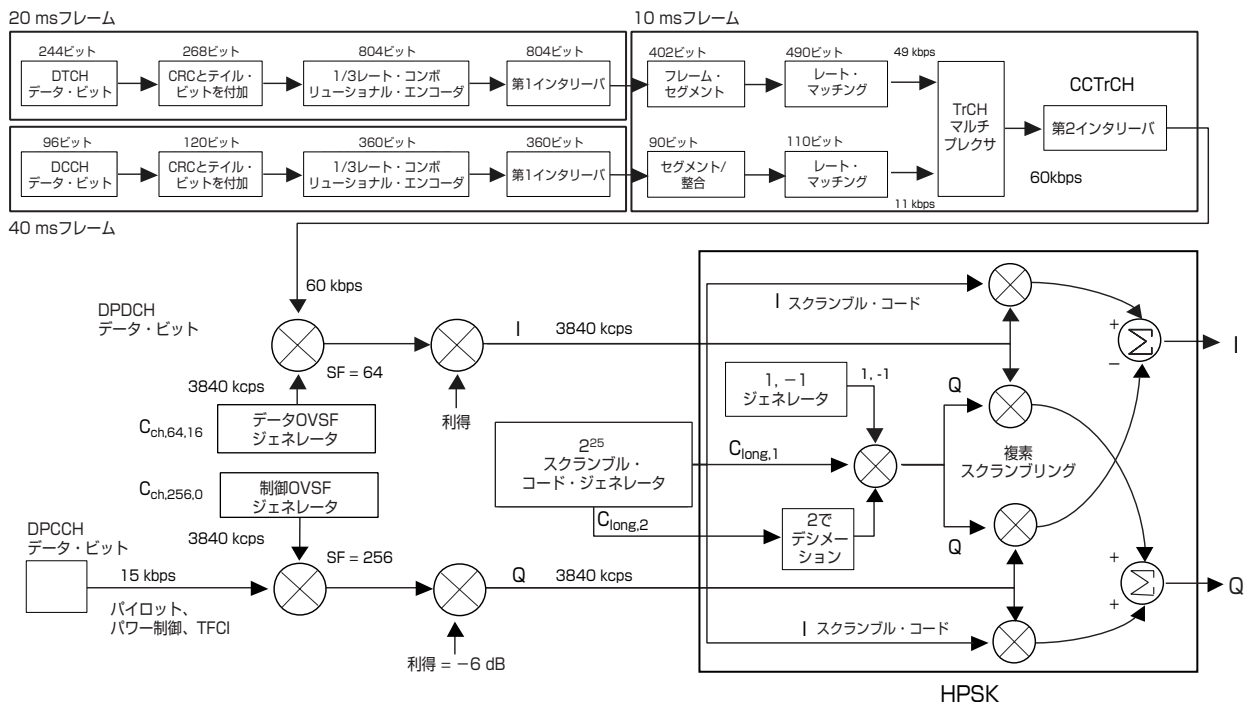


図9. アップリンクDPCH/DPCCHのコーディング、拡散、スクランプリング(別の説明については[3]、[10]、[11]を参照)

1.11 テスト・モデルとリファレンス・メジャメント・チャンネル

異なる機器メーカーの間であいまいさや矛盾が発生するのを避けるため、基地局送信機および受信機の適合試験に使用するアップリンクとダウンリンクのチャンネル構成が3GPPで定義されています[1]。

ダウンリンクのテスト構成は、テスト・モデルと呼ばれています。テスト・モデルは4つあります。それぞれの送信機適合試験に対して、基地局が送信すべきモデルが決まっています。例えば、テスト・モデル2は出力パワー・ダイナミクス・テストに用いられます。付録Aに、標準に規定されたすべてのテスト・モデル構成を示します[1]。

アップリンクのテスト構成はリファレンス・メジャメント・チャンネルと呼ばれます。アップリンク・リファレンス・メジャメント・チャンネルは5つあります。これらはすべてDPDCHとDPCCHから構成されます。リファレンス・メジャメント・チャンネルの間の主な違いは、DTCH論理チャンネルの情報ビット・レート(12.2 kbps、64 kbps、144 kbps、384 kbps、2048 kbpsのどれか)です。例として、標準に規定された12.2 kbpsリファレンス・メジャメント・チャンネルの構造を付録Aに示します[1]。

図9のチャンネル構成例のデータ・レートは、12.2 kbpsのアップリンク・リファレンス・メジャメント・チャンネルに対応します。これは、大多数の受信機適合試験に対して標準で規定されているリファレンス・メジャメント・チャンネルです。標準に規定された12.2 kbpsアップリンク・リファレンス・メジャメント・チャンネルの詳細な構造とパラメータの説明を付録Aに記します[1]。

1.12 非同期セル・サイト捕捉

他のCDMAシステムでは、GPSを使ってすべての基地局の時間基準と精密に同期しています。これには、捕捉とセル間ハンドオーバーが簡単になるという利点があります。特に、IS-95で用いられるスクランプリング・コード(ショートPNコード)は、同じコードに固有の時間遅延を付加したものです。時間遅延されたPNコードは統計的に独立したコードとして振る舞うので、基地局を識別するために複数のコードの複雑なサーチを行わなくても、単純な時間オフセット測定だけで済みます。さらに、すべての基地局のフレーム・タイミングが同期されているため、ソフト・ハンドオーバーが容易になります。この技術により、携帯電話端末の動作は単純になりますが、セル・サイト側ではGPS同期と、PNコード同士が伝搬遅延を経ても互いに混同されないようなコード・オフセットが必要になります。

W-CDMAのデザイン・ゴールの1つは、GPSの同期を不要にすることでした。GPSへの依存をなくすことにより、GPSが簡単に利用できないような場所、例えばビルの地下室や、一時的な場所にもシステムを展開することが可能になります。この非同期セル・サイト動作を、W-CDMAはいくつかの方法で実現しています。

第1に、W-CDMAのスクランプリング・コードはPNコードでなくGoldコードです。W-CDMAで用いられるGoldコードは、同じコードを時間オフセットしたものではなく、一意のコードです。したがってセル・サイトの精密な時間同期は必要ありません。しかし、セル・サイトの分離のために割り当てられる相異なるGoldコードは512通りもあります。携帯電話端末は、単に同じコードの異なる時間オフセットをサーチするのではなく、多数のスクランプリング・コードをサーチしなければならなくなります。この作業を容易にするため、S-SCHチャネルのSSCを使って、特定の64 Goldコードの組をサーチするように携帯電話端末に指示が出されます。それぞれの組は、8個のスクランプリング・コードのグループに対応します($64 \times 8 = 512$)。携帯電話端末は各コード・グループの8個のコードを1つずつ使って、BCHのデコードを試みます。BCH情報(システム・フレーム番号)をリカバできれば、同期プロセスは完了です。

1.13 非同期セル・サイト・ソフト・ハンドオーバー

CDMAソフト・ハンドオーバーでは、1台の携帯電話端末が同時に複数の基地局との通信を確立することができます。ソフト・ハンドオーバー中には、各基地局からの複合信号が個別に相関され、その後複合されます。この方法で、1つの基地局からの信号だけでは弱すぎて無線リンクを維持できない場合でも通信が可能になります。

非同期クロックで動作するW-CDMA基地局の場合、ソフト・ハンドオーバーを複雑にする要素として、基地局のフレーム・タイミングが明示的に調整されていないということがあります。このため、異なる基地局からのフレームを携帯電話端末で複合することが困難になるおそれがあります。この問題を回避するため、W-CDMAの携帯電話端末は、起点の基地局とハンドオーバー・ターゲット基地局とのフレーム・タイミングの差を測定します。このフレーム・タイミングが携帯電話端末からネットワークに報告され、ネットワークはターゲット基地局にフレーム・タイミング修正コマンドを發します。ターゲットBSは送信中のDPDCH/DPCCHチャネルのフレーム・タイミングを調整するので、携帯電話端末が受信するターゲットBSフレームは起点の基地局からの対応するフレームと時間的に正確に一致するようになります。この時間アライメント機能により、携帯電話端末のレーク受信器は両方の基地局からの受信信号をトラッキングすることができます。

2. デザインと測定に関する一般的な問題

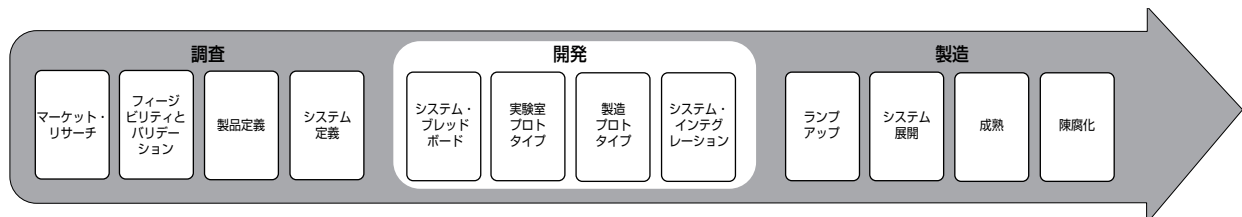


図10. 基地局の開発および製造の一般的ダイアグラム

図10に示すのは、基地局の開発および製造の一般的なダイアグラムです。この章では、図で白く強調表示されている開発フェーズを中心に扱います。ただし、ここに記された一般的な情報は、基地局のライフ・サイクルのあらゆる部分に携わるエンジニアに役立つはずで

2.1 干渉の制御

CDMAシステムでは、アクティブなユーザがすべて同時に同じ周波数で通信します。各ユーザは異なる拡散コードを使用するため、他のユーザにとってはランダムな干渉に見えます。システムの容量を最終的に決定するのは、受信器の最小動作信号/干渉比(SIR)です。しかし、バジェットがどうであれ、1つの周波数チャンネルに同時に存在できるユーザの数は、各ユーザが生成する干渉のレベルに依存します。これは統計的な量で、ネットワーク・トポロジからユーザの電話機の持ち方に至るまで、さまざまな要素に依存します。このため、システム・デザインには詳細なシミュレーションが不可欠であることが経験的に証明されています。

重要な性能パラメータのうち、指定や測定や制御が可能なものとして、隣接チャンネル干渉と平均パワーの2つがあります。隣接チャンネルからのパワー漏れは、チャンネルのノイズ・フロアに影響します。これにより有効マージンが直接に減少し、システム容量が低下します。また、高速で正確なパワー制御がCDMAシステムの性能には重要です。十分なエラー・レートを実現するのに必要なレベルよりも高いパワーで送信しているユーザは、例え短時間でも、システムの容量を低下させるからです。

以下の部分では、これらのRFパワーを評価するための主要なテストについて説明します。

2.1.1 平均RFパワー

平均RFパワーは、CDMAのような高度な変調方式の場合でも、製造試験における重要な測定の一つと見なされ続けるでしょう。しかし、どんな変調信号の場合でも、平均RFパワーだけで十分な情報を得ることはできません。研究開発に携わるエンジニアにとっては、ピーク・パワー、ピーク・平均パワー比、そして特にCDMAの場合は、相補累積分布関数(CCDF)—これについてはこの章の後のほうで説明—などのパワー統計が重要な意味を持ちます。比較的最近になって、これらの測定を可能にするパワー・メータやアナライザが登場してきました。この流れが続くことは間違いありませんが、注意して使えば既存のパワー・メータでもこれらの測定は実行できます。

このためには、広帯域の被変調RF信号がパワー・メータとパワー・センサのデザインにもたらす問題について簡単に見ておくのが役立ちます。より詳細な説明については、[13]を参照してください。

一般的な用途に最も広く用いられるセンサ・テクノロジーは、熱電対センサとダイオード・センサです。熱電対センサは熱を利用したセンサなので、信号の帯域幅や変調の複雑さに関係なく、真のアベレージング・ディテクタとして動作します。しかし、ダイナミック・レンジは最大50 dBに制限されます。また、正確な測定値を得るには長いセトリング時間が必要です。このため、パルス(ピーク・パワー)測定には適しません。

ダイオード・センサは、ダイオードの伝達特性の2乗領域をディテクタとして使用します(図11参照)。

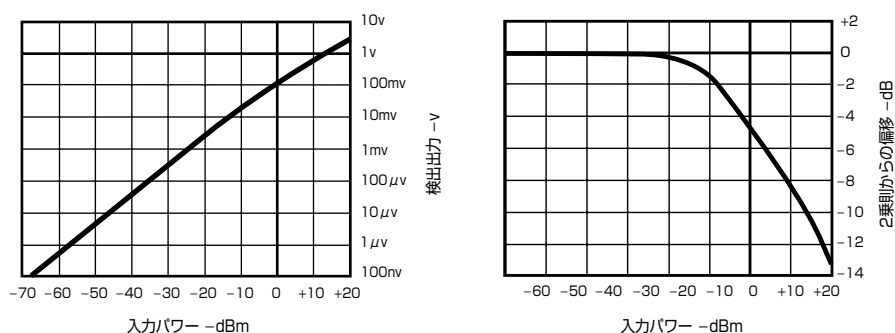


図11. ダイオードの検出特性が2乗則から遷移領域を経てリニア検出になる様子

検出後に補正することにより、ダイオード特性の遷移領域とリニア領域も検出に利用できます。これにより、代表的な場合で-70から+20 dBmまでの90 dBという広いダイナミック・レンジが得られます。ただし、信号が2乗領域(通常-20 dBm程度)より大きい場合、この方法で正確な結果が得られるのは連続波(CW)に対してだけです。

これとは別に、ダイナミック・レンジの全域にわたって真の2乗応答を実現するダイオード・パワー・センサが最近開発されています[14]。この方法を使えば、センサの周波数レンジ内のあらゆる帯域幅の信号に対して正確な平均RFパワー測定が可能になります。

パワー・メータを使う方法の主な利点は、注意して使えば広いダイナミック・レンジでカンマ数dB単位の高い精度が得られることです。また、国家標準にトレース可能な測定結果が得られる利点もあります。欠点としては、パワー・メータでは広帯域測定が行われるため、不要な信号が含まれないように注意が必要になることです。

もう1つの方法は、チャンネル・パワー測定機能を持つシグナル・アナライザで平均パワーを測定することです。この場合の振幅精度は測定器に依存します。一部のアナライザでは、絶対振幅精度が0.6 dBという小さい値になります(パワー・メータと同程度)。他の測定器では精度が±1 dBを超えるものもあります。ただし、相対精度は±1 dBよりずっとよいのが普通です。アナライザを使う方法の利点は、パワー統計や変調品質解析など、多種類の測定スイートを使用できる可能性があることです。

2.1.2 隣接チャンネルの干渉

ACP(R)という略語は、文脈に応じて、送信機測定である隣接チャンネル漏洩電力(比)(Adjacent Channel Power (Ratio))を指すことも、受信器測定である隣接チャンネル保護(比)(Adjacent Channel Protection (Ratio))を指すこともあります。このあいまいさを解決するため、3GPPは新しい用語として、ACLR(Adjacent Channel Leakage Power Ratio、隣接チャンネル漏洩電力比)、ACS(Adjacent Channel Selectivity、隣接チャンネル選択度)、ACIR(Adjacent Channel Interference Ratio、隣接チャンネル干渉比)を導入しています。

ACLRは送信機性能の尺度です。その定義は、送信パワーと、受信器フィルタを通った後で測定される隣接RFチャンネルのパワーとの比とされます。これは従来隣接チャンネル漏洩電力比と呼ばれていたものです。

ACSは受信器性能の尺度です。その定義は、割当てチャンネル周波数に対する受信器フィルタ減衰量と、隣接チャンネル周波数に対する受信器フィルタ減衰量との比とされています。

ACIRはシステム全体の性能の尺度です。その定義は、信号源(基地局または携帯電話端末)から送信される全パワーと、送信機および受信器の欠陥から生じ、特定の受信器に影響する干渉の全パワーとの比と定義されます。ACIRが注目されるのは主に、干渉の原因ではなく、干渉全体の量が主要な問題となるネットワーク・シミュレーションにおいてです。これは従来隣接チャンネル保護比と呼ばれていたものに相当します。

下記の式は、ACIR、ACLR、ACSの間の関係を示します。

$$\text{ACIR} = \frac{1}{\frac{1}{\text{ACLR}} + \frac{1}{\text{ACS}}}$$

隣接チャンネル・リーケージ(ACL)の主な原因は、パワーアンプ(PA)の非線形特性です。ACLは隣接チャンネルにあるシステム同士の共存能力に直接影響します。パワー・リーケージは一般的なノイズ汚染で、隣接チャンネルのシステムの性能を低下させます。はなはだしい場合は、「遠近問題」と呼ばれるものを引き起こすこともあります。これは、近くの隣接チャンネル基地局からのACLが大きいために、遠くにある携帯電話端末と基地局が通信できなくなる現象です。この問題はネットワーク・プランによって対処が可能ですが、それに伴うコストはACLR仕様の厳格さに直接的に依存します。したがって、ここにはニーズの衝突が存在します。機器デザインの観点からはACLR仕様が緩いほうが都合がいいのですが、ネットワーク・プランの観点からはACLが低いことがきわめて重要なのです。

標準化委員会でも、これについてはさまざまな議論がありました。現在の3GPPの標準で基地局に対して規定されている値は、5 MHzオフセットで45 dB、10 MHzオフセットで50 dBです[1]。

