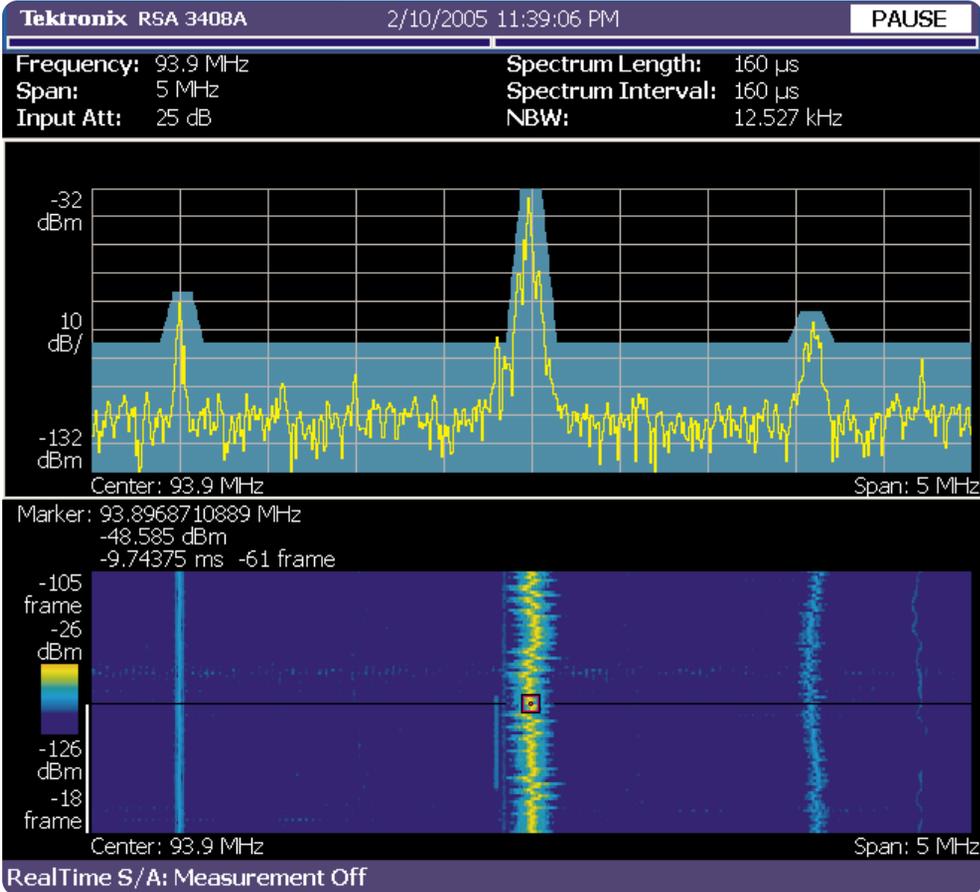


信号の監視、調査、 リアルタイム・スペクトラム解析



はじめに

RF信号の監視と調査を行う際は、一般の無線受信機やスペクトラム・アナライザを上回る機能を備えた機器を必要とする場合がよくあります。

RTSA (リアルタイム・スペクトラム・アナライザ) は、このようなニーズに対応できる高性能なツールです。こ

のアプリケーション・ノートでは、信号の収集と解析に関する基本的な課題について説明します。最初に通信規格を遵守するための監視について述べてから、検出が困難な隠れた信号を収集および解析する方法、次にSIGINT (SIGnal INTelligence : 信号情報) のトリガ、取込、解析に効果を発揮するRTSA技術について説明します。

信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

▶ アプリケーション・ノート

近年、無線機器やRF通信が激増し、規制および情報機関にとって大きな課題となっています。このアプリケーション・ノートでは、RTSAを使用して、どのように今日の複雑なスペクトラム使用環境から重要な意思決定情報を効果的に収集することができるかを説明します。

また、RTSAを使用して重要な情報を効率的に収集する方法を理解するために、最初にRTSA技術の概要を述べてから、RTSAを信号監視に利用するアプリケーションを紹介します。

次に、信号調査の技術的な課題や重要な機器性能のほか、検出が困難な信号に有効なRTSA独自の周波数マスク・トリガ機能について説明します。

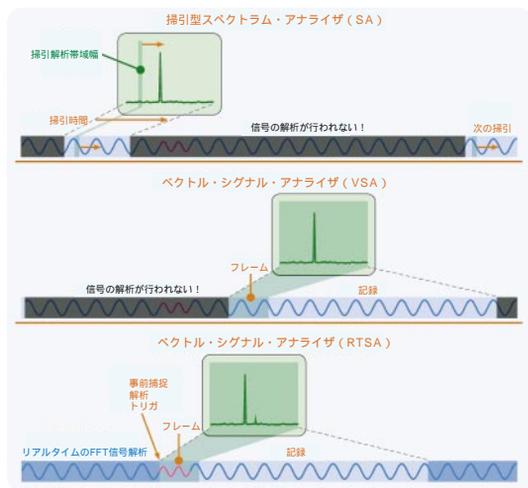
最後に、取込んだ波形からマルチドメイン変調解析で情報を抽出する方法や、高度なセキュリティを支援する特殊な機能をいくつかご紹介します。

RTSA技術の概要

RTSAは、信号情報を詳細に調査する要求から開発されました。掃引型スペクトラム・アナライザはRFスペクトラムの断続的な瞬間しか取込めず、しかもスパン全体を掃引しても、非常に狭い分解能帯域幅しか解析できません。このため、掃引型スペクトラム・アナライザの解析周波数がスペクトラム周波数に到達するまで、多くのスペクトラムが検出されないまま変化してしまいます。また、掃引間にある帰線期間に信号の解析ができないというデメリットもあります。同様に、繰り返し信号のCW変調の解析をサポートするベクトル・シグナル・アナライザにも問題があります。つまり、信号の記録を数回にわたって取り込む間に信号の解析が行えない期間があり、また大容量の取込メモリを搭載しているものでも、重要な間欠的なイベントを取り込めないことがあります。

このように信号を検出できない期間があると、情報機関にとっては大きな問題となります。信号バーストのオン/オフを激しく切り替えれば、重大な結果を招く恐れがある傍受を意図的に回避することができるからです。

以上のような問題を解決するには、スペクトラムをリアルタイムに解析して、重要な信号イベントが発生した時のみトリガできるRTSAを使用する必要があります。RTSAを利用すれば、重要な信号イベントの取込から信号解析までの作業を効率的に進めることができます。テク



▶ 図1. 掃引型スペクトラム・アナライザは、信号を解析できない期間が多く、同様にベクトル・シグナル・アナライザも、数回にわたって信号を取り込む間に解析をほとんど、または全く行えない期間があります。しかしRTSAは、トリガ前もトリガ後も信号を解析でき、取りこぼすことはありません。これは、信号の情報取得には大きなメリットとなります。

トロニクスでは、このようなRTSAを20年以上も前に既に開発を開始していました。

現在では、複雑な信号が利用される機会が増えているため、イベントを正確にトリガでき、しかも信号の記録と解析を長時間行えるアナライザに対するニーズが高まっています。最新のRTSAは、このようなニーズを満たすことができる高性能なリアルタイム・トリガ機能を搭載しています。

最新のRTSAは、ダイナミックなRF信号に関連する問題を解決できる様々な機能を搭載しています。つまり、RF信号のスペクトラムをリアルタイムにトリガして、そのデータをシームレスにメモリに取り込んで複数のドメインで解析でき、しかも、時間的に変化するRF信号を確実に検出して評価する機能を備えているため、信号の監視と調査に大きな効果を発揮します。

RTSAのRFフロントエンド・レシーバは、DCから8GHzまでの範囲をカバーし、入力信号を固定の中間周波数にダウン・コンバートします。ダウン・コンバートされた入力信号は、フィルタを介してA/Dコンバータによってデジタル化され、トリガ、メモリ、解析などの機能を管理するDSP（デジタル・シグナル・プロセッサ）に渡されます。

右図のブロック・ダイアグラムに記載されているコンポーネントの大半は、従来のVSA（ベクトル・シグナル・アナライザ）に使用されているものと似ています。しかしRTSAは、リアルタイム・トリガやシームレスな信号取込をサポートし、時間相関の取れたマルチドメイン解析機能を備えているという点でVSAに優っています。また、このリアルタイム・トリガ機能により、複雑なスペクトラム環境における信号バーストも完全に捉えることができます。

当社のRSA3408A型は、リアルタイム帯域幅が36MHz、3次相互変調歪のダイナミック・レンジが-78dBc、平均表示ノイズ・レベル（Displayed Average Noise Level： DANL）が-151dBm/H@1GHz、位相ノイズが-108dBc/Hz@20kHzとなっており、RF信号の取り込みが困難なスペクトラム使用状況でも十分に対応できる仕様になっています。

