

IQストリーミング: フィールドマスタ プロ MS2090A リアルタイム スペクトラムアナライザ

1. はじめに

高度化、過密化する無線システムでは、スペクトラム帯域内で競合する無線信号をキャプチャして解析することが、これまで以上に重要です。その理由は、非意図的信号や不正信号を原因とする干渉です。干渉波は、高周波(HF)からミリ波(mmWave)までの通信システムに重大な影響を及ぼします。このような現象は、以前は主に実験室で解析が進められて来ました。しかし、今日ではフィールドにおいて、実際の無線信号をキャプチャして、現象を解析できるようになりました。

アンリツは、フィールドマスタ プロ MS2090A リアルタイム スペクトラムアナライザで、フィールドにおける無線信号の解析に新たな扉を開きました。

MS2090A は、無線スペクトラムの解析のために、下記 3 つの重要な性能・機能において、フィールドにおいて比類のないパフォーマンスを発揮します。

- 1. 周波数カバレッジ:54GHz まで測定可能です。無線信号を見逃しません。
- 2. 帯域幅:広帯域幅 110 MHz により、測定したスペクトラムでより多くの情報を入手できます。
- 3. リアルタイム性能:最小検出信号が5ns、極短時間の信号も検出可能です。

このアプリケーションノートで紹介するスペクトラムの IQ ストリーミングが、今日では、以前にも増して重要になっています。

MS2090A は、上記3つの特長を使用して、測定する無線信号に適したIQストリーミングを実施します。IQデータによる信号解析は、最近、急速に重要になっており、市販のソフトウェアツールを使用して、RF信号をIQデータによって詳細に解析します。

MS2090A は、高い RF 性能と広帯域幅の IQ ストリーミング機能をもつ、ユニークなフィールドポータブル スペクトラムアナライザです。

このアプリケーションノートでは、IQ ストリーミングの解説と、用途に応じた MS2090A の IQ ストリーミング設定方法 について説明します。IQ データをストリーミングした後は、MATLAB、X-COM Spectro-X など、多くの PC ソフトウェアツールで後処理(測定後のデータ解析)を実施できます。

2. フィールドマスタ プロ MS2090A で IQ データをストリーミング

2.1 IQ ストリーミングとは?

MS2090A のようなスペクトラムアナライザが RF 信号を測定する際には、測定帯域の RF 信号 (MS2090A では最大 110MHz の帯域幅)を 1 秒間に数十万回取り込み、データを高速フーリエ変換(FFT)で周波数領域に変換し、測定器 画面にスペクトラム波形を表示します。しかし、スペクトラム波形に変換される前のサンプリングデータを I と Q の成 分に分解して、より詳細なデータ解析を実施する場合があります。

IQ データ解析により、変調品質の確認や、信号再生速度を遅くしてナノ秒単位の時間分解能での信号変化を確認するな ど、信号の識別やトラッキングに役立つ信号の諸特性を解析できます。IQ ストリーミングは、スペクトラムアナライザ がスペクトラム波形を表示する前段階のサンプリングデータを、外部のストレージデバイスに転送します。転送したデ ータは、後処理(測定後のデータ解析)が実施できます。

IQ ストリーミングは、IQ データの長時間記録が可能です。この点で、IQ キャプチャとは異なります。IQ キャプチャは、 短時間の IQ データをスペクトラムアナライザの内部メモリにキャプチャします。

IQ ストリーミングは、スペクトラムアナライザのポートを経由して、IQ データを外部ストレージデバイスにストリーミ ングします。MS2090A では、イーサネット、USB 3.0、高速データ、PCIe の各ポートで IQ ストリーミングを実行でき ますが、それぞれメリットがありますのでこのアプリケーションノートでご紹介します。

2.2 ストリーミングパラメータの設定

MS2090A から IO ストリーミングを出力するには、SPA(スペクトラムアナライザ) モードまたは RTSA (リアルタイムスペクトラムアナライザ) モードの画面で "MEASURE"メニューに進みます(図 1 を参照)。"CAPTURE MODE"のメニュー で"Streaming"を選択します。ストリーミングモードでは、データストリームを設定す るための幾つかの設定があります(以下を参照)。