ACLR(またはACPR)の測定には、シグナル・アナライザまたは測定レシーバが一般に用いられます。この測定においては、主周波数チャネルのパワーと隣接チャネルのパワーの両方にフィルタリングが適用されます。ACLRの重要な要素として、測定フィルタの仕様、特にその帯域幅と形状があります。もともとのW-CDMAの仕様では方形フィルタを用いることとされていましたが、現在ではチップ・レートに等しい-3 dBの帯域幅を持つルート・ナイキスト(RRC)フィルタに変更されています[1]。これにより、実環境での性能により近い結果が得られます。ただし、測定機器は精密な重み付けフィルタを使う必要があります。このため、W-CDMAのACLR機能を持たない既存のスペクトラム・アナライザでは測定が不可能になる場合があります。ただし、実際には測定結果の違いはわずか(0.1 dB前後)です。図12に示すのは、16個のDPCHを持つテスト・モデル1として構成されたW-CDMAダウンリンク信号のACLR測定結果です(付録B参照)。この測定は、標準に規定された適切なRRCフィルタを装備するベクトル・シグナル・アナライザを使って行われました[1]。

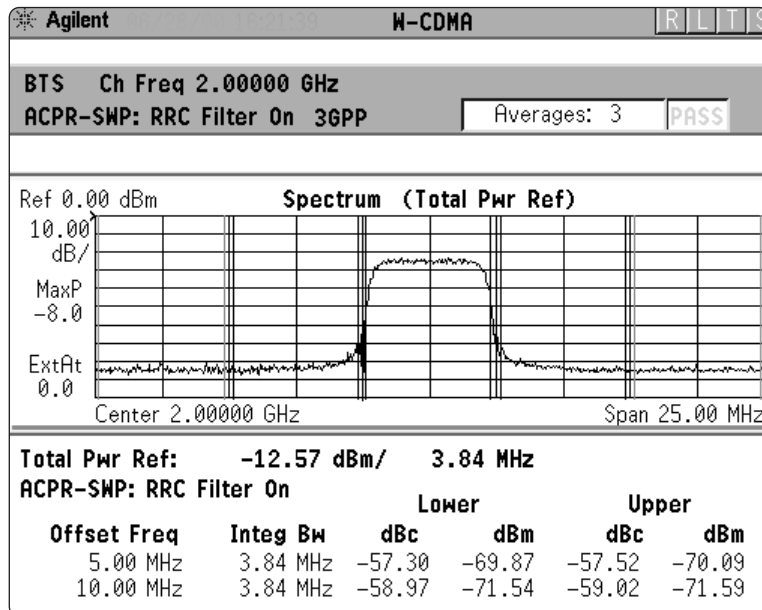


図12. 16個のDPCHを持つテスト・モデル1に対するACLR測定結果。標準に規定されたRRCフィルタを使った測定[1]。

2.2 高いピーク平均パワー比(PAR)への対処

ACLRは重要なパラメータですが、W-CDMA基地局のACLR性能を維持するのはなぜそれほど困難なのでしょう。

GSMなどの一部の2Gシステムでは、固定変調フォーマット(Gaussian Minimum Shift Keying(ガウシアン最小シフト・キーイング、GMSK))が用いられています。GSMの利点は振幅エンベロープが一定であることで、これにより安価なノンリニアB級パワーアンプ(PA)が使用できます。

これに対して、CDMAシステムでは非固定変調フォーマットが用いられます。やはり非固定振幅の変調フォーマットを用いるPDCなどの2G TDMAシステムでは、信号エンベロープの0を通る遷移を避けることでピーク平均パワー比(PAR)を下げようとしています。ピーク平均パワー比とは、信号のピーク・エンベロープ・パワーと平均エンベロープ・パワーとの比のことです。一般に、ピーク平均パワー比は小さい方が、パワーアンプのリニア・ダイナミック・レンジが小さくてすむため望ましいといえます。

CDMAシステムの場合、複数のチャネルが組み合わせられて1つの搬送波を変調します。アクティブなコード・チャネルの数が多いほど、PARは大きくなります。W-CDMAダウンリンクのマルチチャネル信号では、PARが8 dBに達することも珍しくありません。W-CDMA基地局の増幅器デザインが特に困難なのは、隣接チャネル漏洩電力の性能を維持しながら、信号の高いPARに対応しなければならないからです。マルチキャリア・パワーアンプの使用により、デザインはさらに複雑になります。

増幅器のデザインとシステム・インテグレーションの両方において、隣接チャネル漏洩電力の仕様を維持しながら、ストレスの高いチャネル構成のPARに増幅器(およびその他のコンポーネント)が対処できるように考慮することが必要です。この作業に役立つものとして、相補累積分布関数があります。

2.2.1 相補累積分布関数(CCDFF)

CCDFは、信号のパワー統計を正確に表示します[15]。これはPARを確率に対して示したものです。図13に示すのは、チャネル構成が異なる2つのW-CDMAダウンリンク信号のCCDF曲線です。一方はDPCHが1個の信号、もう一方は16個のDPCHを持つテスト・モデル1として構成された信号(付録A参照)です。0.1%の確率に対して、16個のコード・チャネルを持つ信号のピーク平均比(8.5 dB)は、1個のコード・チャネルを持つ信号の場合(4.5 dB)よりも高くなっています。

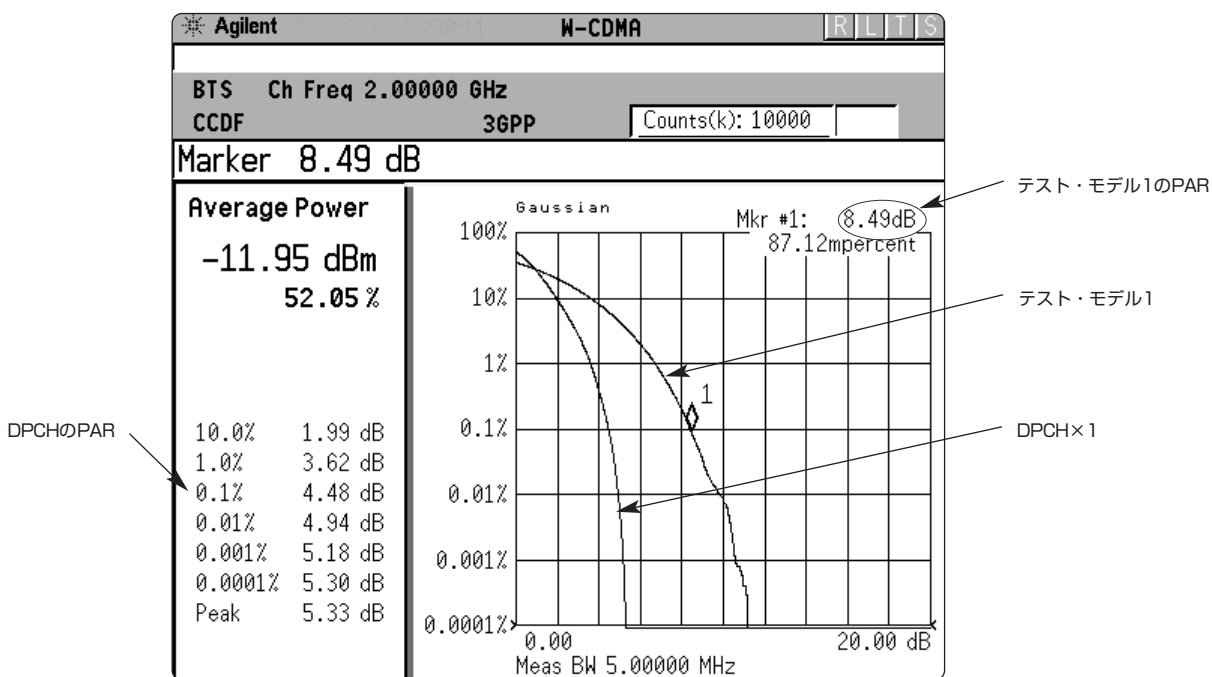


図13. 1個のDPCHを持つW-CDMA信号と、16個のDPCHを持つテスト・モデル1として構成された信号のCCDF

CCDF曲線は、下記のようないくつかの状況で役立ちます。

- コンポーネントのデザインに必要なヘッドルームを決定する場合[15]。
- 与えられた信号またはステイミュラスのパワー統計を確認する場合。CCDF曲線を使えば、他のデザイン・チームから提供されたステイミュラス信号が十分かどうかを検証できます。例えば、RFデザイナーはデジタル信号処理(DSP)セクションから提供された信号が現実的かどうかをCCDF曲線を使って検証できます。
- コンポーネント・デザインが十分かどうかの確認や、サブシステムまたはシステム・デザインのトラブルシューティング。CCDF測定はシステムの複数のポイントで実行できます。例えば、送信機のACLRが大きすぎる場合、パワーアンプの入力と出力でCCDF測定を実行してみます。アンプのデザインが正しければ、2つの曲線は一致します。信号がアンプで圧縮されていれば、信号のピーク平均比がアンプの出力で低くなります(図14)。

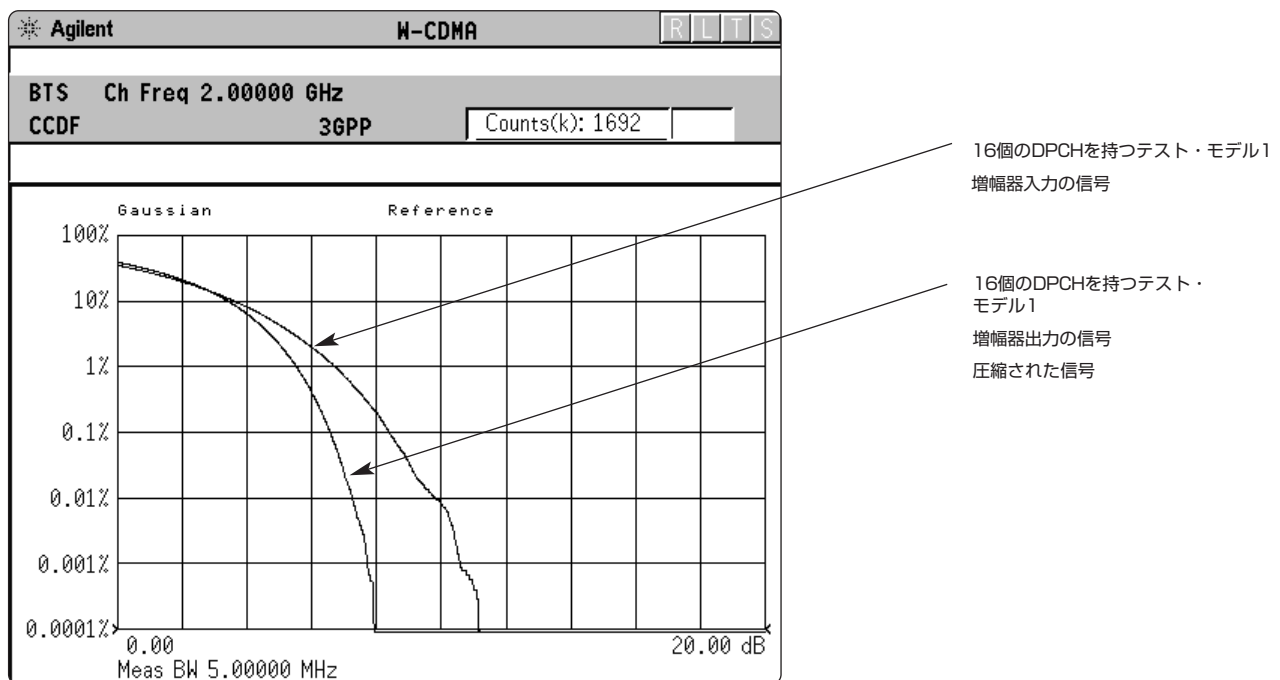


図14. 16個のコード・チャンネルを持つテスト・モデル1の、圧縮のある場合とない場合のCCDF

2.3 変調精度の測定

GMSKなどの固定振幅変調方式の場合、位相誤差と周波数誤差が変調品質の指標となります。しかし、これらの指標は非固定振幅変調フォーマットに対してはあまり有効ではありません。振幅にも誤差が生じる可能性があるからです。

QAM(Quadrature Amplitude Modulation)やQPSK(Quadrature Phase Shift Keying)などの非固定振幅変調方式の変調精度を評価するのにきわめて有効な方法は、信号のコンスタレーションを観察することです。信号障害を客観的に評価する方法として、測定結果のシンボルと基準位置との距離をエラー・フェーザ(ベクトル)として求めることができます(図15参照)。

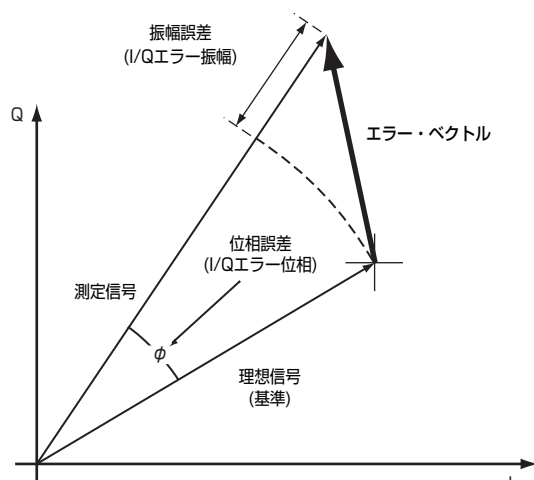


図15. エラー・ベクトルと関連パラメータ

基準位置を求めるには、一般的なQPSK信号の場合、図16に示すように、受信信号からデータ・ビットを復調し、得られたビットを理想的に再復調することで基準信号を作成します。

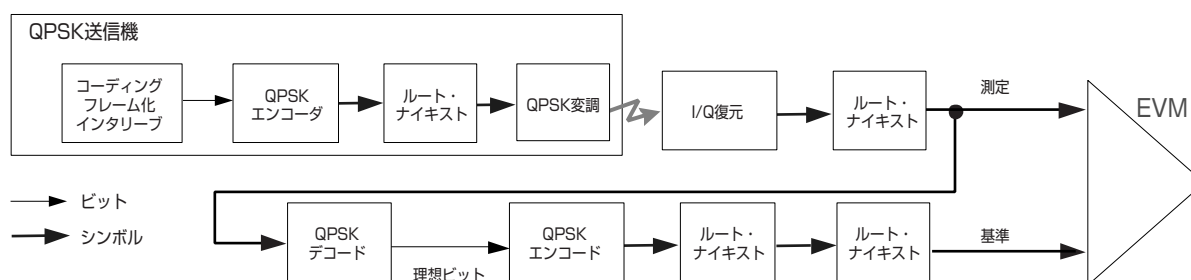


図16. 一般的なQPSK信号のEVMを計算するプロセス

エラー・ベクトルのRMS(Root Mean Square、2乗平均平方根)が計算され、理想信号の平均パワーの平方根に対するパーセンテージとして表されます¹。これがエラー・ベクトル・マグニチュード(EVM)です。EVMは変調品質の尺度として一般的で、デジタル通信システムで広く用いられています(トラブルシューティング・ツールとしてEVMを使用する方法については[16]を参照してください)。

EVMに関するこの説明は、QPSKやQAMの場合には十分ですが、W-CDMAの変調精度を評価することを考えるとさらに考慮が必要です。チップ・レベルとシンボル・レベルのどちらでEVMを測定すべきでしょうか。1個のDPDCHチャネルを持つ信号のEVMを測定すればよいのか、それとも他のチャネル構成を使用すべきでしょうか。基準はどのように計算すればよいのでしょうか。

以下の部分では、W-CDMAのダウンリンク信号に対して実行できる各種のEVM測定およびその他の変調品質測定の違いと、どのような場合に使用するかについて説明します。

1. パーセンテージの実際の計算方法は、それぞれの標準に依存します。EVMの正規化の基準としては、いちばん外側のシンボルの振幅、平均シンボル・パワーの平方根、理想信号の平均パワーの平方根などが用いられます。W-CDMAの場合、理想信号の平均パワーの平方根に対して正規化することが標準に定められています(コンボジットEVMに関するセクションを参照)。

2.3.1 QPSK EVM

QAMまたはPSK信号の場合、理想シンボル・ポイントはI/Q平面上の特定のいくつかの位置に必ずマッピングされます。W-CDMAでは拡散された信号(チップ)をQPSKフォーマットを使って変調しますが、信号は複数のコード・チャンネルから構成されます。各チャンネルはQPSKエンコードされ¹、IとQが拡散されて複素スクランブルされます(図8参照)。コード・チャンネルは、ベースバンド・フィルタリングの前のこの時点で付加されるのが普通です。複素数値を持つチップ・シーケンスはRRC($a = 0.22$)フィルタでフィルタリングされ、結果がQPSK変調器に与えられます²。RFの最終的なコンスタレーションは、QPSKをはじめ既知のコンスタレーションには一致しないのが普通です。ただし、特定の少数のチャンネル構成は例外です。例えば、単一コード・チャンネルからなる信号は、図18のように45°回転したQPSKコンスタレーションにマッピングされます。この回転の原因は複素スクランブルリングです。受信器は絶対的な位相回転を無視するので、受信器が実効的に見るのはQPSKコンスタレーションです。