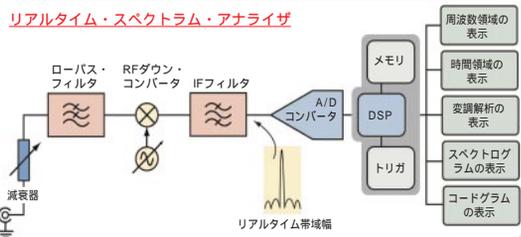
また、広範な変調タイプとデータ・レートをサポートし、様々な監視および調査に最適な製品となっています。

放送信号の監視

ここでは、RTSAのメリットを理解するため、規制を遵守するためにRTSAを使用して放送信号を監視する方法を説明します。

規制の施行

RF周波数帯は共有資源であるため、不必要な干渉がユーザ間で発生しないように様々な規制要件が設けられています。また、スペクトラム放射の監視を定期的に行って、規制に違反している送信機がないか確認する様々な規



▶ 図2. DSP、メモリ、リアルタイム・トリガなどのコンポーネントで構成されたRTSAのブロック・ダイアグラム

制実施機能が設置されています。

コンプライアンス・モニタリングは政府だけが行うものと考えている人がいますが、実際には多数の企業が信号の監視を継続的に実施しています。このため、無線機器、グローバル・ニュース、周波数帯域のオークションの増加とともに、商用信号の監視アプリケーションが急増しています。

干渉による障害を特定するには、何よりもまずスペクトラム放射の監視を行わなければなりません。携帯電話会社は、不注意な干渉波で大きな損失を被る可能性もあります。民間放送局も同様に、隣接するチャンネル局の不注意な信号管理により、視聴者を大幅に失う可能性も有ります。人工衛星の所有者/オペレーターも例外ではなく、軌道上の衛星の監視が必要で、テレポート・ステーションや中継地上局も、干渉問題の回避、資産の有効利用、請求などを目的として信号を監視しなければなりません。

スペクトラムの測定

現在では、干渉を防止するために共通のスペクトラム測定項目を設けて、監視活動を推進しているスペクトラム規制機関が増えています。このような主要な測定項目を監視すれば、強制措置などが正当なものが判断することができるからです。

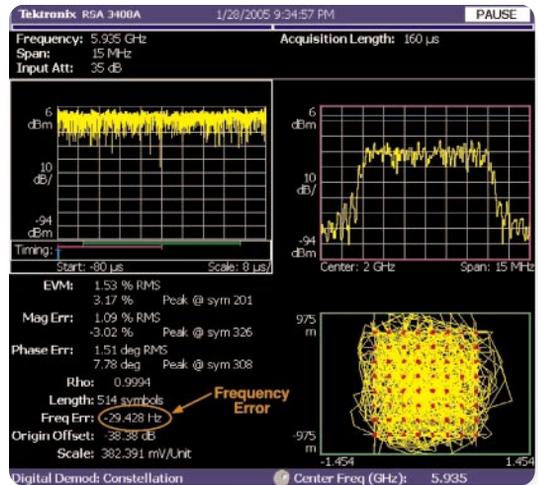
信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

▶ アプリケーション・ノート

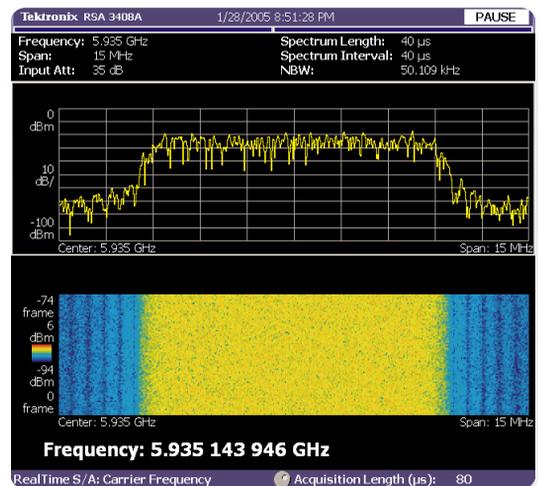
搬送周波数を適切に測定できれば、放送局がライセンスを受けたチャンネルを使用して信号を適切に送信しているか簡単に確認することができます。掃引型スペクトラム・アナライザでは、搬送波抑圧変調の搬送波周波数を正確に測定することが困難ですが、RTSAを使用すれば、実際の信号の周波数エラーを確実に検出することができます。その場合は、アナライザの中心周波数を正規のチャンネル周波数に設定してから、変調パラメータ、シンボル・レート、フィルタの種類および形状を指定します。この作業が完了すると、RTSAが入力信号に自動的に追従し、エラー・ベクトル・マグニチュード (EVM) 測定モードでチャンネル周波数のエラーを表示します。また、デジタル信号を復調する際のアナライザの周波数は、信号パラメータによって異なりますが、15 kHzからアナライザの測定スパンまでの範囲でロックすることができます。

信号の周波数の確認が完了したら、信号の帯域幅をチェックします。総送信出力のパーセンテージで表示される占有帯域幅 (OBW) や、減衰レベル (dB) で表示される放射帯域幅 (EBW) を測定すれば、割り当てられた帯域幅に信号が納まっているか簡単に確認することができます。RTSAは、ボタンを押すだけで測定できるようになっており、また帯域幅や減衰レベルといったデフォルトの測定パラメータを、特殊な変調方式の要件に合わせて変更することも可能になっています。

スペクトラムを管理するには、各チャンネルの信号レベルを適切に測定する必要があります。このような場合は、RTSAに搭載されているRMS電圧検波器が効果を発揮します。信号伝送が法的要件を遵守しているかの判断基準として、規制機関が採用しているチャンネル・パワーを簡単に測定できるためです。多くのスペクトラム・アナライザに使用されているエンベロープ・ピーク検出器のように、ピーク電圧を測定してRMS信号出力を評価しようとすると、補正係数が必要になります。しかし、RTSAのRMS電圧検波器では、ピーク電圧の測定や補正係数なしで信号出力を測定し、各チャンネルの最大/平均出力を導くことができるため、規制監視をスムーズに進めることができます。



▶ 図3 . 6GHzの64QAM信号を測定して、その周波数エラーをEVM測定画面に表示したところです。周波数エラーは-29.4Hzとなっています。



▶ 図4 . 64QAM変調信号の搬送波周波数をCarrier Frequencyで測定。

スペクトラムを測定して規制遵守を確実に行うには、リモート操作が可能な監視機器を使用しなければならないことがよくあります。リモートまたは自動操作に対応しているRTSAなら、最適な信号強度が得られる場所に配置できるため、現場に人員を置くことで発生するコストやリスクを負うことなく、高品質のデータを収集することが可能になります。

RTSAは、WindowsベースのLANおよびIEEE-488対応の解析ソフトウェアを内蔵しています。このソフトウェアを使用すれば、各種ソフトウェア・パッケージによって様々な情報をLAN経由でリモート監視することができます。また、RTSAにシステム・コントローラを追加し、標準のIEEE-488バスやEthernetインタフェースによってTekVISAと連携させれば、様々な信号監視データや有用な情報を自動的に収集することができます。

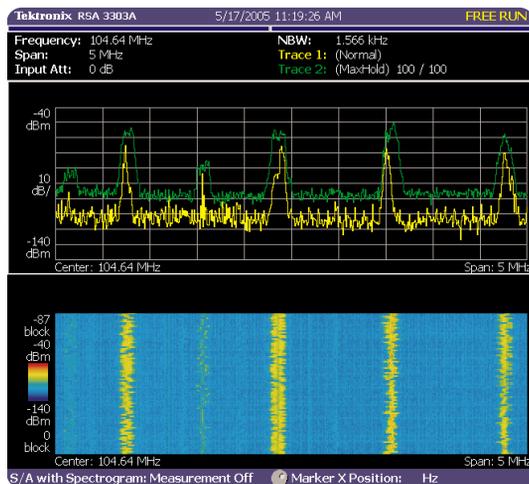
信号調査の問題点

このアプリケーション・ノートで使用した信号収集と信号監視という用語は、それぞれ異なる意味を持っています。信号監視は、主に干渉の防止、信号の品質維持、送信機のオペレータに対する強制措置などを目的として信号をチェックすることを意味します。一方、信号調査は情報を収集して状況調査を行うことを意味し、主に通信内容の収集を目的としています。信号監視は公然と実施されることが多いのですが、信号調査は、普通は調査していることを相手に悟られないように内密に行われます。このような信号調査を適切に実施する場合には、厳しい条件をクリアできる解析機器を使用する必要があります。それでは、信号調査の際に直面する問題をいくつか取り上げてみます。

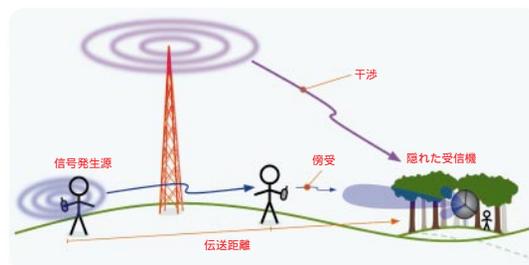
次善の信号受信

内密に実施するRF信号調査に使用する信号収集用アナライザは、収集対象と関係のある次善の信号受信バスに配置し、信号発生源から離れた場所に置くのが一般的です。また、熟知しているテリトリ、中立な場所、公海上などに設置することで、配置に伴う問題を回避し、目的地に設置した機器からデータを確実に取得する必要があります。

