

223/2020

NEWS

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



クラウドでの 測定

測定器に直接触れずに測定を実行する。これは、テレワーク時でなくとも、エンジニアにとっては心が弾む将来予測です。T&Mクラウドは、それを実現します。



モバイルネットワーク・
テストでの人工知能

ジッタ分離の
新しいアルゴリズム

教育機関向けの
セキュアなWi-Fi機器

NEWS

発行者

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Mühl Dorfstrasse 15 · 81671 München

www.rohde-schwarz.com/jp

地域別連絡先

- ▶ ヨーロッパ、アフリカ、中東 | +49 89 4129 12345
customersupport@rohde-schwarz.com
- ▶ 北米 | 1 888 TEST RSA (1 888 837 87 72)
customer.support@rsa.rohde-schwarz.com
- ▶ 中南米 | +1 410 910 79 88
customersupport.la@rohde-schwarz.com
- ▶ アジア太平洋 | +65 65 13 04 88
customersupport.asia@rohde-schwarz.com
- ▶ 中国 | +86 800 810 8228 | +86 400 650 5896
customersupport.china@rohde-schwarz.com

編集者へのメール宛先: news magazine@rohde-schwarz.com

編集長: Volker Bach (Rohde & Schwarz)

編集およびレイアウト: Redaktion Drexel & Knobloch GmbH (German)

英訳: Dept. GF-BS2

写真撮影: Rohde & Schwarz

印刷国: ドイツ

発行部数 (ドイツ語版、英語版、フランス語版、スペイン語版、日本語版):
約50,000部 (年2回)

ボリューム: 60

発行日: 2020年1月、No. 223

ISSN 0028-9108

最寄りのローデ・シュワルツ販売店を通して無料で提供します。
出典が記載される場合には抜粋の転載も許可されます。コピー
をRohde & Schwarz (ミュンヘン) までお送りください。

PD 3609.2930.72

R&S®は、Rohde & Schwarz GmbH & Co. KGの登録商標です。
商標名は所有者のトレードマークです。CDMA2000® は、
Telecommunications Industry Association (TIA - USA) の
登録商標です。Bluetooth®のワードマークとロゴはBluetooth
SIG, Incが所有しており、ローデ・シュワルツは、ライセンスに
基づいてこれらを使用しています。他のすべての商標はそれら
の個々の所有者の財産です。

表紙について

ハードウェアエンジニアは専門性の高い職業であり、自宅のリビングで作業を遂行するのは通常は困難です。エレクトロニクスラボのテクニカルリソースがないと、エンジニアが実行できることは極めて限られます。特に、多くの測定機器を使用するRF開発者にとって、それは現実的ではありません。また、測定機器を共用ラボから長期にわたって持ち出すこともできません。測定器が物理的に手元になくても、測定ができればどれほど便利でしょうか。ローデ・シュワルツなら、こうした状況を打破する最適な新しいクラウドソリューションをセットアップできます。R&S®Cloud4Testingを使用すれば、測定データをリモートで詳細に解析できます。モバイルやレーダーなどの信号データをアップロードした後、強力なツールを使用して必要なパラメータを解析できます。また、測定データのリモート生成を希望されるお客様を対象に、ローデ・シュワルツは、電子計測機器にリモートアクセスできる専用クラウドの実装を支援します。開発プロジェクトでの共同作業からトレーニング、デモンストレーションに至るまで、さらに、リソース利用の最適化からサードパーティへの電子計測 (T&M) クラウドサービスの提供に至るまで、さまざまなアプリケーションにクラウドを使用することができます。詳細については、28ページの記事をご覧ください。



概要

NEWS 223/2020

表紙について

クラウドでの測定

測定器へのリモートアクセス
テストラボをホームオフィスへ 28

無線

6Gを見据えて
将来のモバイル通信に向けた
チャンネル測定 12

AIを活用した取り組み
人工知能によるモバイルネットワークの
品質評価 16

オートモティブ

道路走行時の安全性の確保
センサは、車両が周囲を把握するための
「目」です。新しいテストシステムによって
車両の視力が上がります 20

帯域幅不足
FMCWレーダー：シンプルな原理、
洗練された電子計測ソリューション 25

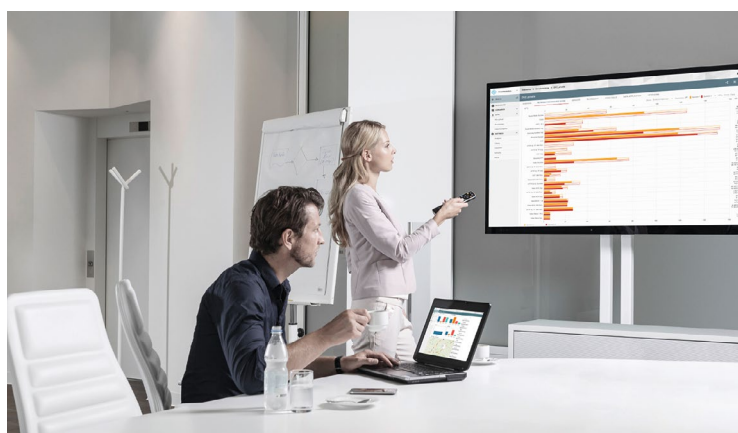


シールドされたテストチャンバーとレーダー目標シミュレータで構成されるコンパクトなテストシステムは、最新世代の複雑な車載用レーダーセンサでも1分未満で校正します(20ページ)。

LANCOM Systemsの顧客4団体のベスト事例を紹介し、学内Wi-Fiで成功している方法について解説します(50ページ)。



モバイルネットワークの品質評価には、膨大なデータを評価する必要があります。その解決策が人工知能です(16ページ)。





光ファイバー、衛星リンク、モバイル接続の時代
であっても、短波無線のニーズは残っています。
新しいアンテナと調整ユニットによって、高性能
システムをかつてないほど簡単に構築すること
ができます(52ページ)。

汎用測定器

多くのアプリケーションに対応
幅広い作業に対応できる経済的な
ベクトル信号発生器 32

電源管理

R&S®NGL200 電源とR&S®NGM200
電源によるバッテリー管理システムの
テスト 34

ラボの効率向上

最高で4台のDUTに同時に電源を
投入できるR&S®NGP800DC電源
シリーズ 36

スタンダードの地位が盤石に
超広帯域信号解析 38

テラヘルツレンジでのベクトルミキサー測定
周波数コンバーターとミキサーの
ベクトル補正をすべて実行できる
R&S®ZNA ネットワーク・アナライザ 40

ジッタ分離

ボタンを押すだけで総合的な
ジッタ解析が可能 42

スイッチングの高速化

外部トリガでスイッチングプロセスを
制御できるR&S®OSP スイッチおよび
制御ユニット 48

ネットワーク

学内Wi-Fi管理のベスト事例
現在の事例 50

セキュリティ通信

短波による長距離通信
短波無線用の新しいアンテナと
調整ユニット 52

その他

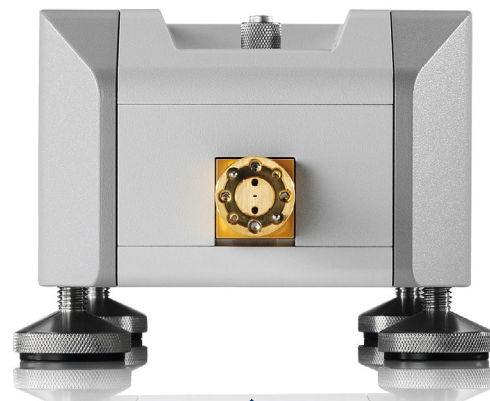
発行人 2

NEWSコンパクト 6

研究開発、テスト／本番環境、品質保証、保守点検、トレーニングなどさまざまな用途に適した
新しいDC電源シリーズ(36ページ)。



新しいテスト方式により、R&S®ZNA ベクトル・ネット
ワーク・アナライザは、周波数コンバーターとミキサー
のベクトル補正がテラヘルツレンジまで可能になりま
した(40ページ)。



NEWSコンパクト

無線モニタリング用デジタル・コンパクト・レシーバー



R&S®EM200の多数のアプリケーションの1つが、R&S®ESMEなどの広帯域モニタリング受信機と組み合わせた1次/2次操作です。

規制機関は、スペクトラムで起こっている事象、干渉の発生の有無、全トランスミッターのライセンス条項への適合／不適合を常に把握しようとして努めます。その作業は、使用可能な周波数すべてが各種無線テクノロジーによって集中的に使用されているため、より困難になっています。新しいR&S®EM200 デジタル・コンパクト・レシーバーは、固定または（車両）モバイル用のスタンドアロン測定器として概要の保持に役立ちますが、特に大規模なモニターおよび方向探知システムのコンポーネントとして有効です。このハーフ19インチ幅のレシーバーは、最大40 GHz/sで8 kHz～8 GHzの範囲をスキャンし、40 MHzのリアルタイム帯域幅内のあらゆるスペクトラムイベントを検出します。タイムドメイン解析も可能なこの焦点領域に対し、オプションの10 Gbitインタフェース経由でのI/Qデータストリームとしての出力、接続されたPCでのR&S®CA100 ソフトウェアを使用したオンライン解析、または例えばR&S®DWR100 I/Qレコーダを使用した評価用データとしての記録が可能です。

R&S®EM200の代表的なアプリケーションは、R&S®ESME（左の図）などの広帯域モニタリング受信機と組み合わせた1次/2次操作です。例えば、R&S®ESMEが興味深いエミッションを検出した場合、関連する周波数レンジを接続されているR&S®EM200に転送し、永続的なモニターと正確な解析を実行することができます。

ローデ・シュワルツの他の無線モニタリング受信機と同様に、R&S®EM200を、例えば車両のルーフアンテナと組み合わせた単一チャンネルの方位探知機として、または大規模な無線位置特定システムのコンポーネントとして、方向探知作業に使用できます。到来角（AoA）方法、到達時間差（TDoA）方法、またはハイブリッド方法を使用できます。

R&S®EM200はシステム機器であるため、R&S®RAMON、R&S®ARGUSなどのソフトウェアを使用して管理される受信機ネットワークに容易に統合できるように設計されています。各データパケットに正確なタイムスタンプが付いているので、ネットワーク内の他のレシーバーからのデータとの相関が容易です。



R&S®EM200には、スタンドアロン動作の便利な操作／解析ソフトウェアが付属しています。ただし、主に大規模なシステムで使用され、リモートで操作されます。

5G FR2製品用の製品テストソリューション

5Gモバイル通信のイノベーションの1つが、ミリ波の使用です。3GPP規格に沿って、5G周波数レンジ2（FR2）は現在、26.5 GHz～29.5 GHzと37 GHz～43.5 GHzの2つのブロックで構成されています。どのバンドを使用するかは、それぞれの国の規制機関が決定します。伝導テストが可能なサブ6 GHz周波数レンジ（FR1）とは異なり、FR2製品

にはOTAテスト設備が必要です。ノンシングナリング試験の場合、開発者やメーカーは現在、R&S®CMPQ テストシステムを使用することができます。システムは、R&S®CMQ200 シールドボックス、R&S®CMP200 テスタ、R&S®CMPHEAD30 リモート無線ヘッドから構成されています。主な応用分野は5G製品の量産です。非常に柔軟な設

定が可能なので、実動前の測定にも使用できます。R&S®CMP200（関連製品のR&S®CMSquares 5Gテストソフトウェアによって制御）が、規格に準拠した信号の作成と解析を20 GHzまで実行します。より高い周波数の場合、無線ヘッド（24.25 GHz～31.8 GHzまたは37 GHz～43.5 GHz）が引き継ぎます。最大3つの無線ヘッドを並行し

て操作できます。1つのR&S®CMP200で複数のシールドボックスを同時に管理できるようになるので、生産環境で有用です。ちなみに、ボックスは5Gアプリケーションに限定されません。77 GHzまでのすべてのテクノロジーに適しています。

R&S®CMPQシステムは、R&S®CMQ200シールドボックス、R&S®CMP200 テスタ、R&S®CMPHEAD30 リモート無線ヘッドから構成されています。主な応用分野は5G製品の量産ですが、開発ラボでの測定にも使用できます。



車載用レドーム用のテストベンチ

レーダーセンサは、長い間、運転支援システムのデータの供給元としての役割を担ってきました。これらのセンサは今後、車両の自律性を実現する次の開発段階で重要性をさらに増すことになります(20 ページの記事を参照)。誤った位置データは安全上重要な問題につながるため、センサ自体とそのカバー (レドーム) の両方が、規定された性能値に適合する必要があります。そしてテストは、これを

確認する唯一の方法です。レドームをテストするために、ローデ・シュワルツはR&S®QARを開発しました。R&S®QARは、これらのDUTを短時間で全表面にわたってテストするための市場初のテストです。主な用途は、開発中のラボでのテストと測定です。組立ラインでの大量テストに使用できるよう、Löhnert Elektronikが、これを軸としたテストベンチを開発しました。



Löhnert Elektronikのエンドオブライン (EoL) テストベンチでは、R&S®QAR テスタを使用して、車両レドーム (通常はブランドエンブレム) のユーザビリティを調べます。

このロータリー・インデックス・マシンには、被試験オブジェクト (コンポーネントネスト) 用のさまざまなタイプ固有のホルダーと、伝送/反射基準測定用の2つのテストステーションが含まれています。マシンは、Löhnert instant scripting RunTime (LisRT) ソフトウェアとSiemens SPCコントローラーによって駆動されます。レドームを手動またはロボットによってテストホルダーに配置できます。システムでは、それらをバーコードまたはデータ・マトリクス・コード (DMC) で識別します。

テスト・ベンチ・マシンをライン上で直接、変更された動作条件 (新しいレドームタイプなど) に簡単かつ迅速に適合させることができます。Löhnert Elektronikによる作業は、コンポーネントネストの交換と、ソフトウェアでの評価マスクの変更のみです。

これらのテストベンチを使用すると、直径約200 mmまでの車載用レドームで、非常に確実かつ迅速にエンドオブライン測定を実行できます。テストソリューションの詳細は、www.loehner-electronik.deおよびwww.rohde-schwarz.com/qarで入手できます。

米国が緊急警報システムと緊急通報サービスのポジショニングの精度に関する要件を厳格化

高度情報によって強化された911緊急通報システム

米国は、位置に基づく緊急通報サービスの実装において長年、先駆的な役割を果たしてきました。例えば、携帯電話から全国共通の緊急電話番号911に通報する場合、レスキューサービスと警察を正しい発生場所に誘導するため、これまでもGPSによる正確な位置情報の提供が必須とされています。昨年末、米国の規制機関FCCは、要件をさらに厳格化しました。2021年4月までに、911システムは、2D座標に加えて垂直位置情報を送信することが必要になります。これにより、高層ビルから緊急電話をかけたとき、問題のフロアをすばやく特定することができます。特定作業の信頼性を高めるため、FCCペーパー (FCC-CIRC1911-02) では3メートルのz軸精度を要求しています。この情報はGPSデータから取得することはできません。FCCの仕様ではテクノロジーは仕様化されていませんが、流れとしてスマートフォンの気圧センサが有力です。気圧と高度の間には機能的な関係がありますが、この関係は、地域の気温、湿度、気象条件(高気圧または低気圧)にも依存します。しかし、現在、温度センサと湿度センサはスマートフォンに搭載されておらず、圧力センサが搭載されているのは最上位モデルのみです。したがって、目標は非常に高く、達成するには回避策が必要です。

地上の温度、湿度、基準圧力に関する最新情報は、外部ソースから取得することになります。米国の主要都市には測定ネットワークの密集したグリッドがあります。スマートフォンはサーバーから位置の値を取得し、この情報を使用して高度を決定します(圧力センサが校正済みであることが前提です)。新しいローデ・シュワルツのソリューションは、この機能の検証に役立ちます。R&S®CMW500 ワイドバンド無線機テストおよびオプションのR&S®SMBV100B GNSSシミュレータと一緒に、DUTを規定圧力下に置くための小型圧力チャン

バーを使用します。このテストにより、スマートフォンが必要な確度(約35パスカル)で設定値を測定し、仕様どおりに公衆安全応答ポイント(PSAP)に送信できるかどうかが明らかになります。

公共アラートのより正確なターゲティング

将来的には、2012年から米国で運用されている無線緊急アラート(Wireless Emergency Alerts, WEA) 公共安全システムの、特定の地理的領域の絞り込みに関する確度が向上します。WEAは、ハリケーンの接近など、公共の安全に対する差し迫った脅威に関するアラートを公衆にブロードキャストする際、携帯電話ネットワークを使用します。米国大統領によって発令されるアラートや行方不明者に関する緊急アラートの送信にも使用されます。2019年末、米国連邦通信委員会(FCC)が、システムの次の開発段階であるWEA 3.0の仕様を公開しました。このアップデートでは、メッセージは、円(中心点と半径)または多角形によって指定された指定ターゲット領域を、100 %カバーする必要があります。領域の境界を10分の1マイル以内に維持することを求める追加要件があるため、全体の要件はさらに厳しくなります。これは、影響を受けない市民がアラートによって余計な心配を抱かないようにするためです。

米国のネットワークプロバイダーは、個別のソリューションによって要件を満たしており、いずれはソリューションをネットワークの加入者デバイスに実装することになります。これらの要件をR&S®CMW500、R&S®SMBV100B、R&S®CONTESTソフトウェアで構成されるテストソリューションを使用して検証できます。このソリューションは現在、Verizon、AT&T、TMO、US Cellularのテストプランをサポートしています。

位置情報サービスの場合、ローデ・シュワルツは、R&S®TS-LBSという製品名で多数のテストソリューションをお客様に提供しています。したがって、アプリケーションに最適なソリューションを選択できます。ここで説明するテストケースでは、必要なセットアップは1つだけです。R&S®CMW500 ワイドバンド無線機テスト、R&S®SMBV100B GNSSシミュレータ、圧力チャンバー、R&S®CONTESTソフトウェアから成ります。



初のWi-Fi 6アクセスポイント

ローデ・シュワルツの子会社であるLANCOM Systemsが、Wi-Fi 6規格 (IEEE 802.11ax) に基づく初のアクセスポイントであるLX-6400、LX-6402、LW-600を発売しました。レイテンシーが大幅に短縮され、クライアントあたりのスループットが最大25 %向上するため、モバイルデバイスの密度が高い高性能無線LANおよびネットワークの、将来に対応した基盤となります。LX-640xシリーズは学校、大学、ショッピングセンター、病院、アリーナなど、ユーザー数の多い場所を対象とし、LW-600はホテル、小規模オフィス、診療所など、中小規模のユーザー数の場所を対象としています。

現在、3つのモデルすべてが利用可能です。年末までに、屋内／屋外使用の追加モデルを含めるため、ポートフォリオを拡張します。

LANCOM LX-640x : 高ユーザートラフィック用

アクセスポイントには、2.4 GHz帯と5 GHz帯での並列動作に対応して、2つのIEEE 802.11ax 無線モジュールがあります。多数のクライアントを同時に制御するため、アップリンクとダウンリンクで4×4マルチユーザーMIMO (MU-MIMO) を提供します。アクセスポイントは、20 MHz、40 MHz、80 MHz (4ストリームの場合) および160 MHz (2ストリームの場合) のチャンネル帯域幅を処理できます。160 MHz幅のチャンネルを処理できる2つのアンテナを備えたモバイルデバイスでは、5 GHz帯で最大2400 Mbpsのデータレートを活用できます。2.4 GHz帯で1150 Mbpsを並列に使用することで (4ストリームで20 MHzと40 MHzのチャンネル帯域幅をサポート)、最大3550 Mbpsの合計スループットを実現します。

アンテナデザインはモデルによって異なります。LX-6400では、ハウジングに目立たないように統合された8つの180度セクターアンテナを介して送信するのに対し、LX-6402では4つの外部デュアルバンド無指向性アンテナを使用します。これらは、必要に応じてセクターアンテナと交換できます。どちらのモデルも、2.5ギガビットイーサネットPoE (IEEE 802.3at、最大30 W) とギガビットイーサネットポートを備えています。

WPA3-PersonalおよびIEEE 802.1X (WPA3-Enterprise) によって最先端のセキュリティが得られますが、先行機種のパリアントであるWPA2-PersonalとWPA2-Enterpriseも引き続き構成できます。アクセスポイントは、Multi-SSID、VLANなどの仮想化機能もサポートしています。パワーは、PoE (IEEE 802.3at) または電源ユニットを介して供給されます。

LANCOMのすべての現行アクセスポイントと同様、新しいWi-Fi 6モデルも、運用において最大限の柔軟性を発揮します。これらのモデルでは、ウェブGUIを経由した個別の設定、あるいは無線LANコントローラー経由またはLANCOM Management Cloudでのゼロタッチ配備経由の集中管理が可能です。

LX-640xモデルの価格は、どちらも699ユーロ (+付加価値税) です。

LANCOM LW-600 : Wi-Fi 6テクノロジーへのプロエントリー

LANCOM LW-600は、2.4 GHz帯と5 GHz帯のクライアントに同時にサービスを提供でき、最大1775 Mbps (5 GHzで1200 Mbps+2.4 GHzで575 Mbps) の累積スループットレートを実現します。

スタンドアロン動作では、直感的なウェブインターフェースから、包括的な管理とモニターに最適な概要が得られます。ダッシュボードに現在の無線LANステータスが表示され、ネットワークのセットアップと保守が容易になります。ネットワークに複数のアクセスポイントがある場合、無線LANコントローラーまたはLMC (LANCOM Management Cloud) を介した管理をお勧めします。LMCは、ソフトウェア定義ネットワークの最新世代の代表であり、オペレーターをすべてのテクノロジー問題から完全に解放します。ネットワークのセットアップと保守をインターネット経由で自動的に実施します。

LW-600は、任意のPoE給電イーサネットポートでPower over Ethernetを介して操作できます。または、付属の電源ユニットから電源を供給します。アクセスポイントは、WPA3-PersonalまたはWPA3-Enterpriseによる最新のセキュリティを備えており、価格は399ユーロ (正味価格) です。



LANCOM LX-6402では、送信に4つの外部無指向性アンテナを使用します。より目立たないソリューションを希望する場合は、セクターアンテナが統合されたLX-6400を推奨します。