このため、通常のQPSK EVM測定を使用しても、単一チャンネル信号のチップ・レベルの変調品質についてはいくらかの情報が得られます。もっと複雑な信号はこの測定では解析できません。QPSK EVMは、RFで測定されたチップ信号を理想QPSK基準と比較します(図17参照)。

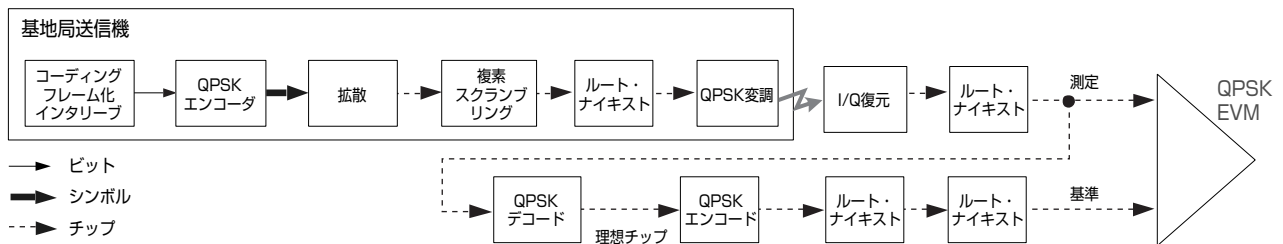


図17. W-CDMAダウンリンク信号のQPSK EVMを計算するプロセス

QPSK EVM測定では、基準を計算する際に信号をデスクランブル、逆拡散してシンボルとチップに戻すことはしません。したがって、ベースバンド・フィルタリング、変調、RFの障害を検出することはできませんが、OVSF拡散や複素スクランブルリングのエラーを検出することはできません。

信号の逆拡散とデスクランブルが不可能な場合、QPSK EVM測定以外に選択の余地はありません。この意味で、拡散やスクランブルリングのアルゴリズムが存在しない、あるいは正しく動作しない状態で、送信機のアナログ・セクションの変調品質を評価するRFデザイナーやシステム・インテグレータにとって、QPSK EVM測定は有効な道具です。例えば図18に示すのは、W-CDMAダウンリンク信号(DPCH×1)で、I/Q利得エラーがあるものとなないものに対するQPSK EVM測定結果とベクトル・ダイアグラムです。

1. この場合のQPSKエンコーディングとは、1つのチャンネルのビットをI(またはQ)パスに並列にマッピングすることを指します。
2. この場合のQPSK変調とは、アップコンバートのプロセスを指します。RF搬送波をI/Qベースバンド信号で変調するプロセスです。

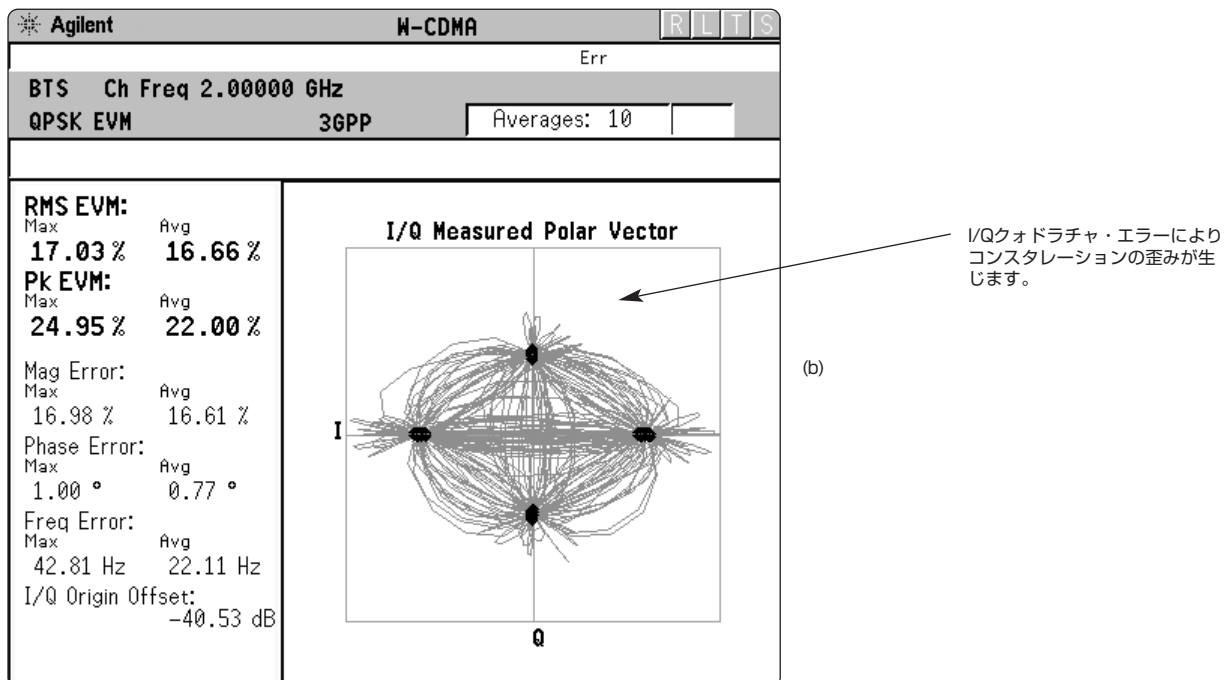
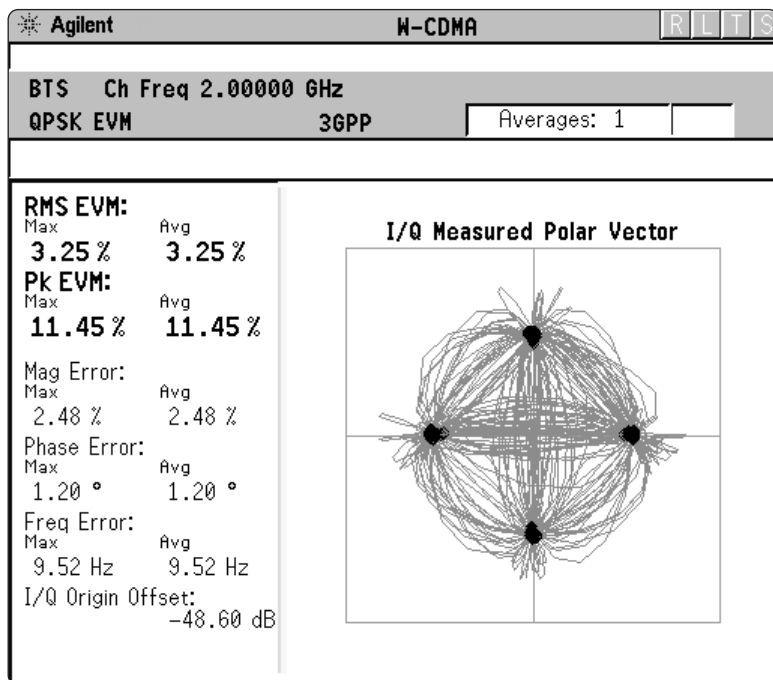


図18. 1個のDPCHを持つW-CDMAダウンリンク信号に対するベクトル・ダイアグラムとQPSK EVM測定結果
(a) 障害のない送信機、(b) I/Q利得エラーのある送信機

エラーの性質によっては、ベクトル・ダイアグラム、エラー・ベクトル対時間または周波数、振幅誤差対時間、位相誤差対時間などがトラブルシューティングに使用できます。例えば、ほとんどのI/Q障害(例えば図18のI/Q利得エラー)はベクトル・ダイアグラムを調べることで容易に発見でき、インチャネル・スプリアス信号はエラー・ベクトル・スペクトラムを解析すれば検出できます[16]。

2.3.2 コンボジットEVM

単一コード・チャネルの信号の場合はEVM測定も役立ちますが、一般には任意のチャネル構成における送信機の全体的変調品質を調べる必要があります。信号のコンスタレーションは、チャネル構成によって変化します。この場合に適した測定は、コンボジットEVM測定です。EVM測定は、3GPP標準で規定された変調精度適合試験に対応します[1]。

W-CDMAマルチチャネル・ダウンリンク信号の変調精度を評価するには、やはり基準信号を作成する必要があります。被試験信号がダウンコンバートされ(ベースバンドI/Q信号がリカバされ)、ルート・ナイキスト・フィルタに通されます。アクティブなチャネルがデスクランブル、逆拡散され、QPSKデコードされてビットになります(図19参照)。

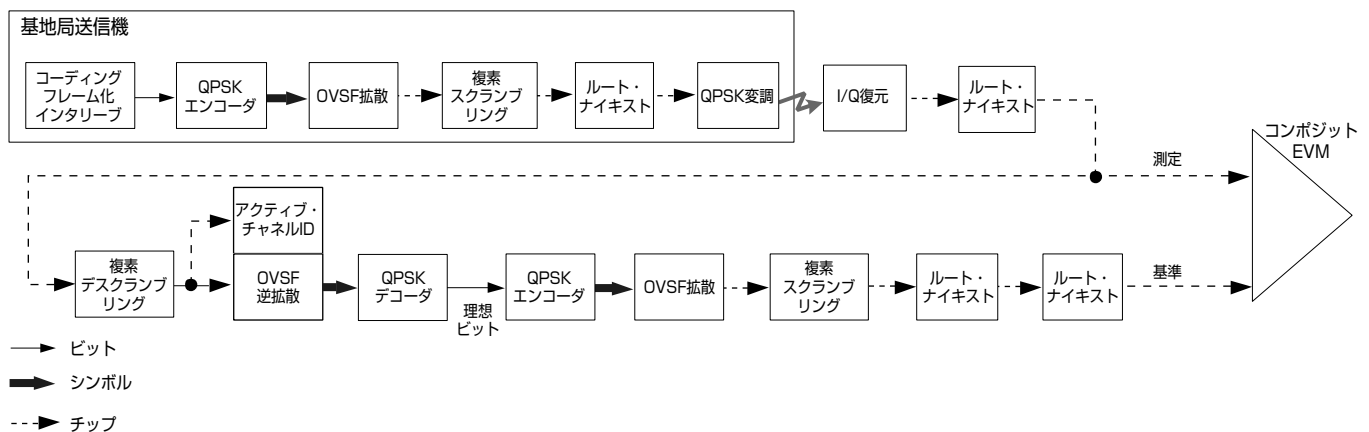


図19. W-CDMAダウンリンク信号のコンボジットEVMを計算するプロセス

逆拡散されたビットは理想的に再変調されて、必要なチップ・レベルの基準信号を生成します。基準信号を測定信号から差し引くことにより、エラー・フェーザのタイム・レコードが生成されます。エラー信号の平均パワーと基準信号の平均パワーとの比の平方根が計算され、EVMのパーセンテージとして報告されます。

コンボジットEVM測定では、アクティブ・チャネルの拡散とスクランプリングのすべての問題と、送信機チェーンにおけるベースバンド、IF、RFのすべての障害を考慮することができます。

コンボジットEVM測定を実行するためには、W-CDMAダウンリンク信号にSCHまたはCPICHが含まれる必要があります。そうでないと、アナライザが信号に同期して基準を計算することができません。このような場合、すでに説明したように、QPSK EVMを使って単一チャネル(CPICHやDPCHなど)のRF性能を測定することができます。

QPSK EVM測定の代わりにコンボジットEVM測定(およびそれに関連するベクトル・ダイアグラム、位相誤差および振幅誤差測定など)を使用する方がよいのは下記のような場合です。

1. マルチチャネル信号に対する送信機の品質を評価するため。これは特に、正しい統計値を持つ現実的な信号を使って送信機のRFセクション(またはコンポーネント)をテストする必要があります。RFデザイナーにとって重要です。すでに説明したように、信号のPARはチャネル数が増えるとともに増加します。マルチチャネル信号に対する変調品質を測定することにより、異なるストレス・レベル(異なるCCDF)のW-CDMAダウンリンク信号に対するRFデザインの性能を解析することができます。マルチチャネル信号の変調品質の評価は、ベースバンド・デザイナーにとっても、マルチボード・ベースバンド・デザインの性能を解析するために重要です。例えば、異なるボードのチャネル同士のクロック同期にわずかなタイミング誤差があると、

変調品質の低下として検出されることがあります。図20aに示すのは、P-CPCCHとSCHを持つW-CDMA信号のベクトル・ダイアグラムとコンポジットEVM測定結果です。これはテスト・モデル4に対応し、変調精度試験に用いるものとして標準に規定されたものです[1]。図20bに示すのは、P-CCPCH/SCH、CPICH、および3つのDPCHを持つW-CDMA信号のベクトル・ダイアグラムとコンポジットEVM測定結果です。

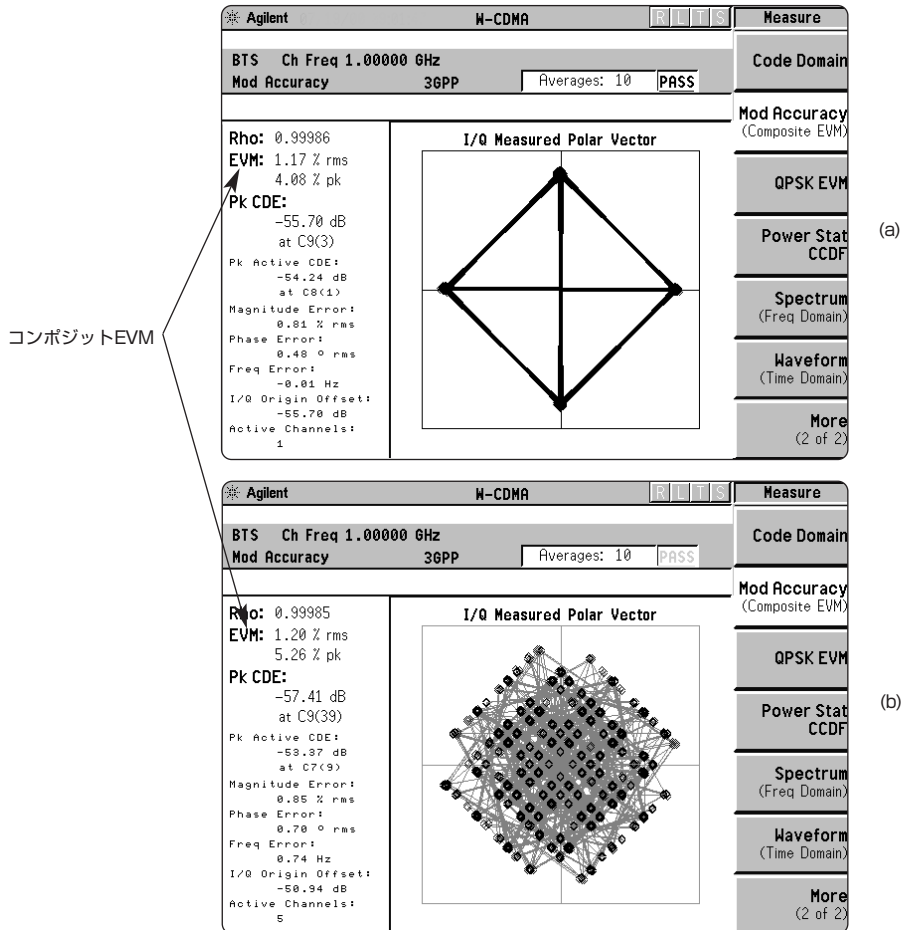


図20. W-CDMAダウンリンク信号のベクトル・ダイアグラムとコンポジットEVM測定結果。
(a) P-CPCCH/SCHを持つ信号、(b) P-CPCCH/SCH、CPICH、および3つのDPCHを持つ信号。

2. 拡散またはスクランプリングのエラーを検出するため。エラーの程度によっては、コンポジットEVM測定を行う際に、アナライザが間欠的なアンロック条件を示したり、全くロックできなかったりします。これは主にシステム・インテグレータにとって、拡散とスクランプリングのエラーを発見するために役立ちます。この問題が発生した場合、送信機の他の部分が正しく動作していることをQPSK EVM測定を使って確認します。アンロック測定条件が生じないようなスクランプリングまたは拡散エラーの場合、エラー・ベクトル対時間表示を使って問題のあるチップを発見できます。

3. ベースバンド・セクションとRFセクションとの間で発生するある種の問題を検出するため。これは主にシステム・インテグレータに役立ちます。これらの問題の一部はQPSK EVM測定を使って検出できる場合もあります。例えば、デジタル信号による干渉から生じる局部発振器の不安定度はQPSK EVMで検出可能です。ただし、ビット・シーケンスに同期した測定が必要な問題の検出にはQPSK EVM測定は使えません。例えば、I/Q入れ替わり(IとQが逆)のエラーはQPSK EVM測定では完全に正常に見えます。これに対して、コンポジットEVM測定ではこのエラーはアンロック条件を生じます。

