

オシロスコープを使用した車載用 レーダー信号の解析

テストベンチでの車載用レーダーのテスト

eBook | Version 01.00

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real





センサを通して観測する環境

無人運転自動車は、未来のテクノロジーとデジタル化がもたらす私たちの日常生活の変化を象徴する存在です。コネクテッドカーと自動運転の進化により、高い道路安全性と利便性の大幅な向上が約束されます。しかし、自動運転車を信頼することは、多くの人々にとって大きな一歩です。

自動運転には、運転支援、部分自動運転、条件付自動運転、高度自動運転、完全自動運転の5つのレベルが定義されています。部分的な運転自動化システム(レベル2)は、すでに存在しています。条件付きの運転自動化システム(レベル3)は、連続生産に備えて開発が進められています。

ライダー、カメラ、超音波のような別のセンサと一緒に、レーダーは、現在の先進運転支援システム(ADAS)で重要な役割を担っています。車載用レーダーは、自動車の目として機能します。それらはすでに数百万台も製造されていて、最上位モデルの自動車では標準搭載機器になっています。レーダーは、霧や雪によって妨害されません。姿勢、分離、速度の測定により、クリティカルな状況の予測と、事故の回避が可能になります。

車両1台当たりのレーダーセンサの数は、自動化のレベルに伴って増加します。条件付き自動運転のためのテクノロジーには、当然厳しい要件が課されます。最新システムはマイクロ波領域で動作して、検出物の距離、速度、相対角度を特定して、細かな移動でも検知します。レーダー性能の向上には、帯域幅の拡大以上に効果的な方法はありません。次世代の車載用レーダーセンサは、4 GHzの信号帯域幅を使用します。

動作の信頼性を確保するため、すべてのレーダーコンポーネントとその自動車への統合に対して、徹底的なテストが必要です。このeGuideでは、R&S®RTP オシロスコープを使用してレーダーセンサを測定し、校正する方法を説明します。

「自動運転の時代が到来しますが、一部の人々が思っているほどすぐではありません。信頼できる法的枠組みがまだ整っていません。例えば、一部の機能は米国では許可されていますが欧州ではまだです。解決しなければならない技術課題がまだ多くあります。」

ローデ・シュワルツ、副社長兼自動車産業担当ディレクター、Jürgen Meyer



テストベンチでの車載用レーダーのテスト

運転支援システムと未来の完全自動運転車を実現するため、長距離と高分解能に対応するコンパクトなレーダーセンサの開発が進められています。これらのセンサは77 GHz～81 GHzの周波数レンジで動作し、フェーズド・アレイ・アンテナを使用して位置情報を取得します。得られたデータの確度は、放射信号の相対位相角の確度に直接関連しているため、アンテナシステムの精密な調整が精度を高めるために不可欠です。

これらのセンサは高い周波数を使用するため、開発段階での特性評価には高度な計測機器が必要です。このような測定が多くに選ばれているのが、R&S®FSW85 スペクトラム・アナライザです。広い測定ダイナミックレンジと高度な解析機能を備えているからです。ただし、このアナライザには入力チャンネルが1つしかないため、複数の信号の位相差を測定することはできません。その点で有利なのがオシロスコープです。例えば、4チャンネルのR&S®RTPは位相コヒーレントレシーバーとして動作し、最大4つの信号を同時に解析して比較できます。

R&S®RTP オシロスコープは、新世代のレーダーセンサの特性評価に最適です。レーダー信号は、レーダーセンサからベースバンド信号として直接収集することも、ミキサによってオシロスコープの帯域幅までダウンコンバートすることもできます。

ローデ・シュワルツ、オシロスコープ製品管理担当ディレクター、Dr. Ernst Flemming

テストセットアップ

レーダー信号をオシロスコープの周波数レンジにダウンコンバートするために、外部ミキサが用いられます(図1)。この例で使用されているR&S®FS-Z90 ハーモニック・ミキサは、局部発振器(LO)の6次高調波を使用して、必要な出力周波数を発生します。R&S®SMA100B RF/マイクロ波信号発生器がLOとして動作し、市販のレーダーセンサの評価用ボードがレーダー信号源の役割を果たしています。