残念なことに信号収集用アナライザには、偵察活動という性格上RFパスが長く、しかも秘密調査用のアンテナに対する制約が厳しいため、信号の受信レベルが低いとい



▶ 図5. RTSAに搭載されているマックス・ホールド機能とRMS電圧検波器を利用すれば、規制に必要な最大/平均チャンネル・パワーを簡単に測定することができます。



▶ 図6. 情報収集はしばしば内密の信号収集を不利な状況で行います。

う欠点があります。また、関係のない民間放送からの強力な干渉信号によって、調査機器が過負荷でダウンしてしまうことや、近年、現場で対応しなければならない変調方式の種類が増えていることも問題になっています。これらの問題を解決するには、様々な変調信号を解析できる柔軟性を備えるだけでなく、現場に人員を配置することで発生する費用やリスクを最小限に抑えて、最大の効果を提供する無線規格準拠の調査機器を使用する必要があります。

信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

▶ アプリケーション・ノート

調査機器を使用して次善の条件や複雑な信号環境を克服するうえで重視すべき性能がいくつかあります。

ダイナミック・レンジ

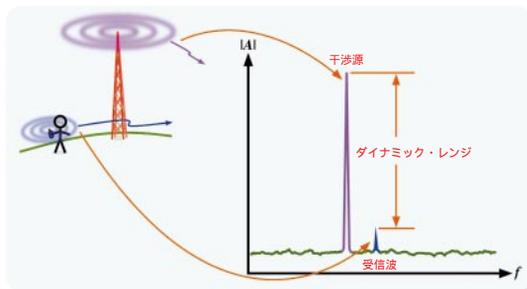
調査機器は、十分なダイナミック・レンジと選択度を確保して、使用周波数に隣接する周波数を送信する干渉源からの妨害電波の影響を受けない性能を備えていることが必要です。

大きな干渉源は、A/Dコンバータを飽和状態にして微小信号の受信をブロックし、またアナライザに混変調歪を発生させて信号の復調を妨げます。このような不要な混変調歪は、余計なスペクトラムを発生させ、スペクトラム調査作業を遅延させます。

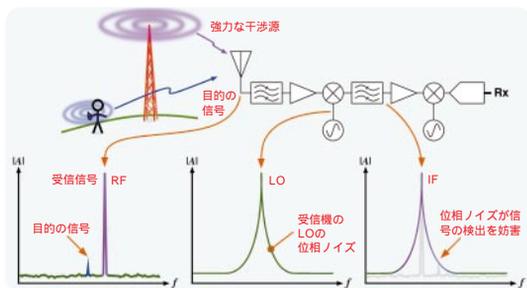
十分なダイナミック・レンジを確保できる信号アナライザは、大きな信号が隣接していても、弱い信号を確実に検出することができます。(これを代表するアナライザがRTSAです。) RTSAは混変調歪を最低限に抑えることができる78dBものダイナミック・レンジを確保しており、様々な調査活動に効果を発揮します。また、 -151 dBm/Hz のDANL (平均ノイズ・レベル)により、低レベルの信号でも確実に検出することができます。

低位相ノイズの受信機

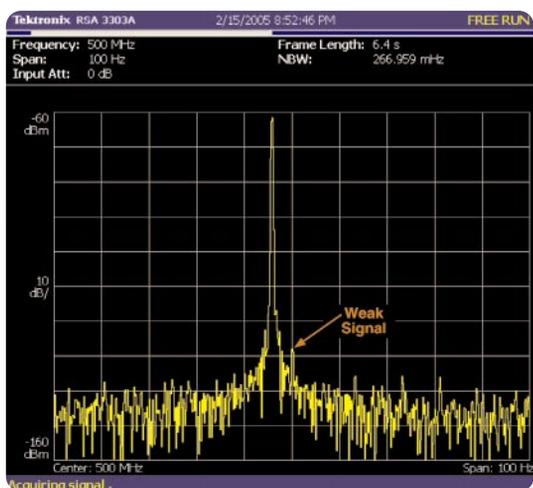
様々な信号収集と解析を適切に行うには、位相ノイズの問題も解決する必要があります。十分なダイナミック・レンジを確保していても、アナライザのLO (Local Oscillator : 局部発振器) の位相ノイズを最低限に抑えないと、信号の受信に失敗することがあります。つまり、アナライザの受信機に組込まれているLOが様々な隣接信号を拡散して、微弱信号の存在を分かりにくくする場合があるため、復調器では強力な信号と微弱信号の識別や、微弱信号そのものの検出が不可能となります。



▶ 図7. 十分なダイナミック・レンジを確保できないと、大きな干渉源によって、受信妨害、A/Dコンバータの過負荷、混変調歪といった問題が発生します。



▶ 図8. アナライザの位相ノイズが大きいと、信号伝送の解析が困難になることがあります。



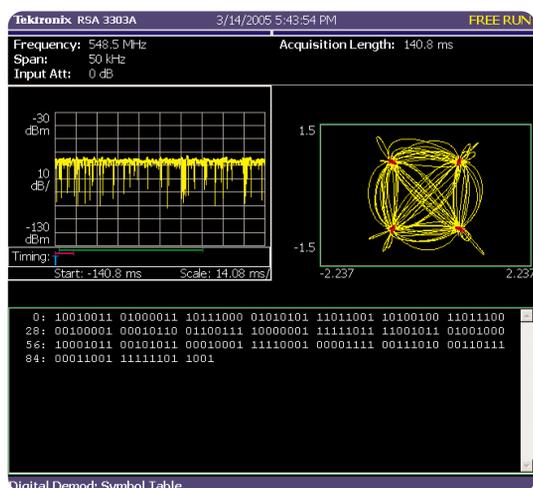
▶ 図9. RTSAは、微弱信号を適切に検出できるだけの十分な位相ノイズおよびダイナミック・レンジ性能を備えています。したがって、スパンの中心からわずか4Hz離れたところにあり、大きな干渉源を70dBc程度下回る微弱信号も、アナライザの位相ノイズに邪魔されることなく適切に検出できます。

高性能な送信機は、発振周波数を一定に維持できるLO（ローカル・オシレータ）を使用して信号を生成します。言い換えると、信号アナライザには、高度な調整が可能な周波数源が必要になります。この周波数源のチューニング・スピードと周波数レンジによっては、アナライザの位相ノイズ性能が悪くなることがあります。つまり、周波数レンジを大幅に調整しなければならないアナライザは、周波数が固定された高出力の送信機よりも位相ノイズ性能が低いということになります。このため、周波数が固定の信号発生源同士が問題なくやり取りしているにもかかわらず、信号発生源の伝送信号を収集できないアナライザが多いのです。

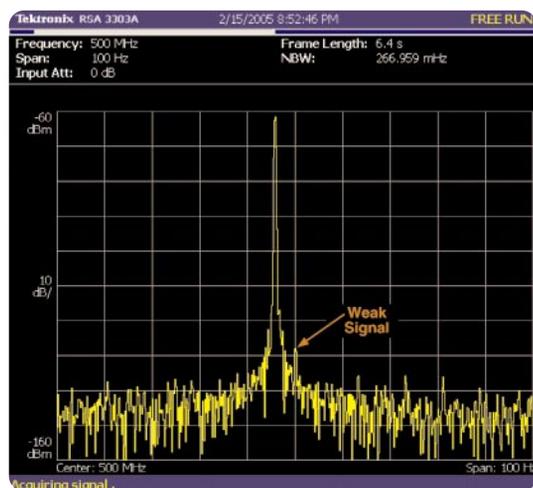
他のアナライザでは、振幅が大幅に異なる隣接信号を識別できませんが、位相ノイズを-108dBc/Hz @20kHzまで抑えたRTSAなら可能です。

低信号レベル

RTSAは、信号レベルが熱雑音フロアに近い場合でも問題なく利用できるように、外付け用プリアンプの取り付けが可能になっています。RTSAのフロント・パネルから直接電源を取ることができるプリアンプを取り付けることで、RTSAの信号性能を大幅に向上させることができます。つまり、DANLを-164dBm/Hz（2GHz時）までアップできるため、微弱信号でも確実に収集することができます。



▶ 図10. 広いダイナミック・レンジと低位相ノイズを実現したRTSAは、大きな信号発生源に隣接する収集困難な信号も確実に取込むことができます。また、UHFテレビ送信機の近くで内密に行われるQPSK伝送の識別、捕捉、復調が可能であり、-60dBmを下回る信号も適切に検出して復調できます。



▶ 図11. オプションのRTSAプリアンプにより、アナライザのノイズ・フロアが低下し、利得が20dBアップするため、RTSAの受信性能が向上します。また、このプリアンプはRTSAから直接電源を取れるようになっています。