4. 信号に大きな干渉を生じるエラーを解析するため。干渉が大きすぎると、QPSK EVM測定では基準信号を正確に復元できない場合があります。この場合、QPSK EVMとそれに関連する表示は正確ではありません。コンポジットEVM測定では信号のデスクランプリングと逆拡散が行われるため、拡散利得の恩恵を受けます。この利得により、複数のチップ・エラーが生じるレベルよりも大きい干渉が存在する場合でも、信号から真の基準を復元することができます。したがって、被試験信号が干渉に埋もれていても、コンポジットEVMは変調忠実度の真の指標となります。これらの測定は特に、干渉レベルが高い厳しいフィールド条件で有用であるといえます。システム・インテグレータはコンポジットEVMを使って、基地局の展開に干渉がどのような影響を及ぼすかを解析し、基地局-携帯電話端末の感度曲線をサービス・プロバイダに提供することができます(EVMがどれだけ悪化したら携帯電話端末またはシグナル・アナライザが信号をリカバできなくなるか)。拡散利得が使えるというコンポジットEVMの利点は、RFデザイナーやシステム・インテグレータにとっても、まれにあるひどい干渉のケースを扱うために役立ちます。例えば、図21aに示すのは1つのDPCHを持つ信号のQPSK EVM測定の位相誤差対時間表示です。この信号には非常に大きな局部発振器の不安定度があり、アナライザは正しい基準信号をリカバできません。図21bに示すのは、CPICHとDPCHを持つ信号のコンポジットEVM測定の位相誤差対時間表示です。この場合、アナライザは信号を復調して基準信号を正確に計算できます。コンポジットEVM測定から得られるEVM測定値は正確で、図21bの位相誤差表示を使って干渉の解析が可能です。

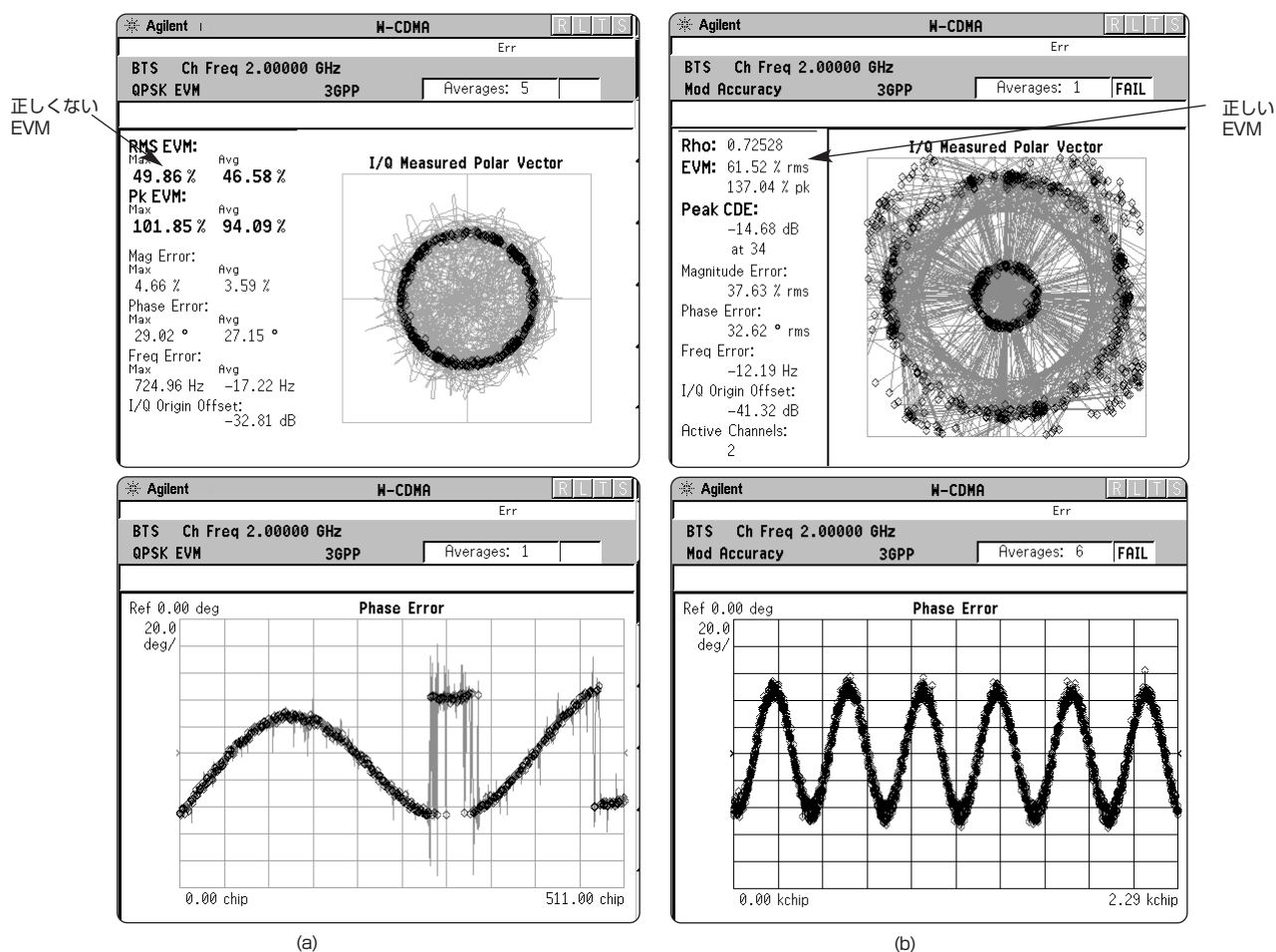


図21. P-CCPCH/SCHを持つW-CDMAアップリンク信号。非常に大きい局部発振器の不安定度を持つ信号。(a) QPSK EVM測定のベクトル・ダイアグラムと位相誤差対時間。(b) コンポジットEVM測定のベクトル・ダイアグラムと位相誤差対時間。

コンボジットEVMは、基地局ライフ・サイクルにおける開発、性能検証、製造の各段階において、コンボジット波形全体を単一の性能指数で扱えるために便利です。しかし、多重化信号のコード単位の構成も知る必要があります。これを調べるための主要な方法は、コード・ドメインでのパワー分布を見ることです。

2.3.3 コード・ドメイン・パワー

コード・ドメイン・パワーとは、コード・チャネルの組の中での信号パワーの分布を、全信号パワーに対して正規化したものの解析です。コンボジット波形を解析するために、各チャネルがコード相関アルゴリズムを用いてデコードされます。このアルゴリズムによって、各コードの相関係数が求められます。チャネルがデコードされた後、各コード・チャネルのパワーが求められます。

W-CDMAの場合に測定を複雑にする要因として、異なるデータ・レートに対応するため、OVSFコードの長さ(拡散率(SF)とも呼ぶ)が変化することが挙げられます。ユーザ・レートが増加するほど、シンボル周期は短くなります。最終的なチップ・レートは一定なので、シンボル周期内に収容されるOVSFコード・チップの数は少なくなります。すなわちSFが小さくなります。拡散率は、DPCHが960 kspssから7.5 kspssまで変化するにつれて、4、8、16、32、64、128、256、512の値を取ります。

1つの拡散率に対して1組、全部で7組の拡散コードが規定されています。OVSFコードの割当てには、図22のコード・ツリーを使います。各コードは $C_{ch,SF,n}$ で表されます。例えば $C_{ch,4,2}$ は、チャネル化コードSF=4、コード番号2を表します。

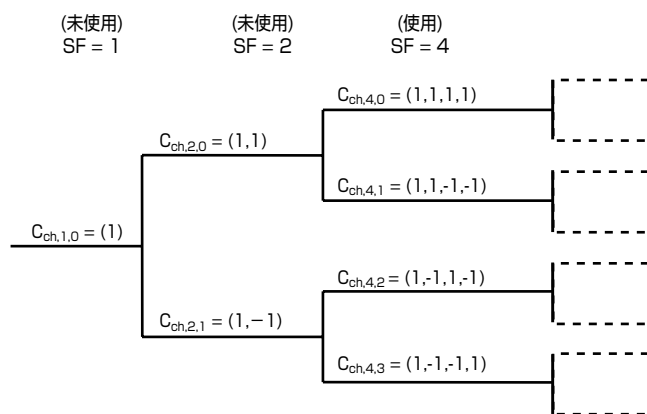


図22. OVSFコードのコード・ツリー生成[10]

このツリーで、特定のSFのOVSFコードを得るには、前のSFの「親枝」コードをコピーし、そのまま繰り返すか、反転します。例えば、 $C_{ch,2,1}=(1,-1)$ を繰り返せば $C_{ch,4,2}=(1,-1,1,-1)$ が得られ、 $C_{ch,2,1}=(1,-1)$ をコピーして反転すれば $C_{ch,4,3}=(1,-1,-1,1)$ が得られます。このコード生成法をリバース・ビット法と呼びます。

可変のSFを使うことの制約の1つとして、短いコードを使うと、それから派生するすべての長いコードが使えなくなります。図23にその説明を示します。SF=4のコード $(1,1,-1,-1)$ を使う高いデータ・レートのチャネルを送信する場合、 $1,1,-1,-1$ で始まるそれより長いコードを使用する低データ・レートのチャネルは、直交しないためすべてオフにする必要があります。

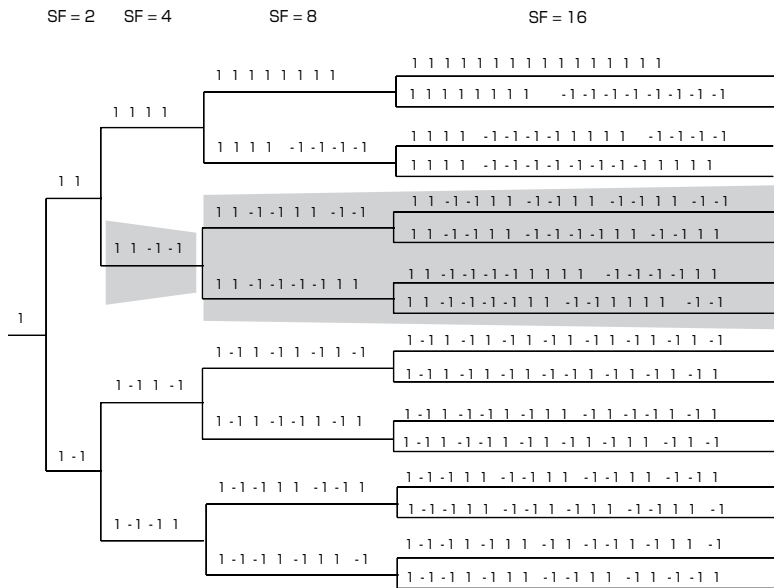


図23. 可変SF使用の制約

コード容量に関しては、データ・レートが高い(SFが小さい)チャンネルほど多くのコード空間を占有します。例えば、 $C_{ch,4,1}$ が占有するコード空間は、 $C_{ch,8,2}$ の4倍、 $C_{ch,16,4}$ の16倍です。コード・ドメイン・パワー表示の太いバーは、コード空間を多く占有する小さいSFを表します。図24に示すのは、P-CCPCH/SCH、CPICH、30 ksp/sでSF = 128($C_{ch,128,8}$)のDPCH、120 ksp/sでSF = 32($C_{ch,32,15}$)のDPCHを持つ信号のコード・ドメイン・パワー表示です。マーカが配置されている幅の広いコード・チャンネル($C_{ch,32,15}$)は、高いデータ・レート(120 ksp/s)を示します。この表示を行うために、アナライザはアクティブなコード・チャンネルのSFを識別する必要があります。

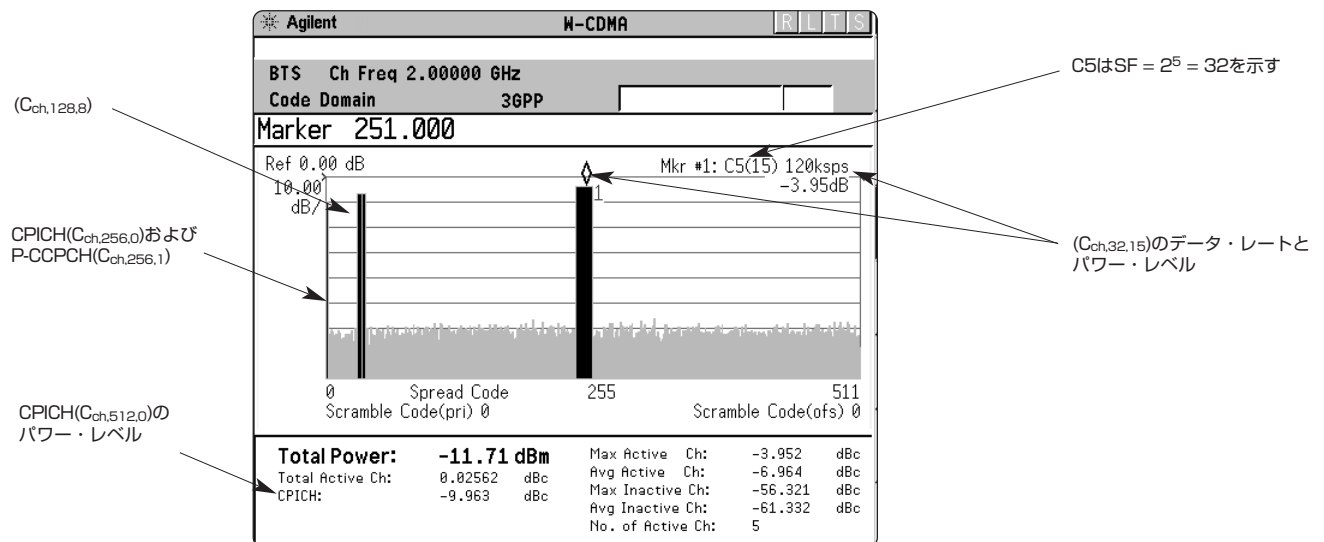


図24. P-CCPCH/SCH、CPICH、および2つのDPCH($C_{ch,32,15}$ および $C_{ch,32,15}$)を持つ信号のコード・ドメイン・パワー表示

コード・ドメイン・パワー測定を使うと、各OVSFチャンネルが正しいレベルで動作しているかどうかだけでなく、コーディングからRFセクションまで、送信機デザインの全体を通しての問題の発見に役立ちます。特に、非アクティブ・チャンネルのレベルは、特定の障害についての有用な情報を提供してくれます。理想的には、非アクティブ・チャンネルのレベルは0であるべきです。しかし実際には、信号とシステムの不完全さによりコードの直交性が損なわれ、信号パワーの一部が非アクティブ・コードに投影されます。また、実際の信号にはある程度のノイズ・レベルが存在し、ランダムにすべてのコードに対してある程度一様に投影されます。

エラーの投影が重要なのは、エラーのパワーがコード・ドメインでどのように分布しているかを知るのに役立つからです。エラーのパワーは、特定のいくつかのコードに集中するのではなく、コード・ドメイン全体に一樣に分布しているほうが、コードに依存するチャネル品質の変動を避けるために望ましいといえます。

エラーのパワーが不均一に分布する原因の1つは、パワーアンプの非線形性です。信号が圧縮されると、コード・ミキシングと呼ばれる現象が発生します。この現象は数学的に予測することが可能です[12]。基本的には、アクティブ・チャネルから失われたエネルギーが、アクティブ・チャネルのコードの排他的OR(XOR)のコードを持つチャネルに現れます。図25では、チャネル $C_{ch,32,8}$ および $C_{ch,32,14}$ を持つ信号に対するアンプの圧縮により、 $C_{ch,32,6}$ が占めるコード空間にエネルギーが生じています。

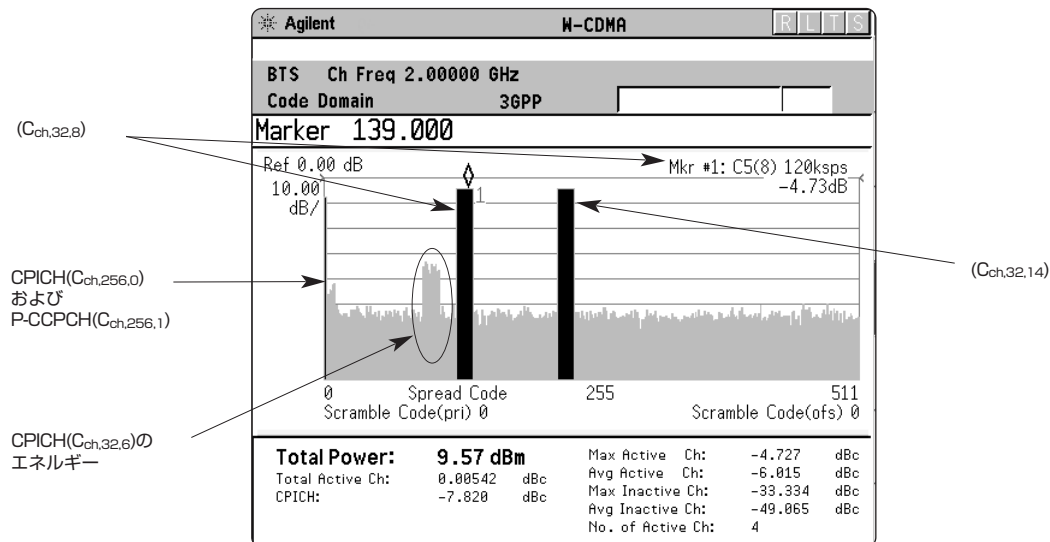


図25. P-CCPCH/SCH、CPICH、および2つのDPCH($C_{ch,32,8}$ および $C_{ch,32,14}$)を持つ信号のコード・ドメイン・パワー表示。増幅器圧縮によりコード・ミキシングが発生。

2.3.4 ピーク・コード・ドメイン・エラー

W-CDMAでは、不均一なエラー・パワー分布に対応するため、コンポジットEVM測定を補足するものとしてピーク・コード・ドメイン・エラーと呼ばれる別のテストが規定されています。これは特定の1つのコードにおけるエラー・パワーの制限値を定めたものです。