キャプチャ帯域幅とサンプルレート

キャプチャ帯域幅とサンプルレートは密接に関連しています(図 2 を参照)。 MS2090A は、最大 110MHz のキャプチャ帯域幅で 200MS/s のサンプルレートを 提供します(オプションによって異なります)。しかし、常に帯域幅が広ければ良い というわけではありません。キャプチャ帯域幅が広帯域になり、サンプルレートが 速くなるということは、ストレージデバイスに保存し、後で解析するデータが増え ることを意味します。キャプチャ帯域幅 110MHz のストリームは、キャプチャ帯域 幅 1MHz よりもはるかに速くストレージデバイスの容量を消費します。重要なの は、用途毎に最適な帯域幅を設定することです。

スペクトラムモニタリングを実施する無線規制当局は、可能な限り広帯域でスペク トラムを測定・確認します。これに対し、レーダ送信機の場合、信号が存在する kHz 相当のスペクトラムだけを測定・確認します。適切なキャプチャ帯域幅を設定する ことで、後処理(測定後のデータ解析)がはるかに簡単になります。



図 1 MS2090A IQ キャプチャ /ストリーミング設定メニュー



図2 キャプチャ帯域幅とサンプルレート

タイムスタンプ

IQ データサンプルごとにタイムスタンプを取得できます。これにより、時間とスペクトラムとの正確な相関を取ることができます。ただし、タイムスタンプはキャプチャデータの一部のビットを使うため、データ分解能を犠牲にするか(結果的に再生データのノイズフロアが上昇する)、より高ビット分解能でデータをキャプチャする必要があります。キャプチャデータのビット数を増やすことで、信号の分解能低下を防ぐことはできますが、ビット数が多いほどデータ量も増え、より多くのストレージ容量を消費します。

ビット分解能

無制限のビット分解能とサンプルレートが与えられると、IQ データは RF 信号を完全に再現できます。ただし、現実には、ビット分解能とサンプルレートが増えるとストリーミングするデータビット量が激増し、ギガバイトのストレージと数十ギガビット/秒のストリーミング帯域幅をすぐに消費します。また、キャプチャデータにはノイズが含まれており、より多くのビット分解能はノイズをより正確に再現するのに役立つだけで、信号の再現には寄与しなくなります。用途に適したビット分解能を選択する方法の詳細については、

https://www.anritsu.com/ja-JP/test-measurement/products/ms2090a

「**ライブラリ**」タグにある「ホワイトペーパー」からダウンロードできるホワイトペーパー 「IQ キャプチャ、ストリーミング 最適なビット分解能」をご参照ください。



3. IQ データを転送するストレージデバイスの選定

MS2090A では、IQ データを転送するストレージデバイスを幾つか選択できます。IQ データ解析が必要な用途は様々あり、用途によって IQ データの使用方法も異なります。あるアプリケーションでは、一度に大量の IQ データを取得・保存してデータ解析します。他のアプリケーションでは、携帯性が最も重要な要素となります。適切なストレージデバイスの選択は、アプリケーションによって大きく異なります。

ストレージデバイスを選択する重要な検討事項のひとつに、キャプチャ帯域幅とストリーミングのデータギャップ(データの不連続性)とのトレードオフがあります。IQ データストリーミングは、パイプの中を流れる水のようなものです。 ストレージデバイスによってパイプの大きさが異なるため、転送可能なデータ量も異なります。入力データ量が出力デ

ータ量を上回ると、最終的な IQ データファイルにデータギャップが生じます。ギャップレスストリーミング(データの不連続性がないストリーミング)には、MS2090A の RAM から転送先のストレージデバイスに十分な転送速度が必要です。MS2090A は、IQ データをサンプリングすると、RAM バッファにデータを格納した後、ストレージデバイスに転送します。その後 RAM バッファからデータを消去します。MS2090A とストレージデバイスの間のパイプが細く(十分な転送速度がなく)、RAM バッファが転送待ちの IQ データで一杯になると、MS2090A は RAM バッファへの格納を一旦止めます。これによって、最終的にストレージデバイスに転送・保存される IQ データにデータギャップが生じます。用途によっては、データギャップは重大な問題ではないかもしれません。しかし、信号評価ためにすべてのサンプルデータが必要な用途では、データギャップがテストの成功と失敗の大きな分かれ目になります。MS2090A はストリーミングをモニタし、転送速度不足によりデータギャップが発生した場合、ステータスバーに "Device transfer speed insufficient for gapless transfer at current BW/bit depth settings; some samples will be missed. "というメッセージを表示します。(図 3)