LW-600は、煙感知器型のデザインなので、天井や側壁に目を引かずに設置できます。

ATC関連ニュース

好評のシリーズを補完する新世代の無線機

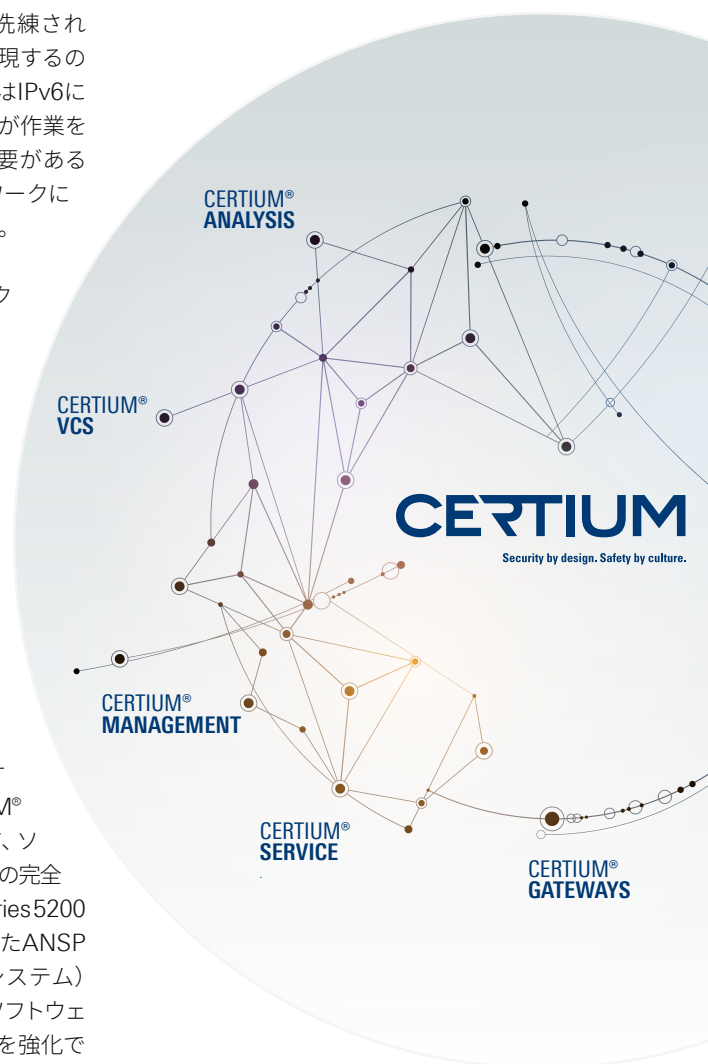
R&S®Series4200 ATC無線機が、前例のないサクセスストーリーを生み出しました。航空管制官と航空機をつなぐため、世界中の空港やATCセンターで使用されているこの無線機の台数は、何千にものぼります。無線機には、空港運営者と航空管制サービスプロバイダー (ANSP) にこの製品ラインの価値を認めさせるのに十分な、優れた技術的特性と高い信頼性が備わっています。新しいR&S®Series5200は、これらの品質を土台に構築されており、接続性、サービスの容易さ、運用の信頼性、および総所有コストの点で大幅な機能強化が図られています。

当初から最も重要視されたのは接続性でした。ATC通信ネットワークでは、R&S®Series5200 無線機が、地上局と航空機間のエアゲートウェイとして機能します。この無線機は、民間航空で一般的に使用されるアナログ音声リンクとACARS/VDL2データリンクの両方を操作できます。各無線機を、ATC地上インフラ内の3つの独立したネットワーク(例えば、メインおよびバックアップの音声ネットワークと、モニタリングネットワーク)に同時に接続できます。ハードウェアおよびソフトウェアアーキテクチャが、クリティカルなインフラのサイバーセキュリティ要件に適合するよう強化されているため、接続されたネットワークの1つで発生したセキュリティ問題が、無線を経由して別のネットワークに波及しません。

通常の冗長戦略(1+1、m+n)を洗練された方法で実装できます。これを実現するのが、仮想IPアドレス指定(IPv4またはIPv6に準拠)です。問題が発生して無線機が作業をバックアップ無線機に転送する必要がある場合、これが遅延なしに、ネットワークに影響を与えることなく実行されます。

発振器の自動校正と、ネットワーク経由のソフトウェアアップデートを含むリモート・メンテナンス・オプションが装備されているため、通常、設置された無線機に触れる必要がありません。ただし、無線機を交換する場合、サービス技術者が無線機の簡単に取り外し可能な無線IDカードを新しい無線機に挿入し、それを使用して無線機を設定することだけは必要です。

R&S®Series5200は、CERTIUM® ATCソリューションのポートフォリオのコアコンポーネントです。CERTIUM®は、最適に調整されたハードウェア、ソフトウェア、サービスコンポーネントの完全なATCエコシステムです。R&S®Series5200ベースの無線システムを選択したANSPは、CERTIUM® VCS (音声通信システム)とCERTIUM® MANAGEMENTソフトウェアを追加することで、さらに機能を強化できます。



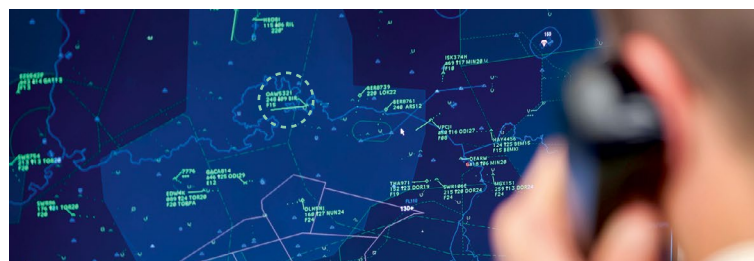
R&S®Series5200 無線機(左側がトランシーバー、右側がレシーバー)は、航空機を地上のATC通信ネットワークに接続するエアゲートウェイとして機能します。R&S®Series5200は、CERTIUM® ATCスイートに含まれます。このスイートは、航空管制サービスプロバイダーが作業を実行するために必要なすべての通信コンポーネントで構成されています。

ローデ・シュワルツの方位探知機によってHungaroControlが飛行の安全性を向上

航空交通管制官は、レーダー画面を見れば空域内の飛行の動きの完全な概要を入手できますが、どの航空機が無線通話中かについての視覚的なフィードバックを受け取れません。受け取るには、この情報を方位探知機からもらって、レーダー画像に重ね合わせる必要があります。特に、空域が満杯で、レーダー画面に無数の記号が隙間なく表示される場合、この視覚情報が混乱や誤解を防ぎます。航空機のコールサインが類似する場合にも、方位

探知機によってあいまいさが排除され、明確性が保持されます。この追加の安全機能の価値を認識して、ハンガリーの航空管制サービスプロバイダーであるHungaroControlが、方位探知ネットワークに投資し、ATC方位探知機のネットワークを備えた測位ソリューション、CERTIUM® LOCATEを購入しました。

HungaroControlは、ハンガリー領空のほか、NATOに代わってコソボ上部空域の管制業務も行っています。HungaroControlでは年間約75万台の航空機の動きをモニターしており、仕事量が膨大であるため、技術支援の活用は不可欠です。こうした理由から、R&S®DF-ATC-S 方位探知機を7か所に

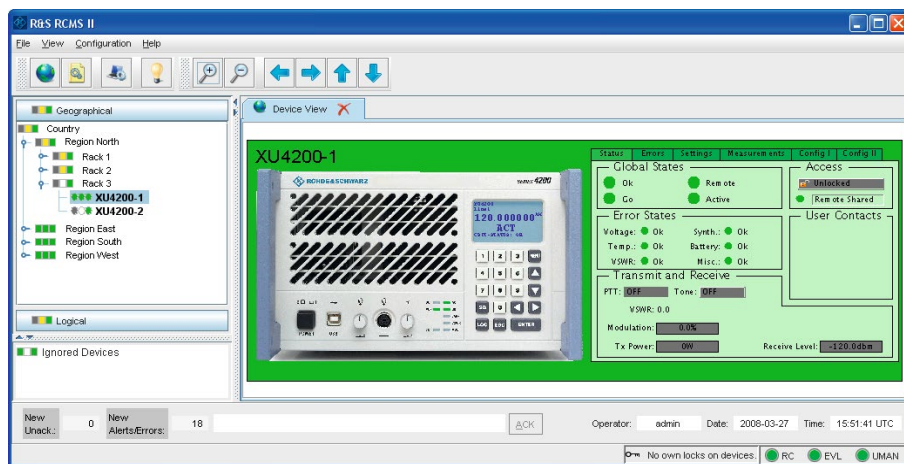


方位探知により、コールしている航空機を識別し、レーダー画像にマークを付けることができます。

設置し、DFデータから航空機の位置を計算するロケーションサーバー（これもローデ・シュワルツが提供）を介してそれらをネットワーク化しました。サーバーがこの情報をHungaroControlのMATIAS航空交通管理システムに転送し、情報はそこでレーダーや他のシステムからのデータとマージされます。このシステムは、2021年末までの設置と運用開始を予定しています。

DFSがCERTIUM® MANAGEMENTでネットワークを制御

ドイツ領空を担当する航空管制サービスプロバイダー、Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) は、4,000台を超えるローデ・シュワルツのATC音声通信用無線機を装備した、約100の無線局から成る全国規模のネットワークを運営しています。過去には、この無線機器群を一元管理できましたが、機能性に限界があり、DFSの増大する要件に対応できなくなっていました。新しいリモート制御／モニタリングソリューションを決定する際、当然のことながら、CERTIUM® MANAGEMENTが検討されました。そのR&S®RCMSII ソフトウェアコアを使用すると、ローデ・シュワルツの無線および音声通信システムを最適に統合できるだけでなく、SNMP (Simple Network Management Protocol) をサポートするネットワークスイッチなど、あらゆるサードパーティデバイスも管理できま



ここに示すR&S®Series 4200 トランシーバーのようなドイツのすべてのDFS無線機は、R&S®RCMSII ソフトウェアを使用してモニターと設定の実行を一元化できます。

す。管理ツールが完全に水平展開されたことにより、DFSではシステムコンポーネント

を、利便性の高い状態で制御下に保持しています。



6Gを見据えて

将来のモバイル通信に向けたチャネル測定

6Gをはじめとする将来の規格の開発には、ミリ波無線チャネルでの電磁波の伝搬特定を理解することが不可欠です。そのために、フラウンホーファーの2つの研究所が300 GHzバンド向けのタイムドメイン・チャネルサウンダーを開発し、初期段階の研究プロジェクトで使用しています。

5Gから6Gへ

5Gネットワークの全国的展開と、FR1およびFR2周波数バンド内の指定されたオプションの継続的な配備により、業界は今後何年もの間、多忙を極めることが予想されます。その一方で、次世代の基盤となる6G [1] [2]の研究も進められています。

6Gのテクノロジー候補、例えば、OFDMや全二重オペレーションに代わる新しい波形は、5Gでも議論されてきましたが、規格には盛り込まれませんでした。6Gに関する研究では、それ以外にも、新しいネットワークポロジ、Ultra-Massive MIMO、可視光通信 (VLC)、量子通信 (本質的に安全な通信)、およびネットワークの制御と最適化への機械学習の適用に注目が集まっています。

テラヘルツスペクトラムが目の前に

5Gは、広い帯域幅を持つミリ波周波数の利用では草分け的存在であり、ワイヤレスファクトリーオートメーション (FA) など、要求の厳しいリアルタイムアプリケーションに必要な伝送速度を実現しましたが、初期段階にある6Gテクノロジーは、伝送速度の超高速化と超低遅延を目指しています。

数GHzの帯域幅を持つ大規模な連続する周波数レンジは、サブテラヘルツおよびテラヘルツレンジ、つまり100 GHzを上回るレンジでのみ使用可能です(図1)。Dバンド(110~170 GHz)の拡張部分は、将来の通信サービス用としてすでに指定されています。昨年のITU世界無線会議(WRC 19)では、275~450 GHzのバンドも追加されました。とはいえ、6Gの初期の研究対象は、DバンドとHバンド(図1)が中心です。

新しい周波数レンジの利用基盤であるチャンネルモデル

新しい通信規格を開発するには、指定された周波数バンドの伝搬特性を把握し、評価する必要があります。そこからチャンネルモデルを導き出し、新しい規格のシミュレーションをシステムレベルで行うことができます。

そのためには、基礎となる測定データが調査対象環境を正しく再現している必要があります。3GPP TR 38.901 [3]などの幾何学形状に基づく確率的チャンネルモデル(GSCM)は、100 GHzまで有効であり、各種環境シナリオでの多数のチャンネル測定に基づいています。

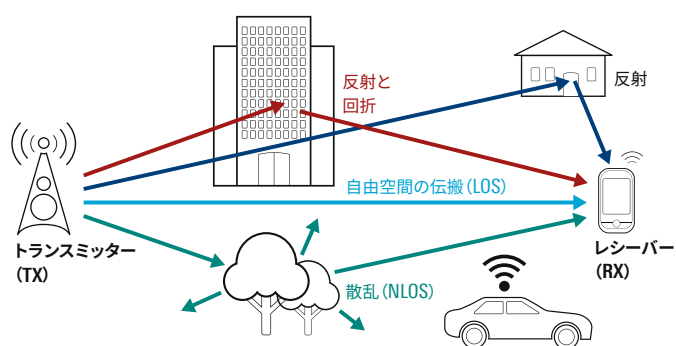
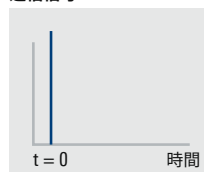


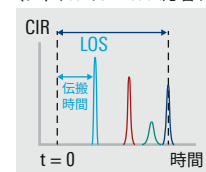
図2: チャンネルサウンディングの動作原理。
必要な周波数で電磁波の「ping」を送信し、戻る信号成分をすべて捕捉して、チャンネルインパルス応答(CIR)を測定します。

送信信号



受信信号

(チャンネルインパルス応答、CIR)



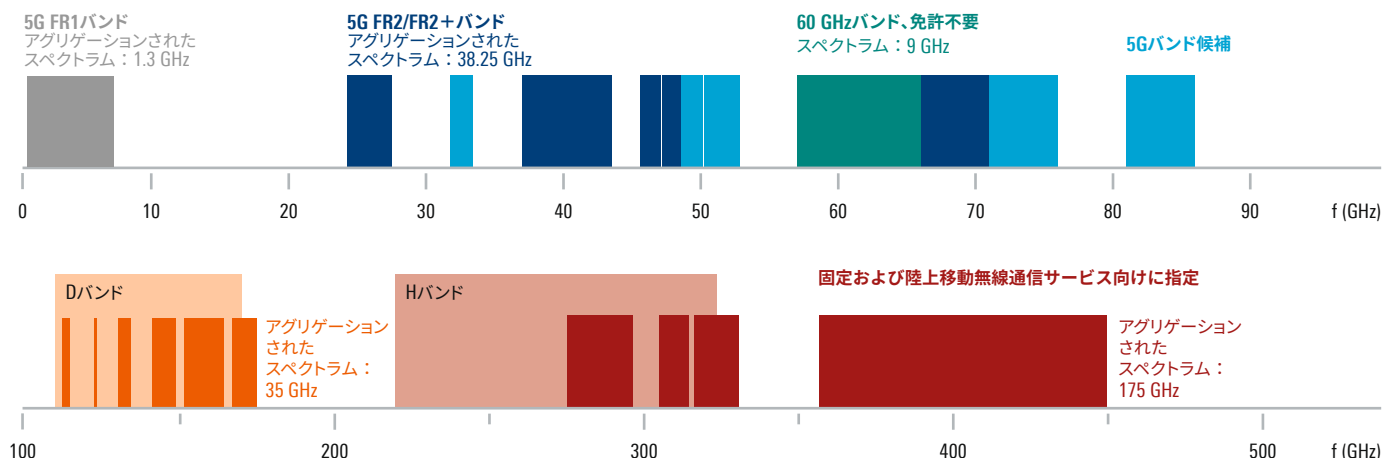
3GPPに基づく4Gまでのチャンネルモデルの開発と仕様は、6 GHz未満の周波数レンジの準静的環境に限定されていました。5Gは、動的なシナリオや、自動車や高速鉄道、産業分野環境などの新しいユースケースに対応した他の環境シナリオに浸透し、その周波数レンジはミリ波の範囲まで広がりました。しかし、6Gが動作する予定である100 GHz超のレンジにこのチャンネルモデルを単純に広げることではできません。ミリ波レ

ンジ以上でさえ、この周波数レンジの伝搬は、人体、車両、雨などの環境条件の影響を強く受けます。

チャンネルサウンディングからチャンネルモデルへ

チャンネルサウンディングによるチャンネル測定では、特定の周波数での電磁波の伝搬特性が画像で把握できます。「チャンネルサ

図1: モバイル通信に使用可能な周波数バンドのスペクトラム。5Gバンドは、100 GHz未満のレンジで分散されています。6Gの研究対象はDバンドとHバンドです。



ウンディング」とは、元々ソナーテクノロジーの用語で、短い音響パルスを船舶や潜水艦から送信し、反射をタイムドメインで記録することを意味します。それにより、周囲環境のイメージを把握できます。ソナーでは、トランスミッターとレシーバーを同じ場所に配置しますが、電磁波のチャネルサウンディングでは、トランスミッターとレシーバーを空間的に離れた場所に配置します。優れた自己相関特性を持つ短い変調信号が「ping」のように機能し、そのインパルス応答が記録されます。そのため、測定値は、伝搬時間の測定値です。測定値には、直接の伝搬成分（見通し：LOS）と、環境内にある物体からの反射と散乱の成分（見通し外：NLOS）がすべて含まれます（図2）。この結果から、チャネルモデルのパラメータを導き出し、その値を確定できます。

通常、入射波の波長より大きい物体のみが、電磁波に「物理的に認識」され、反射体または散乱体として機能します。つまり、30 GHzなどの高周波数では、センチメートル範囲の物体は反射体として機能します。

共同研究

ローデ・シュワルツはこの数年、チャネルサウンディング・プロジェクトで経験を積み重ねてきました。例えば、日本のネットワークプロバイダー、NTTドコモと共同で最大150 GHzの周波数レンジについて調査し、結果を2018年後半に発表しました。また、2019年の3GPPの中心的研究テーマは、製造環境をはじめとする産業シナリオでの新しい5Gチャネルモデルの開発でした。ローデ・シュワルツは、3GPPを支援するため、ドイツのメミンゲン工場とタイスナッハ工場で測定を実施しました。ミリ波周波数バンド28 GHzと66 GHzだけでなく、プライベート・キャンパス・ネットワーク用として指定されてい

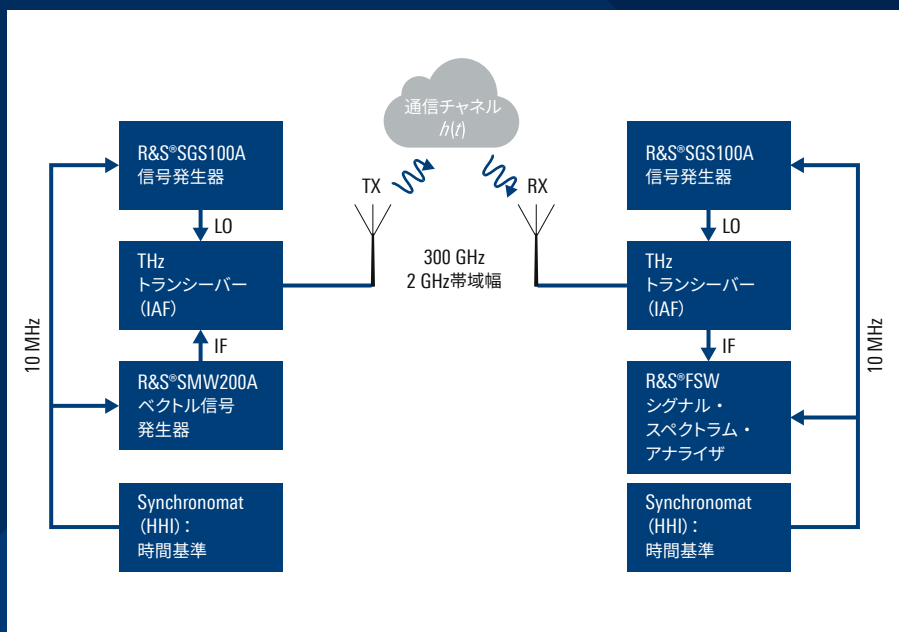
る3.7 GHzバンド[4]も測定しました。結果は、フラウンホーファー・ハインリッヒ・ヘルツ通信技術研究所 (HHI) およびNTTドコモと共同で、2019年第2四半期に中国、西安で開催された3GPPの会議に提出しました。

現在は、超高周波数におけるチャネルが中心テーマです。チームには、フラウンホーファーのもう1つの代表的研究施設であるフラウンホーファー応用固体物理研究所 (IAF) も加わりました。チームは、研究用セットアップを共同開発し、周波数レンジ270~320 GHz、帯域幅2 GHz [5]の信号の作成と解析を行えるようにしました。この信号は、チャネル測定に使用したり、伝送実験の際、新しい波形で変調したりすることができます。

HHIは、信号処理、トランスミッターとレシーバー間の同期、システム統合を担当し、IAFはミリ波の送受信モジュールの担当です。ローデ・シュワルツは、電子計測および無線テクノロジーの専門知識で貢

テストセットアップ

図3：300 GHzのチャネルサウンディング・システムのブロック図。送信側では、R&S®SMW200A 信号発生器が、中間周波数で（自己相関に適した）帯域幅2 GHzの「pingシーケンス」を作成します。次に、フラウンホーファーIAFのテラヘルツトランシーバーが、R&S®SGS100Aを局部発振器として使用して、このシーケンスを必要な送信周波数に引き上げます。受信側では、信号を逆順に処理しますが、チェーンの末端ではR&S®FSW アナライザを使用します。詳細については、[5]を参照してください。



献し、信号の作成と解析に必要な測定器を提供しています。図3と4に、テストセットアップを示します。

この測定システムを使用して300 GHzで初めて測定を行ったところ、この周波数レンジでは類を見ない広いダイナミックレンジを示しました(図5)。現在、このサブテラヘルツ周波数レンジの特性を体系的に評価するために、各種環境シナリオでの測定の準備をフラウンホーファーHHIおよびNTTドコモと連携して進めています。

まとめ

6Gの導入は8~10年後とはいえ、基礎研究はすでに始まっています。6Gで想定されるサブテラヘルツ通信の開発は、まだ研究が不十分なこの周波数レンジの伝搬特性を十分に理解したうえで初めて可能になります。ローデ・シュワルツは、この不明点を埋めるプロジェクトを、研究機関および業界パートナーと協力して取り

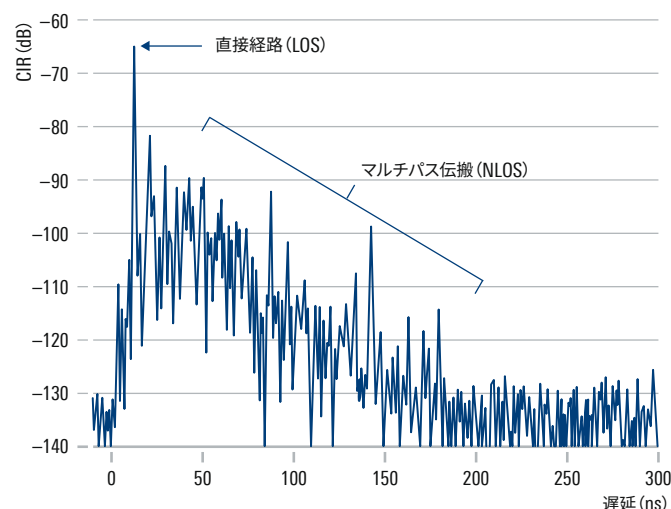


図5：多重反射が発生する屋内環境での300 GHzのチャネルインパルス応答(CIR)。トランスミッターとレシーバーの間の距離は約4 mです。屋内環境では、多くの反射を持つショルダー型が一般的です。電磁波は1 nsで約30 cm進みます。

組んでいます。この研究から、モバイル通信業界に数年後必要になる電子計測機器の要件について、貴重な情報が得られるはずです。

Dr. Taro Eichler

参考資料

- [1] 『5Gの高度化と6G』、NTT DOCOMO, Inc.、ホワイトペーパー、2020年1月
- [2] 『Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence』(ホワイトペーパー)、フィンランド、オウル大学、6Gフラグシップ・リサーチ・プログラム、2019年
- [3] 『3GPP TR 38.901 (V16.0.0): Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz』、3rd Generation Partnership Project (3GPP)、2019年10月
- [4] 『Measurement and Characterization of an Indoor Industrial Environment at 3.7 and 28 GHz』、EuCAP2020で公開予定、<https://arxiv.org/abs/2004.11561>
- [5] 『THz Channel Sounding: Design and Validation of a High Performance Channel Sounder at 300 GHz』、IEEE WCNC2020で公開予定、<https://arxiv.org/abs/2001.06703>