信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

▶ アプリケーション・ノート

広いダイナミック・レンジ、低位相ノイズ性能、低い雑音指数を実現したアナライザでなければ、次善の伝送パスというデメリットを解消することはできません。つまり、これらの特性を備えていれば、困難な状況下でも、信号伝送を適切に収集することができます。

信号収集と復調が困難な信号もありますが、他のアナライザにはない性能を持つRTSAを使用すれば、このような信号伝送も確実に収集と解析ができます。

LPD信号の調査

信号の収集と解析を防止する方法には、無線周波スペクトラム内で検出が困難な信号を生成する方法と、検出されても復調/デコーディングすることが難しい信号を生成する方法の2つがあります。無線周波スペクトラム内で検出が困難な信号は、LPD (Low Probability of Detection : 低探知性) を持ち、検出または復調/デコーディングが困難なために情報の収集が難しい信号は、LPI (Low Probability of Intercept : 低捕捉性) を備えています。

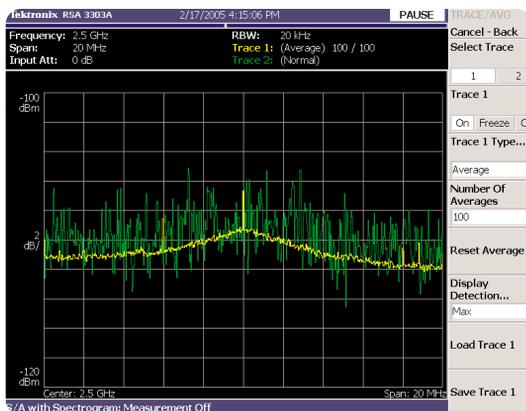
信号の検出と収集を回避するため、スペクトラム拡散技術によって信号をノイズ・フロアの中に隠してしまうという方法が取られています。

フラットに見えるノイズ・フロアから埋もれた信号を検出するには、トレースの平均を取る必要があります。これにより、隠れたスペクトラム拡散信号の形状も確認することができます。

信号の検出を逃れるには、情報をバースト状にして送信するという方法があります。この方法は、大半のアナライザが継続的な信号入力を解析できないという欠点を突いたものであり、信号収集用アナライザをすり抜けて信号を送信するため、ほとんど検出されません。

バースト信号

バースト信号や断続的な信号の検出は非常に困難です。短時間の送信を時間をおいて行うことがありますが、このような断続的な信号は、通常の掃引型スペクトラム・アナライザの周波数掃引の隙間を突き、検出されることなくすり抜けていきます。同様に、複数の信号取込の間に解析を行わないベクトル信号アナライザも、断続的な信号をほとんど検出できません。このように、一般的な



▶ 図12. トレースの平均を取れば、ノイズ・フロアからスペクトラム拡散信号を検出することができます。平均を取ったトレースと平均を取らないトレースの両方を表示することにより、ノイズに隠れている信号を確認することができます。

アナライザでは、掃引時間と捕捉時の空白時間を最小限に抑えないと、断続的な信号の検出は不可能です。これまでは、任意のバースト長で信号発生源を特定できるように、掃引時間を短縮する方法が取られていました。実際に、掃引時間の短縮によって信号の検出性能を高めたことを謳い文句としている信号アナライザがいくつか販売されています。

RTSAは、独自の方法で、LPD信号を確実に取込みます。このアナライザは、トリガ以前の信号を取込んでリアルタイムに解析する機能を備えているため、断続的な信号も100%の確率で検出することができます。

RTSAがどうしても他のアナライザより優れているのか、また他のアナライザでは不可能なのに、RTSAはどうしてもイベントを確実に取込めるのか、不思議に思っている方もいることでしょう。

RTSAがユニークなのは、FFT (Fast Fourier Transform : 高速フーリエ変換) とFMT (Frequency Mask Trigger : 周波数マスク・トリガ) という2つの機能を搭載しているからです。信号を事前に解析する機能や重要なイベントを的確に捉えることができるトリガ機能を備えたRTSAのメリットを理解していただくために、最初にFFTプロセスを詳細に説明します。

FFTプロセス

RTSAでは、エイリアスの発生を抑えるため、入力信号に含まれる最大周波数（ナイキスト周波数）の2倍以上の周波数で入力信号の時間サンプルを取込みます。この時間サンプルをいくつかのデータ・フレームに分割し、FFTプロセスに必要な整数データを各フレームに格納するシステムになっています。

フレームの両側で切り取られたデータ・サンプルには不連続点があり、そのままの状態では時間領域から周波数領域に変換すると、スペクトラムが拡散してしまいます。このような不連続点の影響を最小限に抑えるには、窓関数を使用して時間サンプル・データの振幅を制御する必要があります。RTSAでは、ハニング、ハミング、ブラックマン、ブラックマン-ハリス、パルツェン、ウェルチなど様々な窓関数が利用できるようになっています。

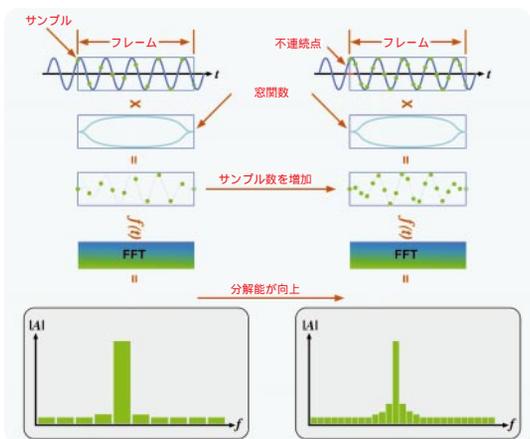
窓関数によってフレーム・データの振幅を制御し、FFTの計算が完了すると、データ表示が振幅対時間から振幅対周波数に変わります。ただしFFTには、各周波数セグメントや「バケット」の振幅を求めるまでに多数のデータを計算しなければならないという欠点があります。

図13に示したように、各フレームのサンプル数を増やすと、時間領域から周波数領域に変換したあとに周波数分解能が向上します。しかしこれは、フレームを変換するために多数のデータを計算する必要があることを意味します。このようにFFTプロセスは、計算条件が非常に厳しいことで有名です。

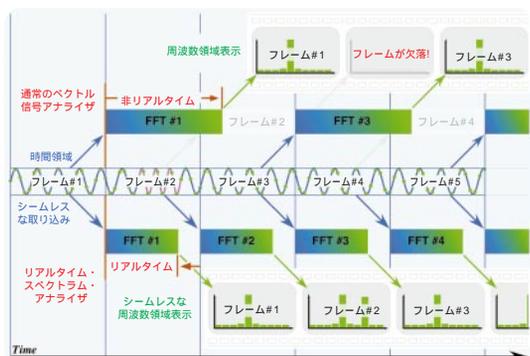
独自のリアルタイム処理と一般的な後処理

時間サンプル・フレームから周波数領域への変換に要する計算時間は、変換するポイントの数と計算スピードによって異なります。

特定のFFTの計算処理時間が各フレームの時間サンプリングに要する時間よりも短い場合、そのFFTは「リアルタイム」FFTと言えます。逆に、計算処理が各フレームの時間サンプリングよりも長くかかるFFTは、リアルタイムFFTとは言えません。



▶ 図13. サンプリングとFFTプロセスで時間領域のサンプル数を増やすと、周波数領域の分解能が向上しますが、各FFTフレームを生成するには、より長いデジタル信号処理時間が必要です。



▶ 図14. 独自のトリガ機能を備えたRTSAは、次のフレームの時間サンプリングが完了する前に、各フレームを周波数領域に変換できるリアルタイム・デジタル・シグナル・プロセッサというFFTに必要なハードウェアを搭載しています。したがって、時間サンプル・データ・レコードを取り込むまでの間に、入力信号の周波数を連続的に解析することができます。

信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

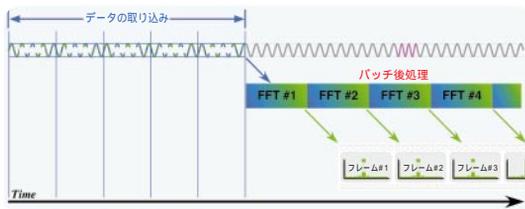
▶ アプリケーション・ノート

広帯域信号のサンプリングを高速で行うには、デジタル信号処理のスピード・アップが必要です。例えば、次のデータ・フレームを処理する前に、1024ポイントFFTを12 μ sで実行するには、非常に高い処理能力を持つデジタル・シグナル・プロセッサが必要になります。