この測定を行うために、アナライザはエラー・ベクトル・パワーを各コード・チャネルに拡散率256で投影します。基準に対して最大のエラー・パワーを返すコードから、ピーク・コード・ドメイン・パワーが計算されます。

ガウシアン・ノイズのパワーは、コード・ドメイン全体に均等に分布します。これに対して、送信機障害から生じるコード・ドメイン・エラーは、アクティブ・コード・チャネルで最大になるのが普通です。これらのチャネルから失われたコード・ドメイン・エネルギー(チャネルのコード・ドメイン・エラー)がいくつかのコード・チャネルに拡散されるからです。図26には、上記と同じコード・ミキシング問題を持つ信号に対するピーク・コード・ドメイン・エラーとコンポジットEVMを示します。

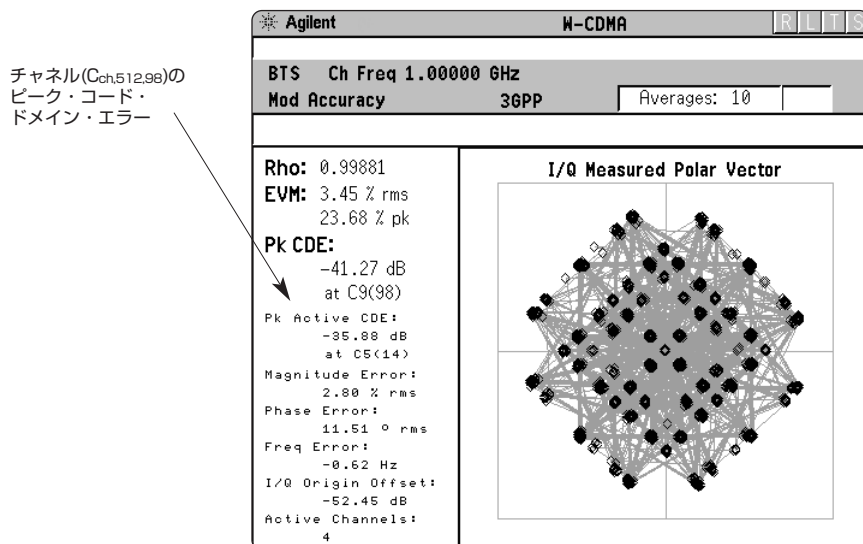


図26. P-CCPCH/SCH、CPICH、および2つのDPCH($C_{ch,32,8}$ および $C_{ch,32,14}$)を持つW-CDMAダウンリンク信号のピーク・コード・ドメイン・エラーとコンボジットEVM。圧縮障害が存在する信号。

コード・ドメイン・パワーとピーク・コード・ドメイン・エラーを調べるほかにも、特定のコード・チャンネルを解析する方法があります。以下の部分では、いくつかの解析ツールとその使用方法について説明します。図27は、これらの測定の計算方法を示したものです。

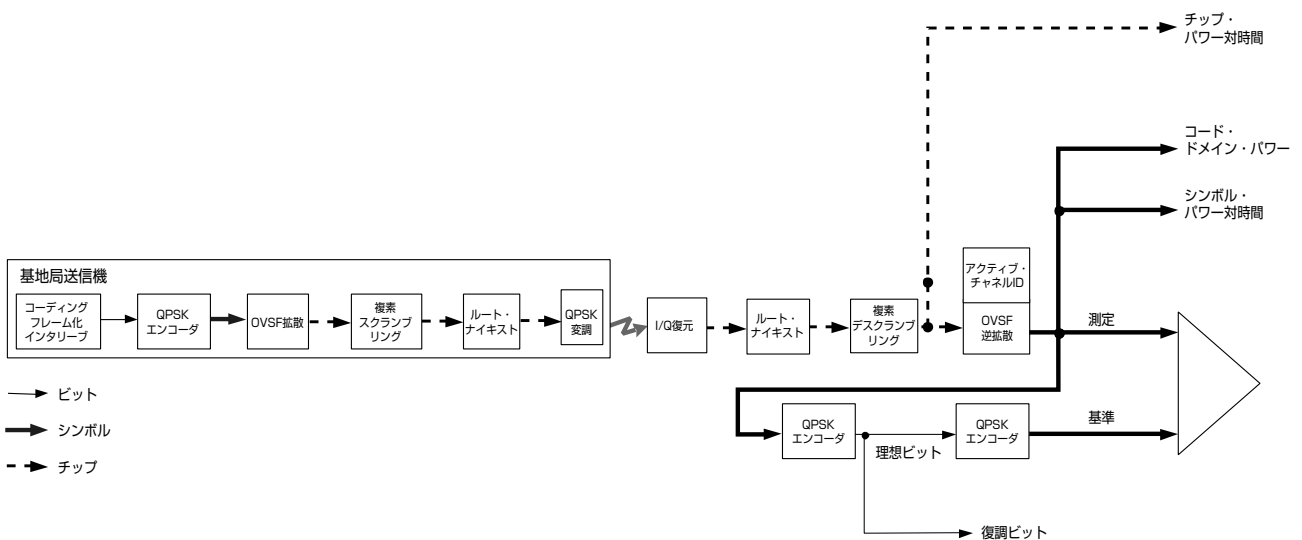


図27. コード・ドメイン・パワー、シンボルEVM、シンボル・パワー対時間、チップ・パワー対時間、復調ビットを計算するプロセス

2.3.5 シンボルEVM

信号をデスクランブル、逆拡散することにより、複数のコードが存在する場合でも、特定のコード・チャンネルのコンスタレーションとEVMをシンボル・レベルで解析できます。測定された信号はデスクランブル、逆拡散されます。理想シンボル基準信号の位相軌道が計算され、測定結果を逆拡散したシンボルの軌道と比較されます(図27)。

シンボルEVMに影響する障害は、コンボジットEVMにも影響します。例えば、アンプ圧縮の問題は、コンボジットEVMとシンボルEVMの両方の測定に現れます。ただし、シンボルEVMでは拡散利得のために障害が見えにくくなります。それでは、なぜシンボルEVMを使うのでしょうか。

シンボルEVMは、RFと復調されたビットとをつなぐ役割を果たします。これには拡散利得が含まれるため、実際の性能に近い変調品質の尺度としてベースバンド・エンジニアに役立ちます。この意味で、シンボルEVMはそのチャンネルのユーザが実際に体験する品質と見なすことができます(ビット・エラー・レート(BER)の逆数と同様)。

シンボルEVMとチップEVMとの関係は、拡散率に依存します。拡散率が小さい(データ・レートが高い)場合、チップ変調エラーはシンボルEVMに大きな影響を与えます。拡散率が高い場合、チップ変調エラーがシンボルEVMに与える影響は小さくなります。この意味で、ベースバンドDSPエンジニアがシンボル品質を評価し、異なるデータ・レートのチャネルの品質に個々の障害がどのように影響するかを解析する上で、シンボルEVMは特に有用であるといえます。例えば、図28に示すのは、位相誤差の問題がある信号のシンボルEVM測定です。15 kbpsでSF=256のチャネルと、480 kbpsでSF=8のチャネルが対象です。高いデータ・レートのチャネルのほうがシンボルEVMが大きくなっています。

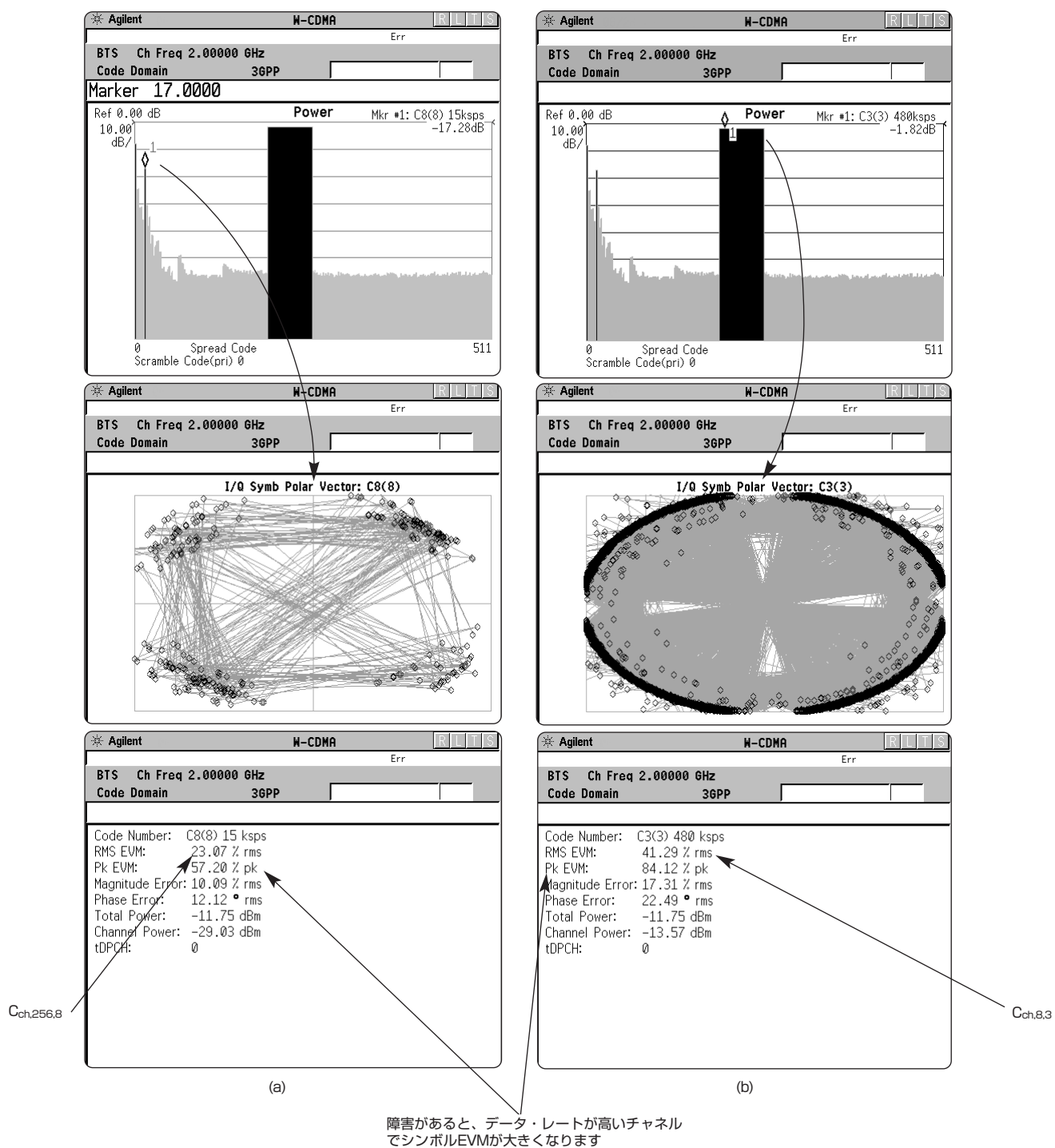


図28. P-CCPCH/SCH、CPICH、および2つのDPCH(C_{ch,256,8}およびC_{ch,8,3})を持つW-CDMAダウンリンク信号のコード・ドメイン・パワー測定。(a) 15 kbps(C_{ch,256,8})のDPCHのシンボルEVM。(b) 480 kbps(C_{ch,8,3})のDPCHのシンボルEVM。

2.3.6 シンボル・パワー対時間

ダウンリンクDPCHは、表1に示すスロット構造の1つを使用します。DPCHスロットはいくつかのフィールドから構成されます。例えばDPCCHには、TFCIビット、TPCビット、パイロット・ビットが含まれる可能性があります。図29の例に示すように、これらのフィールドの利得設定はそれぞれ独立しています。

スロット・フォー・マット #i	チャンネル・ビット・レート (kbps)	チャンネル・シンボル・レート (kbps)	SF	ビット/フレーム			ビット/スロット	DPDCH ビット/スロット		DPCCH ビット/スロット		
				DPDCH	DPCCH	TOT		N _{data1}	N _{data2}	N _{TFCI}	N _{TPC}	N _{pilot}
0	15	7.5	512	60	90	150	10	2	2	0	2	4
1	15	7.5	512	30	120	150	10	0	2	2	2	4
2	30	15	256	240	60	300	20	2	14	0	2	2
3	30	15	256	210	90	300	20	0	14	2	2	2
4	30	15	256	210	90	300	20	2	12	0	2	4
5	30	15	256	180	120	300	20	0	12	2	2	4
6	30	15	256	150	150	300	20	2	8	0	2	8
7	30	15	256	120	180	300	20	0	8	2	2	8
8	60	30	128	510	90	600	40	6	28	0	2	4
9	60	30	128	480	120	600	40	4	28	2	2	4
10	60	30	128	450	150	600	40	6	24	0	2	8
11	60	30	128	420	180	600	40	4	24	2	2	8
12	120	60	64	900	300	1200	80	4	56	8*	4	8
13	240	120	32	2100	300	2400	160	20	120	8*	4	8
14	480	240	16	4320	480	4800	320	48	240	8*	8	16
15	960	480	8	9120	480	9600	640	112	496	8*	8	16
16	1920	960	4	18720	480	19200	1280	240	1008	8*	8	16

*TFCIビットを使用しない場合、不連続伝送(DTX)ビットが用いられます。

表1. ノーマル・モードのDPCHのダウンリンク・スロット構造

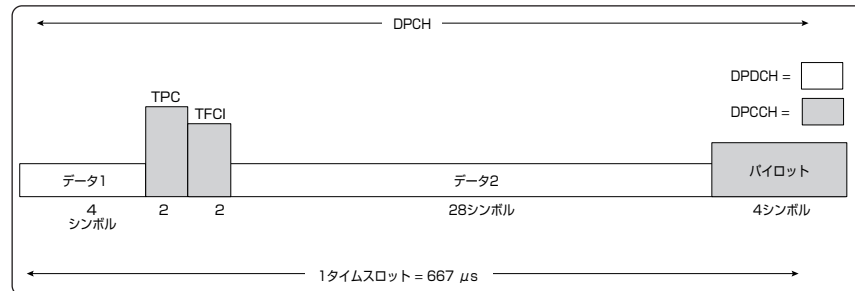


図29. ダウンリンクDPCHフィールドの可変パワー・レベルの例

各フィールドのパワー・オフセットが正確かどうかを確認するには、コード・チャネルのシンボル・パワー対時間を観察します(図30)。

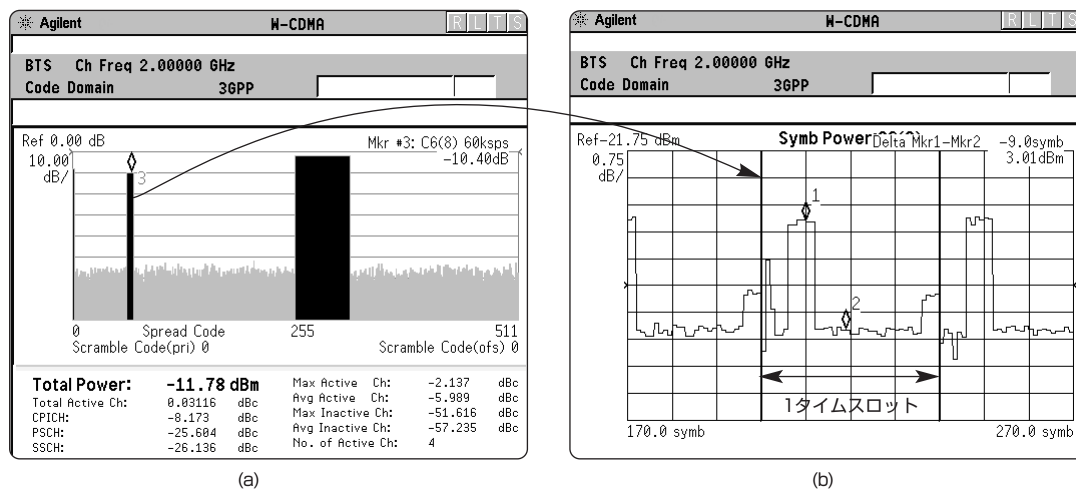


図30. (a) P-CCPCH/SCH, CPICH, および2つのDPCH(C_{ch,64,8}およびC_{ch,8,4})を持つW-CDMAダウンリンク信号のコード・ドメイン・パワー測定。(b) 60 kbpsのDPCH(C_{ch,64,8})のシンボル・パワー対時間。

パワー対時間測定は、基地局パワー制御システムのパワーと応答のモニタリングにも使用できます。この方法はパワー制御ステップの適合試験にも推奨されています。この試験では、一連のパワー制御コマンドに回答するコード・チャネルのパワー・ステップの確度を測定します[1]。

図31に示すのは、アップリンク信号の逆拡散後のシンボル・パワーとコンボジット(合計)チップ・パワーです。チップ・パワーはそのチップ・レートでの信号の全パワーを示します。チャネルのシンボル・パワーと全チップ・パワーを時間に対して解析することは、パワー・オフセットやパワー制御コマンドに対するパワーアップの応答(リップル)をシステム・インテグレータが解析する際に特に有用です。