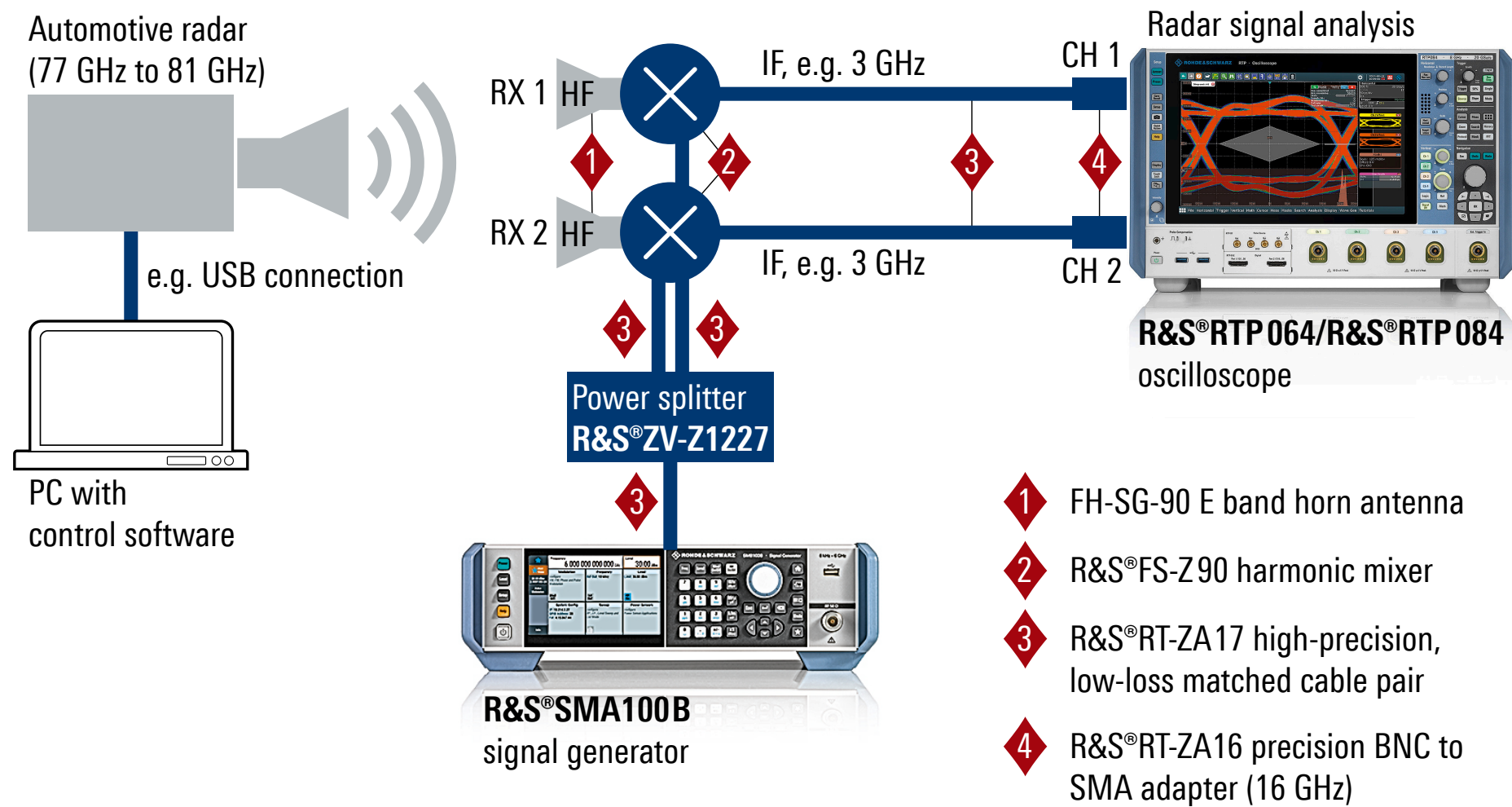


図1: オシロスコープによるマルチチャネルレーダー解析のテストセットアップ。レーダー信号はハーモニック・ミキサによって3 GHzのIF周波数にダウンコンバートされ、オシロスコープに供給されます。1チャンネルのみのテストセットアップの場合、パワースプリッターと1台のミキサは不要です。