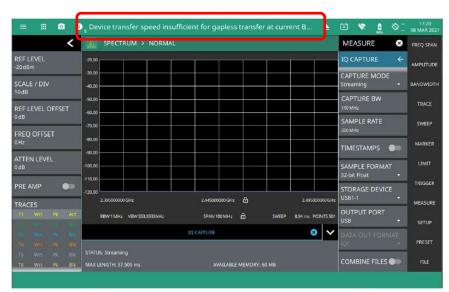


図3 転送速度が遅い場合のステータス通知 データの欠落が発生する場合

また、データ解析に必要なデータ量を検討することも重要です。前述したように、より広帯域やより高ビット分解能では、保存するデータ量が増大します。もちろん、ストリーミング時間も同様に増大します。表 1 は、ビット分解能とキャプチャ帯域幅の組み合わせで、1TB のストレージデバイスに IQ データを保存できる最大記録時間を示します。想定されるデータ量を保存するための十分な大きさのストレージデバイスを選択します。

表 1. 1TB のストレージに保存可能な IQ データ記録時間(概算) ビット分解能とキャプチャ帯域幅

ビット分解能	キャプチャ帯域幅(MHz)					
	110	50	5	0.28		
8	45 分	2 時間 25 分	23 時間 51 分	138 日 2 時間		
16	22分	1 時間 12 分	11 時間 55 分	69 日 1 時間		
32	11分	36分	5 時間 58 分	34 日 12 時間		

MS2090A は、IQ ストリーミング可能なストレージデバイスを柔軟に選択できます。IQ データは、USB 3.0 ストレージデバイス、PCIe 経由の PC、イーサネット経由の PC、または IQC5000B RF 記録/再生システム(X-COM 社)にストリーミングできます。このストレージデバイスの中には、携帯性に優れているもの(ストリーミングデータ量に制限がある)また、広帯域ストリーミングが可能なもの(追加の機器やコストが必要)があります。表 2 は、それぞれのストレージデバイスの特徴を示しており、以下で詳細に説明します。

表 2. MS2090A と IQ ストリーミングが可能なストレージデバイス

ストレージデバイスの特徴						
ストレージデバイス	利点	注意点				
USB 3.0 ストレージデバイス	サイズ小安価、入手しやすい専用ソフトが不要	・良好なパフォーマンスを得るためには、特別なフォーマット対応が必要。・ギャップレスストリーミング転送速度の限界				
PCIe (PC へのデータ転送)	フルバンドストリーミング手頃な価格、入手しやすい無償 MX280006A ソフトウェアで設定をサポート	 PCIe インタフェースカードを搭載可能なPC (小型のタワー型デスクトップ PC) が必要。 データ転送がPC の他プロセスの影響を受けることがある。 MA25101A PCIe ストリーミングキットが必要 PC は機器から 0.6 メートル (2 フィート)以内に設置。 				
イーサネット (PC へのデータ転送)	設定とコントロールが簡単特別なハードウェアを用意する必要がない。標準的なラップトップ PCで十分。	・制限された帯域幅/転送速度				
IQC5000B (X-COM社)	情報を扱う官/民の事業体での実績最大 14TB のストレージSpectro-X との連携	MA25424A コンバータキットが必要16 ビット分解能のストリーミングのみ対応				

3.1 USB 3.0 ストレージデバイス

USB ストレージデバイスへの直接ストリーミングは、MS2090A が対応する最も便利でコスト効率の高い方法です。USB ストレージデバイスは多くの家電量販店で容易に入手でき、1 バイトあたりのコストは下がり続けています、特に SSD (ソリッドステートドライブ) の容量は増え続けています。IQ データを USB ストレージデバイスにストリーミングする際の主な制限は、最大転送速度とストレージ容量です。