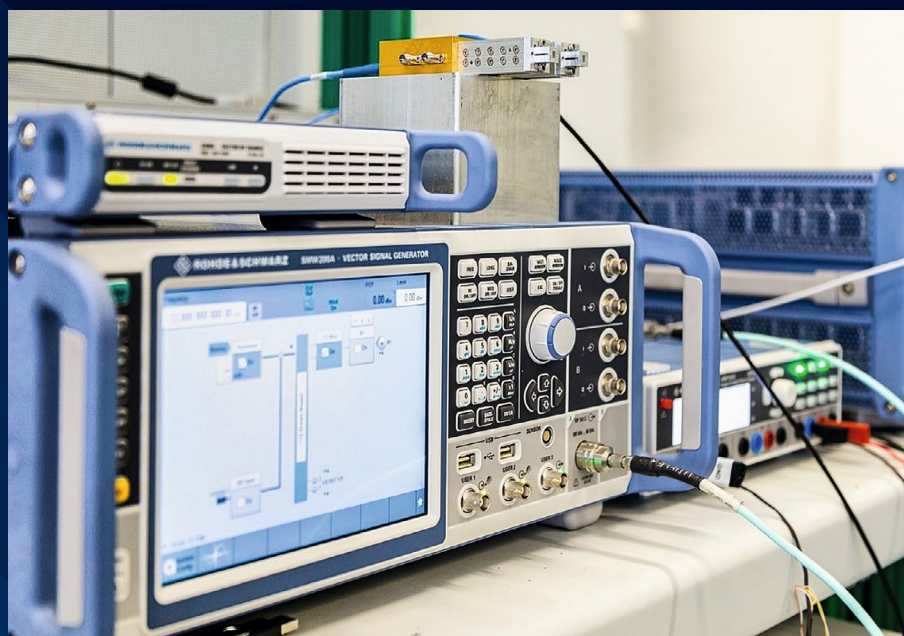


図4：R&S®SMW200A ベクトル信号発生器、R&S®SGS100A 信号発生器、R&S®FSW43 シグナル・スペクトラム・アナライザによる300 GHzのチャネル測定のテストセットアップ。写真の上方にホーンアンテナ内蔵のトランシーバーがあります。このセットアップは、チャネルの特性評価のチャネルサウンディングや、新しい波形の伝送実験に使用することができます。

AIを活用した 取り組み

モバイル・ネットワーク・プロバイダーは、良質なサービスを提供するために、ネットワークの安定度と性能をテストする必要があります。ただ、このテストは、関連するデータが膨大なため、手作業ではできません。この問題を解決するのは、人工知能いわゆるAIです。

5G時代のネットワークテスト

第5世代モバイル通信の出現により、ネットワークテストの担当者は新たな状況に直面しています。多様な周波数バンド、ネットワークプロバイダーの各種展開計画、さらに、IoT、従来のモバイル通信、トラフィックネットワークなどの幅広いアプリケーション。5Gのこうした多彩な側面は、多種多様なネットワークとテストデータを生み出します。通常の集計によるデータ解析では、すぐに結果がゆがめられ、誤った解釈に至ります。このジレンマの良い解決策が人工知能です。アルゴリズムに基づく方法は、特定の理論のみを反映し、理想的ではないかもしれませんが、データそのものは信頼できます。パターン認識などのAI手法は、データセットを先入観なく評価でき、人間のアナリストでは認識できない関係性を見つけることができます。

ビッグデータにはAIが必要

「人工知能」という用語はこの数年で広まりましたが、一般に明確な定義が伝わっておらず、AIの特性である学習可能なシステムと、単に複雑なアルゴリズムに基づくシステムとの間で区別が行われていません。「機械学習」という用語の方がやや具体的です。その目標は、大量のデータから原則を自動的に導き出すことです。学習プロセスを終えた後で、多角的な依存関係や特徴から、Yes/Noの判断を下すことができます。判断基準は、人間の専門家が考案するのではなく、実際のデータポイントの近似によって導き出します。この方法には、大量のデータと、集中的なトレーニングフェーズが必要です。しかしアプリケーションフェーズになると、新しい測定データをほぼ自動的に正しく解釈できるようになります。

教師あり学習と教師なし学習

機械学習は、大別すると、教師ありと教師なしの2種類に分かれます。

教師あり学習は、データとイベント(または定義済みのラベル)との間の統計的関係を見つけ、未知のインプットを推定することが目標です。広く使用されてい

るアプリケーションは物体認識です。画像内の特定の物体の有無とその位置(例:「写真の中に猫がいるかどうか」)を、多段階のパターン(辺、色付きの領域など)の解釈によって判定します。トレーニングでは、人間によってラベル付けされた画像を学習ソフトウェアが受け取り、判断に必要な特性を分析します。これらのルールは、アルゴリズムによって定式化されるのではなく、AIシステムのニューラルネットワークに隠されます。非視覚的パターン認識の例には、ネットワークテストのコール安定度スコア(CSS)の判定があります(後述)。

教師なし学習はラベルを使用しません。アルゴリズムは、有効な結論を得るために、パターンや多角的なデータ集合体を単独で認識する必要があります。例えば、新しいデータポイントと既知のデータポイントとの違いを測定するために使用します。教師なし学習の代表的な作業は、異常検出です。異常なデータを専門家のサポートなしで特定します。

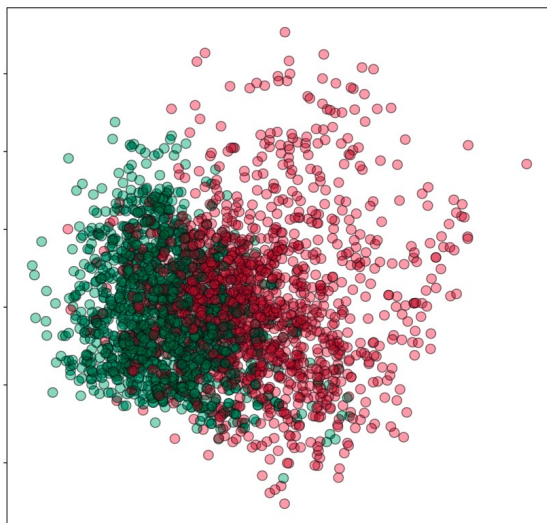
ローデ・シュワルツによるAI手法の採用

ローデ・シュワルツは、モバイルネットワークの最適化を簡素化したり、プロバイダー間の定性的相違の評価を改善したりするなどのアプリケーションにAI手法を使用しています。2018年設立のData Intelligence Labがこれらの問題に取り組み、データに基づく解析方法でローデ・シュワルツの研究開発部門をサポートしています。モバイルネットワークのテストでは特に、膨大なデータが生成され、手動による解析とルール策定はもはや現実的でないため、AI手法は期待が持てます。機械学習では、新しい評価指標を導き出すなどの目的で、大量のデータセットに隠れた情報を利用できます。その一例がコール安定度スコア(CSS)です。

コール安定度スコア：高信頼通信の新しい評価指標

通話が突然切れるのは不快なものです。そのため、ネットワークプロバイダーは、長きにわたり、通話品質と接続の安定度のテストを行ってきました。最も

図1：多角的な伝送条件を2次元方向に投影したもの。緑の点は正常終了したコールを、赤い点はドロップコールを表します。



一般的な統計がコール切断率(CDR)です。しかし、成熟したネットワークでは、ドロップコール(通信の切断)は非常に少ないため、統計的に有意な値を得るには、大量のコールを行う必要があります。結果的に、ドライブ・テスト・キャンペーンは長期間かつ高コストになります。

そのため、ローデ・シュワルツは、二元的なコールステータス(正常終了か切断か)の代わりに、細かい等級に分けたアナログ値を使用する方法を採用しています。この方法のために、伝送条件とコールステータスをリンクする統計的なAI生成モデルを作成しました。

このモデルから導き出されたCSSによって、呼接続時間全体にわたるモバイル接続の信頼性を測定し、品質に基づいて分類できます(図1)。診断内容には、正常終了した不安定なコールも含まれます。データが

R&S®SmartAnalytics 解析プラットフォーム

図2：データ解析が簡単になりました。
R&S®SmartAnalyticsでは、AIが生成した予測値を使用して、プロバイダー比較とネットワーク最適化を行うことができます。



図3：R&S®SmartAnalytics 解析ソフトウェアのコール安定度スコアを使用してネットワーク最適化シナリオを表示した状態。左上は、CSSの平均値を地域ごとに並べた図です。右上は、後で解析できるように、特にスコアの低い地点をマーキングしたものです。正確な値は、他の情報とともに表形式で表示されます(ここに示す値は、デモ用に作成されたサンプルの結果です)。

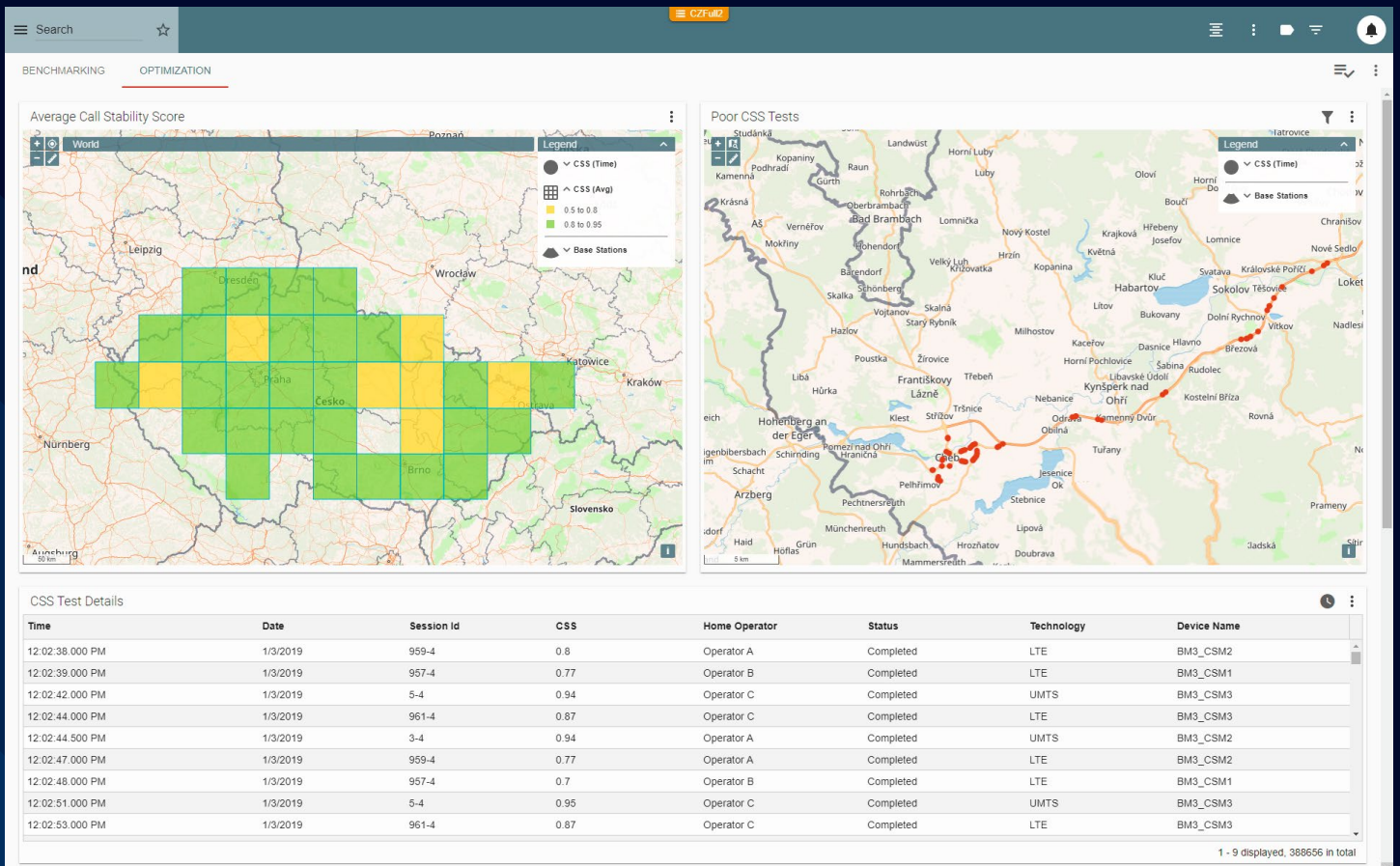
ら、このコールは切断とさほど変わらない品質だったことがわかります。従来のCDR統計であれば、こうした不安定なコールも正常なコールとして肯定的に評価されるため、ネットワーク品質評価をゆがめることになります。

CSSの値は、何百万のテストコールから収集され、学習プロセス中にモデルに組み込まれた情報に基づいています。評価は最初のコールから正確です。ネットワークのコール品質は、より正確に登録され、テストの労力も軽減されます。

実際の作業としては、9秒ごとにコールを行い、測定データを時系列で統計モデルに送信します。このモデルは、学習したルールに基づいてデータを評価し、0~1の数値を出力します。数値が大きいほど、9秒間のインターバルで切断が発生した可能性は低くなります。

CSS測定は、R&S®SmartAnalytics 解析プラットフォームに含まれています(テキストボックスを参照)。このソフトウェアスイートに含まれるもう1つのAI駆動機能は、教師なし学習を使用する異常検出です。どちらの場合も、人工知能の利用により、従来の手段では不可能な結果が得られます。測定データに含まれる情報を最大限に活用するために、AI手法の利用範囲は今後さらに広がっていくでしょう。

Dr. Alexandros Andre Charaoui



道路走行時の 安全性の確保

センサは、車両が周囲を把握するための「目」です。
新しいテストシステムによって車両の視力が上がります。



51 km/h

高度なセンサがなければ、自動運転は単なる夢にすぎません。しかしながら、センサ開発は急速に進んでいます。現在、レーダーセンサは画像のような解像度を提供できます。ただしそれには、センサの校正が必要です。この作業を非常に迅速に実行するのが、ローデ・シュワルツのコンパクトなテストシステムです。

ADASが交通の安全性を向上

EUの交通安全記録は、比較的良好な数字を示しています。それでも、欧州議会の発表によると、EUでの道路交通事故の死者数は毎年25,000人を超え、さらに重傷者数も135,000人にのぼります。社会経済的影響だけでも、年間1,200億ユーロと推定されます。

これらの数値は、車両の安全システムを改善することで減らすことができます。死角警告、ブレーキアシストなどの先進運転支援システム(ADAS)は、長年にわたって絶えず進化し続けています。2019年2月、日本と欧州連合の主導下にある40か国が、2022年から自動緊急ブレーキ(AEB)システムの搭載を新車の乗用車と小型商用車に義務付けることに合意しました。さらに、欧州の安全性能評価基準であるユーロNCAP(European New Car Assessment Program、ヨーロッパ新車アセスメントプログラム)が、ユーザーの意識を高め、自動車メーカーによるADASの展開を推進する目的で、安全機能に基づく車両評価を実施しています。

自律性にはレーダーが不可欠

法的要件がなくても、ADAS開発の流れは明確に促進しています。ADASなしでは自動運転車(すべての開発努力の究極の目標)の実現が不可能だからです。特に急速に進歩しているのが、ドライバーの目と耳の代わりを務める、センサフロントエンドです。おそらく、自律レベル4および5の車両は、カメラ、超音波センサ、ライダーセンサ、レーダーセンサで構成される、広範なセンサセットを使用することになります。これらのコンポーネントの使用を決定する際には、機能面に加えて、コストが重要です。レーザテクノロジーに基づくライダーセンサは、レーダーセンサから多少遅れをとっており、割高なままです。空間分解能がより高いものの、光学システムに頼るため、劣悪な気象条件下では能力が損なわれます。レーダーにはこの心配がありません。近年、性能が飛躍的に向上した点と、比較的低コストである点から、レーダーが現行ADASのバックボーンを形成しています。

従来の24 GHzセンサの帯域幅が200 MHzであるのに対し、最新の77 GHz/79 GHzレーダーセンサの帯域幅は最大4 GHzです。より高い周波数バンドであれば、分解能および確度の大幅な向上と、アンテナの小型化を両立できます。もう1つ、センサ統合のレベルが上がっていることも、その実現に寄与します。Under the radar・オン・チップ(RoC) モジュール(図4)は、すべてのアナログおよびデジタルのフロントエンドコンポーネントとバックエンドコンポーネントを単一のチップにまとめた、開発トレンドをリードする製品です。

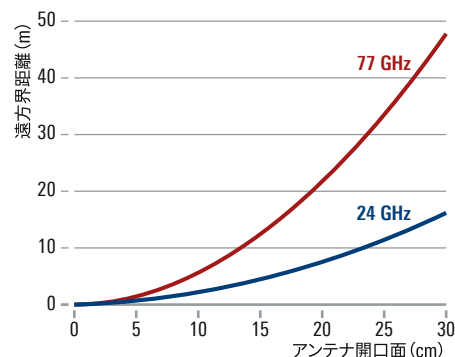
一筋縄ではいかないテスト条件

交通安全は精度に直接依存するため、車載用レーダーセンサの研究開発、最適化、検証、校正を対象とした正確なテストが必要です。RFパラメータの測定に加えて、ターゲットシミュレーションを使用してセンサの能力を評価する必要があります。評価するのは、センサが視野(FoV)に入ったオブジェクトの位置と速度を必要な分解能内で決定できるかどうかです。

これは困難な作業です。高周波バンドであるためと、正確な結果を得るには遠方界条件下で測定を行う必要があるためです。フラウンホーファーの公式は、開口面15 cmの77 GHzレーダーの測定において、必要な電磁界均一性(クワイエットゾーン、図2)を実現するには、11.5メートル以上のターゲット距離が必要であることを示しています(図1)。業界では角度分解能のさらなる向上を目指して、モジュールあたりのアンテナ統合数を増やす方向に向かっており、それがより開口面の大きいアンテナアレイの配備につながっています。特にプロトタイプ段階では、開口面サイズが20 cmを超えるのは珍しいことではありません。遠方界テストチャンバーはこれらの条件には実用的ではないため、代わりに近傍界から遠方界への変換方法を使用できます。それによって実現したのが、比較的狭いラボにも簡単に収まるほど小さく、製造環境で特に役に立つ、コンパクトアンテナ・テストレンジ(CATR)です(図3)。

レーダーセンサは、個別にテストする必要がある車載用デバイスのカテゴリーに含まれます。安全上の理由と、RF機能に対して個別の校正が必要であるという理由から、すべてのセンサの検証が必要になります。検証では、既知の位置、サイズ、速度を持つターゲットをシミュレートします。このターゲットに対してアンテナパスの利得、位相、結合を校正します。つまり、これらに一意の校正データが割り当てられ、モジュールに保存されます。

図1：77 GHzの車載用レーダーは遠方界距離が大きいので、電子計測メーカーは、測定セットアップをコンパクトに保つために革新的なソリューションを考案する必要があります。



レーダーの信頼性を高めるため、さまざまな業界独自の試みがなされており、標準化団体もこの問題に取り組んでいます。例えば、欧州電気通信標準化機構(ETSI)は、EU内で適用可能な、遠方界条件下での測定を仕様化した車載用レーダー規格を公開

しました。将来の道路交通におけるレーダーの重要性を考えると、他の地域でも同様規格の導入が予想されます。

図2：テストチャンバー内のプレジジョン・パラボラ・リフレクターがフィードアンテナからの球形近傍界波を平面遠方界波に変換することで、被試験レーダーが配置されているポジショナー位置に直径30 cmのクワイエットゾーンが形成されます。

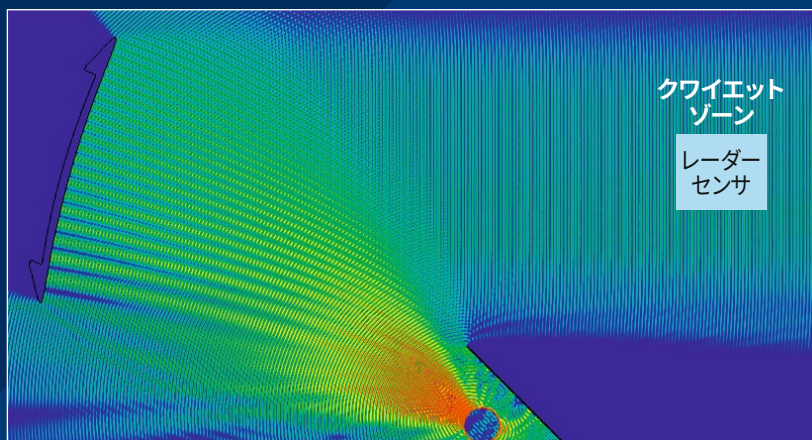
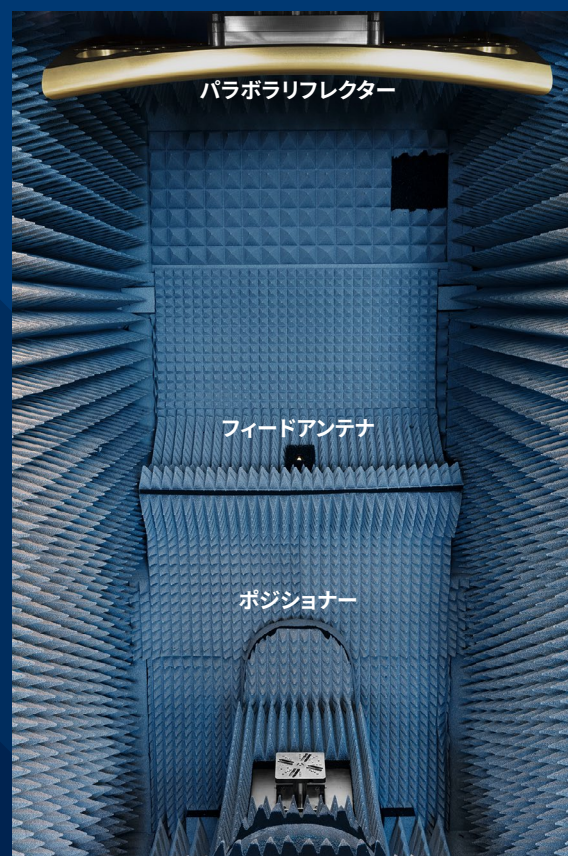


図3：車載用レーダーセンサのテストソリューションの構成コンポーネントは、R&S®ATS1500C シールド・テスト・チャンバーとR&S®AREG100A レーダーエコー発生器です。操作のため、リモート制御のエコー発生器がチャンバーの背面壁に取り付けられています。



非常に狭い空間での正確なテスト

ローデ・シュワルツは、車載用レーダーセンサをテストするための包括的なソリューションを開発した初の企業です。このソリューションは、R&S®ATS1500C テストチャンバー（フットプリントはわずか1.3 m²）とR&S®AREG100A レーダーエコー発生器で構成されます（図3）。

エコー発生器は、顧客固有の距離、速度、サイズを持つ、最大4個のターゲットをシミュレートします。チャンバーの3Dポジショナーは、高速の位置決め速度と0.03°の角度分解能を備えています。レーダーアプリケーション用に特別に開発され、レーダーセンサにぶつかるエコーの入射角（方位角と仰角）を自動的に変化させます。レーダーと測定システムの間で一定の偏波方向を維持できます。これにより、単純なポジショニングシステムで発生するモーション依存の誤差が回避されます。

信号を送受信するすべてのデバイスと同様に、レーダーセンサはEMIの法規制に準拠して認定されている必要があります。欧州のリミット値は、無線機器指令（RED）および関連するETSI規格によって仕様化されています。FCCは、米国に対して同様の規格を発行しています。R&S®AREG100Aを使用すると、信号発生器、シグナル・アナライザなどのテスト機器をIF入力に接続して、関連するテストケースを完全に処理できます。占有帯域幅、チャープリニアリティ、チップ持続時間などの主要パラメータの同時測定が可能です。