測定作業

レーダーセンサの構成

レーダーシステムでは、いくつかの高周波パルスが直接連続したチャープシーケンス信号が用いられます。これらのパルスは、それぞれが約4 GHzの帯域幅を持つチャープです。センサは、レーダー信号の周波数が77 GHzから81 GHz近くまで線形に上昇するように構成されています（アップチャープ）。シーケンスが終わった後には、数ミリ秒の中断（インターフレーム時間）が置かれます。この時間の間に、レーダープロセッサは検出された物体の位置と速度を計算します。

信号解析を容易にするディエンベディング機能

ミキサからのIF信号は、オシロスコープの入力に供給されます。R&S®RTPのハードウェア／ソフトウェアディエンベディング機能によって、信号経路内の個々のコンポーネントの減衰とSパラメータを考慮することができます。ディエンベディング機能の影響を図2に示します。ミキサは、受信信号を周波数レンジ全体にわたって減衰します。受信信号は周波数が高いほど小さい振幅で検出されます（図2左）。ディエンベディングによってこれらの損失が補正されるため（図2右）、オシロスコープは実際の信号を解析できます。

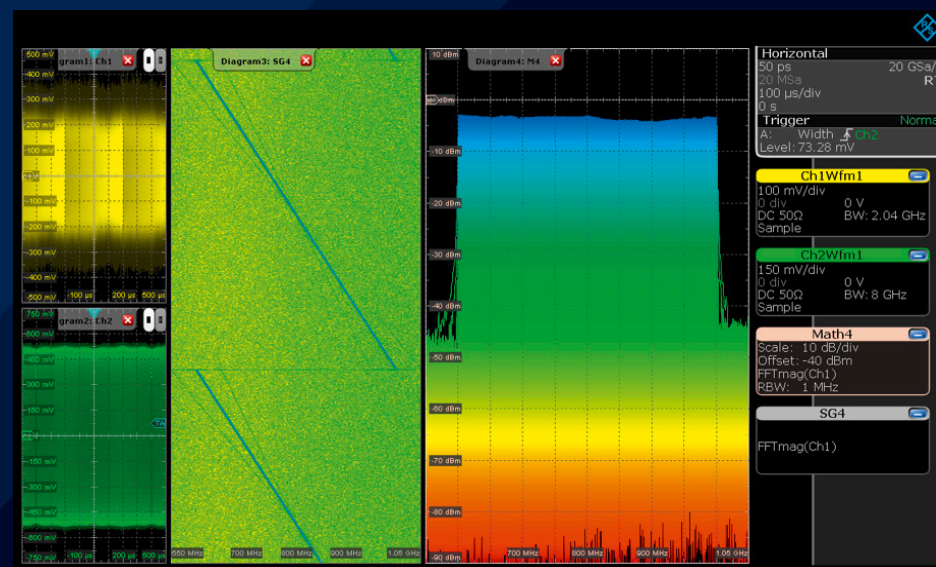
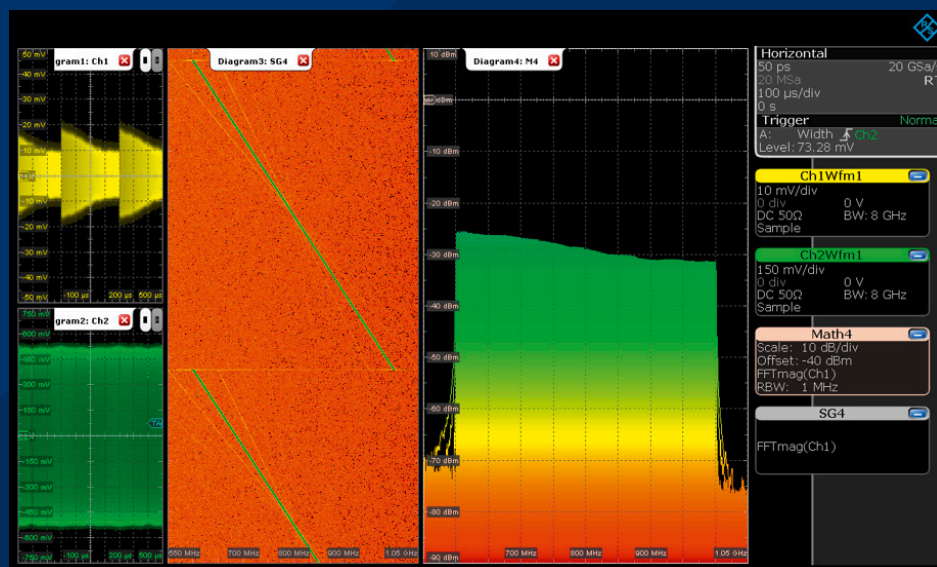