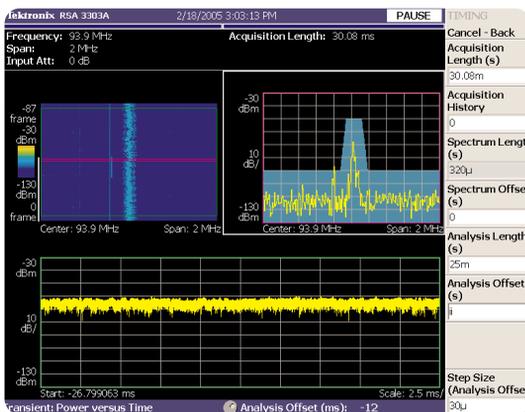
デジタル・シグナル・プロセッサに要求されるこのような厳しい計算条件をクリアするため、ほとんどのベクトル・シグナル・アナライザには、FFTのバッチ後処理機能が搭載されています。つまり、時間サンプル・データ・レコードをすべて取込んでから、FFTのバッチ後処理をフレームごとに行い、周波数領域を表示するというシステムを採用しています。このような後処理という一般的な方法を取ることで、デジタル・シグナル・プロセッサの処理能力に対する依存度を減らし、一般的な低コストのコンピュータの使用を可能にしています。しかし、このバッチ後処理にも、データ・レコードを完全に取込むまでスペクトラム情報を確認できないという欠点があります。このためベクトル・シグナル・アナライザでは、すべてのデータ・レコードの取込が完了するまで、信号スペクトラムをプレビューできません。

しかし、リアルタイムFFT機能を備えているRTSAを使用すれば、イベントの検出が完了するまで信号スペクトラムを継続的にプレビューし、その後でデータを取り込むことができます。RTSAは、入力信号のリアルタイムFFT処理機能のほか、取込んだ時間サンプル・レコードのバッチ後処理機能を備えています。したがって、他のアナライザでは不可能なリアルタイムFFTスペクトラムのプレビューや、詳細な後処理解析も簡単に行うことができます。

RTSA独自のデジタル信号処理機能は、信号調査に大きな効果を発揮します。時間領域の波形サンプルを周波数領域にリアルタイムに変換できるという、他の追随を許さない高性能を実現しています。RTSAはまた、当社の特許である周波数マスク・トリガ機能(FMT)も搭載しています。このFMT機能は、捉えにくいLPD信号バーストを確実に取込みたい場合に役立ちます。



▶ 図15. ベクトル・シグナル・アナライザは、時間領域データ・レコードをすべて取込んでからFFTデータをバッチ後処理し、時間領域データ・レコードを周波数領域に変換するシステムになっています。しかし、時間サンプル・データを後処理するという方法では、時間レコードを完全に取込むまで、過渡現象の信号スペクトラムをプレビューできません。



▶ 図16. 周波数マスク・トリガ機能によって、送信機からの断続的な低出力信号のスペクトログラムを取込んでいる間、IFレベルは一定になっています。一定のIFレベルに対しては、一般的なIF出力レベル検出器のトリガ機能では、役に立ちません。

周波数マスク・トリガ機能

周波数マスク・トリガ機能がLPD信号の取込に大きな効果を発揮するのはどうしてでしょうか？

LPD信号は通常、強力な信号に隠れているため検出が困難です。また、低出力の短い送信バーストによって検出を困難にしているLPD信号もあります。大半のベクトル・シグナル・アナライザに搭載されている一般的なIF出力レベル検出器は、このようなLPDバーストを取込めるトリガ機能を備えていないため、非常に強力な隣接信号しか測定できず、低出力信号の検出は不可能です。

周波数マスク・トリガ機能は、入力信号の送信バーストを解析して、信号イベントを確実に捉えることができます。また、ユーザが定義したスペクトラムと比較してトリガできる周波数マスク・トリガ機能は、リアルタイムFFTをベースとしているため、マスクから信号が現れたら100%の確率でデータを収集できます。このようなことが可能なのも、リアルタイムFFTには、掃引型スペクトラム・アナライザやベクトル・シグナル・アナライザに見られる、掃引によるスペクトラムの取りこぼしや解析処理による信号取り込みのギャップがないからです。

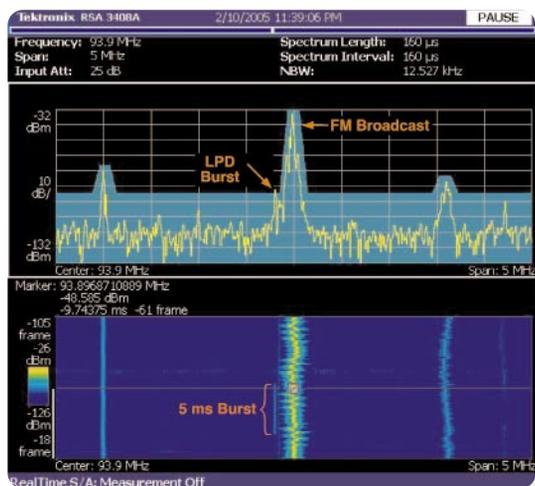
多くのLPD送信バーストは、数時間または数日もの長い期間を置いて断続的に発生します。このようなバーストの場合は、周波数マスク・トリガ機能を使用して周波数スペクトラムのリアルタイム解析を行ってからトリガすれば、大容量の信号をメモリに取込む必要がありません。

このため、アナライザや外部のデータ保存システムに必要なメモリを大幅に減らすことができます。

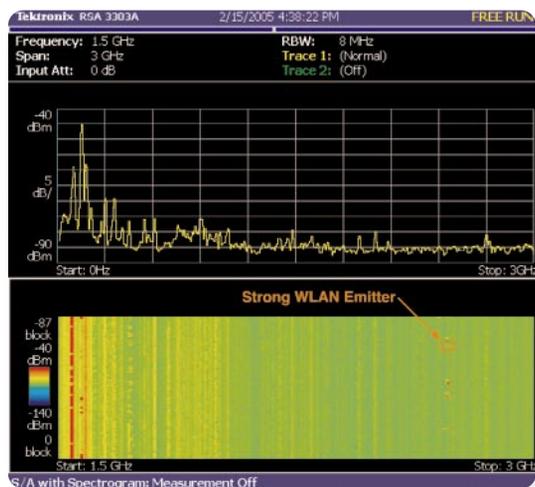
また、周波数マスク・トリガ機能を使用すれば、データ検索によってイベントを検出する手間を省くことも可能になります。つまり、信号の取込では、最初にスペクトラム・イベントでトリガするため、後処理によってイベントの位置を定めた後は、長い取込データを検索する必要がありません。また、データ収集に必要なメモリを最小限に抑えることも可能になります。

このような重要な信号収集データを取込む場合は、最初にスペクトラム帯域幅を調査します。その際に有効なのが、スペクトログラム表示をサポートするスペクトラム・アナライザ (SA) モードです。このSAモードは、通常の掃引型スペクトラム・アナライザと同等の機能を備えており、RSA3408A型が対応しているリアルタイム帯域幅 (36 MHz) よりもかなり広い開始/終了周波数が利用できるようになっています。つまり、広いバンド表示が可能になるため、信号発生源を確実に突き止めることができます。

対象となるスペクトラム領域を特定したら、現れたLPIバースト信号を取込めるように周波数マスク・トリガ機能を設定する必要があります。この設定はトリガ・メニューから行うことができます。RTSAは、周波数マスク・トリガ機能の他にも、外部、パワー (IFレベル) トリガや単発/連続取込といったトリガ機能を備えています。



▶ 図17. 周波数マスク・トリガ機能は、強力な信号を送信するFM放送局が隣接するために、捕捉が困難となっている低レベルの伝送信号も確実に捉えることができます。つまり、RTSAを使用すれば、強力なFM信号の約100,000分の1の電力 (または50dBc) で、しかもパルス幅がわずかに5msのLPDバーストも捉えて解析することが可能になります。



▶ 図18. スペクトログラム表示を併用したSAモードでは、掃引型スペクトラム・アナライザと同様に広い周波数スパンをスペクトラム解析するため、多数のスペクトラム・バンドを一度に調査して、周波数帯域が2.4 GHzの無線LAN (無線ローカル・エリア・ネットワーク) の強力な信号も検出することができます。スペクトログラムは、通常のスペクトラム・アナライザでは検出されない信号も確認できます。