新世代の車載用レーダー

テキサス州オースティンを拠点とするハイテク新興企業Uhnderは、革新的なイメージングレーダーシステムを開発し、それを指の爪ほどの大きさのレーダー・オン・チップ（RoC）モジュールに統合しました（図4）。Uhnder RoCは、従来の車載用レーダーとは異なり、アナログ変調によるFMCWチャープではなく、デジタルコード変調（DCM）で動作します（25ページを参照）。

RoCは、アナログフロントエンド、ベースバンド処理、デジタルフロントエンド、デジタルバックエンド、メモリ、インタフェースを単一のCMOSチップ上で組み合わせた最初の製品である点で、独自性も備えています。2つのCPUと2つのDSPが、デジタル信号処理に対処します。ベースバンド部だけでも20 teraOPSの処理能力があります。12個の送信アンテナと16個の受信アンテナで構成されるアンテナアレイを備えた完全なレーダーシステムを作成するには、その全計算能力を必要とします。RoCは、信号のコードダイバーシティを利用して、192個の仮想トランシーバーを作成します。これらすべてが、類を見ないコンパクトさ、非常に低い消費電力、高い処理能力、前例のない空間分解能など、さまざまな利点をもたらします。



図4：信じがたいことですが、この小型チップが、すべてのシグナルプロセッシング回路を備えたオールインワンのマルチチャネルレーダーです。足りないのはアンテナだけです。

Uhnder RoCは、各ターゲットの方位角、仰角、距離、速度の値を提供するので、4Dレーダーとして分類されます。Uhnder RoCベースのセンサを使用すると、高い空間分解能を活かして、光学センサに匹敵する詳細な環境モデルを取得できます（図5）。

Win - Winの協力

Uhnder RoCをベースとするセンサがその潜在能力を最大限に発揮するには、高精度の校正が不可欠です。そしてこの作業に対する答えが、ローデ・シュワルツのテストソリューションです。両社は長期にわたって、緊密な連携のもと、製品の最適化に取り組んできました。これにより、Uhnderは、センサの感度と精度の向上のみならず、製造ラインの最後に顧客（センサメーカー）が実施する検証に役立つ、本番環境対応の高速校正アルゴリズムの開発にも成功しました。そしてローデ・シュワルツは、テストチャンバーをさらに改善する方法について、有益な情報を獲得してきました。米ラスベガスで開催された世界最大級のコンシューマーエレクトロニクス見本市「CES 2020」での共同デモで、複数のパートナーが、Uhnder RoCをベースとするレーダーセンサを1分未満で校正する方法を紹介しました。図6にそのプロセスを示します。

まとめ

レーダーセンサは、車両環境に関する最も重要な情報源です。高度なイメージングセンサ (4Dイメージングレーダー) には、データから複雑な環境モデルを作成して、車両運転時の判断基準として使用することを可能にする、高い分解能がすでに備わっています。これまで以上に大型のアンテナアレイとMIMOトランスミッターを使用するセンサがこの性能を実現するには、高精度の校正

正が不可欠です。校正は、製造ラインでユニットごとに実行する必要があります。ローデ・シュワルツが開発したコンパクトなテストシステム (シールドされたテストチャンバーとレーダー目標シミュレータで構成) を使用すると、最新世代の複雑なセンサでも1分未満で校正できます。遠方界の状態が広がるチャンバー内に直径30 cmのクワイエットゾーンが発生し、開口面の大きいセンサに対して十分な空間が確保されるため、将来のセンサ世代に適しています。

Rong Chen Leng, Ralf Reuter

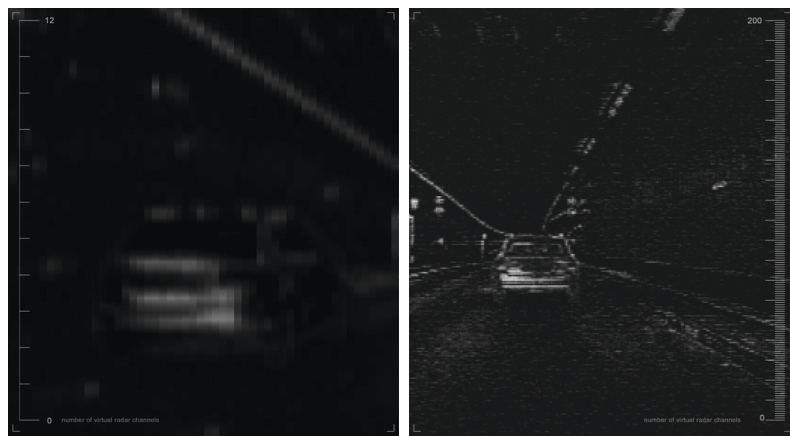


図5：このシミュレーションは、イメージングレーダーと従来の車載用レーダーの違いを印象付けます。分解能が非常に高いため、自転車に乗る人の隣の歩行者といった、互いに接近しているオブジェクトを検出して分離し、個々の4D座標を処理できます。

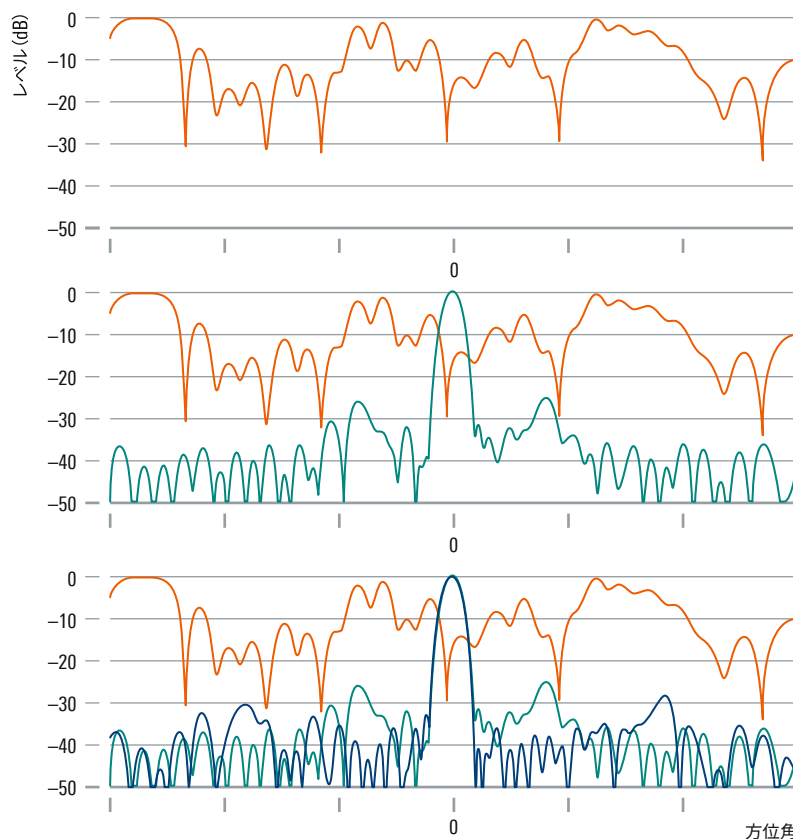


図6：Uhnder RoCをベースとするセンサの校正をR&S®ATS1500C テストチャンバー内で、R&S®AREG100A レーダーエコー発生器を使用して実行します。

上：校正されていないセンサは、ターゲットを検出しません。

中央：最初の校正ステップは、センサが静止し、ターゲットに直接面している (中心軸がターゲットの方向に向いている) 状態で実行されます。この校正では、個々のアンテナの、経路差に起因する位相差と振幅差を補正します。その結果、25 dBのピーク対サイドローブ比 (PSLR) でターゲットを明確に区別できるようになりました。サイドローブは、アンテナのクロスカップリングによって発生します。

下：2番目のステップでは、ポジショナーを連続的に回転させることにより、センサの中心軸とターゲットの間の方位角を -45° から $+45^{\circ}$ まで変化させます。これにより、クロスカップリングの補正が可能になり、PSLRが10 dB向上します。この掃引校正は、25秒未満で完了します。これで、センサが校正済みとなりました。

帯域幅不足

FMCWレーダー：シンプルな原理、洗練された電子計測ソリューション

FMCWレーダーは、アナログの送信側／受信側で非常に広帯域です。最近まで、検証に必要な最大4 GHzの解析帯域幅は、オシロスコープでしか使用できませんでした。現在、こうした解析帯域幅をR&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザでも使用できます。

デジタル変調信号を使用した初の車載用レーダーであるRoC (20ページから始まる記事で説明) と違って、周波数変調連続波(FMCW) レーダーは最新式レーダーです。中断のない、代表的なのこぎり波または三角波掃引では、キャリア周波数のみが増加します。掃引期間はチャープと呼ばれます。所定の要件に応じて、個々のランプを異なる周波数変化速度(チャープレート)で次々に繰り返すことができます。これにより、レンジ分解能、動径速度分解能、動作範囲の観点からのレーダーの最適化が可能になります。信号を発生するには、電圧制御発振器(VCO)を変調し、通倍器と周波数コンバーターを使用して、出力信号が必要な帯域幅および必要なバンド内に来るようにします(図1)。

センサによって受信された信号は、瞬間的な送信周波数に対する(ターゲット距離に比例した)周波数オフセットを示し、信号遅延中の掃引ランプにわずかな上昇が見られます。トランスミッターとレシーバーの相対速度が異なる場合は、ドップラーシフトも発生します(図2)。送信信号と受信信号を混合して、直接サンプリングできる比較的低い中間周波数に変換します。

この方法の利点は、コンポーネントが非常に安価な点です。広帯域のADCやDACは不要です。また、データレートが非常に低いため、デジタル信号処理の要件はそれほど厳しくありません。ただし、送信側のアナログコンポーネントに対する要件は、より厳しくなります。FMランプのリニアリティからの偏差は、S/N比の低下(オブジェクトが見落とされる可能性)またはファントム信号(実際には存在しないオブジェクトのシミュレーション)に直接つながります。

広帯域信号解析の需要

広帯域化はレンジ分解能の向上と関連しているため、FMCWレーダーは、アナログ送信側／受信側で可能な限り広帯域になるようにデザインされています。Eバンド

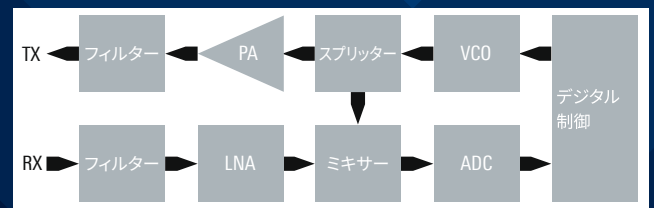


図1: FMCWレーダーの簡略化されたブロック図。受信信号が、送信する信号と混合されます。得られる比較的狭帯域のビート周波数のみが、デジタル化され、解析されます。

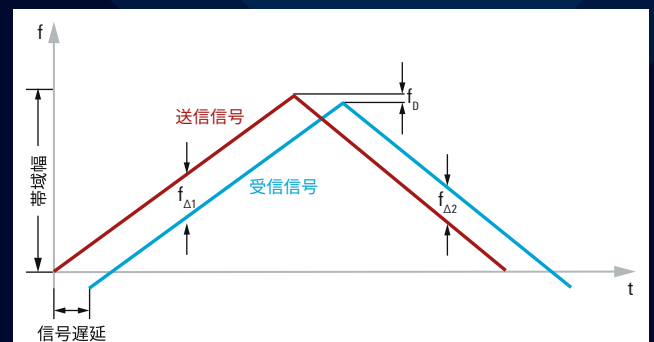


図2: 三角波変調のFMCW信号。距離を決定するだけなら、立ち上がりエッジまたは立ち下がりエッジで十分です(のこぎり波)。どちらの場合も、ターゲット距離は周波数差 f_D に比例します。ただし、レーダーとターゲットが相互に相対移動しているときにはドップラー周波数 f_D によって歪みます。この図は、オブジェクトが遠ざかる場合を示しています。ドップラー周波数に基づいて相対速度を決定し、さらにドップラー距離誤差を排除する場合は、両方のエッジが必要です。その場合、ドップラー周波数は、周波数差 $f_{\Delta 1}$ と $f_{\Delta 2}$ の差の1/2です。必要な精度を達成するために、エッジのリニアリティ、ひいてはレーダー開発中に使用される測定機器に高い要件が課せられます。

(76 GHz~77 GHz または 77 GHz~81 GHz) では、最大4 GHzの連続スペクトラムを使用することができ、約7 cmのレンジ分解能を実現できます。研究開発時、および検証中は、完全な信号が変調帯域幅全体にわたって既知であることが求められます。最近まで、解析帯域幅として必要な、最大4 GHzを提供していたのはオシロスコープだけでした。

ETSI、FCCなどとの適合性を検証するには、信号解析だけでなく、スプリアスエミッションを検出して占有帯域幅を測定するために、スペクトラム・アナライザを使用したスペクトラム測定も必要です。R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザは、これら2つの機能を結合します。

新しいR&S®FSW-B4001、-B6001、-B8001 帯域幅オプションにより、それぞれ4.4 GHz、6.4 GHz、8.3 GHzの解析帯域幅が測定器に装備されます。これらの帯域幅は、信号／スペクトラム解析において固有です。オシロスコープと組み合わせたソリューション(広帯域IFサンプリング用)と比べると、利点は明らかです。単一の測定器で対象のすべての周波数レンジを解析し、それらを高いダイナミックレンジでデジタル化できます。これは、中間周波数で変調された信号、Eバンドの送信信号、送信信号と混合された低周波数の

受信信号に当てはまります。最上位モデル、R&S®FSW85には、さらに、シングル掃引で2 Hz~85 GHzのレンジをカバーする、内部アッテネータ、プリセクション、イメージ抑制を備えた、非常に高品質のスペクトラム・アナライザが含まれます(図3)。

カスタマイズされた測定アプリケーション

R&S®FSWによって広帯域で記録された信号データは、まずはデジタル形式で利用可能です。すべての信号情報(レベルと位相または周波数)が、解析帯域幅、収集期間、ダイナミックレンジ内に含まれています。

ローデ・シュワルツは、この情報を解析するためのさまざまな測定アプリケーションを提供しています。R&S®FSW-K60 トランジェント解析オプションとR&S®FSW-K60c チャープ解析拡張の組み合わせは、車載用レーダーで使用されるFMCW信号用にデザインされたものです。このソフトウェアは、データ捕捉メモリ内のFM過渡信号を選択的に検索し、それらを認識してカタログ化し、主要パラメータとともに表形式で表示します(図4)。データ捕捉メモリ内のチャープを個別に選んで解析することができます。多数の収集をまとめて統計解析することも可能です。

図3 : R&S®FSW85は、2 Hzから85 GHzまでのプリセクションにより、シングル掃引でスペクトラム全体をカバーします。Eバンドの79 GHzにある4 GHzレーダー信号がクリアに表示されます。



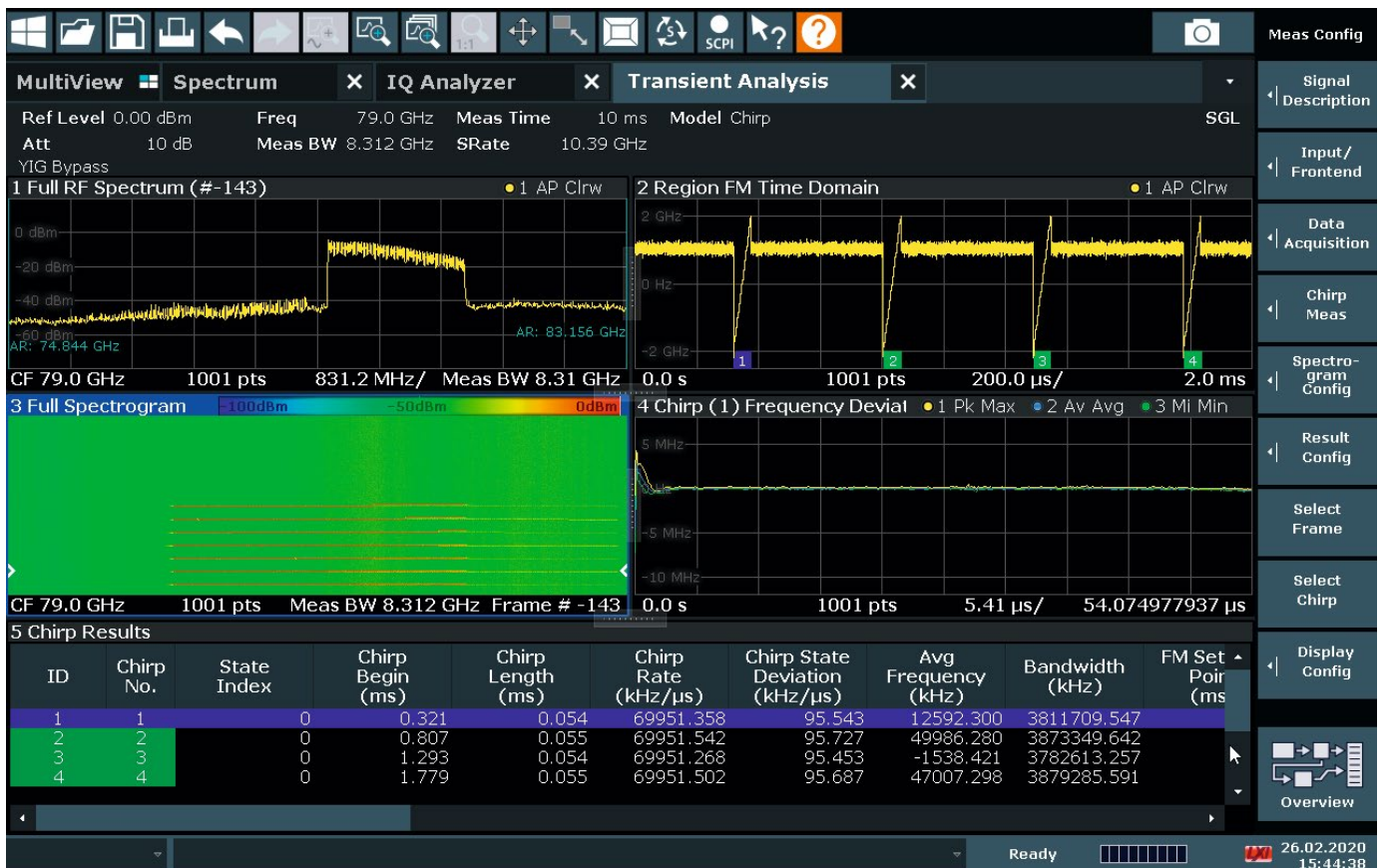


図4：R&S®FSW-K60
トランジェント解析
ソフトウェアオプションを
R&S®FSW-K60c チャープ
解析オプションで拡張
すると、FMCW信号の
すべての主要パラメータが
1つの画面で示されます。

主要パラメータは、チャープ長、チャープレート、セトリング時間です。周波数変調の(タイムドメインでの)非線形性、および理想的な周波数からの周波数偏倚を計算し、グラフに表示し、統計的に評価します。

今後起こりうることへの対応

信号の広帯域化が進み、車両に搭載されるレーダーセンサの数がますます増加する傾向にあるため、干渉問題が増え続けています。レーダーセンサは、隣接する車両から信号を受信しますが、これが機能的制約になり、接続された運転支援システムが誤った判断を下す可能性さえあります。これらの問題は、追加の周波数バンドと波形で解決できます。そのため、規制機関は、100 GHzを超える周波数(134 GHz~141 GHzバンドなど)を車載用レーダー用に解放することを検討しています。ここで利用可能な7 GHz内では、干渉が発生すると、4 GHzセンサが干渉のない周波数サブレンジにホップする可能性があります。

ソフトウェア定義レーダーなどのテクノロジーが、LTEや5Gで使用される直交周波数分割多重化方式(OFDM)変調など、まったく異なる波形の使用を可能にします。個々のトランシーバーチャネルで多様な変調タイプを使用すると、MIMOマルチアンテナテクノロジーの利用効率がさらに高まります。この点は、UhnderがRoCで実証済みです。また、個々のパラメータを変調して個別のレーダー信号に乗せれば、受信信号を明確に識別できるようになります。

R&S®FSWは、最大8.3 GHzの解析帯域幅を備え、測定アプリケーションが非常に多いので、あらゆるテクノロジーに対応できます。

Martin Schmähling



テストラボをホームオフィスへ

コロナ禍の影響により、多くの従業員が在宅勤務を強いられています。テスト機器を常に利用できないならならぬエンジニアにとって、これはありえない選択です。しかし、対処方法はあります。

テスト機器のリモート制御は、この数十年、ラボやシステムハウスで一般に行われてきました。今日では、低コストのデバイスでさえ、リモート制御用のインターフェースを少なくともオプションとして備えています。最上位のデバイスは一般にウェブサーバーを搭載し、どのブラウザからでもリモートで操作できます。必要なのはIPアドレスと、デバイスにオンラインでアクセスできることです。静的なセットアップを備えた無人のリモート測定拠点では、リモートアクセスとリモート操作はすでに日常業務です。いずれの場合も、認証メカニズムによって不正アクセス防止が効果的に行われることが重要です。これは、保護されたラボ環境での問題ではありません。こうした環境では、作業場所から離れたテストラボに頻繁に行き来しなくてもすむように、主に利便性の目的でリモート制御機能が使用されています。こうしたシナリオの共通点は、アプリケーションごとに再構成が必要となる1回限りの特

別なソリューションであることです。テスト機器のリモート制御を幅広く利用し、標準的な作業方法として確立したい場合、クラウドベースのソリューションが最良なのは明らかです。

クラウドによる共同測定

Everything as a Service (EaaS) は最新トレンドであり、一般的になりつつあります。これらのサービスの大半はクラウドテクノロジーを基盤とし、ユーザーはベースとなるインフラを維持する必要がなく、サービスの実際の利用分だけ支払えばよい。設備投資を削減することができます。さらに、こうしたサービスは一般にスケーラビリティが高いため、必要な容量を常に利用することができます。サービスをクラウドに移行するには、前提として、サービスを仮想化できることが必要です。ユーザーは仮想の販売