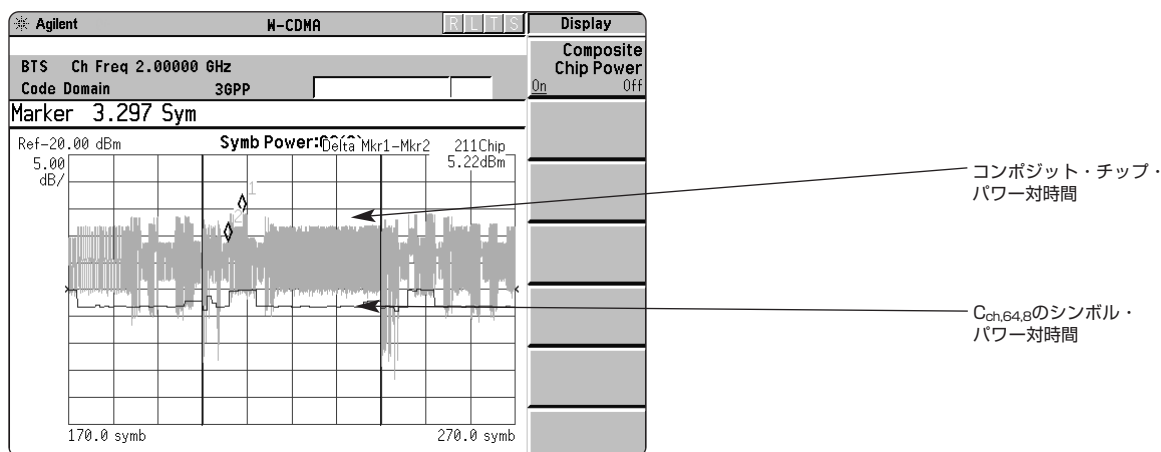


図31. P-CCPCH/SCH, CPICH, および2つのDPCH($C_{ch,64,8}$ および $C_{ch,8,4}$)を持つ信号のチップ・パワー対時間と、60 kbps のチャネル($C_{ch,64,8}$)のシンボル・パワー対時間。

2.3.7 復調ビット

各コード・チャネルに対するデスクランプリングと逆拡散を経てシンボルが復調されたら、正しいシンボル・パターンを検証することができます。表1に示すように、アップリンクのDPCCHには異なるいくつかのスロット構造があります。復調ビットにより、各フィールド(パイロット、TFCH、TPC など)のビットが正しいかどうかを検証できます(図32)。

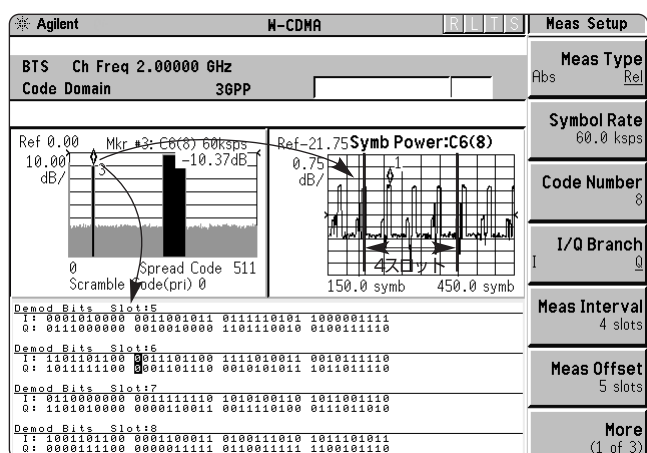


図32. P-CCPCH/SCH, CPICH, および2つのDPCH($C_{ch,64,8}$ および $C_{ch,8,4}$)を持つW-CDMAダウンリンク信号のコード・ドメイン・パワー測定と、60 kbpsのDPCH($C_{ch,64,8}$)のシンボル・パワー対時間と復調ビットの組合わせ。

復調ビットは、ベースバンド・エンジニアにとって、コーディングとインタリーブのエラーを発見するための重要なトラブルシューティング・ツールです。基地局と携帯電話端末の間の通信がうまくいかない原因の多くがこれによって明らかになります。復調ビットを解析することにより、携帯電話端末のコーディングとインタリーブのプロセスにエラーの原因があるのか、それとも基地局のデインタリーブとデコーディングのプロセスが原因なのかを知ることができます。

2.4 受信器性能の測定

CDMAでは、受信器の復調プロセスがTDMAシステムの場合よりも複雑です。基地局の受信器は、相関とデスクランプリングのアルゴリズムを使って、携帯電話端末が送信した信号からビットをリカバする必要があります。

W-CDMAの場合、IS-95に比べてさらに複雑さが増しています。2Gシステムと異なり、高いデータ・レートを実現するため携帯電話端末が複数の物理チャネルを同時に送信する可能性があります。高データ・レート・トラフィックのほとんどはダウンリンクで発生すると考えられるので、携帯電話端末はほとんどの時間フル容量では動作しない(使用可能なチャネルのすべてを使用しない)と予想されます。

アップリンクの最小構成は、DPCCHと1つのDPDCHからなります。DPDCHのシンボル・レートは可変です(表2)。図33に示すのは、DPDCHとDPCCHのスロット構造の例です。DPCCHは表3に示すスロット・フォーマットの中の任意のものを使用できます。

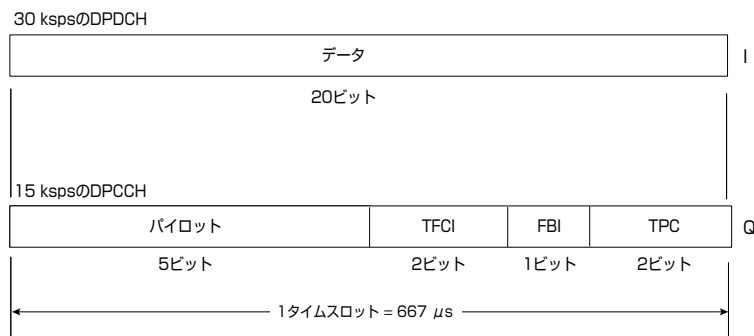


図33. DPDCHおよびDPCCHのスロット構造の例

スロット・フォーマット#	チャネル・ビット・レート(kbps)	チャネル・シンボル・レート(ksps)	SF	ビット/フレーム	ビット/スロット	N _{data}
0	15	15	256	150	10	10
1	30	30	128	300	20	20
2	60	60	64	600	40	40
3	120	120	32	1200	80	80
4	240	240	16	2400	160	160
5	480	480	8	4800	320	320
6	960	960	4	9600	640	640

表2. DPDCHのフィールド

スロット・フォーマット#	チャネル・ビット・レート(kbps)	チャネル・シンボル・レート(ksps)	SF	ビット/フレーム	ビット/スロット	N _{pilot}	N _{TFCI}	N _{FBI}	N _{TPC}
0	15	15	256	150	10	6	2	0	2
1	15	15	256	150	10	8	0	0	2
2	15	15	256	150	10	5	2	1	2
3	15	15	256	150	10	7	0	1	2
4	15	15	256	150	10	6	0	2	2
5	15	15	256	150	10	5	2	2	1

表3. DPCCHのフィールド

受信器は回復されたベースバンド・チップをデスクランブル、逆拡散して、各物理チャネルのシンボルを得ます。その後、物理チャネルのフレームが結合されてデコードされます。図34に受信器の処理を示します。

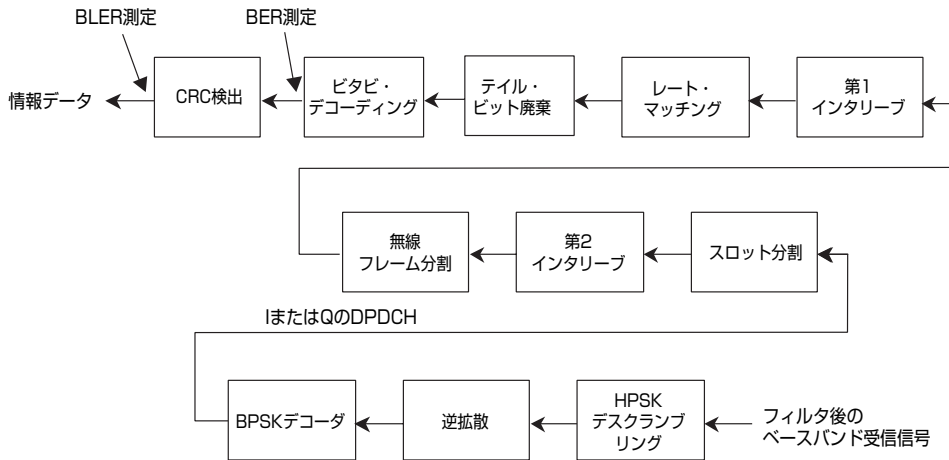


図34. W-CDMA基地局受信器のBERおよびBLER測定

3GPPの標準で定められた性能指数は、受信器特性に対してはビット・エラー・レート(BER)、性能要件に対してはブロック・エラー・レート(BLER)です。受信器特性試験には、基準感度レベル、ACS、ブロッキング特性があります(付録Aまたは標準[1]参照)。性能試験は、いくつかのアップリンク・リファレンス・メジャメント・チャネルに対する受信器性能を指定された伝搬条件で解析するものです。性能試験の例をいくつか挙げれば、マルチパス・フェージング伝搬条件でのDCH復調や、バース/デス伝搬条件でのDCH復調などがあります[1]。

BERおよびBLERテストには、基地局受信器の完全なインプリメンテーションが必要ですが、受信器デザインの初期段階ではこれが得られない場合があります。以下の部分では、W-CDMA基地局受信器サブシステムおよびシステム・デザインのさまざまな面の機能と性能を検証するために使用できるテストと、それらに必要なステミュラス信号の要件について説明します。デジタル通信受信器デザインのトラブルシューティングに関する一般的な情報については、[17]を参照してください。

2.4.1 復調と逆拡散の検証

W-CDMAの場合、物理チャネル構成とパラメータが異なるさまざまな信号に対するサブシステムの復調と逆拡散(チップからシンボルへの処理)の機能を検証することが重要です。DPDCHのビット・レート、スクランブル・コード、DPCCHのスロット構造(TFCIの有無など)、DPDCHとDPCCHのパワー比などがさまざまに変化します。

このテストに必要なステイミュラス信号は、DPCCHとDPDCHからなる1個のフレームの繰り返しです。ステイミュラス・コントローラでは、上記の変数がユーザ制御可能でなければなりません。また、逆拡散の検証のため、データ・フィールドのビット・パターンがユーザ制御可能でなければなりません。

2.4.2 制御チャネルのリカバとTFCIデコーディングの検証

このテストの目的は、基地局サブシステムがTFCIフィールドを正しくデコードし、TPC、FBI、パイロットの各シンボルを正しくリカバできるかどうかを検証することです。

このテストに必要なステイミュラス信号は、DPCCHのフレーム1個の繰り返しで、可変10ビット入力に基づくTFCIフィールドを標準に規定されたとおりに適切にコーディングしたものです(図35)[3]。ステイミュラス・ジェネレータでは、TPC、FBI、パイロットの各フィールドがユーザ制御可能でなければなりません。

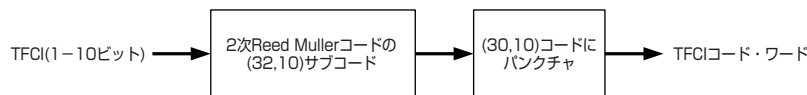


図35. TFCIビットのチャネル・コーディング[2]

2.4.3 TPCコマンドに対する応答の検証

すでに説明したように、システム容量を最大化するには高速で正確なパワー制御が不可欠です。携帯電話端末はDPCCH内のTPCビットを使って、そのユーザに対するコード・チャネルのパワーを増減するように基地局に指示します。

基地局コード・チャネル・パワーのステップ応答の確度試験は、送信機の適合測定の一つです[1]。このテストを実行すると、送信機応答の確度だけでなく、受信器と内部パワー制御ループの機能も検証されます。

標準に規定されたTPCコマンドに対する基地局の応答を調べるには[1]、アップリンクの12.2 kbpsリファレンス・メジヤメント・チャネルとして構成されたDPCCHとDPDCHがステイミュラスに含まれる必要があります。ステイミュラス・ジェネレータでは、TPCパターンがユーザ制御可能でなければなりません。また、標準の要求に従って、10ステップ・アップと10ステップ・ダウンのランプ・パターンをサポートすることが望まれます。可能な方法の一つとして、図36に示すように、複数のフレームを生成してシーケンス化することができます。

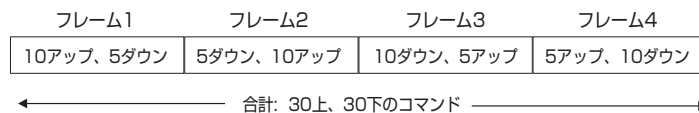


図36. 10ステップ・アップ、10ステップ・ダウンのコマンド列をサポートするステイミュラス・フレームのシーケンス

2.4.4 チャンネル構成変更に対する受信器応答の解析

動的チャンネル構成を復調することにより、拡散率、相対チャンネル・パワー、TFCIなどがフレーム境界で変化した場合の受信器の応答を検証することができます。

この解析に必要なステイミュラス信号は、それぞれ異なるチャンネル構成を持つ単一フレームのシーケンスからなるものです。上記のすべてのパラメータが各フレームで変化する必要があります。

2.4.5 ビット・エラー・レート(BER)とブロック・エラー・レート(BLER)

BERは、受信器特性適合試験(基準感度レベル、ACSなど)に関して標準で用いられている性能指数です[1]。

BLERは性能要件テスト(マルチパス条件での復調テストなど)に用いられます[1]。

BERは、チャンネルのデインタリーブとデコードの後でトランスポート・ブロックのビット・エラーをカウントします(図34参照)。BLERもチャンネルのデインタリーブとデコードの後で、各トランスポート・ブロックのCRC(Cyclic Redundancy Check、巡回冗長検査)を評価することによって測定されます。拒否されたブロックはすべてエラーとしてカウントされます。すなわち、BERとBLERの主な違いは、BLERの場合デコードされたブロックのエラーだけでなくCRCも測定されることです。CDMAシステムの性能指標としては、BLERのほうが一般的にはBERよりも有用です。それでもBERテストが3GPPの標準に残されている理由は、無線機開発における受信器RF性能の評価と、リファレンス・メジャメント・チャンネルのシステム・シミュレーションにおいて広く用いられてきたからです。BERとBLERとの間に直接の関係はありません。ビット・エラーはまとまって発生する傾向があります。これは、RFで発生する1つのイベントがブロック・エラーに結びつかないようにシステムが対応する方法に原因があります。

W-CDMAでは頑強なコーディング・アルゴリズムが採用されているため、ビット・エラーとして認識される前に多くのエラーが修正されます。しかし、BER曲線の屈折部は、それほど強くないエラー訂正を採用したシステムの場合よりもはるかに鋭くなります。W-CDMAの場合、ビット・エラーの数がエラー訂正アルゴリズム(コンボリューショナル・エンコーディング/インタリーブなど)の能力を超えると、BERは無視できる値から回復不可能な値にまで一気に上昇します。

BERまたはBLERの適合試験を行う際に標準で要求されているステイミュラスは、リファレンス・メジャメント・チャンネルの1つとして構成された、完全にコード化された信号です。受信器特性試験では、12.2 kbpsのリファレンス・メジャメント・チャンネルのみが要求されます。これに対して性能要件テストは、複数のリファレンス・メジャメント・チャンネルに対して行う必要があります[1]。付録Bに、標準に規定されたアップリンクの12.2 kbpsリファレンス・メジャメント・チャンネルのコーディング構造とパラメータを示します[1]。

DPCHの正しいコーディング(特定のリファレンス・メジャメント・チャンネルに対して定義されたもの)に加えて、ステイミュラスのDTCH(またはDCCH)の情報データとしてはPN9シーケンスを用いる必要があります。

BERやBLERの計算は、基地局が内部的に実行しても、外部のメータで行ってもかまいません。基地局がこれらの値を計算する場合、図37のようにエラーを挿入したステイミュラス信号を使って基地局を校正することが標準で要求されています。

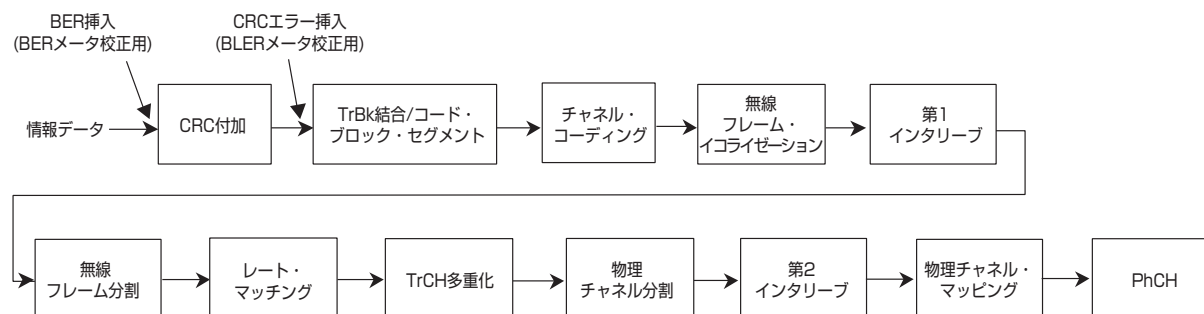


図37. BERおよびBLERメータの校正

付録Aに、BERまたはBLERの測定を必要とする受信器および性能テストの一覧を示します。

まとめ

W-CDMAでは、動的割当て可能な広帯域のコード空間を提供することにより、セル内の多数のユーザに対して高データ・レートの通信を可能にしています。他のセルラCDMAテクノロジーの場合と同様、W-CDMAには簡単なセル・サイト・コード・プランがセル・サイト周波数プランの代わりに使用できるという利点があり、しかもこの利点をGPSによる時間同期なしで実現しています。