図2: ディエンベディングをオフにした状態(左のスクリーンショット)とオンにした状態(右のスクリーンショット)でのFMCW信号。周波数応答の補正によって、信号が元の周波数レンジで再構成されます。

測定オプション

単一チャネル解析

パルス幅トリガによる個々のレーダーパルスの分離
オシロスコープで信頼できる信号解析を行うには、安定したトリガ条件が不可欠です。オシロスコープには一般的に、従来のエッジトリガに加えて、高度なトリガオプションが備わっています。ただし、メーカーによっては、これらのオプションを使用できる帯域幅に制限がある場合があります。R&S®RTPはデジタルトリガを採用しているため、すべてのトリガオプションを最大帯域幅まで使用できます。

これらの測定作業には、単純なエッジトリガは使用できません。レーダーパルスの性質上、オシロスコープは信号のほぼあらゆる点でトリガしてしまうからです。パルスの間のインターフレーム時間でトリガするパルス幅トリガを使えば、個々のパルスまたはパルスシーケンス全体を検出して解析できるので効果的です。トリガ条件は、具体的なレーダー信号パラメータに応じて設定できます。例えば、特定の長さのパルスだけを表示することができます。

「オシロスコープを使用したレーダーRFパルスのトリガ」アプリケーションカードも参照してください。

https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/pdfs/Trigger-on-radar-RF-pulses_ac_en_3609-2000-92_v0100.pdf

レーダー信号の変調のチェック

最新の車載用レーダーでは、最高の空間分解能を得るため、最大4 GHzの帯域幅が使用されています。R&S®RTPは、これに伴う測定要件に対応しています。高いサンプリングレートと大容量メモリにより、ダウンコンバートされたレーダー信号を、十分に高いサンプリング周波数で捕捉できます。基本構成に含まれる解析ツールを使用することで、レーダー信号の変調をチェックできます。使用されるダウンコンバートされた信号は、1 GHzから始まって5 GHzまでリニアに上昇します。これらの周波数の初期チェックで最初に行われる周波数測定は、多くの周波数測定を1回の収集で実行するように構成されています（周波数トラッキング）。その結果は、ダウンコンバートされた周波数を時間の関数として表した $f_{IF}(t)$ になります。

高い周波数ではデータポイントの間隔が小さくなるため、測定はしだいに難しくなります。ノイズが増加する場合には、オシロスコープのローパスフィルター演算機能によって除去できます。 $f_{IF}(t)$ のスケールを変更する（周波数軸の値を大きくする）ことにより、元の周波数レンジのレーダー信号 $f_{HF}(t)$ を表示できます（図3）。

その他の測定機能を使用することで、リニア周波数変調の立ち上がり時間などの重要なパラメータを短時間で判定できます。例えば、オシロスコープのFFT機能を使えば、レーダー信号の時間軸上での変化を示すスペクトログラムを作成できます。これら2つの解析方法（図2と3）を使用することで、帯域幅と変調の初期チェックを実行できます。