カウンターでタイプ、期間、対象範囲、品質に基づいてサービスを予約するだけです。必要なリソースは、クラウド管理システムが割り当てます。

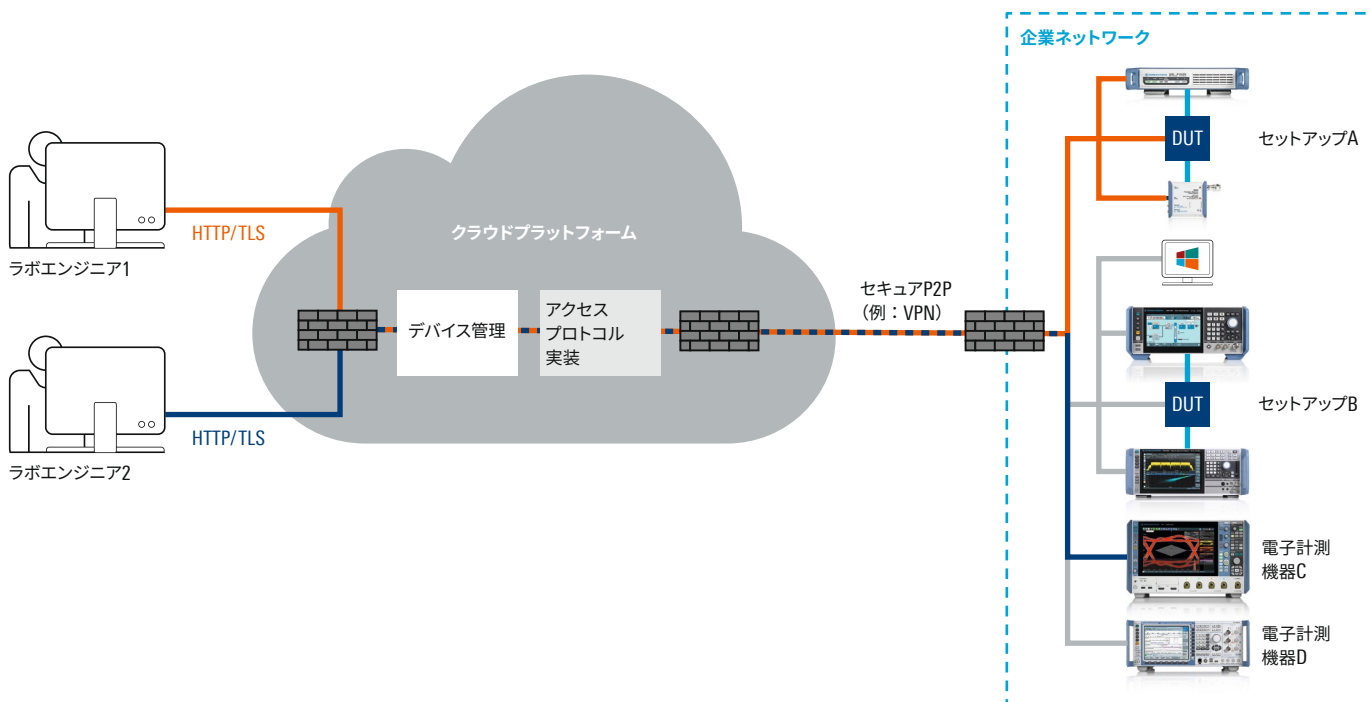
こうしたシステムは、一般に大手クラウド事業者がさまざまな作業を対象に提供していますが、電子計測サービスとして小規模に提供することも可能です。電子計測用クラウドサービスは、一般的なSoftware as a Service (SaaS) ソリューションとはサービスのタイプとリソースが異なります。ある企業が電子計測機器の全部または一部を仮想的にプールして、全社的にどこからでもアクセスできるようにしたいと考えているとしても、その企業のポートフォリオに含まれる各電子計測機器タイプの数に限られています。また、サーバーとは異なり、各測定器は一度に1つの測定作業にしか使用できません。スケーラビリティもそれほど重要ではありません。むしろ、作業連携とリモートアクセスの重要性和必要性は、かつてないほど増えています。

図1は、電子計測機器クラウドの基本構造です。クラウド事業者がクラウドアクセス向けに一連の測定器を確保し、使用頻度の高いセットアップ用に測定器グループを形成しています。電子計測 (T&M) クラウドの仮想運用は、すべてが可能というわけではありません。大半の測定器は、被試験デバイス (DUT) を物理的に接続する必要があるためです。誰かがオンサイトで接続を行わな

ければなりません。多くの場合、この作業は可能な限りクラウドユーザーが行い、その後、ユーザーはリモートで解析を行います。ただし共同開発プロジェクトなどでは、測定器とユーザーが別々の国、または別々の大陸に存在するという極端なケースもあります。その場合、各ユーザーは状況と作業内容に基づいて有効な解決策を見つけなければなりません。

アクセスは、どのウェブブラウザからでも可能です。ウェブのTLS暗号化により、クラウドにセキュアに接続できます。クラウドでは一般的ですが、このシステムには、デバイスの多重使用を防ぎ、時間予約を可能にするデバイス管理サービスがあります。ユーザーは、個別のデバイスまたは定義済みのデバイスグループを予約できます。これらのデバイスは、ローカル制御コンピューター経由で管理されます。このコンピューターは、波形やスクリプトファイルのアップロードなど、セットアップとのデータ交換にも使用されます。RDPまたはVNCリモートデスクトッププロトコルでのアクセスをサポートするデバイスとの間で、アクセスプロトコル変換サービスが接続を確立します。データストリームは、クラウドプラットフォームから専用のポイントツーポイント通信チャネル (例えばVPNトンネル) を経由して、リモート制御されたハードウェアに到達します。

図1：電子計測機器クラウドの基本構造。ローデ・シュワルツが自社向けに運用しているT&Mクラウドを、お客様用としてもセットアップできます。デバイスとデバイスグループをどこからでも使用できます。この例では、2人のユーザーが別々のデバイスに同時にアクセスしています。



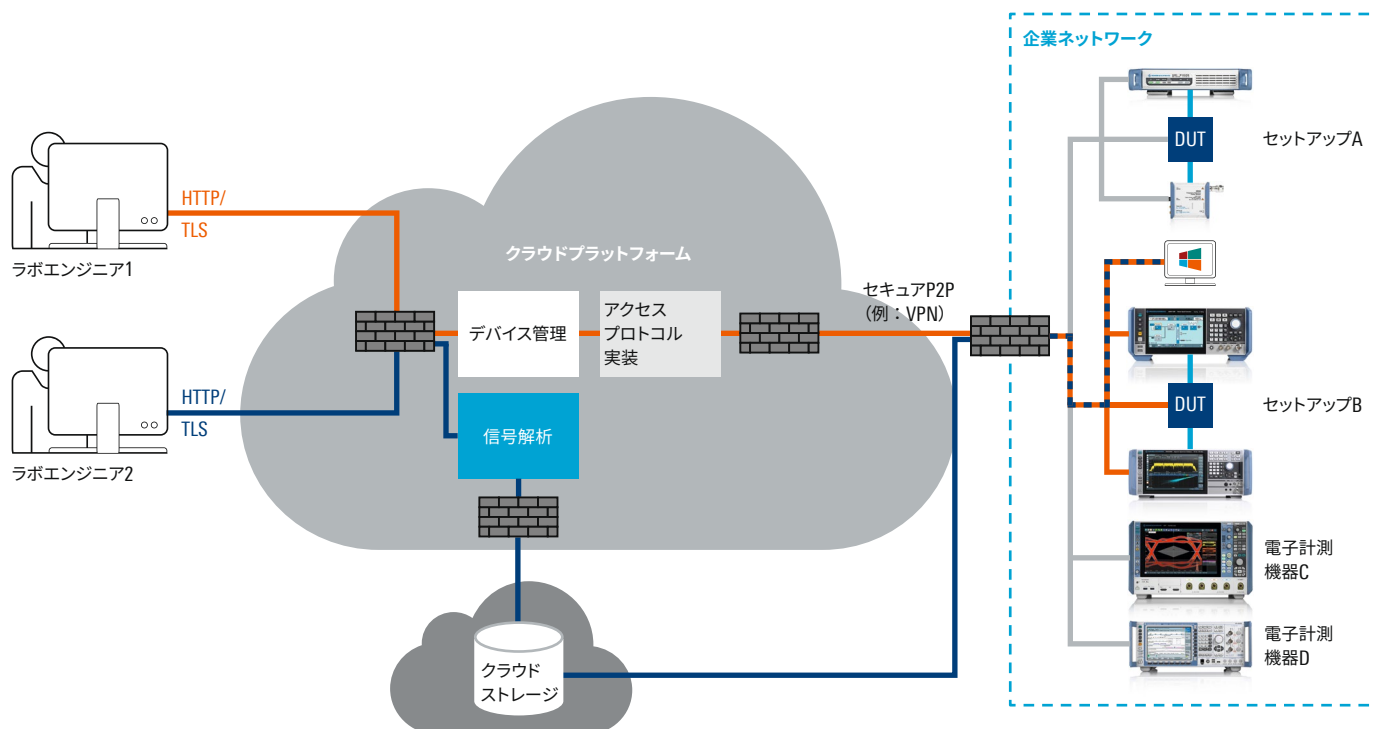
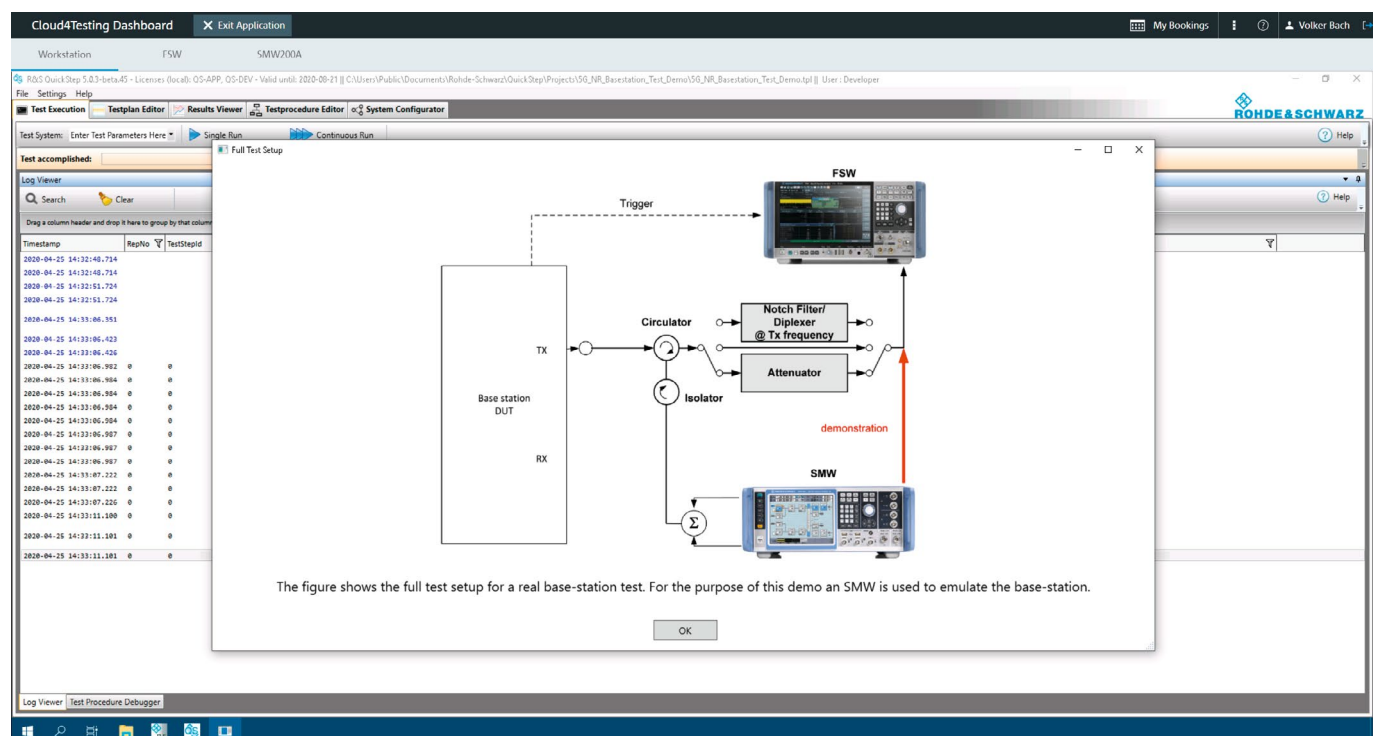


図2: 図1のセットアップにデータ解析パスを追加した状態。測定拠点での測定データ収集と、データ解析を分離し、別々の人が担当することができます。ローデ・シュワルツは、この種の解析クラウドをwww.rohde-schwarz.com/cloud4testingで公開しています。

図3: ローデ・シュワルツはデモとトレーニングの目的でも独自の電子計測機器クラウドを使用しています。これは、スクリプトを使用した基地局テストの例です。



従業員の部門に基づいて測定の可能性を広げるために、図1のセットアップにクラウドストレージコンポーネントを追加することができます(図2)。この方法では、測定データの収集と解析を分けることもできます。例えば、エンジニア1が測定の実行とクラウドストレージへのデータ送信を行い、エンジニア2が任意の場所で都合のよい時間にソフトウェアベースの解析を行うことができます。

R&S®Cloud4Testing

このユースケース(クラウドベースの測定データ解析)は、新しいR&S®Cloud4Testing SaaSによってサポートされており、www.rohde-schwarz.com/cloud4testingで有料サービスとして公開されています(全製品に無料試用版あり)。このサービスは現在、各種モバイル通信規格向けの解析パッケージだけでなく、トランジェント解析パッケージとパルス解析パッケージも提供しています(図3と4)。他のパッケージも準備中です。

共同作業、顧客へのデモ、トレーニングコース、リソースの使用率向上などの理由で、電子計測機器の一部または全部をオンラインで便利に利用できるようにしたい場合、測定器アクセスの「大規模」クラウドソリューションをご検討ください。信頼できるパートナーであるローデ・シュワルツが、この種のクラウドのカスタム実装をお手伝いします。ご希望の場合は、図2のクラウドストレージシステムへの接続にも対応します。

作業環境の仮想化は、急速に進化しています。T&Mクラウドはこの傾向に完全に対応しており、パンデミックが発生していない時期でも、強力かつ有用で不可欠なツールとなります。

Sascha Laumann

図4：モバイルネットワーク解析、パルス解析、一般的な信号解析用の各種パッケージは、R&S®Cloud4Testing SaaSでアクセス可能です。



多くのアプリケーションに対応

幅広い作業に対応できる経済的なベクトル信号発生器

R&S®SMCV100Bは、車載用、放送、ナビゲーション、無線アプリケーション向けの初の民生用マルチスタンダードプラットフォームです。すべてソフトウェアで構成でき、ラボから本番環境に至るまで、多くのアプリケーションに最適です。さまざまなテクノロジーが混在するすべての状況に対応可能です。

このベクトル信号発生器(図1)の基本構成は、出力周波数レンジ4 kHz~3 GHz、RF帯域幅60 MHz、出力パワー+110 dBm~+15 dBmです。この構成には、64 MサンプルのARB発生器も含まれています。最大構成レベルは、周波数上限値7.125 GHz、RF帯域幅240 MHz、最大出力パワー+25 dBmです。この構成のR&S®SMCV100Bは、拡張FR1周波数レンジの5G NRアプリケーションもカバーします。

高性能なLinuxベースプラットフォームは、すべてソフトウェアオプションによって拡張可能です。オプションはすべてデバイスのファームウェアに存在し、オプションキーを使用して必要に応じて有効化でき

ます。ハードウェアの追加は不要です。オプションには、周波数および帯域幅の拡張、RF出力パワーの追加、ARB発生器用メモリ容量の追加、1 GHzで-125 dBc (20 kHzオフセット) 未満への位相雑音の削減(図2)などがあります。

R&S®SMCV100Bは信号発生にRF DACを使用するため、I/Q変調とRF信号発生がデジタル回路で行われます。そのため、I/Q不平衡、搬送波/側波帯抑圧、EVMで非常に良好な値が出力されます。RF DACは、最大2.5 GHzの周波数に対して出力信号を直接作成します。それより高い周波数の場合、信号はミキサステージを経て出力されます。

ポートフォリオの他の信号発生器と同様に、R&S®SMCV100Bには、R&S®WinIQSIM2 PCソフトウェアで事前に計算した信号を供給できます。このシミュレーション・ソフトウェアは、IoTを含む一般的な無線規格をすべてサポートします。Wi-Fi (802.11xx) などの非セルラー信号も作成できます。R&S®SMCV100Bと組み合わせることで、計30種以上の規格に対応できます。カスタムのデジタル変調オプションを使用すると、ユーザー定義信号を本器にロードし、内蔵任意波形発生器から出力を行うことができます。

合否テストについては、1基の航法衛星のGPS、GLONASS、Galileo、BeiDou信号を出力できます。例えば、本番環境で

図1：R&S®SMCV100B ベクトル信号発生器は、車載用、放送、ナビゲーション、多様なモバイル通信アプリケーションに対応します。



の衛星位置修正のファンクションテストでは、限られた時間の定義済みI/Qシーケンスを出力できます。

基本構成では、ARB発生器のメモリ容量は64 Mサンプルです。キーコードを使用して、この容量を1 Gサンプルまで拡張できます。それでも不十分な場合、波形ストリーミングを使用して、内部SSDから、またはUSBストレージメディアから、RF帯域幅最大56 MHzでI/Q信号シナリオを再生できます。R&S®IQW I/Qデータレコーダーなどの外部機器から、デジタルI/Qインタフェース経由で、データをR&S®SMCV100Bに取り込むこともできます。

世界的に使用されている放送規格向けに、FPGAベースのリアルタイムコーダーも使用できます。R&S®SMCV100Bは、アナログ／デジタル音声規格だけでなく、第2、第3世代の地上波デジタル／衛星テレビ規格もサポートしています。DVB-T2およびDVB-S2X規格だけでなく、ATSC 3.0もサポートする、初の経済的なプラットフォームです。

決められたC/N比を必要とするレシーバーテストでは、広帯域内蔵ノイズ発生器が使用できます。

この発生器は、ラックマウント時に場所をとらないように、ハーフ幅の19インチ筐体に収容されています。コンパクトな寸法と優れた冷却方式は、ベンチ用として最適です。排気はリアパネルで行われ、ファンのノイズレベルはわずか52 dB(A)です。

Ralph Kirchhoff

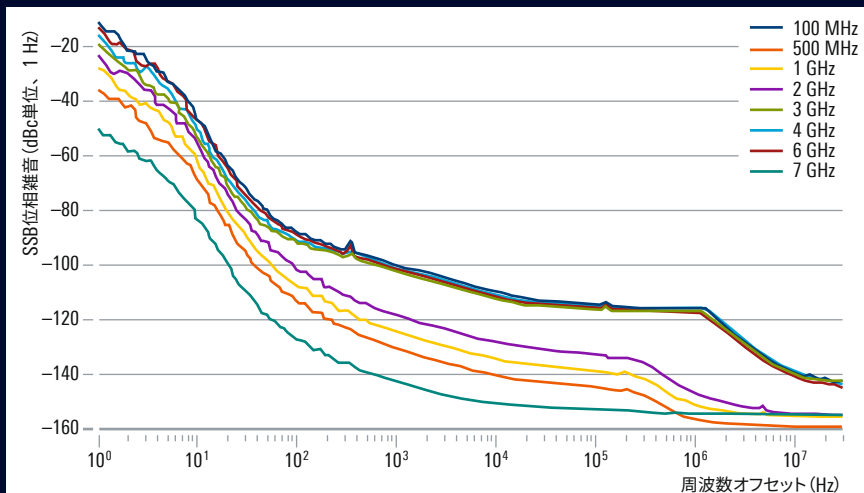


図2：さまざまなキャリア周波数で測定されたSSB位相雑音（低位相雑音にはR&S®SMCVB-K709オプションを使用）。

アプリケーション

多くの規格と幅広い機能に対応するR&S®SMCV100Bは、数多くのアプリケーションに最適です。



研究／教育

大学のラボ、
学校などで使用



広帯域 通信市場

ラボで汎用の
発生器として使用



モバイル 通信市場

5G、LTE、IoT、IEEE 802.11の
各バージョンに準拠するWi-Fi、
Bluetooth™などの通信規格の
信号を作成



放送／民生用 デバイス業界

放送レシーバー、
セットトップボックス、
テレビレシーバーなどの
製造とテスト



オートモーティブ 業界

車載のカーラジオ、エンター
テインメントシステムや
ナビゲーションシステムなど、
さまざまな製品の製造、
エンドオブライン (EoL) テスト



電子機器 製造

変調方式、システム帯域幅
などの要件が常に変化して
いる各種製品の製造

電源管理

R&S®NGL 200 電源とR&S®NGM 200 電源によるバッテリー管理システムのテスト

リチウムイオンバッテリーが安価な量産品となって以来、電源ケーブルに接続されているデバイスは固定デバイスのみになりました。今や、充電式電池が主流です。電動歯ブラシやスマートフォンなどの小型デバイスを動かすには、シングルセルバッテリーで十分です。これより大きい電源を必要とするデバイスの場合、バッテリーはセルの直列回路で構成されています。これらのセルグループは、アクティブに管理する必要があります。そのためには、充放電を制御するバッテリー管理システム (BMS) を使用します。

BMSのタスクは、以下のとおりです。

- ▶ 各セルの充電状態 (SoC) の確認
- ▶ 全体的なSoC (「残量ゲージ」ともいう) の確認
- ▶ 各セルの信頼性 (劣化状態: SoH) の監視
- ▶ 各セルに最適に充電することによる、バッテリー寿命の最大化
- ▶ セルの過熱や発火など、危険な状態の早期検出と回避

セルは直列回路内にあるため、すべてのセルの充放電電流は、最初は同じです。充放電サイクルが何度も繰り返されると、製造時と経年変化のわずかな差がセル間のSoCの差につながり、バッテリーの使用可能容量が減少し、寿命が短くなります。そのため、BMSは各セルの電圧を監視し、セル間でSoCのバランスを行います。

パッシブバランスとアクティブバランスは異なります。充電時には、パッシブバランスが負荷抵抗を使用して、SoCの最も高いセルを、他のセルと同じSoCになるまで放電します。セルの放電時には、アクティブバランスも機能します。アクティブバランスは、スイッチングレギュレーターを使用して、最もSoCの高いセルから最も低いセルに電力を移動します。

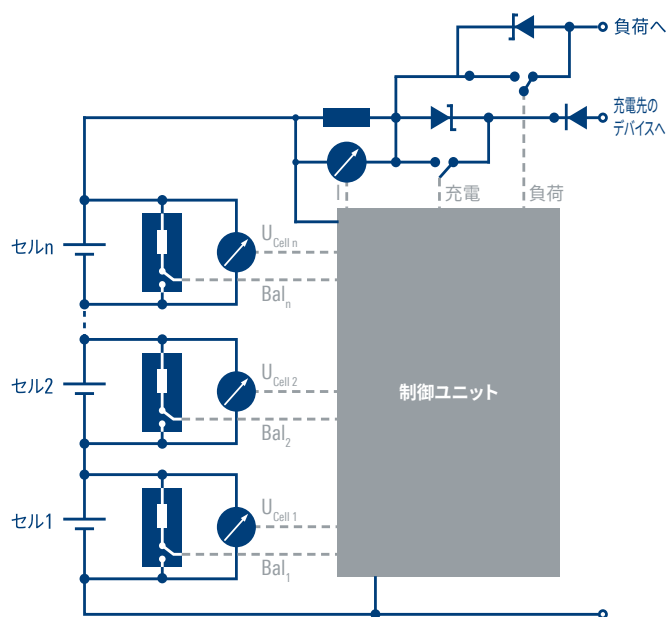
バッテリー管理システムのブロック図を図1に示します。

バッテリー管理システムはバッテリーの安全性と寿命に重要な役割を果たすため、その開発には特別な注意が必要です。予想可能なすべての動作ステートとエラーケースで動作をテストすることが重要です。これを効率的に行うには、各セルの動作をできるだけ正確にシミュレートする必要があります。そのためには、電圧／電流測定機能を内蔵した制御可能な電源を使用します。

セルの動作特性は、主にオープン電圧と、SoCの関数である内部インピーダンスで評価します。電流を測定し、電圧を電流の関数として設定する必要があります。ローパワーからミディアムパワーの場合、この電源は内蔵バッテリーシミュレーション機能を使用して直接シミュレーションを実行できます。ハイパワーの場合、ソフトウェアが、実際の充放電電流と、電源へのイコライズ電流のみをシミュレートします。

このアプリケーションの場合、電源の基本要件の1つは、2象限動作です。つまり、放電のシミュレーションではエネルギーを放出しなければならない一方で、充電では電流の流れる向きを逆にしてエネルギーを受け取らなければなりません。もう1つの要件は、出力電圧の設定です。これは、シミュレーション対象のバッテリーのSoCと現在の電流方向の関数です。このために、電源には電流測定機能が必要です。セルの内部インピーダンスを現実的にシミュレートするには、電流を測定できるだけでなく、十分に短い遅延で電圧を設定できることも必要です。