信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

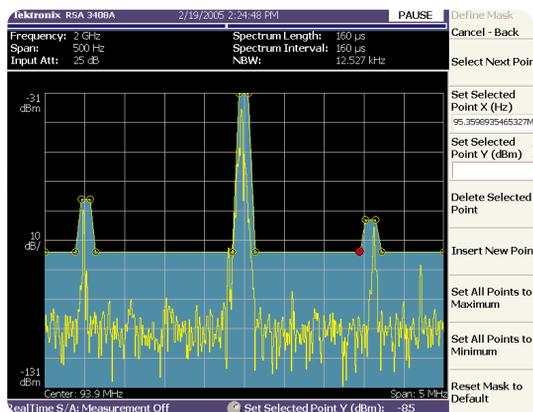
▶ アプリケーション・ノート

複雑な周波数マスクの設定も、マウスをダブル・クリックしてポイントを追加し、任意の位置にドラッグするだけで簡単に行えます。また、多数のポイントが利用でき、しかもフルスケール・レベルから-60 dBの信号レベルまで周波数マスクを設定することができます。周波数マスクは、各ポイントのX (Hz)とY (dBm)を直接入力して設定することも可能で、規制を目的としてマスクを信号監視に利用する場合には、数値を直接入力するといでしょう。ただしFFTでは、各FFTフレームに含まれるサンプル・ポイント数に基づいて周波数「ビン」またはバケットが決まるため、周波数マスクは、FFTポイントで量子化されます。リアルタイム・モードでは、FFTポイント数が1024個で固定されています。また、連続取込モードでは、マスクを調整しながらスペクトラムの取込を確認できるようになっています。これにより、ノイズ・フロアより高い位置にマスクを設定して、間違ったトリガが発生しないようにできます。これは、ノイズがアナライザをトリガしないように、ノイズ・フロアより下のマスク部分を上に持ち上げることにより可能になっています。スペクトラムがマスク内に収まっているか確認したい場合には、Triggerメニューにある「Stop and Show Results」キーを使用してテスト・トリガを実施します。以上により、アナライザを使用して断続的な信号バーストを取込むことができます。

取り込んだ各データは、IEEE-488バスやEthernetを経由して保存できるので、次の解析作業をスムーズに進めることができます。

信号識別と情報解析

特定の信号を検出して取込んだあとは、信号を解析して有益な情報を抽出します。信号調査では通常、ターゲットの特定、ターゲットの位置確認、ターゲットの活動や目的の把握が必要になります。RF伝送信号にそのような情報を埋め込む方法は多数あります。RTSAは、豊富な情報を入手できるマルチドメイン解析機能と様々な信号測定機能を備えています。



▶ 図19. 周波数マスク・トリガの設定は、USBマウスやキーボードを使用すれば簡単に行えます。

重要情報の抽出

有益な情報を受信信号から抽出する最初の段階では、復調ではなく信号源の位置の特定を行う必要があります。いくつかの基本的な信号パラメータを測定すれば、発信源と思われる位置を簡単に突き止めることができます。つまり、「ターゲットの特定」が可能になります。

信号の周波数帯域により、ターゲットを絞ることができる場合があります。例えば海上レーダは、その伝搬特性や目標物の物理的サイズと信号波長の関係から、3.0GHz付近の周波数を利用しています。陸上移動無線局は、NLOS (Non-Line-of-Sight : 見通し外接続) 通信の向上を図り、30 ~ 50MHzの通信無線周波数などの低周波数帯域を使用しています。これらの周波数帯域以外にも占有帯域幅 (OBW) や放射帯域幅 (EBW) の測定が、信号源の特定に有効です。また、帯域幅から用途が予想できる場合もあります。例えば、広帯域信号からはビデオ信号や多重化信号の通信予測ができ、狭帯域信号からは音声情報通信を想定することができます。このような場合にRTSAを使用すれば、メニューを選択するだけで、信号の帯域幅情報を自動測定することができます。

RTSAはまた、比較的狭い周波数スパン幅（リアルタイム・スパン幅）で使用できるオーバーラップFFT機能を備えています。

また、このスパン幅ではCCDF（Complementary Cumulative Distribution Function：相補累積分布関数）などの測定が可能になるため、「ターゲットの特定」に役立つ情報を得ることができます。送信機の中には、飽和増幅器を使用してC級で動作するものや、A級で線形動作するものがあります。このような送信機のCCDFを測定すれば、送信機の種類を特定できるだけでなく、似たようなタイプの送信機から成る様々なモデルの中から全く同じものを見つけ出すことも可能になります。また、電力増幅器の飽和特性は信号発生源によってかなりの違いがあるため、CCDFプロットで簡単に確認できます。このプロットは特に、識別が困難な非常に低レベルの信号発生源を特定する際に役立ちます。

RTSAを使用すれば、このように簡単に測定できるほか、RF送信機に関する様々な情報を得ることができます。

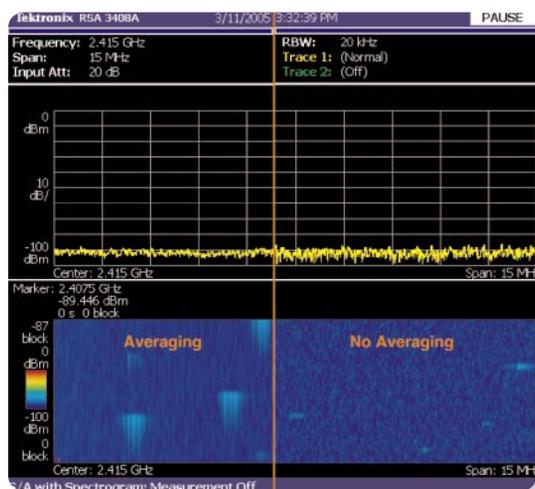
例えば、RTSAのディスプレイには現在の時刻と日付が分かりやすく表示されるようになっているため、重要な信号を特定するときに役立ちます。つまり、取込んだ信号は、午後9:00に出発する飛行機の定期便からのものであるとか、午後9:10に出航すると噂されている密輸船であるとか、時刻情報とともにディスプレイ上に表示すれば、重要な情報を見逃さずに済みます。

RTSAでは、ボタンを1回押すだけで簡単に測定できるので、信号発生源を迅速かつ簡単に識別することができます。つまり、ターゲットの特定が短時間でできるため、重要性の低い情報を無視し、重要なデータだけに集中することができます。また、復調前の信号を測定するため、復調後の信号の測定ほどのプライバシー侵害を引き起こすこともありません。

RTSAのディスプレイは、測定値の比較に有効なマーカ機能やデュアル・トレース機能を備えています。これらの表示機能は、信号発生源の距離を推定したり、前に取込んだデータまで遡って信号を比較調査したりする際に効果を発揮します。また、このディスプレイはMax. Hold、Min. Hold、Averagingなどの設定も可能になっています。



▶ 図20. CCDFの測定結果の特徴により、信号発生源の種類や時にはユニットのシリアル番号の特定が可能場合があります。



▶ 図21. 断続的な信号の2つのスペクトログラムを比較したものです。スペクトログラムを数トレース平均しただけで、短時間のイベントが非常によく分かるようになっています。

信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

▶ アプリケーション・ノート

RTSAは、表示、周波数、スパンを容易に設定できるため、様々な信号調査を適切に行うことができます。また、マーカー周波数を中心周波数に設定する機能や、簡単なコマンドをトップ・レベル・メニューや専用キーから簡単に呼び出せるようになっているため、制限されることが多い信号観測のチャンスを逃す心配はありません。RTSAは、必要な機能に迅速かつ簡単、しかも直感的にアクセスできるフロント・パネルを搭載し、業界の中でもトップ・クラスの操作性を実現しています。

また、信号発生源から信号を取込んで分類すれば、詳細な変調解析が可能になります。

変調解析

信号を復調すれば、送信機の情報を含め様々なデータを得ることができます。このような信号の内部情報を調べることで、「ターゲットの活動や目的の把握」が可能になります。しかし、情報量を調査すると、プライバシーの侵害という道徳的および法的な問題を引き起こすことがあるため、内部情報を解析する情報収集機能は健全な判断力を働かせる必要があります。

RTSAの復調機能を利用することにより、標準的な時間/周波数領域での測定手法を上回る信号識別測定が可能となります。つまり、搬送波抑圧信号のキャリア周波数に関するデータやコンスタレーションなど、信号発生源の特定に役立つ様々なパラメータを正確に測定できるようになっています。そして最も重要な点は、信号伝送されている実際のデータを抽出できることです。

RTSAに搭載されている復調器は、ブロック復調方式を採用しています。つまり、信号をメモリに取り込んでから復調を行うシステムになっています。このブロック復調方式では、メモリ不足にならないように、信号の復調時間を制限しています。

ブロック復調方式を採用した復調器は、半二重の航空管制通信や警察無線通信といった短い送信でも簡単に取り込んで復調することができます。連続的な広帯域通信信号は、データ損失を招くことがないようにリアルタイム処理の専用復調器を必要としますが、RTSAは、連続的な広帯域通信用途向けのフロント・エンド・ダウン・コンバータやデジタイザとして利用することも可能になっています。

スパン	時間分解能	最大レコード長
36 MHz	20 ns	1.28 秒
20 MHz	40 ns	2.56 秒
10 MHz	80 ns	5.12 秒
5 MHz	160 ns	10.24 秒
1 MHz	800 ns	51.2 秒
500 kHz	1.6 us	102.4 秒
100 kHz	8 us	512 秒
20 kHz	40 us	2560 秒