R&S®VSEソフトウェアのトランジェント解析機能によるFMCW信号の調査

R&S®VSE ベクトル信号解析ソフトウェアは、レーダー信号の調査のための高度な解析ツールとして使用できます。例えば、ターゲットのドップラー特性に大きな影響を与える周波数変調連続波（FMCW）レーダー信号のリニアリティをチェックすることができます。このソフトウェアのR&S®VSE-K60C トランジェントチャープ測定オプションを使用すると、この測定を高い確度で実行できます（図4）。R&S®VSE-K60Cは、周波数応答 $f_{IF}(t)$ を表示し、理想的なリニア位相からのずれを計算します。ソフトウェアは、オシロスコープに直接インストールすることも、外部コンピューターにインストールすることもできます。オシロスコープからコンピューターにデータを転送するには、イーサネットなどが使用できます。

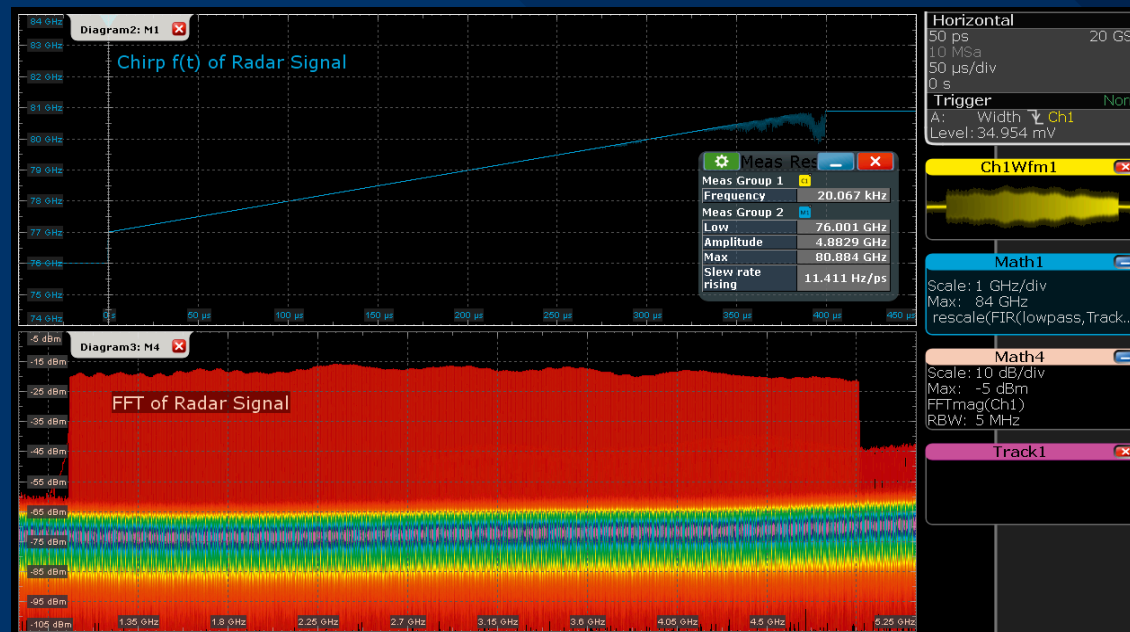


図3:適切なスケーリングとフィルタリングにより、元の周波数レンジのレーダー信号 $f_{HF}(t)$ を表示できます。測定機能を使用することで、チャープのスローレートなどの重要なパラメータが得られます。下:FFTを使用してチャープのパワープロファイルを表示できます。