図1: バッテリー管理システム内蔵のマルチセル電源のセットアップ。管理システムの開発中に、適切な電源ユニットを使用してセルをシミュレートします。



R&S®NGL200 電源とR&S®NGM200 電源は、2象限動作と短い設定時間だけでなく、非常に正確な電流／電圧測定機能を持ち、バッテリー管理システムのテストには最適です。各チャンネルが感電防止用アースからアイソレートされ、相対電圧が最大250 Vで設計されているため、約50個のリチウムイオンセルから成る直列回路には十分です。2チャンネルバージョン(R&S®NGL202とR&S®NGM202)は、省スペースのセットアップで多くのセルをシミュレートできます(図2)。

R&S®NGM200は、R&S®NGL200と比較すると、測定範囲の切り替えにより電圧と電流の測定精度が高く、内部インピーダンスのシミュレーションも正確です。バッテリーセルを直接シ

ミュレートするオプションもあります。セル電圧と、SoCの関数である内部インピーダンスのシーケンス設定は、テキストファイルで定義できます。大半のバッテリーシステムでは、こうした定義は出荷時に搭載されます。さらに、R&S®NGM200は、詳細な解析のために、測定した電圧／電流シーケンスを毎秒最大500,000値記録できます。

Thomas Lechner



図2：R&S®NGM202 電源を8個使用すると、最大16個のセルを管理するバッテリー管理システムをテストできます。

BMSシステムテスト

- ▶ 別々のセル電圧を設定したセル・バランスング・テスト
- ▶ 充放電サイクルを何度も繰り返した後の残量ゲージテスト
- ▶ セルが過電圧または低電圧の場合のBMSの動作
- ▶ セルの障害のシミュレーション
- ▶ バッテリーセルの過熱時のBMSの動作
- ▶ セルの経年劣化の違いのシミュレーション
- ▶ 充電先デバイスと負荷の検出テスト
- ▶ 動作不良のシミュレーションによるデバイスのスイッチオフのテスト(充電先デバイスについては過電圧を、負荷については消費電流の増加と短絡をシミュレートする)

バッテリー管理システムのテストに対するR&S®NGL200とR&S®NGM200のメリット

- ▶ 拡張が容易
- ▶ 19インチラックへの取り付けとリアパネルの配線により、セットアップが簡単
- ▶ ユニバーサル電源と特定のアプリケーションソフトウェアの組み合わせによる柔軟性
- ▶ 内部インピーダンスを直接シミュレート
- ▶ バッテリーシミュレーション機能内蔵(R&S®NGM200)
- ▶ 優れた時間分解能で正確な電流／電圧測定を行うことができるロギングおよび高速ロギング(R&S®NGM200)



ラボの効率向上

R&S®NGP800 DC電源シリーズは、最高で4台のDUTに同時に電源を投入できます。

ラボで標準的に使用される最大出力パワー100 Wの電源は、今日の回路の要件を満たすには限界に近づきつつあります。新しいR&S®NGP800 電源シリーズ(図1)は、将来のニーズに対応できます。アプリケーションの範囲は、消費財にと

どまりません。医用工学、工業、航空宇宙／防衛の各種アプリケーション、そして48 V車載コンポーネントの開発／テストといった車載エレクトロニクスの分野でも使用可能です。柔軟性、機能性、保護機能、接続性に優れたこの製品は、研究開

発、テスト／本番環境、品質保証、保守点検、トレーニングなどさまざまな用途に最適です。

図1：R&S®NGP800 DC電源シリーズには、総出力パワー400 Wまたは800 Wの5種類のモデルがあります。大型のタッチスクリーンには全チャンネルの概要が表示され、すべてを一目で把握できます。



大型タッチスクリーン、多くの便利な機能、コンパクトな形状を特長とするこの製品は、ラボ・ベンチ・ツールとして汎用性と実用性に優れています。また、短時間でのコマンド処理、多様なリモート制御インタフェース、ラックマウント機能を備え、自動テストシステムと製造ラインのどちらにも適しています。

高い柔軟性

R&S®NGP800 電源は、最大800 Wを供給できます。出力チャンネル数は2または4、1出力あたり最大200 Wを供給でき、出力電圧は最大64 V、出力電流は最大20 Aです（モデルによる）。FlexPowerテクノロジーを採用し、同じ出力パワーの標準電源より、動作範囲がかなり優れています。1チャンネルあたりの定格出力200 Wの範囲で、広範囲の電圧／電流設定に対応でき、設定を連続的に調整することができます。図2に、32 V/20 Aと64 V/10 Aのチャンネルの動作範囲を示します。出力を並列または直列に接続して、最大250 Vの電圧または最大80 Aの電流の供給が可能です（図3）。

チャンネルはすべてガルバニック絶縁され、互いに完全に独立した形で使用することができます。出力ボタンを使用すると、すべてのチャンネルまたは選択したチャンネルを同時に動作させることができます。

高い機能性

機能がよく考えられており、日常の測定作業が大幅に効率化されます。例えば、突入電流をランプ機能で正確に制御できるほか、個別に調整可能な出力遅延を使用して、個々の電源投入時シーケンスを設定できます。また、QuickArb任意機能により、ドロップアウトテストと現実的な電源シナリオのシミュレーションが可能です。さらに、電圧／電流測定機能を内蔵し、電力値が内部で計算されるため、迅速な解析をユニット内で直接行うことが

できます（図4）。再現性の高いテストセットアップと、後で行われる詳細な調査に備え、値はすべてログに記録できます。また、負荷にかかる電源電圧を一定にするリモートセンシング機能や、頻繁に行う操作をユーザーボタンに設定する機能もあります。

高い安全性

ハイパワーに対応するため、R&S®NGP800 シリーズは、過電流、過電圧、過電力保護などの幅広い保護機能を搭載しています。これらの機能は過電圧と過電流からDUTを保護するため、リミットテストには不可欠です。また、電子ヒューズのトリップ動作や感度をチャンネルごとに設定できます。ヒューズ結合機能で複数のチャンネルのヒューズを結合することもできます。さらに、安全リミットを設定して、DUTに危険がない値に電源を制限することができます。

高い接続性

幅広いアプリケーション領域に対応するために、さまざまなリモート制御インタフェースが用意されています。USBポートとLANポートはすべてのモデルが搭載し、無線LANインタフェースとIEEE-488インタフェースはオプションで入手できます。

複数のデバイスを同期するなどの目的で、デジタルI/Oポートにトリガ条件をプログラミングできます。

0 V～5 Vの外部制御電圧で出力電圧／電流を制御できるため、極めて短時間で設定が可能です。

Anja Fenske

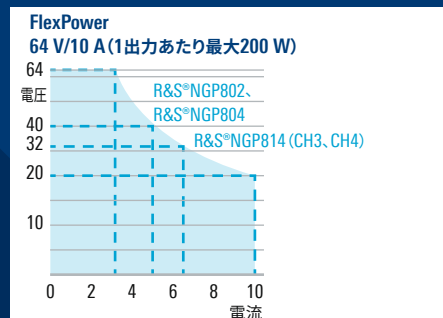
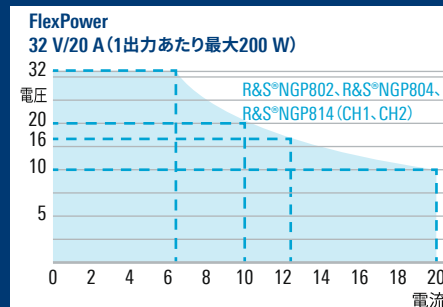


図2：FlexPowerテクノロジーにより、200 Wの出力パワーを幅広い電圧／電流設定で使用できます。

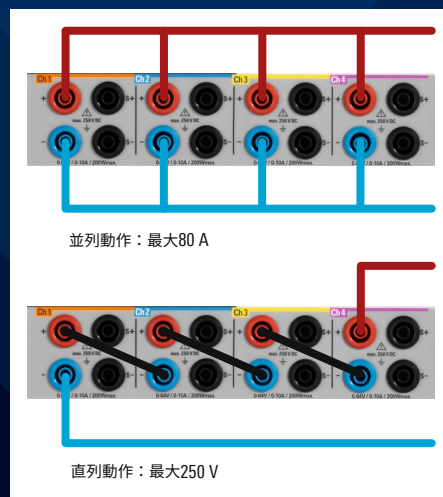


図3：出力を並列または直列に接続して、最大80 Aまたは最大250 Vの供給が可能です。

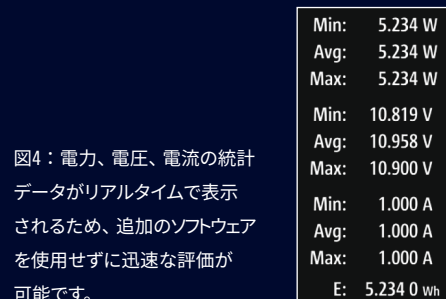


図4：電力、電圧、電流の統計データがリアルタイムで表示されるため、追加のソフトウェアを使用せずに迅速な評価が可能です。

スタンダードの地位が 盤石に

超広帯域信号解析

掃引範囲85 GHz、解析帯域幅2 GHzのR&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザは、広帯域ではすでにスタンダードでした。今般、解析帯域幅が新たに8.3 GHzまで拡張され、その地位は盤石になりました。

信号帯域幅の広帯域化は、事実上すべての高周波アプリケーションで続いています。4 GHz以上の帯域幅は、もはやユートピア的なものではありません。レーダーや通信テクノロジーでは、すでに標準となっています。こうした広帯域システムに対する信号解析テクノロジーは、これまでは、使いやすいワンボックスソリューションというよりも、回避策の色合いの濃いものでした。変調信号範囲のサンプリングに必要なA/Dコンバーターは、オシロスコープでしか使用できませんでした。したがって以前のソリューションでは、信号をオシロスコープにフィードするための広帯域ダウンコンバーターとしてシグナル・スペクトラム・アナライザを使用していました。ローデ・シュワルツのセットアップも、R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザとR&S®RTO オシロスコープで構成されていたため、ユーザーは測定器の追加と性能の制限という欠点を受け入れざるを得ませんでした。

そこで、R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザに新たなオプションが追加され、内部信号解析帯域幅が4.4 GHz、6.4 GHz、8.3 GHzに拡張されました。上記の回避策はもはや不要です。ワンボックスで信号処理が可能なため、ユーザーは、R&S®FSW だけが持つダイナミックレンジと感度、精度、EVM性能を非常に広い変調帯域幅で活用することができるため、さまざまなアプリケーションがこの恩恵を受けます。

レーダーテクノロジーでは、帯域幅の拡大により、より優れたレンジ分解能で物体を探知できます。レンジ分解能は信号帯域幅に比例して向上するため、現在の車載用レーダーシステムの動作帯域幅は、ミリ波バンドで4 GHz以上です(20ページ以降の記事を参照)。A&D用レーダーは、広い周波数レンジでパルスごとに周波数と変調を変更します。そのため、敵の偵察によって傍受される可能性が低下し、妨害を避けることができます。妨害とは、例えば、相手のレーダーの感度低下や機能停止を目的としたジャマーです。これには、ノイズに似た広帯域信号や周波数アジャイル信号が使用されます。レーダーシステムとレーダー

ジャマーシステムの開発と検証の際には、広帯域信号収集により、周波数ホッピングを詳しく解析できるだけでなく、さまざまな周波数で動作する各種レーダーシステムを調査することができます。

通信テクノロジーの分野では、新しいテクノロジーが登場するたびに、データスループット増強を目的として帯域幅が拡大しています。チャンネルボンディングをサポートするWi-Fi規格802.11ayにより、信号帯域幅は8 GHzを上回っています*。今後到来するEバンドとサブテラヘルツバンドのギガビット通信でも、それに適応した広帯域電子計測機器が必要とされています。また、増幅器の非線形性の補正に使用されるデジタルプリディストーションでも、ユーザーチャンネルだけでなく、隣接チャンネルを解析する必要があります。800 MHzマルチキャリア5G NR信号の場合、最大4 GHzの解析帯域幅が求められます。

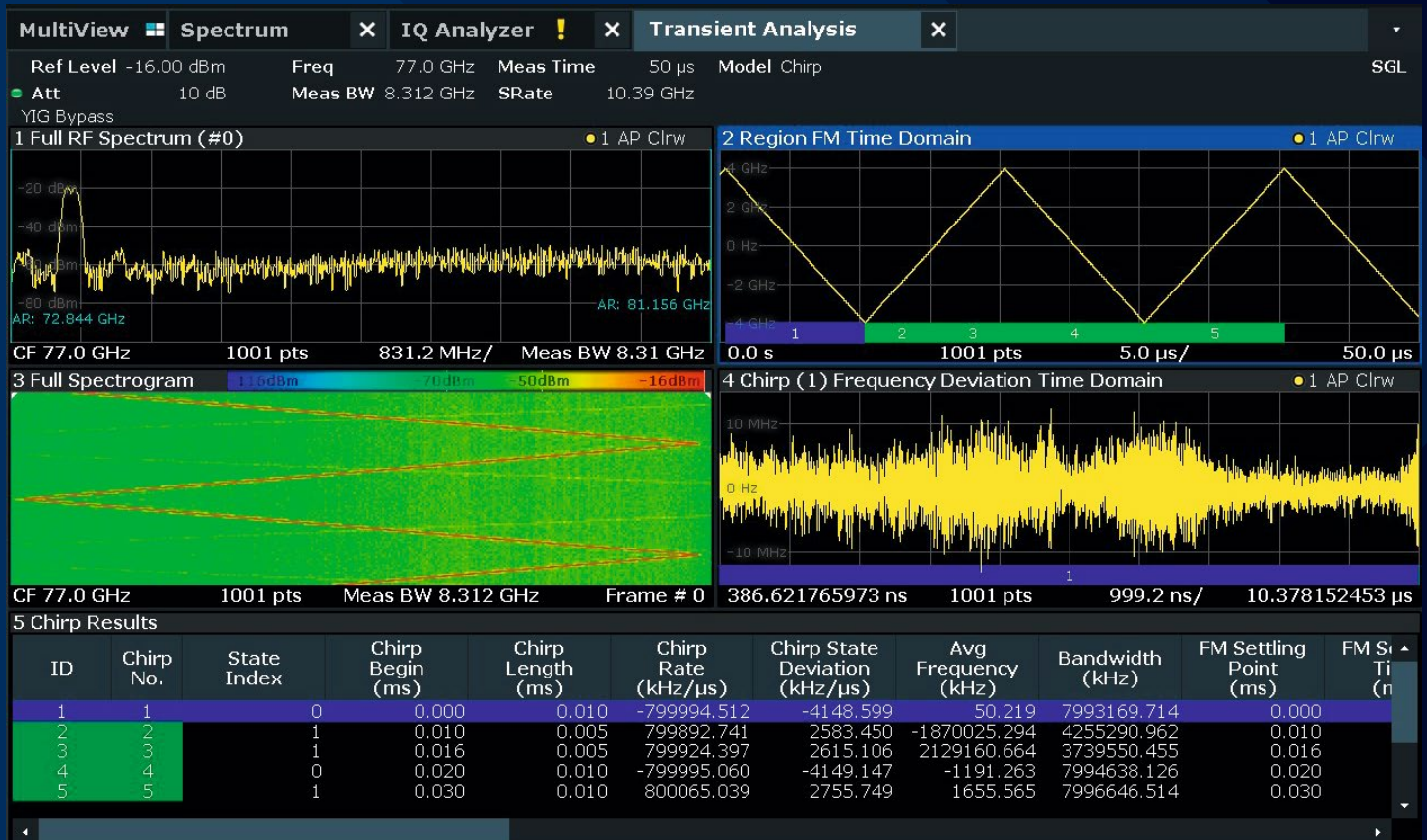
レーダー業界および通信業界と同様に、今後の**衛星システム**も、より高い周波数とより広い帯域幅で動作します。例えば、テラビット接続をサポートするハイスループット衛星の場合、信号帯域幅は3 GHzまたは5 GHz、周波数は最大90 GHzまで増加することが予想されます。

Melanie Mauersberger, Werner Dürport

図1：レーダーテクノロジーの場合、帯域幅の拡大はレンジ分解能の向上を意味します。このチャープでは、8 GHzで数センチメートルです。

図2：Wi-Fi規格IEEE 802.11ayでサポートされているチャンネルボンディングにより、データ帯域幅は8 GHzを上回ります。これに対応する広帯域アナライザが必要です。

*「無線LAN 802.11ay：最大176 Gbit/sの無線」
『NEWS (2019) No. 221』、pp. 26~27



テラヘルツレンジでのベクトルミキサー測定

新しいテスト方式により、R&S®ZNA ベクトル・ネットワーク・アナライザは、周波数コンバーターとミキサーのベクトル補正をテラヘルツレンジまでできるようになりました。

67 GHzからテラヘルツレンジまでの周波数は、市販アプリケーションでますます重要性が増しています。伝送チャネルで使用されるシステムとモジュールは、データを正しく伝送し、ビット・エラー・レート (BER) を低く抑えるために、一定の周波数応答とリニア位相応答が必要です。通常は、位相応答ではなく、群遅延か、リニア位相からの周波数応答の偏差を測定します。

こうした高周波では、アップコンバーターとダウンコンバーターが重要な役割を果たします。これらの重要なコンポーネントの性能が、システム全体の伝送品質に決定的な影響を与えるためです。同軸コンバーターの振幅、位相、群遅延の測定は、今日、67 GHz以下のギガヘルツレンジではローデ・シュワルツ製ネットワーク・アナライザで標準的に行われていますが、ミリ波およびテラヘルツレンジではいまだに課題です。

67 GHzを超える周波数でのミキサー測定 – 以前は振幅のみ

アップコンバーターとダウンコンバーターは、一般に高調波ミキサーを使用して、導波管の周波数バンドを10 GHz未満の同軸ベースバンドに変換します。R&S®ZNAのわかりやすいユーザーインターフェースを使用すると、R&S®ZCxxxシリーズの同一ミリ波コンバーター最大4台、または異なるミリ波コンバーター最大2台から成るテストセットアップを簡単に設定できます。このセットアップは、50 GHz～1100 GHzの周波数バンドをカバーします。

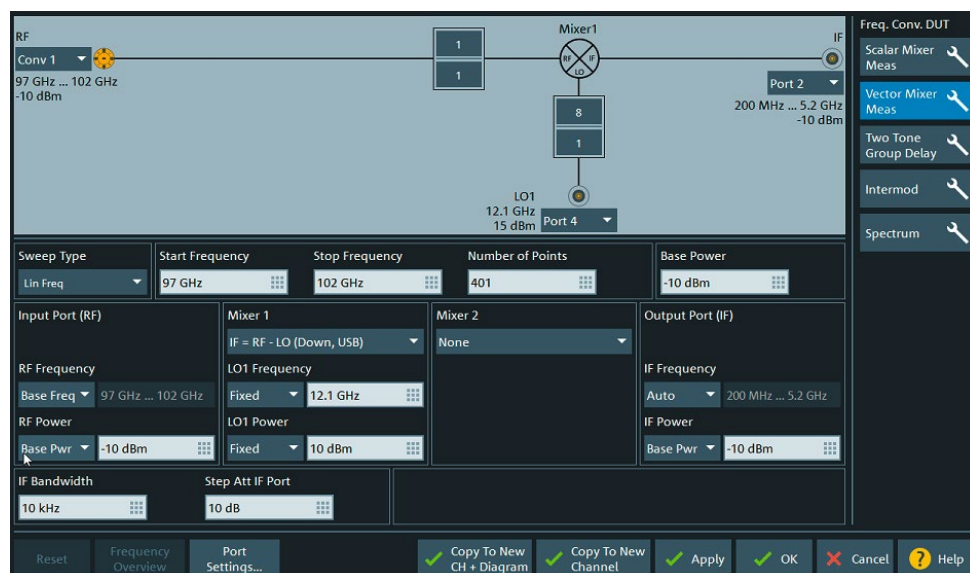
周波数とパワーレベルは、R&S®ZNAのミキサーメニューで設定できます (図1)。位相コヒーレント信号源を最大5つ搭載するR&S®ZNAは、必要なすべての信号、つまり周波数コンバーター用のRF信号とLO信号、被試験ミキサー用のLO信号を供給できます。

以前は、67 GHzを超える周波数でミキサーとコンバーターの変換損失を求めるには、スカラー、つまり振幅測定による方法しかありませんでした。パワー校正は、IFとRFエンドで、同軸および導波管パワーメータの両方を使用して行われていました。1ポート補正を追加してテストポートでの誤差の不整合を取り除くことで精度を高めることはできますが、この方法ではフル校正を行うことはできません。

テラヘルツレンジまで対応した初のベクトルミキサー測定

R&S®ZNAは、周波数コンバーターで位相測定と群遅延測定を正確に行うために、UOSM (未知スルー、オープン、ショート、マッチ) 校正を提供できるようになりました。この機能をR&S®ZNAの位相コヒーレント信号源と組み合わせると、ミキサーとコンバーターの変換損失の位相、群遅延、

図1：ミキサー測定を設定するユーザーインターフェース。この例では、被試験ミキサーが、12.1 GHzのLO信号の8次高調波を使用して、97 GHz～102 GHzの周波数バンドを200 MHz～5.2 GHzのベースバンドにダウンコンバートするように設定されています。



振幅をテラヘルツレンジまで校正、測定することができます。

UOSMは、フル2ポート校正方法であり、ポートの不整合を考慮してシステム誤差補正を行います。周波数変換UOSM校正に必要なものは、同軸および導波管校正キットだけです。スルー接続として可逆的ミキサーを使用します。このミキサーの変換損失は、振幅と相対位相の点では未知ですが、両方向、つまり、アップコンバートとダウンコンバートで同じです。高調波ミキサーなど、アイソレーターのないパッシブミキサーは、特に群遅延と相対位相の点では、一般にかなりの範囲まで可逆的です。ミキサーのRFポートとIFポートの不整合と、数デシベルの損失は、測定には影響しません。DUT自体がRFパスまたはIFパスにアイソレーターを持たないパッシブミキサーの場合、未知スルーとしても使用できます。

UOSM校正の後、R&S®ZNAは試験対象のミキサーまたはコンバーターの4つのSパラメータをすべて測定します(図2)。そしてミキサーまたはコンバーターの変換損失の振幅、位相、リニア位相からの偏差、群遅延を表示します(図3)。

パッシブミキサーから予想できるように、この例の群遅延は事実上一定です。残留リップルが200 ps p-pと低いことは、67 GHz以下のギガヘルツレンジで行われた同軸ミキサー測定が正確であることを示しています。

Thilo Bednorz, Andreas Henkel

最大1100 GHzの測定が可能に

新しいR&S®ZC 750およびR&S®ZC 1100 ミリ波コンバーターは、R&S®ZNA ベクトル・ネットワーク・アナライザの周波数レンジを最大750 GHzおよび1.1 THzに拡張します。代表値-18 dBm (R&S®ZC 750)と-25 dBm (R&S®ZC 1100)の優れた出力パワーを持つこれらのコンバーターは、オンウエハー測定時にプローブで発生する損失など、テストセットアップでの損失をより適切に補正します。R&S®ZCxxxシリーズのすべてのコンバーターと同様に、これらの新しいコンバーターも自動的に検出、設定され、アナライザの設定ウィンドウで目的のテストポートに割り当てることができます。R&S®ZCxxx コンバーターは、コンポーネントのデザイン、アンテナおよび材料の特性評価、その他のアプリケーションに最適です。