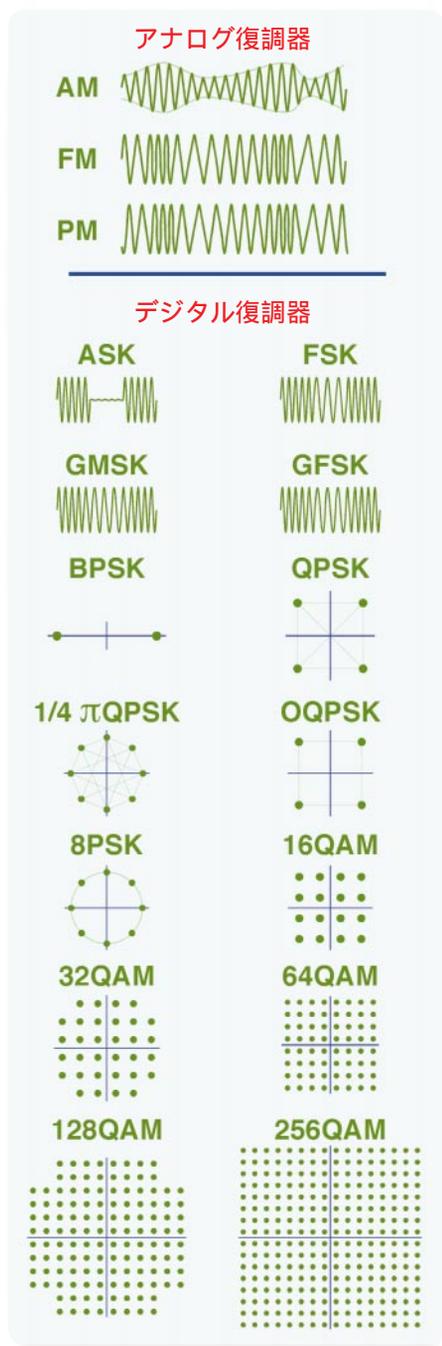
▶ 表1. ブロック復調方式の復調器では、メモリが信号の記録時間を制限します。FSK方式のコードレス電話のような100kHzを占有する狭帯域RF信号は数分間の記録が可能です。広帯域信号はわずかに数秒間しか記録できません。

変調規格	オプション
拡張測定解析機能	オプション21
W-CDMAアップリンク解析機能	オプション23
GSM/EDGE解析機能	オプション24
CDMA 1X フォワード/リバース・リンク解析機能	オプション25
1x EVDOフォワード/リバース・リンク解析機能	オプション26
3GPPダウンリンク (HSDPA) 解析機能	オプション27
TD-SCDMA解析機能	オプション28
WLAN 802.11a/b/g解析機能	オプション29

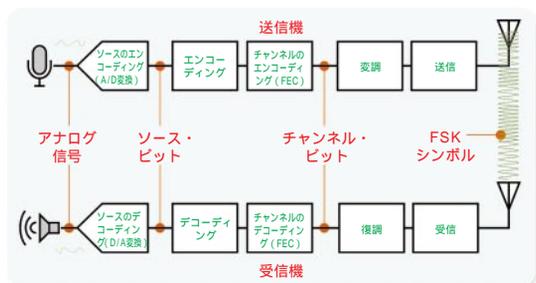
▶ 表2. 様々な変調規格に対応する解析オプション

RTSAに組込まれているブロック復調方式の復調器は、多数の変調規格に対応し、一般的な多数の変調方式の信号を復調できる柔軟性を備えているため、多様なデータ収集業務に有効です。また、各変調機能は、シンボル・クロック・レート、ベースバンド・フィルタリング処理、フィルタ形状 (ロール・オフ率) などを変更することも可能になっています。

RTSAはまた、世界各国で採用されている無線通信規格に対応し、情報の収集および復調の設定も容易に行えるため、効果的な情報収集を簡単かつ迅速に開始できます。



▶ 図 22. RSA3408A型が対応している変調方式



▶ 図 23. ソース・ビットは、暗号化、誤り訂正符号処理は行われていません。チャンネル・ビットは、変調器に渡されて変調され、復調器で元の状態に戻ります。シンボルは、チャンネル・ビットが変調されたものです。

RTSAでは、あまり一般的でない変調や、長時間にわたって継続的に復調しなければならない変調も、オプションのリアルタイム・デジタルI-Q出力に、外部復調器を接続すれば可能になります。このI-Q出力は、最初のうちは通常の情報収集を行い、新しい信号を検出したら規模を拡大するような業務に有効であり、新しい信号発生源に対応するためのコストを最小限に抑えることができます。

RSA3408A型は、ASK (Amplitude Shift Keying : 振幅偏移変調) やFSK (Frequency Shift Keying : 周波数偏移変調) の各変調信号に対応するビット・デコーディング機能を備えています。多くのアナライザは、AM (振幅変調) 復調器やFM (周波数変調) 復調器を内蔵していますが、デジタル変調信号に対応できるビット・デコーディング機能を搭載していません。しかしRSA3408A型は、NRZ-L、マンチェスタ、ミラーの3つのビット・デコーディング方式をサポートし、ASKやFSKの各変調信号をビット・レベルまでデコーディングできる機能を備えているため、解析を容易に行うことができます。

信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

▶ アプリケーション・ノート

変調信号の復調およびデコーディングが完了した後に、元の状態に戻ったビットやシンボルをBINary (BIN)、OCTal (OCT)、HEXadecimal (HEX)などのファイルに保存しておけば、後の読解や解析に利用できます。また、IEEE-488コマンドを使用すれば、情報収集プロセス全体を自動化でき、しかもLANやインターネットを経由して、重要な信号のトリガ、RF波形の取込および復調、データのデコーディング、解析に必要な情報の保存といった作業を、離れた場所から行うことができます。

RSA3408A型は、無線LANなどの先進的な広帯域信号を解析できるだけの十分なリアルタイム帯域幅(36 MHz)を備えており、またIEEE 802.11a/b/gなどの無線LAN規格に準拠した信号の取込や解析を、ボタン操作で行えます。RSA3408A型のソフトウェア・オプションを使用すれば、RSA3408A型を適切に設定できるだけでなく、無線LAN信号の通信フォーマットを自動的に検出することもできます。

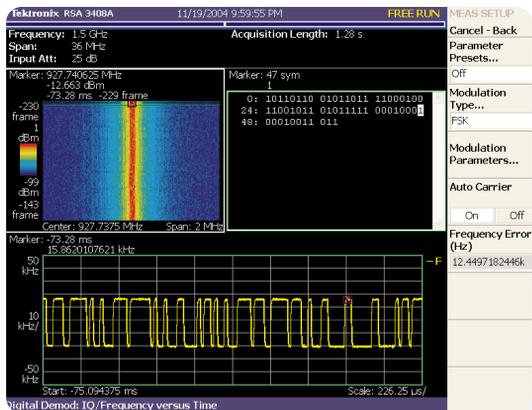
多くの無線LANデバイスは、従来のCCK (Complimentary Code Keying: 相補型符号変調)方式と新しいOFDM (Orthogonal Frequency Domain Modulation: 直交周波数多重)方式の両方をサポートしています。その中でもRSA3408A型は、複雑な信号パターン・パターンであっても、様々な方式を自動的に識別して適切に復調できる優れた機能を備えています。このため、オペレータの介入なしに、収集データを途切れることなくスムーズに解析することが可能になります。

このRTSAに備わっている復調機能は、頻繁に行われる信号識別や情報収集のほか、様々な状況に対応できます。次のセクションでは、意図的に信号収集と解析を困難にしている標準外の信号について説明します。

LPI信号の復調

伝送経路の制約、必要なデータ転送量、セキュリティ・ニーズなどによって、信号読解を意図的に困難にすることがあります。LPI信号も検出が困難(LPD)になっていますが、その主な目的はメッセージの復調を妨げることにあります。

高度なLPI信号は、特殊な変調方式とコーディング技術を採用しているため、高性能な復調器を使用しないとその信号読解は簡単にはできません。



▶ 図24. FSK変調方式の927MHzのコードレス電話信号を収集して、チャンネル・ビットをNRZ-L方式でデコーディングしたところです。スペクトログラムや復調後のFMおよびビット・データには、時間相関マルチドメイン・マーカが表示されています。

独自の変調方式

標準外の独自の変調方式を採用している高度なLPI信号は、解析が非常に困難です。このような独自の変調方式は非常に複雑なため、十分に対応できる復調器を組み込んだアナライザは残念ながら現在のところありません。また、復調後の読解も、RTSAに内蔵されているマイクロプロセッサの処理能力を超える複雑な処理が必要になるため、簡単にはできません。

このようなLPI信号を処理するには、特殊な復調器と復号器が必要になりますが、信号取込デバイスとして機能するRSA3408A型を使用すれば、複雑なLPI信号の問題も簡単に解決できます。つまり、RTSAに備わっている周波数マスク・トリガ機能や位相ノイズおよびダイナミック・レンジ性能により、独自方式の変調信号の記録も可能になります。また、取込んだデータは、複雑なLPI信号に対応する復調および読解機能を搭載した、MatlabやMiDASといった柔軟性の高いソフトウェア・ツールにエクスポートし、利用することができます。