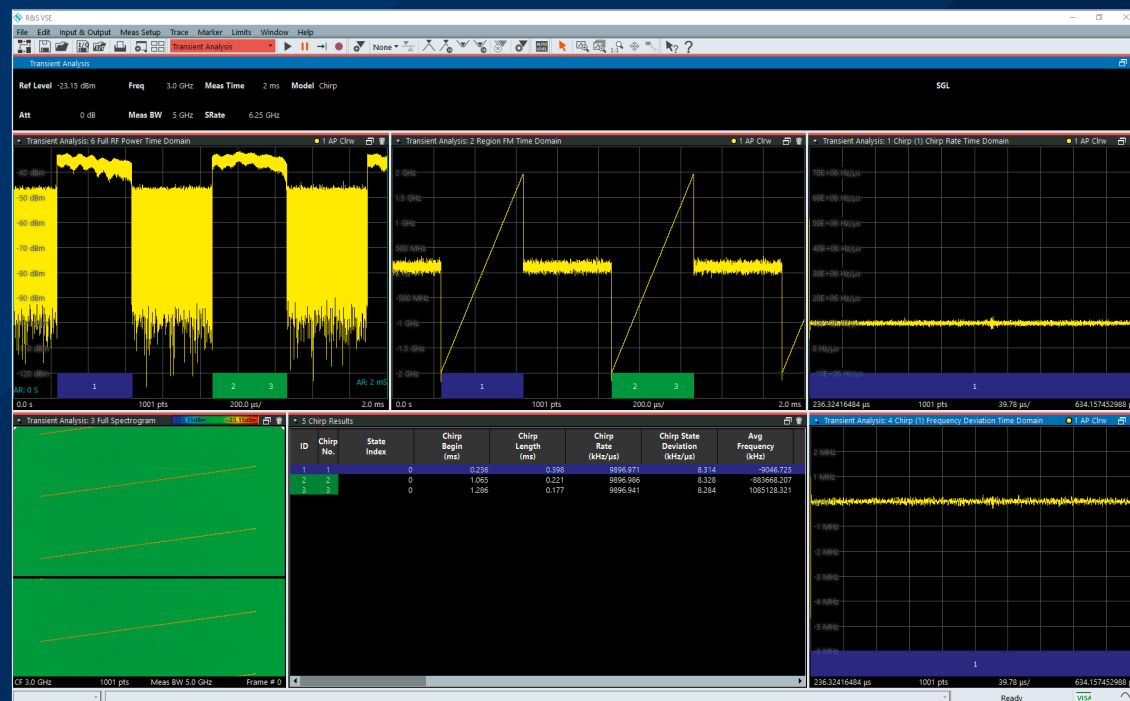


図4:R&S®VSE-K60C トランジェントチャープ測定オプションによるチャープシーケンス信号のトランジェント解析。左上にはパルスパワー対時間が表示されています。リニア周波数応答は、上中央と、左下のスペクトログラムに示されています。検出されたパルスの特性が表示形式で示されます(下中央)。特性はグラフィカル形式で詳細に調査することもできます。チャープレートと周波数偏移が右側に示されています。

マルチチャネル解析による位相／振幅差の測定

多くの車載用レーダーには、複数の送受信アンテナアレイが装備されています。これによってアンテナの指向性が決まり、ビームフォーミングとターゲットの方向検出が可能になります。例えば、送信特性を調査するには、複数のミキサをオシロスコープに対して同時に動作させることができます。セットアップは単一チャネル解析の場合と似ており、単にLO信号をすべてのミキサに分配する必要があるだけです(図1)。

位相コヒーレントレーバーとしてのオシロスコープ

オシロスコープを位相コヒーレントレーバーとして使用すると、複数の信号の間の相対的な解析が可能です。通常は、位相差や2つのスペクトラムの間の差が解析されます。R&S®RTPのFFT機能も役に立ちます。これを使用することで、2つのチャネルの信号の振幅スペクトラムを計算できます。その後、別の演算機能によって差が計算され、表示されます。

FFTによる位相特性の判定

位相測定の場合、解析範囲が狭い時間範囲に制限され、FFTによって求められた位相特性から、2つの入力チャネルの位相差が計算されます(図5)。

FFTを使用する間接的方法の利点は、時間解析範囲が広いことです。タイムドメインでの位相差の単一測定がノイズに大きく影響されるのに対し、周波数ドメインでは複数の信号周期が相互に比較されるため、測定の不確かさが大幅に減少します。



図5: チャープシーケンスのマルチチャネル測定。
パルスがタイムドメインで表示され(上)、個々の
チャネルのスペクトラムが中央に、振幅と位相の
差が左下と右下に示されています。

レーダー信号と他の信号の間の 相関によるデバッグ

レーダー信号とCANバスまたは車載イーサネット信号の同時収集

R&S®RTP オシロスコープを使用すれば、複数のアンテナ経路の振幅と位相の差を同時に測定して、レーダー信号を他の信号（電源電圧やデジタルバス信号）と相関させることができます（図6）。CANバスまたは車載イーサネット信号とレーダー信号の同時収集は、特に開発とデバッグの段階で役立ちます。レーダー信号とバスプロトコル信号の間の遅延から、レーダーセンサの解析時間を知ることができます。測定された遅延が指定された時間を超えた場合、自動運転車の配備は不可能になります。