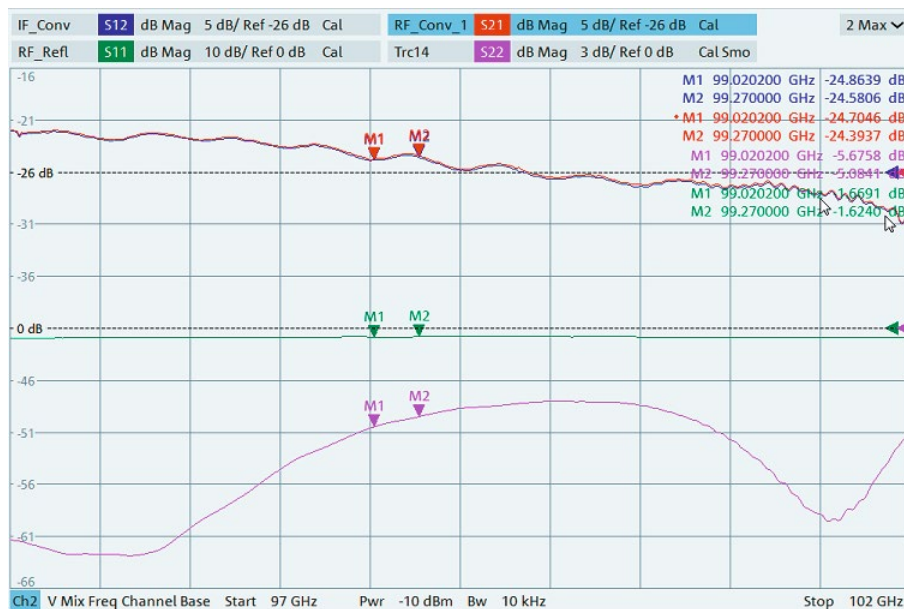


図2：UOSM校正の後の伝送(赤、青)と、RFおよびIFポートの一致(緑、紫)。

図3：被試験ミキサーの位相(赤)、リニア位相からの偏差(緑)、群遅延(青)。



ジッタ分離

ボタンを押すだけで総合的なジッタ解析が可能

ローデ・シュワルツの新しい信号モデルベースのアルゴリズムは、ジッタ成分を正確に分離します。このアルゴリズムを使用すると、電子回路の高速信号伝送のデバッグと特性評価の際、詳細な解析を行うことができます。

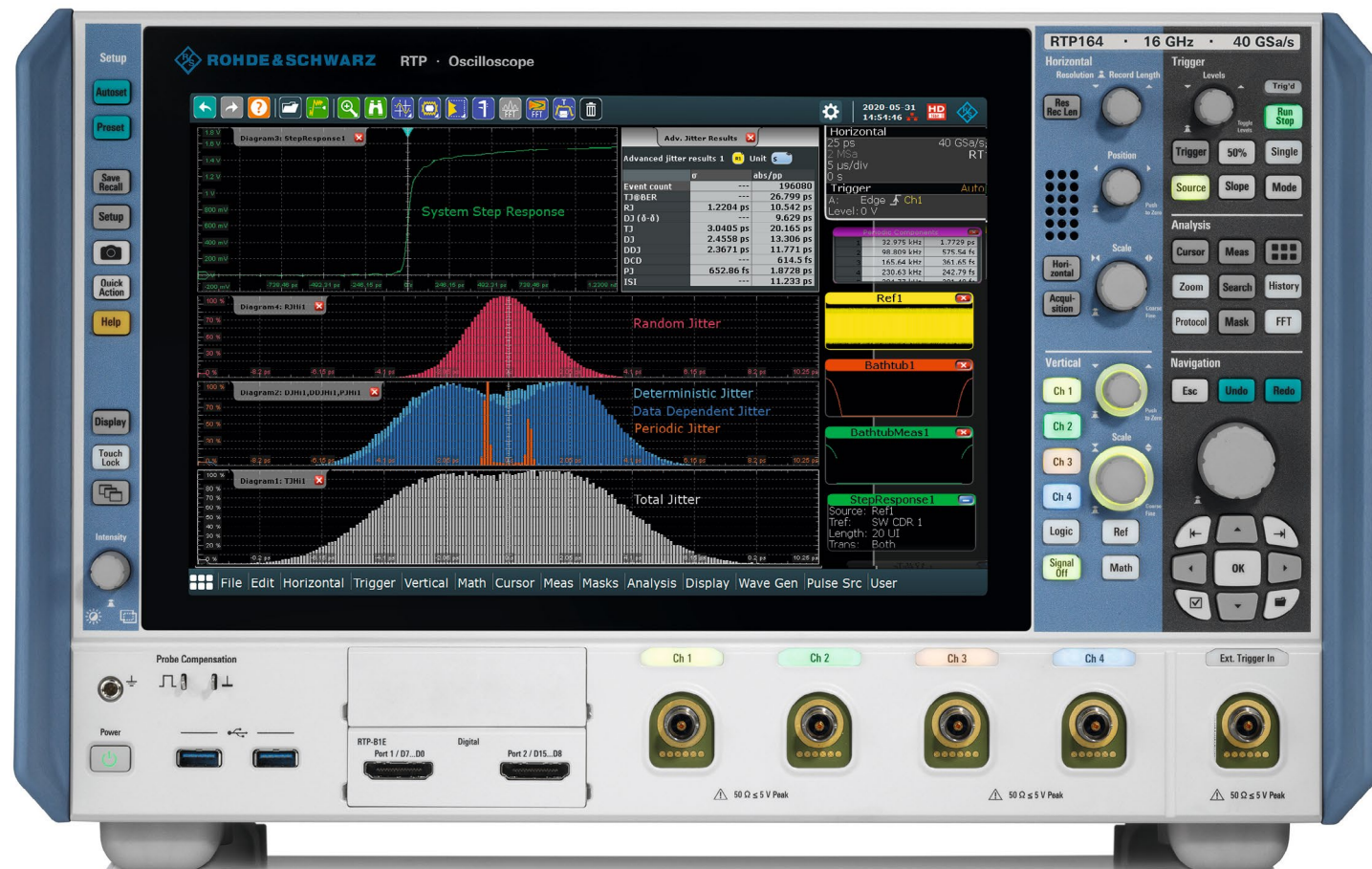
ジッタバジェットの評価

デジタルインタフェースのデータレートの上昇と電圧レベルの縮小、高度なデザインの複雑さと密度、ボード材料、コネクタ、回路素子へのコスト圧力から、ジッタ成分解析の必要性が高まっています。インタフェースの全ジッタを評価する1つの方法が、ビット・エラー・レート (BER) の測定です。仕様によると、USBやPCI Expressなどの高速インタフェースの目標BERは、一般に 10^{-12} です。つまり、 10^{12} ビットのシーケンスのうち、許される送信エラーはわずか1ビットです。BER

テストによる全ジッタの検証は、非常に時間がかかるだけでなく、各ジッタ成分の詳細はわかりません。

オシロスコープは捕捉メモリが限られるため、BERを直接測定するには不向きです。次の例に示すように、特定のBERの全ジッタを簡単に測定することは不可能です。 10^{12} ビットのテストパターンの波形捕捉時間は、データレート5 Gbit/sで200秒です。サンプリングレートが20 GSa/sの場合、4 Tサンプルの捕捉メモリが必要になります。今日のオシロスコープには、これほど大容量の捕捉メモリはありません。

R&S®RTOまたはR&S®RTP
(写真) オシロスコープの
R&S®RTP-K133 高度
ジッタ解析オプションは、
高速データインタフェース
や高速クロック信号を
持つDUTの特性評価と
デバッグに役立ちます。



2000年代初頭に、この問題に対する優れた解決策が見つかりました。ジッタ分離の発明と、それに続く全ジッタの推定です。この方法の背景には、全ジッタがデターミニステック成分とランダム成分で構成されるという考え方があります。デターミニステックジッタは有界です。一方、ランダムジッタは非有界のため、p-p値はBERに伴って大きくなります。図1にBERバスタブ曲線でのこれらのジッタ成分を示します。レシーバーによるデータサンプリングのアイオープニング領域は、ユニットインターバル (UI) と全ジッタ (TJ) では異なります。

ジッタ成分とその原因

デターミニステックジッタは、いくつかの成分に分類できます。データ依存ジッタ、周期ジッタ、その他の有界非相関のジッタ成分です (図2)。開発者は、信号内の支配的なジッタ成分を把握することで、デザインを最適化するために適切な手段をとることができます。

ジッタ成分には、さまざまな原因があります。

- ▶ **ランダムジッタ (RJ)** は、基準クロック発振器の品質や半導体部品の熱雑音などの要因に依存します。
- ▶ **周期ジッタ (PJ)** は、一般にスイッチング電源や発振器の干渉源に起因するか、PLLの安定度に問題があることを示しています。
- ▶ **符号間干渉 (ISI)** は、主に、インピーダンス不整合に起因する反射など、回路と信号伝送経路で発生する伝送損失と帯域制限に関連しています。
- ▶ **デューティーサイクル歪み** は、データ依存ジッタの他の要素であり、トランスミッターまたはレシーバーの信号エッジやオフセット誤差の立ち上がり／立ち下り時間の不整合を示します。
- ▶ **有界非相関ジッタ** は、一般に隣接信号トレースからのクロストークが原因です。

これらの各例から、デザインの問題を特定し、コストパフォーマンスの高い解決策を実行するには、ジッタ分離が重要な最初のステップであることがわかります。

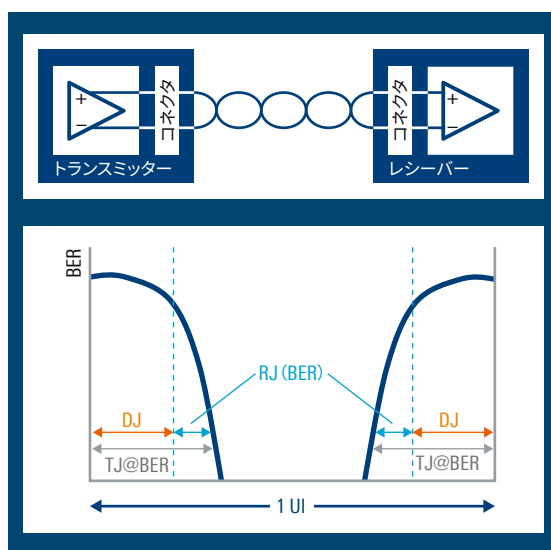


図1：デジタル伝送システムのビット・エラー・レートと、ユニットインターバル (UI) 内の全ジッタ (TJ) を構成する支配的なジッタ成分 - デターミニステックジッタ (DJ) とランダムジッタ (RJ)。

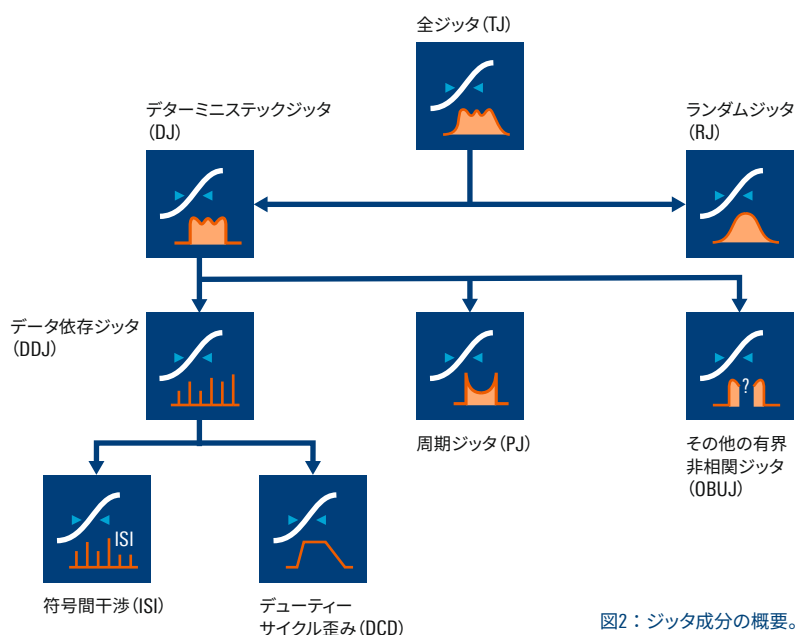


図2：ジッタ成分の概要。

ジッタ分離の新しいアルゴリズム

ジッタ分離の方法とアルゴリズムは、過去20年あまりで進化してきました。テールフィッティングによるランダムジッタの分離やデュアルDiracモデルによるデータミニステックジッタの推定などの当初の方法は、まだ使用されており、特定のインターフェース仕様に含まれています。データミニステックジッタをさらに分解する従来の方法は、アナログ波形のサンプリングポイントからタイム・インターバル・エラー (TIE) 測定値のセットまでの入力信号情報が減少します (図3)。

ローデ・シュワルツの新しいジッタ分離アルゴリズムは、解析手法を用います。このアルゴリズムは、被試験伝送経路の動作を完全に評価するパラメトリック信号モデルに基づきます (図3)。この方法の主な利点は、垂直成分と水平成分を含む完全な波形特性を利用することです。これにより、比較的短い信号シーケンスでも、精度と一貫性の高い測定結果が得られます。

信号モデルの中心的要素は、信号のデータ依存特性を記述するステップ応答です。このモデルは、周期誤差とランダム誤差の項も含んでいます。

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \cdot \begin{bmatrix} \hat{h}_{sr} \\ \hat{y}_{-\infty} \\ \hat{p}_v \end{bmatrix} + \epsilon$$

入力
信号

ステップ応答

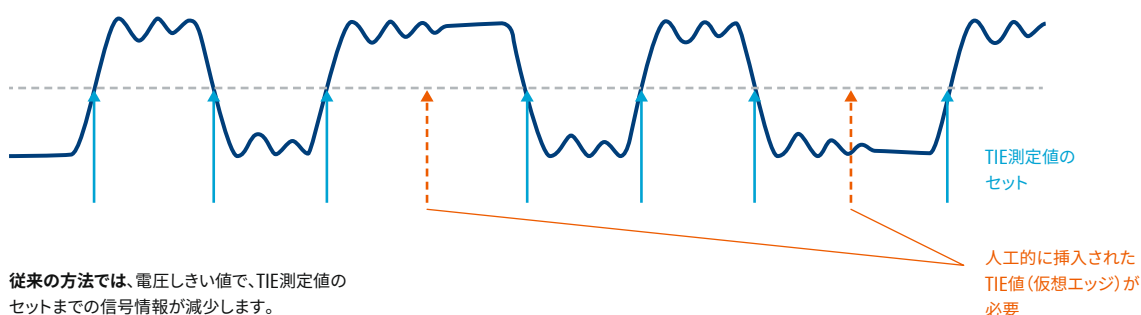
ランダム
誤差

周期成分

図4：ローデ・シュワルツの線形化信号モデルは、信号特性を完全に記述します。

分離プロセスでは、最小二乗 (LS) 推定器が入力信号と信号モデルを比較し、信号モデルのパラメータを繰り返し計算します。アルゴリズムは、次に、入力信号のビットシーケンスに基づいて各データミニステックジッタ成分の合成信号シーケンスを再構成します (図5)。次のステップで、入力信号と、データ依存の周期合成信号シーケンスとの差から、ランダムジッタを計算します。

図3：従来のTIEベースのジッタ分離方法と、信号モデルに基づくローデ・シュワルツの革新的な方法との比較。



ローデ・シュワルツのアルゴリズムは、伝送経路のデータミニステック動作を完全に評価するステップ応答を計算します。パラメトリック信号モデルには、ジッタ分離を正確かつ確実にを行うための信号情報が

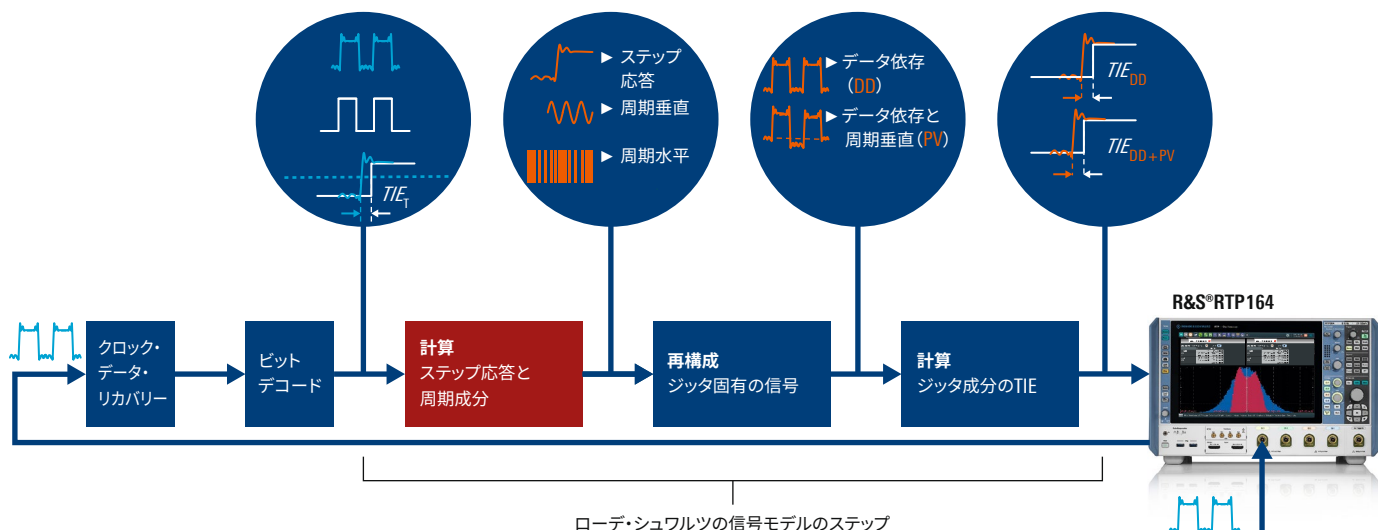


図5：ローデ・シュワルツの方法によるジッタ分離。ステップ応答は、データミニステックジッタ成分を計算するときの基礎となります。最後のステップでランダムジッタとOBUJが確定します。

ジッタ特性に関する詳細な解析

ジッタ成分の計算から得られた特性のステップ応答は新しく、デザインのデバッグと最適化に非常に便利です(図6)。以前、ステップ応答は、タイムドメイン・トランスミッシンメトリ(TDT)の手法またはベクトル・ネットワーク・アナライザでしか測定できませんでした。ステップ応答から、伝送経路の特性について、多くの情報が得られます。例えば、立ち上がり時間は帯域幅、オーバーシュートに関連し、減衰応答は周波数応答特性に関する情報を示し、リップルは不整合による反射を示します。

このアルゴリズムは、一般的にすべてのジッタ成分に関する情報を示します。ユーザーは各種成分の数値を解析したり、それらをヒストグラム、トラッキング曲線、スペクトラム表示で調べたりすることができます。また、BERバスタブ曲線とアイダイアグラムにより、詳しい解析ができます。

ローデ・シュワルツの信号モデルは、周期ジッタ成分の水平方向と垂直方向を分離します(図7)。この方向から、周期ジッタ成分が、振幅変調と周波数変調のどちらから生じたかよくわかります。周期ジッタの水平成分のスペクトラムは、解析に使用できます。

Quick start機能による解析または3ステップのカスタムセットアップ

新しい分離アルゴリズムは、R&S®RTO/R&S®RTP オシロスコープのR&S®RTO/RTP-K133 高度ジッタ解析オプションに搭載されています。**Quick start**機能を使用すると、ジッタの結果をすぐに入手できます。

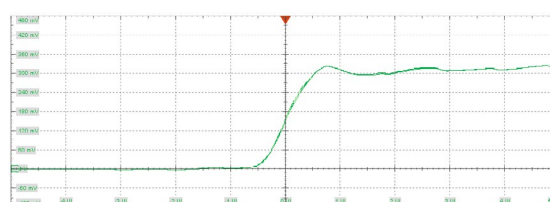


図6：計算したステップ応答時間は、データ依存チャネル特性を理解するのに役立ちます。

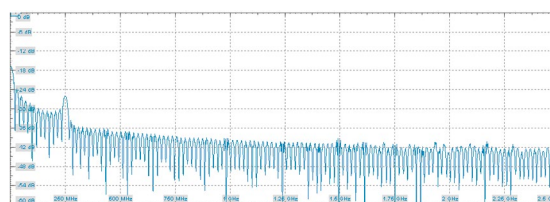


図7：周期ジッタの水平成分のパワースペクトル密度(PSD)の表示と、水平方向と垂直方向を分離した状態。

Periodic components 1				
	Frequency	Value		Direction
1	89.999 MHz	70.857 mUI		Horizontal
2	180.01 MHz	37.75 mUI		Horizontal
3	2.9773 MHz	18.763 mUI		Horizontal
4	1.8713 MHz	18.544 mUI		Horizontal
5	2.3468 MHz	12.683 mUI		Horizontal
6	90 MHz	264.85 mV		Vertical
7	124.61 MHz	4.4961 mV		Vertical
8	127.83 MHz	2.0532 mV		Vertical
9	83.436 MHz	1.9033 mV		Vertical
10	97.921 MHz	1.8791 mV		Vertical

この機能は、定義済みのセットアップを自動的に実行して、デフォルト設定のジッタ成分を計算し、事前

に選

図8：わずか3ステップのジッタ測定のカスタム設定。

セットアップ ステップ1

セットアップ ステップ2

セットアップ ステップ3

セットアップ ステップ4

セットアップ ステップ5

セットアップ ステップ6

セットアップ ステップ7

セットアップ ステップ8

セットアップ ステップ9

セットアップ ステップ10

セットアップ ステップ11

セットアップ ステップ12

セットアップ ステップ13

セットアップ ステップ14

セットアップ ステップ15

セットアップ ステップ16

セットアップ ステップ17

セットアップ ステップ18

セットアップ ステップ19

セットアップ ステップ20

セットアップ ステップ21

セットアップ ステップ22

セットアップ ステップ23

セットアップ ステップ24

セットアップ ステップ25

セットアップ ステップ26

セットアップ ステップ27

セットアップ ステップ28

セットアップ ステップ29

セットアップ ステップ30

セットアップ ステップ31

セットアップ ステップ32

セットアップ ステップ33

セットアップ ステップ34

セットアップ ステップ35

セットアップ ステップ36

セットアップ ステップ37

セットアップ ステップ38

セットアップ ステップ39

セットアップ ステップ40

セットアップ ステップ41

セットアップ ステップ42

セットアップ ステップ43

セットアップ ステップ44

セットアップ ステップ45

セットアップ ステップ46

セットアップ ステップ47

セットアップ ステップ48

セットアップ ステップ49

セットアップ ステップ50

セットアップ ステップ51

セットアップ ステップ52

セットアップ ステップ53

セットアップ ステップ54

セットアップ ステップ55

セットアップ ステップ56

セットアップ ステップ57

セットアップ ステップ58

セットアップ ステップ59

セットアップ ステップ60

セットアップ ステップ61

セットアップ ステップ62

セットアップ ステップ63

セットアップ ステップ64

セットアップ ステップ65

セットアップ ステップ66

セットアップ ステップ67

セットアップ ステップ68

セットアップ ステップ69

セットアップ ステップ70

セットアップ ステップ71

セットアップ ステップ72

セットアップ ステップ73

セットアップ ステップ74

セットアップ ステップ75

セットアップ ステップ76

セットアップ ステップ77

セットアップ ステップ78

セットアップ ステップ79

セットアップ ステップ80

セットアップ ステップ81

セットアップ ステップ82

セットアップ ステップ83

セットアップ ステップ84

Quick startの代わりに、セットアップの**カスタム設定**をわずか3ステップで行うこともできます(図8)。最初のステップでは、信号源と信号のタイプを選択し、クロック・データ・リカバリー (CDR) を定義します。DUTテクノロジー (例: "USB 3.1 Gen 1") の選択メニューにより、CDRのセットアップを簡単に行えます。

第2のステップでは、分離のパラメータを設定します。これには、必要なジッタ成分の選択と、処理するステップ応答の長さの定義があります。長さが長いほど、離れた反射など、より多くの詳細情報が得られますが、計算時間もかかります。