W-CDMAの高度な機能、例えばそのユニークな捕捉とハンドオーバーのプロセスなどは、W-CDMAシステムの開発、性能検証、量産試験において、さまざまな問題をもたらします。本アプリケーション・ノートでは、W-CDMA基地局のデザインとテストに関する主要な問題の概要を説明しました。さらに、デザインの検証とトラブルシューティングに利用できる測定についても紹介しました。

付録A: 適合試験セットアップ表

表4は、標準で要求されている基地局適合試験の一覧です[1]。この表は、各試験に使用する測定と機器を調べるための早見表として利用できます。

適合試験	3GPP		測定ソリューション					
	適合試験セクション [5]	テスト・モデルまたは リファレンス・メシヤメント・ チャンネル(RMC)	測定	必要機器				備考
				シグナル・アナライザ	信号発生器	パワー・メータ	その他のパーツ	
送信機試験								
基地局 最大出力パワー	6.2.1	テスト・モデル 1	チャンネル・パワー (または平均パワー)	●		●	アッテネータ	シグナル・アナライザ またはパワー・メータが 使用可能
CPICHパワー確度	6.2.2	テスト・モデル 2	コード・ ドメイン・ パワー	●			アッテネータ	
周波数安定度	6.3	テスト・モデル 4	コンポジットEVM またはコード・ ドメイン・パワー	●			外部基準、 アッテネータ	
パワー制御ステップ	6.4.2	テスト・モデル 2	シンボル・パワー 対時間	●	●		アッテネータ	
パワー制御ダイナミック・レンジ	6.4.3	テスト・モデル 2	シンボル・パワー 対時間	●	●		アッテネータ	
全パワー・ダイナミック・レンジ	6.4.4	テスト・モデル 2	チャンネル・ パワー	●		●	アッテネータ	シグナル・アナライザ またはパワー・メータが 使用可能
占有帯域幅	6.5.1	テスト・モデル 1	占有帯域幅	●			アッテネータ	
スペクトラム放射マスク	6.5.2.1	テスト・モデル 1	スペクトラム解析	●			アッテネータ	
隣接チャンネル 漏洩電力比(ACLR)	6.5.2.2	テスト・モデル 1	ACLRまたはACPR	●			アッテネータ	
スプリアス放射 (カテゴリA)	6.5.3.5	テスト・モデル 1	スペクトラム 解析	●			アッテネータ	
スプリアス放射 (カテゴリB)	6.5.3.6	テスト・モデル 1	スペクトラム 解析	●			アッテネータ	
基地局受信器保護	6.5.3.7	テスト・モデル 1	スペクトラム 解析	●			プリアンプ・フィルタ	
GSM900との共存	6.5.3.8	テスト・モデル 1	スペクトラム 解析	●			プリアンプ・フィルタ	
DCS1800との共存	6.6.3.9	テスト・モデル 1	スペクトラム 解析	●			プリアンプ・フィルタ	
PHSとの共存	6.6.3.10	テスト・モデル 1	スペクトラム 解析	●			フィルタ	
隣接周波数帯域の サービスとの共存	6.5.3.11	テスト・モデル 1	スペクトラム 解析	●			フィルタ	
UTRA-TDDとの共存	6.5.3.12	テスト・モデル 1	スペクトラム 解析	●			フィルタ	

表4. 適合試験セットアップ表

適合試験	3GPP			測定ソリューション				備考	
	適合試験セクション [5]	テスト・モデルまたは リファレンス・メジャメント・ チャネル(RMC)	測定	必要機器					
				シグナル・アナライザ	信号発生器	パワー・メータ	その他のパーツ		
送信機試験									
送信相互変調	6.6	テスト・モデル1	スペクトラム 解析	●	●		コンバイナ、 サーキュレータ、 バッファ、ターミネータ		
変調精度	6.7.1	テスト・モデル4	コンボジット EVM	●			アッテネータ		
ピーク・コード・ドメイン・エラー	6.7.2	テスト・モデル3	ピーク・コード 領域エラー				アッテネータ		
受信器試験									
基準感度レベル	7.2	RMC 12.2 kbps	BER		●				
ダイナミック・レンジ	7.3	RMC 12.2 kbps	BER		●		AWGN ジェネレータ/コンバイナ		
隣接チャネル選択度	7.4	RMC 12.2 kbps	BER		●		W-CDMAジェネレータ、 コンバイナ、 アッテネータ×2		
ブロッキング特性	7.5	RMC 12.2 kbps	BER	●	●		W-CDMAジェネレータまたは CWジェネレータ、コンバイナ、 サーキュレータ、アッテネータ×3	高い信号純度の 信号源が必要	
相互変調特性	7.6	RMC 12.2 kbps	BER		●		W-CDMAジェネレータ、 CWジェネレータ、コンバ イナ×2、アッテネータ×3		
スプリアス放射	7.7		手動 スペクトラム・ モニタリング	●					
内部BER計算の検証	7.8	RMC 12.2 kbps	BER		●			指定されたBERをRMCに 付加する機能が信号発生器に 必要	
性能要件テスト									
復調テスト	8.1~8.5	RMC 12.2 kbps ~ 384 kbps	BLER		●		チャネル・シミュレータ×2、 AWGNジェネレータ×2、 スプリッタ、コンバイナ		
内部BLER計算の検証	8.6	RMC 12.2 kbps ~2048 kbps	BLER		●		スプリッタ×1	指定されたBLERを RMCに付加する機能が 信号発生器に必要	

表4 (続き). 適合試験セットアップ表

付録B: テスト・モデルと リファレンス・メジャメント・チャンネル

テスト・モデル

テスト・モデルに関する下記の情報は、3GPPの標準から抜粋したものです【1】。

テスト・モデル1

このモデルは、下記のテストに用いられます。

- スペクトラム放射マスク
- ACLR
- スプリアス放射
- 送信相互変調
- 基地局最大出力パワー

タイプ	チャンネル数	パワー割合 (%)	レベル設定 (dB)	チャンネル化コード	タイミング・オフセット ($\times 256T_{\text{chip}}$)
PCCPCH + SCH	1	10	-10	1	0
1次CPICH	1	10	-10	0	0
PICH	1	3.2	-15	16	120
DPCH(SF = 128)	16/32/64	合計76.8	表6参照	表6参照	表参照

表5. テスト・モデル1のアクティブ・チャンネル

コード	タイミング・オフセット ($\times 256T_{\text{chip}}$)	レベル設定 (dB) (16コード)	レベル設定 (dB) (32コード)	レベル設定 (dB) (64コード)
2	86	-10	-13	-16
11	134	-12	-13	-16
17	52	-12	-14	-16
23	45	-14	-15	-17
31	143	-11	-17	-18
38	112	-13	-14	-20
47	59	-17	-16	-16
55	23	-16	-18	-17
62	1	-13	-16	-16
69	88	-15	-19	-19
78	30	-14	-17	-22
85	18	-18	-15	-20
94	30	-19	-17	-16
102	61	-17	-22	-17
113	128	-15	-20	-19
119	143	-9	-24	-21
7	83		-20	-19
13	25		-18	-21
20	103		-14	-18
27	97		-14	-20
35	56		-16	-24
41	104		-19	-24
51	51		-18	-22
58	26		-17	-21
64	137		-22	-18
74	65		-19	-20
82	37		-19	-17
88	125		-16	-18
97	149		-18	-19
108	123		-15	-23
117	83		-17	-22
125	5		-12	-21

表6. テスト・モデル1のDPCH拡散コード、タイミング・オフセット、レベル設定

コード	タイミング・オフセット ($\times 256T_{\text{chip}}$)	レベル設定 (dB) (16コード)	レベル設定 (dB) (32コード)	レベル設定 (dB) (64コード)
4	91			-17
9	7			-18
12	32			-20
14	21			-17
19	29			-19
22	59			-21
26	22			-19
28	138			-23
34	31			-22
36	17			-19
40	9			-24
44	69			-23
49	49			-22
53	20			-19
56	57			-22
61	121			-21
63	127			-18
66	114			-19
71	100			-22
76	76			-21
80	141			-19
84	82			-21
87	64			-19
91	149			-21
95	87			-20
99	98			-25
105	46			-25
110	37			-25
116	87			-24
118	149			-22
122	85			-20
126	69			-15

表6 (続き). テスト・モデル1のDPCH拡散コード、タイミング・オフセット、レベル設定

テスト・モデル2

このモデルは、下記のテストに用いられます。

- 出力パワー・ダイナミクス

タイプ	チャンネル数	パワー割合 (%)	レベル設定 (dB)	チャンネル化 コード	タイミング・ オフセット ($\times 256T_{\text{chip}}$)
PCCPCH + SCH	1	10	-10	1	0
1次CPICH	1	10	-10	0	0
PICH	1	10	-10	16	120
DPCH (SF = 128)	3	2 x 10, 1 x 50	2 x -10, 1 x -3	24, 72, 120	1, 7, 2

表7. テスト・モデル2のアクティブ・チャンネル

テスト・モデル3

このモデルは、下記のテストに用いられます。

- ピーク・コード・ドメイン・エラー

タイプ	チャンネル数	パワー割合 (%)	レベル設定 (dB)	チャンネル化コード	タイミング・オフセット ($\times 256T_{\text{chip}}$)
PCCPCH + SCH	1	12, 6/7, 9	-9 / -11	1	0
1次CPICH	1	12, 6/7, 9	-9 / -11	0	0
PICH	1	10/3, 2	-10 / -15	16	120
	16/32	63, 7/80, 合計4	表9参照	表9参照	表9参照
DPCH (SF = 256)					

表8. テスト・モデル3のアクティブ・チャンネル

コード	T_{offset}	レベル設定 (dB) (16コード)	レベル設定 (dB) (32コード)
64	86	-14	-16
69	134	-14	-16
74	52	-14	-16
78	45	-14	-16
83	143	-14	-16
89	112	-14	-16
93	59	-14	-16
96	23	-14	-16
100	1	-14	-16
105	88	-14	-16
109	30	-14	-16
111	18	-14	-16
115	30	-14	-16
118	61	-14	-16
122	128	-14	-16
125	143	-14	-16
67	83		-16
71	25		-16
76	103		-16
81	97		-16
86	56		-16
90	104		-16
95	51		-16
98	26		-16
103	137		-16
108	65		-16
110	37		-16
112	125		-16
117	149		-16
119	123		-16
123	83		-16
126	5		-15

表9. テスト・モデル3のDPCH拡散コード、 T_{offset} 、パワー

テスト・モデル4

このモデルは、下記のテストに用いられます。

- EVM測定

タイプ	チャンネル数	パワー割合 (%)	レベル設定 (dB)	チャンネル化コード	タイミング・オフセット
PCCPCH + SCH	1	50~1.6	-3~-18	1	-

表10. テスト・モデル4のアクティブ・チャンネル

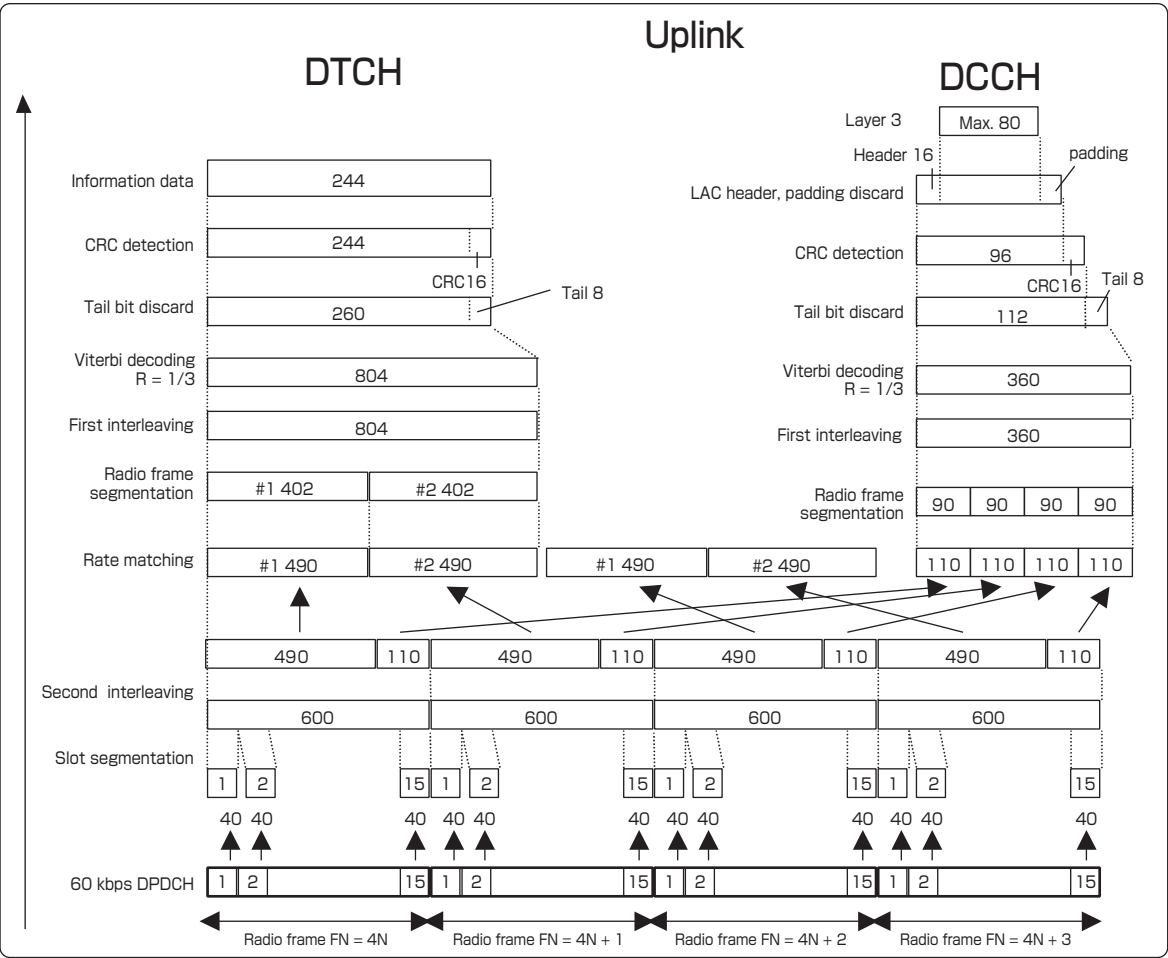


図38. アップリンク12.2 kbpsリファレンス・メジャメント・チャンネルのチャンネル・コーディング

アップリンク・リファレンス・メジャメント・チャンネルの例

下記のアップリンク・リファレンス・メジャメント・チャンネルの例は、W-CDMA標準から抜萃したものです【1】。

Parameter	Level	Unit
Information bit rate	12, 2	kbps
DPCH	60	kbps
Power control	Off	-
TFCI	On	-
Repetition	22	%

表11. アップリンク・リファレンス・メジャメント・チャンネル(12.2 kbps)

付録C: AgilentのW-CDMA基地局デザイン/ テスト用ソリューション

このセクションには、基地局サブシステムおよびシステムのデザインとテストに役立つAgilentソリューションのリストを記載します。

ソフトウェア・デザインおよびシミュレーション

W-CDMAシステム、回路、DSPのデザインには、Agilentアドバンスド・デザイン・システム(ADS)が使用できます。ADSは用途の広いデザイン・ツールで、広範囲のRF、アナログ、DSPモデルとシミュレーション機能を提供します。

3GPP W-CDMAデザイン・ライブラリ(E8875A/AN)は、物理レイヤのモデリングを行います。データ/制御論理チャネル、フレーム分割と多重化によるコード化コンボジット・トランスポート・チャネルの構成、専用物理データ/制御チャネルの多重化などが含まれます。

ADSとE8875A/ANデザイン・ライブラリを組み合わせれば、3GPPの標準またはACLR、EVM、BER、BLERなどの性能パラメータに基づくデザインの評価を、デザイン・サイクルの早い段階で実行できます。3GPPのTS 25.141(基地局)およびTS 25.104のバージョン3.1に記述されている送信機/受信器試験のほとんどをシミュレートできます(下の表を参照)。

基地局送信機試験		ADS E8875A/AN
選択したチャネル構成のピーク-平均比		○
選択したチャネル構成のCCDF		○
送信機試験 [18]	送信パワー	○
	最大出力パワー	○
	占有帯域幅	○
	帯域外放射	○
	スペクトラム放射マスク	○
	隣接チャネル漏洩電力	○
	スプリアス放射	○
	変調精度	○
	ピーク・コード・ドメイン・エラー	○
基地局受信器試験		ADS E8875A/AN
未コード化物理BER		○
複数のOCNS干渉がある状態でのBERおよびBLER		○
BERおよび受信器試験[18]	基準感度レベル	○
	受信器最大レベル	○
	隣接チャネル選択度	○
	ブロッキング感度	○
	相互変調感度	○