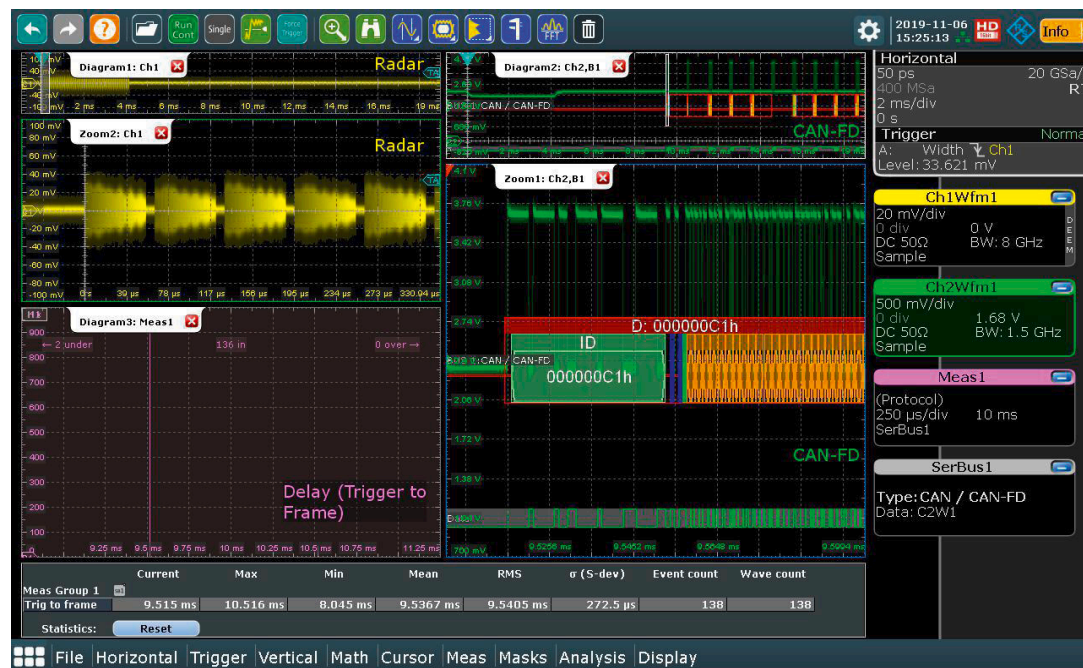
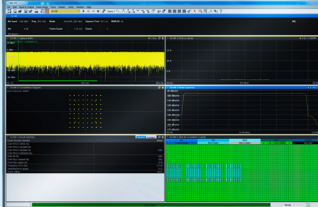


図6:レーダー信号(左)とCANプロトコルフレーム(右)の間の遅延の測定。オシロスコープはレーダー信号でトリガし、「トリガ-フレーム間」機能を使用して、レーダー信号が送信されてからプロトコル転送が開始されるまでの遅延を9.54 msと測定します(左下)。

ポートフォリオ

	タイプ	品名	アプリケーション
	R&S®RTP064/R&S®RTP084	オシロスコープ	最大4チャンネルのレーダー信号解析
	R&S®SMA100B	信号発生器	局部発振器信号源
	R&S®ZV-Z1227	パワースプリッター	2台のハーモニック・ミキサにLO信号を供給
	2×FH-SG-90	Eバンド・ホーン・アンテナ	ホーンアンテナがレーダー信号を受信
	2×R&S®FS-Z90	ハーモニック・ミキサ	ハーモニック・ミキサがレーダー信号を3 GHzのIF周波数にダウンコンバート
	R&S®RT-ZA17	整合性が取れた低損失SMAペアケーブル、長さ:1 m	両端が3.5 mmプラグのマッチドHFケーブルペア
	R&S®RT-ZA16	プレジジョンBNC-SMAアダプター	SMAコネクタとR&S®RTPのBNCコネクタの間のアダプター
	R&S®VSE	ベクトル信号解析ソフトウェア	このソフトウェアのR&S®VSE-K60C トランジェントチャープ測定オプションは過渡信号を高い確度で解析