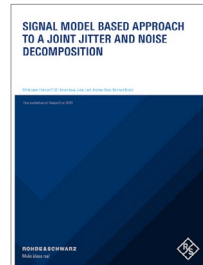
最後のステップでは、結果表示を設定します。ジッタ成分については、ヒストグラム、トラック、スペクトラム表示から選択できます。ステップ応答については、バスタブ曲線と合成アイダイアグラムを詳細解析に使用できます。

ユーザーは、"Enable" ボタンを押すだけでジッタ分離プロセスを開始できます。各種結果表示の例を図9に示します。R&S®SmartGrid機能を使用すると、ダイアグラムとテーブルをドラッグ・アンド・ドロップするだけで、好みに合わせて画面を調整できます。

まとめ

新しいジッタ分離アルゴリズムは、伝送経路のデータミニスティック動作を完全に評価するステップ応答を計算します。ユーザーは比較的短い信号シーケンスでも、正確な測定結果を得ることができます。このアルゴリズムの詳細な結果から、高速データインタフェースや高速クロック信号を持つDUTの検証とデバッグに必要な詳細な解析を行うことができます。

Guido Schulze



記載のジッタ解析方法に関する詳しいホワイトペーパーは、ローデ・シュワルツのウェブサイトからダウンロードできます (検索語句: DesignCon 2020)。

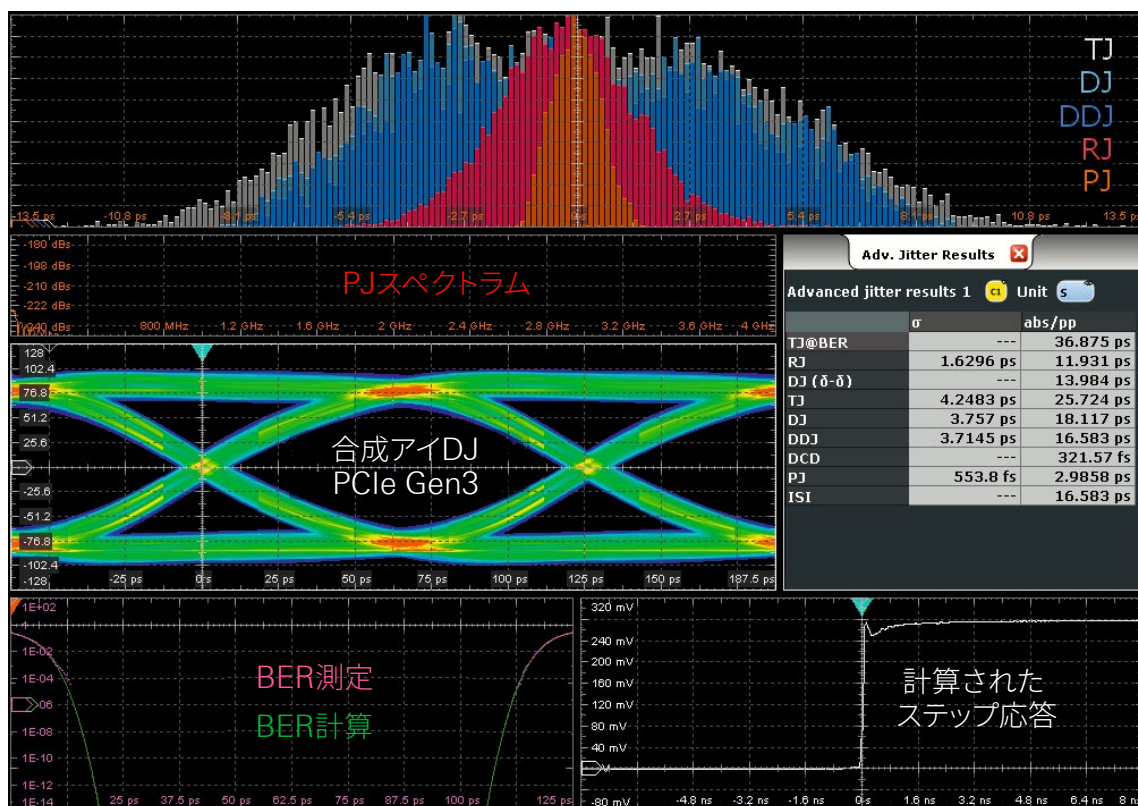


図9: R&S RTP オシロスコープのR&S RTP-K133 高度ジッタ解析オプションを使用してPCIe Gen3信号のジッタ分離を行った結果。ステップ応答、各ジッタ成分のヒストグラム、ジッタスペクトラム、合成アイダイアグラム、BERバスタブ曲線が表示されています。

スイッチングの高速化

外部トリガはスイッチングプロセスをより正確に制御し、半導体リレーが使用されている場合、スイッチング速度は最大で1,000倍になります。

大半の制御タスクでは、スイッチング時間はミリ秒以上の範囲で十分です。しかしアンテナ接続やIC接続のように高速スイッチングが必要となるRFシナリオのテストでは、スイッチングを大幅に高速化し、タイミングを正確にするために、外部トリガを使用してスイッチングプロセスを制御する方が賢明です。

5Gやレーダーテクノロジーなどの新テクノロジーの開発、製造では、極めて短く正確なスイッチング時間が求められることがあります。LANやUSBによって制御されるリレーでは、伝送時間が長いので、これは不可能です。また、LANによる制御はネットワーク遅延の不確実性に悩まされるため、非常に高速な半導体リレーであっても、スイッチング時間はミリ秒の範囲です。

高速で再現性の高いスイッチングは、アプリケーション固有の制御か、トリガ機能を持つスイッチユニットでのみ可能です。R&S®OSPは、新しいR&S®OSP-K100トリガオプションでこの要件に対応します。このオプションにより、汎用スイッチユニットの利点(設定が容易で、スイッチモジュールの選択肢が豊富)と、ハードウェアベースの制御が持つ高速で正確な

スイッチングの組み合わせが可能になります。

トリガインタフェース

R&S®OSP (図1) の第2世代の各製品、R&S®OSP220/230/320は、スイッチング操作の外部トリガ用として、外部コネクタと内蔵のFPGAロジックを搭載しています。また、メス型BNCコネクタを2個装備し、それぞれに対応するステータスLEDがフロントパネルにあります。さらに、R&S®OSP320は、リアパネルにオス型D-Subコネクタとトリガインタフェースを搭載しています。トリガの設定とアクティブ化は、SCPIコマンドを使用してリモートに行うことも、タッチスクリーンまたはキーボードとモニターを使用して手動で行うこともできます。

トリガタイプ

トリガタイプには4種類あります(図2)。トリガタイプに応じて、最大で16本のパスを制御できます。パスは、1つのスイッチングリレーまたは複数の切り替え可能要素で構成できます。複数の切り替え可能要素として、別々のモジュールを使用することも、プライマリ/セカンダリシステムを構成する別々のR&S®OSPユニットを使用することもできます。また、必要に応じて接続されたR&S®OSPサテライトボックスも使用できます。そのため、アプリケーションは事実上無限です。

シーケンシャルトリガを使用すると、ステップスイッチのように、最大16本のパスをシーケンシャルに切り替えることができます。シーケンスは、外部のリセット信号によっていつでもリセットできます。アドレス指定モードでは、R&S®OSP320を使用して、最大16本のパスを必要な順序でアドレス指定できます(図2)。



図1:トリガメニューには、特定のパス構成で可能な最短のトリガ間隔が表示されます。

トリガスイッチング時間

外部トリガ信号から出力スイッチングレベルの90 %に達するまでの時間(トリガスイッチング時間)は、以下のとおりです。

- ▶ デジタル出力チャンネルの場合、約2 μ s
- ▶ 半導体リレー (SSR) の場合、2~10 μ s
- ▶ 電気機械式リレーの場合、10~20 ms

トリガスイッチング時間が2 μ sの場合、デジタル出力と半導体リレーの切り替え速度は、LAN経由でソフトウェアコマンドを使用する場合と比較して、同じ再現性では最大で1,000倍になります。LAN通信による遅延(約1~2 ms)は、電気機械式リレーの比較的長いスイッチング時間(数ミリ秒)ではそれほど重要ではありません。しかし、ハードウェア制御による正確なスイッチングとデジタル制御チャンネルによるパスアドレス指定は、電気機械式リレーを使用する場合でもメリットをもたらします。

データシートの仕様より高速

R&S®OSPのデータシートには、ユニットとリレーのトリガ間隔の仕様が記載されています。図3のオシロスコープ測定からわかるように、電気機械式リレーでは仕様より短いトリガ間隔を達成できます。この例の電気機械式切り替えリレー (SPDT) のスイッチング時間の測定値は、仕様の15 msではなく、3.8 msです。

同様の改善はSSRでも可能です。これは、内部遅延時間の一部が早期の再トリガに使用されるためであり、これにより、10~20 %のトリガ間隔短縮、つまりトリガレート向上が可能になります。こうした最適化は、ユーザーが責任を持ちます。

ディスプレイでのトリガ間隔の確認

複数の異なるリレーで構成されたスイッチパスからトリガ間隔を判断するのは、時間がかかり複雑です。ユーザーがこの計算を行わなくてもすむように、R&S®OSPのトリガメニューには、関連するすべてのリレーのデータシート値と内部遅延を考慮した最短のトリガ間隔が表示されます(図1)。これにより、ユーザーはパスを最適化し、タイミング問題を避けることができます。

トリガタイプ	パス数	インタフェース	機能
シングル	1	BNC A	1つのパスでのみトリガをアクティブにできます。トリガモードはオフです。
切り替え	2	BNC B	2つのパス間でトリガを切り替えます。
シーケンス	3~16	BNC A、B	パス0からパスn (n=2~15) までシーケンシャルに切り替えます。パス0でリセットし、再度シーケンスを開始します。
アドレス指定 (R&S®OSP 320のみ)	最大16	D-Sub	R&S®OSP 320には、パス0~15を直接制御する追加のアドレスラインがあります。

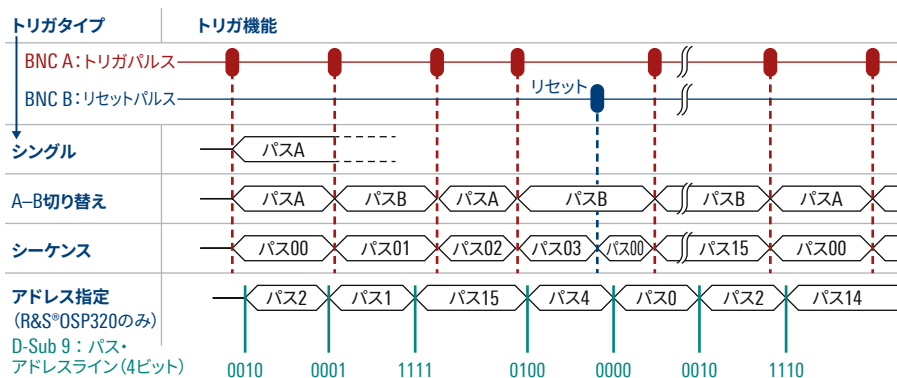
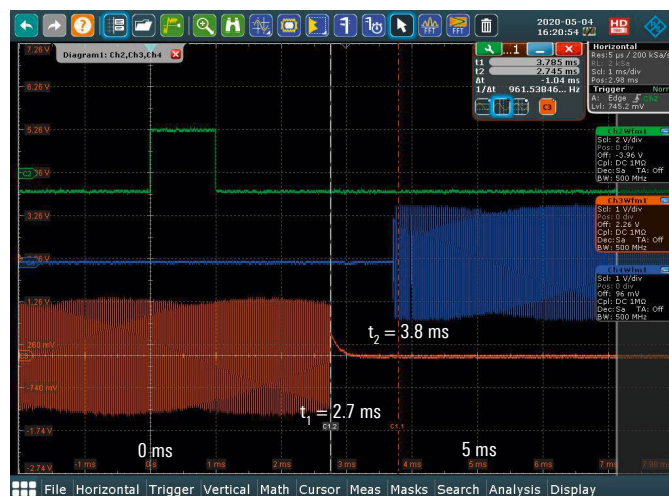


図2: 各種トリガタイプとその機能。

図3: トリガ(緑)から、切り替えリレー (SPDT) のリレー出力の切り替え(茶色と青)までのスイッチング時間の測定値。リレーの測定では、スイッチング時間がデータシートの仕様より大幅に短くなることがあります。



トリガ機能を持つR&S®OSPモジュール

標準的なR&S®OSPモジュールのほぼすべてに、トリガ機能が搭載されています(詳細については、データシートを参照)。例外は、外部トリガ用の機能が備わっていないアプリケーション固有のシステムモジュールと、内部制御シーケンスを持つリレーを搭載したモジュールです。

Gert Heuer, Michael Kunert,
Franz Rauscher, Werner Rohde,
Cornelius Söll



学内Wi-Fi管理のベスト事例

目標は1つでも、方法はさまざまです。教育のデジタル化推進により、信頼性の高い学内Wi-Fiは授業に不可欠になりつつあります。現在の事例を見ると、学校当局や学校は、さまざまな方法でネットワークを運用していることがわかります。

教育機関のデジタル化推進のため、ドイツ連邦政府と州政府は、2019年、数十億ユーロ規模の支援プログラム「DigitalPakt Schule (学校教育デジタル協定)」に合意しました。これにより、多くの学校がブランクett式Wi-Fiカバレッジを導入することになります。このプログラムの背景には、明確な動機があります。ノートパソコンやタブレットの柔軟な活用や教育用アプリの効率的な利用、学内サーバーへの高速アクセスには、高速で強力、かつ安定した無線ネットワークが必要であるためです。

しかし、プロ向けのWi-Fiは複雑で、保守やアップデート、トラブルシューティングが必要です。担当者は、新しいネットワークインフラを誰が管理するかを考えねばなりません。この記事では、

LANCOM Systemsの顧客4団体のベスト事例を紹介し、学校当局と学校で成功している方法について解説します。

自己管理式のコントローラーベースWi-Fi

2020年2月、ドイツ、ニーダーザクセン州ヘルムシュテットの学校当局が、州内で初めてDigitalPakt Schuleプログラムの支援を受けました。以降、市内の小学校5校にLANCOM Wi-Fiのアクセスポイントでブランクett式Wi-Fiカバレッジを提供しています。市のIT当局がWi-Fiコントローラー経由でネットワークを管理し、ネットワークの運用と展開を行っています。ヘルムシュテット市で通信/IT責任者を務め、自身もLANCOMユーザーである

Immo Ulbricht氏は、次のように述べています。「市内の学校には、LANCOM製Wi-Fi製品が明らかに必要でした。LANCOMは性能と信頼性が常に高く、ポートフォリオには私たちに必要なものがすべてそろっているからです」。

ITサービスプロバイダーがWi-Fiコントローラー経由でネットワークを管理

ドイツのノルト・ライン・ウェストファーレン州パーダーボルン大司教区も、19校の管理にコントローラーベース方式を採用しています。ITサービスプロバイダーが管理業務をサポートし、約1,000台のLANCOMアクセスポイントと19台のWi-Fiコントローラーが管理対象です。Schnorbus-ITのCEOであるSteffen Schnorbus氏は、「設定からモニタリング、トラブルシューティングに至るまで、弊社がIT部門の標準的な管理業務を担っています」と語っています。このサポートチームは、Wi-Fiコントローラー経由ですべての学内ネットワークに一元的にアクセスでき、必要な場合にはすぐに目的の措置をとることができます。パーダーボルン大司教区の司教総代理当局で教育機関のITコーディネーターを務めるKai von Holtz氏は、無線テクノロジーを重要な教育ツールと見なし、次のように説明しています。「Wi-Fiによって学校はそのメディアコンセプトを実行に移し、最新の指導法を行うことができます」。

クラウド管理Wi-Fiで時間短縮

コントローラーベースの標準的なネットワークに代わり、クラウド管理のWi-Fiを採用する学校当局が増えています。その一例が、ドイツ、ヘルゴラント島のJames Krüss Schoolです。2018年秋にネットワークを開設しました。ネットワークの中心はLANCOM Management Cloud (LMC) で、スマートテクノロジーを使用し、ファームウェアアップデートのインストールや新しいネットワークの展開など、時間のかかる作業を簡素化します。小学校と中等学校のネットワークは、ヘルゴラント島当局が管理しています。LMCは学校当局にとって重要な存在です。ヘルゴラント島のITマネージャー、Tobias Wutschke氏は、「クラウドから一元的に学校ネットワークを管理するだけではありません。LANCOM製ハードウェアを使用する他のネットワークをすべてマッピングすることができます」と述べています。また、島内では公会堂や図書館のネットワークもクラウドで管理しており、Wutschke氏は次のようにも語っています。「すべてのネットワークを1つの管理インスタンスにマッピングしました。このソリューションは、概要が明確にわかるため便利です。クラウドソリューションなので時間を大幅に短縮でき、管理者である私たちが拠点にいてもネットワークを管理できます。ハードウェアアップデートも、リモートから数分でインストールできます。以前はもっと時間がかかりました」。

ネットワークを学校自身がクラウドで管理

ドイツ、アーヘンのViktoria Schoolも、Wi-Fiをクラウドで管理しています。ただし、このケースでは、ネットワークを学校自身が管理しています。学生と教師の無線ネットワークを管理するのは、

IT担当のGuido Hinz教諭です。教諭は、LMCに感銘を受け、「これは、当校に最適なソリューションです。ネットワークの可用性と場所の概要が常にわかり、ネットワークトラフィックの多い領域を最適化すべきかどうか判断できます。ネットワークの変更と拡張も、素早く簡単に行えます」と述べています。LMCにより、大幅な時間短縮も可能になりました。仮にアクセスポイントを個別に構成しなければならない場合、Wi-Fi全体の管理はかなり大きな負担となると予想されます。

教育的効果が鍵

以上からわかるように、学内Wi-Fiの形態はさまざまです。最適なネットワーク管理のタイプは、学校や学校当局の個々の要件によって異なります。信頼性の高い無線ネットワークによって、学校は最も重要な教育的効果を提供することができます。安定したWi-Fi接続、学校の要件を満たす性能、対応力の高いテクニカルサポートチーム、正しい管理コンセプトが、学校と学校当局には不可欠です。

André Faßbender



ヘルムシュテット市は、小学校のカリキュラムでデジタルメディアの使用を開始しました。



パーダーボルン大司教区の全19校の1つ、St. Michael中等学校は、LANCOMのWi-Fiテクノロジーを使用しています。

短波による長距離通信

光ファイバー、衛星リンク、
モバイル接続の時代であっても、
短波無線のニーズは残っています。
新しいアンテナと調整ユニットに
よって、高性能システムをかつて
ないほど簡単に構築することが
できます。

短波はインフラを必要とせず、機器に一度投資すれば、通信を自由に行うことができます。セキュリティー、性能、伝送法で大きな進歩が見られた短波送信は、特に公的機関や軍事機関にとって、今なお貴重な情報媒体です。

ただし、この媒体の潜在能力を最大限に活用するには、最適な伝送条件が必要です。重要な役割を果たすのはアンテナです。アンテナが失われると、伝送経路の他の場所でそれを補うことはできません。今日の広帯域伝送法には、最適なS/N比が必要であり、それは、最適化されたアンテナを意味します。ローデ・シュワルツは、トランシーバーの開発に加え、高性能な低損失HFアンテナの開発にも常に積極的に取り組んできました。この取り組みの最新の成果がR&S®HX002Hxシリーズです。新しいアンテナ調整ユニット(ATU)と、革新的な制御および電源ユニットを組み合わせることで、HFエアインタフェースを新しいレベルに引き上げます。

コンパクトなアンテナソリューション

周波数1.5~30 MHzの短波帯は、最大で100 mを超える長い波長に基づいています。アンテナタイプによっては必要な寸法も大きくなるため、結果的に、アンテナ自体のコストと設置スペースが大きくなります。船舶や都市環境などの狭いスペースでは、使用できない場合もあります。

この問題を改善するのが、高効率でコンパクトかつ同調可能なダイポール構造です。例えば、R&S®HX002H0 1 kWソリューションとR&S®HX002H3 150 Wシステム(図1と2)は、約10 m×5 mの非常にコンパクトな寸法にもかかわらず、優れたHF性能を持ち、短距離、中距離、長距離を360度カバーします。船舶専用のR&S®HX002H3Mは、アンテナエレメントが50 %短く、通常狭小な軍艦の上部構造に簡単に取り付けることができます。いずれのモデルも、1基のマストに取り付けることができ、ジャンクションユニットに1本の同軸ケーブルで接続できます。

図1 :
R&S®HX002H0 1 kWは、
アンテナと調整ユニット
を超コンパクトな
ユニットに統合した
ソリューションです。



図2 :
R&S®HX002H3 150 W
ユニットは、アンテナと
ATUで構成された超小型
のHFユニットです。



図3 : R&S®FK002H0 1 kW
アンテナ調整ユニットは、
さまざまなアンテナの
ベースとして動作します。



一方、これらに代わるダンピング抵抗ダイポール（装荷ダイポール、折り返し式終端型ダイポール、逆V型、デルタアンテナなど）の広帯域ソリューションは、かなり大きい寸法ながら、利得は辛うじて許容可能なレベルであり、戦術配備などの特殊なアプリケーションに主に使用されます。これらのタイプは、現在のポートフォリオには含まれていません。

高性能調整ユニット

新しいアンテナ調整ユニットと、アンテナ／調整ユニット統合ソリューションには、150 Wと1 kWの2種のパワークラスがあります（図3）。これらの製品は、HF周波数レンジ全体で優れたチューニング特性を持ち、電氣的に非常に短いアンテナをはじめ、さまざまなアンテナのチューニングに使用できます。効率が高く、内部減衰もありません。

HFアンテナは環境の影響を受けやすいため、最適な結果を得るには、チューニングの際、アンテナ環境を考慮する必要があります。これらの新しいATUは、高

度なアルゴリズムにより、チューニング中に立地因子を追加することで、常にVSWR 1.3未満を達成します。1回限りの事前学習フェーズでは、チューニングする周波数ごとに、低損失キャパシタと空芯コイルを含む必要な内部回路を学習し、保存します。そのため、その後の運用で周波数変更が発生した場合、微調整を行わなくても、正しい補正コンポーネントに素早く切り替えることができます。トランシーバーからコマンドが届かない場合は、アンテナ／ATU自身が周波数変更を検知します。

接続が容易

ATUとATU内蔵アンテナはすべて、R&S®GX002ジャンクションユニット（図4）が給電し、制御します。このユニットは、最新世代の短波トランシーバーの操作コンセプトにシームレスに適合します。LANや光ポートなどのユニバーサルインタフェースを備えているので、ローデ・シュワルツ製の古いトランシーバーや他社製トランシーバーを使用するレガシーアプリケーションにも適しています。また、アンテナ／ATU

図4：R&S®GX002 ユニバーサル・ジャンクション

ユニットは、アンテナと調整ユニットに給電し、HF信号を送信し、トランシーバーと調整ユニット間のデータ交換を管理します。





を制御ユニットから分離することで、さまざまな形で高レベル通信システムに統合することができます。基本的なコマンドを使用する単純な周波数切り替えから最新の伝送法に至るまで、構成に基づいてさまざまなレベルの機能を実現することができます。2つの可能な構成を図5に示します。

Klaus Fischer

図5：ローデ・シュワルツ製最新トランシーバーとの基本セットアップ(上)と、他社製システムコンポーネントとの基本セットアップ(下)。ジャンクションユニットは、多様なシステム構成オプションを可能にするだけではありません。アンテナ／ATUには、1本の同軸ケーブルだけで接続できます。このケーブルでHF信号、制御信号、DC電源を送ることができます。そのため、コスト削減、システム統合の簡素化、運用の信頼性向上につながります。