データのエキスポート

RSA3408A型では、I-Qサンプル・データのエキスポート方法を2つ用意しています。すなわち、RSA3408A型のLANポートを使用してI-Qサンプル・データ・ファイルをエキスポートする方法と、A/Dコンバータから出力された未加工のI-Qデータを、特殊なハードウェア・オプション（LVDSポート）を介してエキスポートする方法を提供しています。いずれの方法でも、サンプル・データをソフトウェア復調器に適切にエキスポートすることにより、詳細な解析が可能になります。最大36MHzまでの帯域幅のI-Qサンプル・データをエキスポートする機能を備えたRSA3408A型が提供するこの2つの方法により、様々なLPI信号処理をスムーズに進めることができます。

RSA3408A型は、Ethernet接続をサポートしているため、取込んで校正および補正したデータを保存し、様々なコンピュータ・システムに簡単にエキスポートすることができます。また、RTSA独自の.iqtファイルに対応しているほか、汎用ソフトウェアによるI-Qサンプル・データへのアクセスを可能にするASCII変換機能も利用することができます。

Ethernet接続を使用した場合は、RSA3408A型に搭載されているメモリによりレコード長が制限されます。LANポート経由で取込んだデータをダウンロードするため、信号バーストを16Mサンプル IQペアという最大レコード長（オプションで65Mサンプル IQペアまで対応）の範囲内に収めることができます。またRSA3408A型では、メモリからダウンロードしたデータを、このRTSAのRF性能に適合させる校正データで補正してから、特殊な復調アルゴリズムに渡すシステムになっています。

LPI変調がシームレスに続き、アナライザのメモリ容量を超えてしまうことがよくあります。

RSA3408A型は、A/Dコンバータの出力に直接連結している高速LVDS（Low Voltage Differential Signaling：低電圧差動信号）ポートをオプションでサポートし、このような問題に対応しています。この特殊なポートにより、I-Qデータを外部の復調器にシームレスにエキスポートすることができます。RSA3408A型のA/Dコンバータから出力されたばかりの未加工データは、



▶ 図25. RTSAはLVDSポートを搭載しているため、I-Qデータをリアルタイムかつ継続的にしかも簡単に抽出することができます。

利得/位相平坦性を備えておらず、校正や補正も行われていません。

、通常、機器内で実行されるこれらの補正処理は、外部でデジタル復調する前に実施する必要があります。高速データ収集ハードウェアを用意できる場合は、このポートを使用して高度なデータ収集が可能になります。

つまり、RSA3408A型によって高速サンプリングした未加工データを使用して、現場では復調が困難な連続的なLPI信号にも柔軟に対応できます。

このLVDSポートは、特殊な信号の生成もサポートします。つまり、高価な受信機の代わりにLVDSポートのIQ出力を使用するだけで、ハードウェア開発に費用をかけることなく、複雑なデジタル変調の試験を行うことができます。RFデータ・リンクは、任意波形ゼネレータ、RTSA、コンピュータを使用し、あとはソフトウェアを開発するだけで簡単に作成できます。また、データ・リンクの一部をRF周波数変換およびデジタル変換できる信頼性の高いテスト機器を使用すれば、別のLPI信号を生成したり、現場で予期しない信号に対応したりする時間を大幅に短縮することができます。さらに、RFハードウェアを検証する必要がなく、ソフトウェア開発だけに専念できるため、開発時間の短縮も可能になります。国家の安全を脅かす緊急事態が発生した場合は特に、このような開発時間の短縮が大きなメリットになります。

信号の監視、調査、リアルタイム・スペクトラム解析

▶ アプリケーション・ノート

高度なデータ保護環境を提供

調査では、機密情報を収集したデータなど、アクセス制限が必要なデータを処理します。しかし、機密情報を扱う部署への出入りを許可していない個人に、調査機器の校正や修理を依頼することや、出入りを制限している開発部門とそれ以外の部門間で調査機器を共有することがよくあります。

このような出入りを制限していない部署や、セキュリティ上の問題がある場所に調査機器を移動する前には、機器から機密データを移動する必要があります。機密情報がアナライザにうっかり残っていたり、完全に移動していなかったりすると、スキルのある校正技術者や「アクセス許可のない」危険人物によってアクセスされる恐れがあるためです。

機密情報を扱う環境で使用するにもかかわらず、セキュリティ面で問題があるシグナル・アナライザが多数あり、移動や完全消去が困難なオンボード・フラッシュ・メモリやディスクを採用しているアナライザなどは、廃棄処分するまで、アクセス制限した場所でしか使用できません。このため、機密情報を扱う部署がアナライザの校正や保守にかけている費用は、他の部署を大幅に上回ります。

RTSAは、セキュリティ上安全な場所でもそうでない場所でも簡単に操作できるように設計されています。例えば内蔵ハード・ディスクは、RTSAの上部に配置されているハッチから簡単に取り出すことができます。このハードディスクには、不揮発性メモリのすべてのデータを保存でき、しかもハード・ディスクの交換が可能のため、機



▶ 図26. RTSAの上部には、保存情報をハードディスクに移動し、そのハード・ディスクを簡単に取り出すことができるハッチをオプションでそうびすることができます。機密情報を保存したハード・ディスクを即座に取り外せるため、セキュリティ上危険な場所にアナライザを移動しても問題ありません。

密情報を確実に移動できます。また、機密性の低いデータのために用意したハード・ディスクを挿入すれば、アクセス制限のない環境でアナライザを利用することも可能になります。RSA3408A型は、このような様々なハード・ディスク交換をサポートしているため、複雑なセキュリティ環境でも効果的に使用できるほか、現場の必要に応じて迅速かつ柔軟な機密情報の廃棄が可能になり

ます。

まとめ

無線機器と通信リンクの急増とともに信号監視と信号調査が非常に困難になっています。しかし、様々な業務を確実にサポートする各種機能を搭載したRSA3408A型を使用すれば、このような信号処理も適切に行うことができます。

RSA3408A型は、広帯域、広いダイナミック・レンジ、低位相ノイズといった調査活動に必要な性能を備えています。また、リアルタイム周波数マスク・トリガ機能や

リムーバル・ハードディスクのほか、最大帯域幅までのI-Qデータを連続で出力できる機能、様々な変調方式に対応するマルチドメイン解析機能など、確実な情報収集活動をサポートする独自の機能を搭載しています。このRTSAが提供する特許取得済みのトリガ機能や、オプションのプリアンプも、LPDまたはLPI信号を迅速に処理しなければならぬ情報収集活動に大きな効果を発揮します。

RSA3408A型に関する詳細な説明やデモンストレーションをご要望の方は、最寄りのテクトロニクス営業所に

お問い合わせください。

Tektronix お問い合わせ先

東南アジア諸国 / オーストラリア (65) 6356 3900
オーストリア +41 52 675 3777
バルカン半島 / イスラエル / アフリカ南部諸国およびSE 諸国
+41 52 675 3777
ベルギー 07 81 60166
ブラジルおよび南米 55 (11) 3741-8360
カナダ 1 (800) 661-5625
中東ヨーロッパ / ウクライナおよびバルト海諸国 +41 52 675 3777
中央ヨーロッパおよびギリシャ +41 52 675 3777
デンマーク +45 80 88 1401
フィンランド +41 52 675 3777
フランスおよび北アフリカ +33 (0) 1 69 86 81 81
ドイツ +49 (221) 94 77 400
香港 (852) 2585-6688
インド (91) 80-22275577
イタリア +39 (02) 25086 1
日本 81 (3) 6714-3010
ルクセンブルグ +44 (0) 1344 392400
メキシコ、中米およびカリブ海諸国 52 (55) 56666-333
中東アジア / 北アフリカ +41 52 675 3777
オランダ 090 02 021797
ノルウェー 800 16098
中華人民共和国 86 (10) 6235 1230
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
大韓民国 82 (2) 528-5299
ロシアおよびCIS 諸国 7 095 775 1064
南アフリカ +27 11 254 8360
スペイン (+34) 901 988 054
スウェーデン 020 08 80371
スイス +41 52 675 3777
台湾 886 (2) 2722-9622
イギリスおよびアイルランド +44 (0) 1344 392400
アメリカ 1 (800) 426-2200
その他の地域からのお問い合わせ 1 (503) 627-7111
2006年1月5日更新

詳細情報

Tektronix は、総合的に継続してアプリケーション・ノート、テクニカル・ブリーフおよびその他のリソースのコレクションを保守整備し、技術者が最先端で仕事ができるように手助けをします。
www.tektronix.comまたはwww.tektronix.co.jpを参照してください。



Copyright © 2005, Tektronix. All rights reserved. Tektronix 製品は、米国およびその他の国の特許 (出願を含む) により保護されています。本文書は過去に公開されたすべての文書に優先します。仕様および価格は予告なしに変更することがあります。TEKTRONIX および TEK は Tektronix, Inc. の登録商標です。参照されているその他の商品名は、該当する各会社が保有するサービス・マーク、商標、または登録商標です。

11/04 DMWOW

37Z-18576-0

Tektronix
Enabling Innovation