オートモーティブ・テストソリューション

ローデ・シュワルツは、電子計測器の世界的大手メーカーとして、開発の前段階から研究開発、そして製造まで、自動車開発のあらゆるフェーズでエキスパートの高度な専門的知識を提供します。OEM、Tier 1企業、チップメーカーは、ローデ・シュワルツの信頼性の高いソリューションを使用することにより、高周波、広帯域、高速というテスト課題に対処できます。ローデ・シュワルツは、レーダーセンサ、車載イーサネットのコンフォーマンス、接続 (5G、V2X、eCall、GNSS)、EMIプリコンプライアンス、EMCのテストで業界をリードしています。また、ECUの製造過程でのインサーキット/ファンクションテスト (ICT/FCT) 用の優れたソリューションを提供しています。これらのテストソリューションはすべて、最高の品質基準に従って最大効率を実現することにより、さまざまな車載コンポーネントが正常に機能し、効率よく共存し、外部環境とエラーなく通信できるようにします。

Automotive Radar - Chirp Analysis with R&S RTP Oscilloscope Application Note

Products:
• R&S RTP • R&S VEE
• R&S VSA-100B • R&S VSC-400-4000
• R&S VSC-200

FM-CW radar sensors are used in vehicles for adaptive cruise control and for blind spot, lane change and cross traffic warnings. Radar sensors for navigation of the surroundings are key components for future vehicles with semi-autonomous and fully autonomous driving. Autonomous driving requires radar for early object detection in the surrounding area. Radar makes it possible to quickly and precisely measure the radar velocity, range and azimuth and elevation angle of multiple objects. For this reason, the automotive industry is increasingly using this technology in advanced driver assistance systems (ADAS). Rohde & Schwarz offers 3rd party solutions for generating, measuring and analyzing radar signals and components to ensure trouble-free operation of these sensors. The high-performance oscilloscope R&S RTP offers four measurement channels in the perfect solution for multi-channel measurements on MMIO radar sensors, and correlation with other signals (e.g. power rails, whereas a spectrum analyzer such as the R&S FSW80 offers highest dynamics up to 85 GHz).

This application note focuses on how to measure and analyze FM-CW radar signals with up to 8 GHz bandwidth with an R&S RTP oscilloscope. On-board analysis features for pulse and chirp analysis for single- and multi-channel measurements will be addressed as well as the combination of oscilloscope and R&S VEE software. Measurement of an FM-CW radar signal in the 77-81 GHz band with a 400 MHz bandwidth is demonstrated.

Note:
The latest version of this document is available on our homepage:
<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/GFM16>

ROHDE & SCHWARZ

レーダー信号の解析については、アプリケーションノート「車載用レーダー - R&S®RTPオシロスコープによるチャープ解析」で詳しく説明しています。

https://www.rohde-schwarz.com/applications/automotive-radar-chirp-analysis-with-r-s-rtp-oscilloscope-application-note_56280-667909.html



https://www.rohde-schwarz.com/video/77-ghz-automotive-radar-part-3-video-detailpage_251220-666562.html

ローデ・シュワルツ

Rohde & Schwarz グループは、次の各ビジネス・フィールドにおいて革新的なソリューションを提供し続けています：電子計測器、放送機器、セキュリティ通信、サイバーセキュリティ、そしてモニタリング & ネットワーク・テスト。創業80年を超えるドイツ・ミュンヘンに本社を構えるプライベート・カンパニーで、世界70カ国以上に拠点を持ち、大規模な販売・サービスネットワークを展開している会社です。

www.rohde-schwarz.com/jp

R&S® は、ドイツRohde & Schwarz の商標または登録商標です。

PD 3609.9663.96 | Version 01.00 | 7月 2020 (jr)

オンロスコープを使用した車載用 レーダー信号の解析

掲載されている記事・図表などの無断転載を禁止します。

おことわりなしに掲載内容の一部を変更させていただくことがあります。

あらかじめご了承ください。

© 2020 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG | 81671 Munich, Germany