表12. Agilent ADS E8875A/ANでシミュレート可能な送信機/受信器試験

E8875A/ANの信号源デザインは、Agilent ESG-D/DP信号発生器で提供されているアップリンク/ダウンリンク構成の一部と一致する構成を提供します。各デザイン構成にはESG信号発生器との間のリンクが組み込まれているため、現場で信号を容易に再生成してプロトタイプ・ハードウェアの検証に利用できます。

信号生成

Agilent ESG-DおよびESG-DPシリーズRF信号発生器+オプション100には、W-CDMA基地局コンポーネントおよびサブシステムの受信器試験に使用できるアップリンク/ダウンリンク信号をシミュレートする機能があります。使いやすいインタフェースで下記の機能を利用できます。

- 定義済みW-CDMAチャネル構成の選択(送信機適合試験のすべてのダウンリンク・テスト・モデルを含む)
- マルチキャリア・コンポーネント・テストのためのマルチキャリア信号の生成
- 任意のW-CDMAマルチチャネル信号を構成可能なテーブル・エディタ

さらに、オプションH99を使えば、5 MHzオフセットと10 MHzオフセットの隣接チャネル性能(ACLR)が向上します。これはW-CDMAの増幅器試験に特に重要です。

使いやすいインタフェース・リンクを使って、ADSで作成したカスタム波形をESG信号発生器に簡単にダウンロードできるようになりました。

Agilent ESG-DおよびESG-DPシリーズRF信号発生器+オプション200には、携帯電話端末コンポーネント、サブシステム、システム受信器デザインに使用できる信号をシミュレートする機能があります。使いやすいインタフェースで、すべてのリファレンス・メジャメント・チャネルを含む定義済みチャネル構成を選択できます。ユーザ・データ入力やコーディング・パラメータの変更が可能な柔軟性も備えています。

		ESG オプション100	ESG オプション200
モジュール/受信器サブシステム/コンポーネント・テスト (スティミュラス/レスポンス用テスト・モデルのサポート)		○	○
受信器テスト			
復調および逆拡散の検証		○	○
制御チャネルのリカバリおよびTFCIデコーディングの検証		○	○
TPCコマンドに対する応答の検証		○	○
動的変更に対する受信器応答の解析		○	○
BERおよび受信器適合試験[5]	基準感度レベル	—	○
	ダイナミック・レンジ	—	○
	隣接チャネル選択度	被変調干渉として	○
	ブロッキング特性	—	○
	相互変調特性	被変調干渉として	○
	内部BER計算の検証	—	○
BLERおよび内部BLER計算の検証			○

表13. ESG-DおよびESG-DPシリーズRF信号発生器で実行可能なコンポーネント/受信器サブシステム/システム・テスト

パワー・メータおよびセンサ

Agilent EPMシリーズ・パワー・メータおよびE9300シリーズ・パワーセンサを使えば、W-CDMA信号の平均パワー測定を80 dBという広いダイナミック・レンジで実行できます。E9300パワーセンサは、ダイオード・スタック—アッテネーター—ダイオード・スタックというトポロジを採用することにより、センサのダイナミック・レンジ全体にわたって測定の確度と再現性を確保します**[13]**。

E9300パワーセンサは帯域幅に依存しないので、被試験信号の変調フォーマットにセンサの帯域幅を合わせる必要がありません。E4418Bパワー・メータとE9300センサを組み合わせれば、GPIB経由で毎秒最高200回という高速な測定が可能です。3GPP W-CDMAの携帯電話端末平均パワー測定に推奨されるパワー・メータとパワーセンサは下記の通りです。

- E4418Bパワー・メータ、シングル・チャンネル
- E4419Bパワー・メータ、デュアル・チャンネル
- E9301Aパワーセンサ、10 MHz～6 GHz、－60～+20 dBm
- E9301Hパワーセンサ、10 MHz～6 GHz、－50～+30 dBm
- E9300Bパワーセンサ、10 MHz～6 GHz、－30～+44 dBm

8480シリーズの他のパワーセンサもE4418B/9Bパワー・メータで使用できます。

信号解析

この表は、Agilentのシグナル・アナライザとそれぞれのW-CDMA基地局送信機測定機能の一覧です(2000年8月現在)。

W-CDMA(3GPP)		Agilentシグナル・アナライザ				
		ベクトル・シグナル・アナライザ			スペクトラム・アナライザ	
測定		E4406A VSA 送信機デスタ ¹	89400A シリーズ・ ベクトル・ シグナル・ アナライザ ²	89600ベクトル・ シグナル・ アナライザ	8560-E シリーズ ³ ・ スペクトラム・ アナライザ	ESA-E シリーズ ³ ・ スペクトラム・ アナライザ
汎用測定						
チャンネル・パワー		●	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴
CCDF		●	●	●		
変調品質	QPSK EVM	●	●	●		
	コンボジット EVM	●				
	コード・ドメイン・ パワー	●	●			
	ピーク・コード・ ドメイン・エラー	●				
	シンボルEVM	●	●			
	シンボル・ パワー 対時間	●	●			
	コンボジット・ チップ・パワー 対時間	●	●			
	復調ビット	●	●			
送信機適合試験[5]						
基地局最大出力パワー		●	● ⁴		● ⁴	● ⁴
CPICHパワー確度		●	●			
周波数安定度		●	●			
内部ループ・パワー制御 およびパワー制御ステップ		●	●			
パワー制御ダイナミック・レンジ		● ⁴	● ⁴			
全パワー・ダイナミック・レンジ		● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴
占有帯域幅		●				●
帯域外放射		●	● ⁴		● ⁴	● ⁴
ACLR		●	● ^{4,5}	● ^{4,5}	● ^{4,5}	● ^{4,5}
スプリアス放射		330 MHz~ 3.67 GHz	最大4 GHz ⁴		● ⁴	● ⁴
送信相互変調		●	● ⁴		● ⁴	● ⁴
変調精度		●				
ピーク・コード・ドメイン・エラー		●				

表14. Agilentシグナル・アナライザとそのW-CDMA基地局送信機測定機能

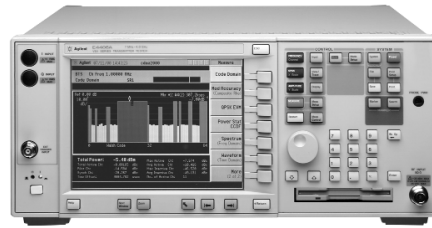
1. W-CDMA向けに構成済みの測定。
2. 一部の測定はW-CDMA用に構成済み。他の測定のパラメータは表示されたとおりに手動で設定が必要。
3. W-CDMA向けに構成されていない測定。測定パラメータは表示されたとおりに手動で設定が必要。
4. 測定パラメータは表示されたとおりに手動で設定が必要。
5. 方形フィルタを使った測定のみ可能。誤差は0.1 dB未満。

測定例に使用した測定器

本アプリケーション・ノートの測定例と画面イメージは、下記の測定器を使って得られたものです。



Agilent ESG-Dシリーズ
RFデジタル信号発生器
オプション100



Agilent E4406A
VSA送信機テスト

略語解説

2G	.....Second Generation(第2世代)	IS-2000	...EIA/TIA暫定標準2000(cdma2000参照)
3G	.....Third Generation(第3世代)	IS-95	.....米国CDMAの暫定標準
3GPP	.....Third-Generation Partnership Project (第3世代パートナーシップ・プロジェクト)	LO	.....Local Oscillator(局部発振器)
ACIR	.....Adjacent Channel Interference Ratio(隣接チャネル干渉電力)	MAC	.....Medium Access Control(メディア・アクセス制御)
ACL	.....Adjacent Channel Leakage(隣接チャネル・リーケージ)	OCNS	.....Orthogonal Channel Noise Simulator(直交チャネル・ノイズ・シミュレータ)
ACLR	.....Adjacent Channel Leakage Power Ratio(隣接チャネル漏洩電力比)	OCQPSK	..Orthogonal Complex Quadrature Phase Shift Keying(直交複素クオドラチャ位相シフト・キーイング)
ACPR	.....Adjacent Channel Power Ratio(隣接チャネル漏洩電力比)	OVSF	.....Orthogonal Variable Spreading Factor(直交可変拡散率)
ACS	.....Adjacent Channel Selectivity(隣接チャネル選択度)	PA	.....Power Amplifier(パワーアンプ)
AICH	.....Acquisition Indication Channel(捕捉通知チャネル)	PAR	.....Peak-to-Average Power Ratio(ピークー平均パワー比)
ARIB	.....Association of Radio Industries and Businesses (日本の電波産業会)	PCCH	.....Paging Control Channel(ページング制御チャネル)
BCH	.....Broadcast Channel(ブロードキャスト・チャネル)	P-CCPCH	..Primary Common Control Physical Channel(1次共通制御物理チャネル)
BCCH	.....Broadcast Control Channel(ブロードキャスト制御チャネル)	PCPCH	...Physical Common Packet Channel(物理共通パケット・チャネル)
BER	.....Bit Error Rate(ビット・エラー・レート)	PDC	.....Pacific Digital Cellular System
BLER	.....Block Error Rate(ブロック・エラー・レート)	PDSCH	..Physical Downlink Shared Channel (物理ダウンリンク共通チャネル)
BPSK	.....Binary Phase Shift Keying(バイナリ位相シフト・キーイング)	PICH	.....Paging Indication Channel(ページング通知チャネル)
BTS	.....Base Transceiver Station(ベース・トランシーバ・ステーション)	PN	.....Pseudo-Noise(疑似ノイズ)
CCCH	.....Common Control Channel(共通制御チャネル)	PRACH	..Physical Random Access Channel(物理ランダム・アクセス・チャネル)
CCDF	.....Complementary Cumulative Distribution Function(相補累積分布関数)	PSC	.....Primary Synchronization Code(1次同期コード)
CCTrCH	...Coded Composite Transport Channel(コード化コンポジット・トランスポート・チャネル)	P-SCH	...Primary Synchronization Channel(1次同期チャネル)
CDMA	...Code Division Multiple Access(符号分割多元接続)	PSK	.....Phase Shift Keying(位相シフト・キーイング)
cdmaOne	...EIA/TIAの第2世代標準(通常IS-95と呼ばれる)に付けられた名称	QAM	.....Quadrature Amplitude Modulation(クオドラチャ振幅変調)
cdma2000	...EIA/TIAの第3世代標準(IS-2000)に付けられた名称	QPSK	.....Quadrature Phase Shift Keying(クオドラチャ位相シフト・キーイング)
CPCH	.....Common Packet Channel(共通パケット・チャネル)	RACH	...Random Access Channel(ランダム・アクセス・チャネル)
CPICH	.....Common Pilot Channel(共通パイロット・チャネル)	R&D	.....Research and Development(研究開発)
CRC	.....Cyclic Redundancy Check(巡回冗長検査)	RF	.....Radio Frequency(無線周波数)
CW	.....Continuous Wave(連続波、非変調信号)	RLC	.....Radio Link Control(無線リンク制御)
DCH	.....Dedicated Channel(専用チャネル)	RMS	.....Root Mean Square(2乗平均平方根)
DCCH	...Dedicated Control Channel(専用制御チャネル)	RRC	.....Root Raised Cosine(ルート・ナイキスト)
DL	.....Downlink(ダウンリンク)	RRS	.....Radio Resource Control (無線リソース制御)
DPCCH	...Dedicated Physical Control Channel(専用物理制御チャネル)	S-CCPCH	..Secondary Common Control Physical Channel(2次共通制御物理チャネル)
DPDCH	...Dedicated Physical Data Channel(専用物理データ・チャネル)	SCH	.....Synchronization Channel(同期チャネル)
DQPSK	..Differential Quadrature Phase Shift Keying(差分クオドラチャ位相シフト・キーイング)	SF	.....Spreading Factor(拡散率)
DSP	.....Digital Signal Processing(デジタル信号処理)	SFN	.....System Frame Number(システム・フレーム番号)
DTCH	...Dedicated Traffic Channel(専用トラフィック・チャネル)	SIR	.....Signal to Interference Ratio(信号/干渉比)
E_b/N_0	.....Energy-per-Bit-to-Noise Ratio(ビットごとのエネルギーとノイズの比)	SSC	.....Secondary Synchronization Code(2次同期コード)
ETSI	.....European Telecommunications Standard Institute(欧州電気通信標準化機関)	S-SCH	...Secondary Synchronization Channel(2次同期チャネル)
EVM	.....Error Vector Magnitude(エラー・ベクトル振幅)	TDD	.....Time Division Duplex(時分割デュプレックス)
FACH	...Forward Access Channel(フォワード・アクセス・チャネル)	TFCI	.....Transport Format Control Indicator(トランスポート・フォーマット制御インジケータ)
FBI	.....Feedback Information(フィードバック情報)	TIA	.....Telecommunications Industries Association (米国電気通信工業会)
FDD	.....Frequency Division Duplex(周波数分割デュプレックス)	TPC	.....Transmit Power Control(送信パワー制御)
GMSK	...Gaussian Minimum Shift Keying(ガウシアン最小シフト・キーイング)	TTA	.....Telecommunications Technology Association (韓国通信技術協会)
GPS	.....Global Positioning System(汎地球測位システム)	TTC	.....Telecommunication Technology Committee (日本の電信電話技術委員会)
GS	.....MGlobal System for Mobile Communications	UE	.....User Equipment(携帯電話端末)
HPSK	...Hybrid Phase Shift Keying(ハイブリッド位相シフト・キーイング)	UL	.....Uplink(アップリンク)
IF	.....Intermediate Frequency(中間周波数)	UMTS	...Universal Mobile Telephone System (欧州)
IMT-2000	...International Mobile Telecommunications(国際移動通信)-2000 (ITUが承認した3Gテクノロジーの集成的名称)	W-CDMA	..Wideband-Code Division Multiple Access (広帯域符号分割多元接続、3Gシステム)
I/Q	.....In-phase(同相)/Quadrature(直交位相)		

これらの略語や無線業界に関する他の用語の詳しい意味については、Agilentの無線用語辞典(www.agilent.com/find/wireless)を参照してください。

参考文献

- [1] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Networks. Base Station Conformance Specification: Radio Transmission and Reception (FDD). Release 99. 3G TS 25.141. (v3.1.0).
- [2] "3G Market Overview and Technology Basics for cdma2000 and UTRA (ETSI W-CDMA)," Wireless R&D Symposium, 1999.
- [3] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. Multiplexing and Channel Coding (FDD). Release 99. 3G TS 25.212 (v3.2.0).
- [4] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. Medium Access Control Protocol Specification. Release 99. 3G TS 25.321.
- [5] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. Radio Link Control Protocol Specification. Release 99. 3G TS 25.322.
- [6] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. Radio Resource Control Protocol Specification. Release 99. 3G TS 25.331.
- [7] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. Radio Interface Protocol Architecture. Release 99. 3G TS 25.301.
- [8] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. Physical Layer: Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD). Release 99. 3G TS 25.211 (v3.2.0).
- [9] 『HPSK Spreading for 3G』 Application Note 1335、カタログ番号5968-8438E
- [10] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. Physical Layer: Spreading and Modulation (FDD). Release 99. 3G TS 25.213. (v3.2.0).
- [11] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. Physical Layer: Channel Coding and Multiplexing Examples. Release 99. 3G TS 25.944. (v3.0.0).
- [12] R.N. Braithwaite, "Nonlinear Amplification of CDMA Waveforms: An Analysis of Power Amplifier Gain Errors and Spectral Regrowth." Proceedings of the 48th IEEE Vehicular Technology Conference (1998): 2160-2166.
- [13] 『Fundamentals of RFおよびMicrowave Power Measurements』 Application Note 64-1B、カタログ番号5965-6630E
- [14] 『Wide-Range Sensor Gauges Power of Complex Signals』 (Ron Hogan著、初出Microwaves & RF誌1999年9月号)、カタログ番号5968-8750E.
- [15] 『Characterizing Digitally Modulated Signals with CCDF curves』 Application Note、カタログ番号5968-6875E.
- [16] 『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.
- [17] 『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.
- [18] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. BS Radio Transmission and Reception (FDD). Release 99. 3G TS 25.104 (v3.1.0).

関連カタログ

『3GPP W-CDMA and EDGE in the 89400 Series』 カタログ番号5980-0324E

『8560 E-Series Spectrum Analyzers』 カタログ番号5968-9571E

『89400 シリーズ・ベクトル・シグナル・アナライザ』 カタログ番号5965-8554J

『E4406A Vector Signal Analyzer Brochure』 カタログ番号5968-7618E

『EPM シリーズ・パワー・メータ』 カタログ番号5965-6380J

『ESA-E シリーズ・スペクトラム・アナライザ』 カタログ番号5968-3278J

『ESG ファミリ RFディジタル/アナログ信号発生器』 カタログ番号5968-4313J

謝辞

本アプリケーション・ノートの作成にあたって、Linear Lightwave社3G Wireless Training, DivisionのDarryl Schick氏より技術的協力をいただいたことに感謝いたします。

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
(土・日・祭日を除く)
※FAXは24時間受付

TEL ☎ 0120-421-345
(0426-56-7832)

FAX ☎ 0120-421-678
(0426-56-7840)

E-mail: mac_support@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 2001

アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

Innovating the HP Way

February 15, 2001

5980-1239J

0000-0#DEP/H