以下は USB ストレージデバイスに IQ データをストリーミングする際の幾つかポイントです。

- SSD デバイスは最も速い転送速度を実現します。一般的には HDD の代わりに使用します。
- デバイスを ext4 にフォーマットすると、MS2090A からの転送速度が向上しますが、ext4 は Linux OS 用に設計されています。ext4 フォーマットを行うための PC アプリケーションは、無償/有償で入手できますが、Windows PC ではデータの取り出しが困難になる場合があります。また、Linux でフォーマットされたデバイスを読むためには、別のアプリケーションが必要です。
- ストレージ容量は、広帯域 IO ストリーミングの場合は、大きい程よい。
- SSD デバイスの場合、転送速度は約 250MB/s です (ext4 にフォーマットした場合)。表 3 は、ビット分解能とキャプチャ帯域の組み合わせで、ギャップレスストリーミングに必要な転送速度を示しています。
- USB 3.0 デバイスの中には、250MB/s を大幅に上回る転送速度仕様を謳っているものもありますが、これは通常、 IQ ストリーミングとは全く異なる状況下で達成されるものです。
- スペクトラムアナライザから転送されるデータ量は、1 つのファイルで管理できるサイズを超過しているため、データは複数ファイルに分割され、ストリーミングされます。ストリーミングが終了次第、分割転送されたファイルを、すぐに自動的に1 つの大きな IQ データファイルに結合します。これは便利な機能ですが、ストリーミングの終了時に大量の処理時間がかかることがあります(処理時間はストリーミングのサイズと帯域幅に依存します)。ストリーミングが終了した直後に別のストリーミングを開始する必要がある場合、ファイルの結合処理を待てないことがあります。このような場合、MS2090A は設定メニュー"COMBINE FILES"をオフにして、分割転送したファイルの結合処理を休止できます。MS2090A は 1 つのフォルダ内に、1 つのメタデータファイルと複数の分割転送ファイルを生成します。MS2090A は分割転送されたファイルを結合するための IQ ストリーミングツールが用意されています。

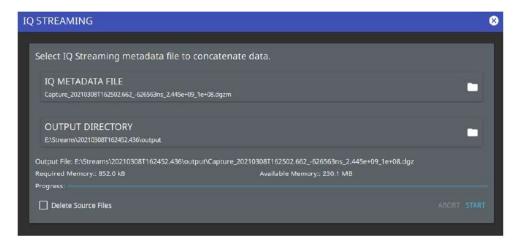
公知

このツールにアクセスするには

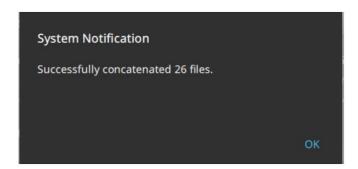
- 1. MS2090A のシステムメニューを開く **三**
- 2. "TOOLS"メニューを開く



- 3. "IQ STREAMING"を選択します。
- 4. "IQ METADATA FILE"ボタンを押して、結合するメタデータファイル(.dgzm)を選択します(メタデータファイルと分割転送ファイルは同じフォルダに保存されています)。



5. "START"ボタンを押します。ファイル結合が完了すると、MS2090A が"System Notification"のメッセージを表示し、ファイル結合が成功したことを確認できます。

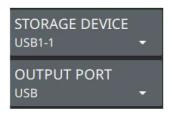


公知

表 3. MS2090A から IQ データをギャップレスストリーミングするために必要な転送速度 (MB/s)

出力 I/Q レート	帯域幅	I/Q ビット分解能			
MSPS	(MHz)	32	16	10	8
200	110	1600.00	800.00	500.00	400.00
122.88	100	983.04	491.52	307.20	245.76
100	80	800.00	400.00	250.00	200.00
92.16	74	737.28	368.64	230.40	184.32
61.44	50	491.52	245.76	153.60	122.88
50	40	400.00	200.00	125.00	100.00
46.08	36	368.64	184.32	115.20	92.16
30.72	25	245.76	122.88	76.80	61.44
25	20	20.00	100.00	62.50	50.00
23.04	18	184.32	92.16	57.60	46.08
15.36	12	122.88	61.44	38.40	30.72
12.5	10	100.00	50.00	31.25	25.00
7.68	6	61.44	30.72	19.20	15.36
6.25	5	50.00	25.00	15.63	12.50
3.84	3	30.72	15.36	9.60	7.68
3.125	2.5	25.00	12.50	7.81	6.25
1.92	1.5	15.36	7.68	4.80	3.84
1.5625	1.25	12.50	6.25	3.91	3.13
0.36	0.28	2.88	1.44	0.90	0.72
0.045	0.036	0.36	0.18	0.11	0.09

USB ストレージデバイスへのストリーミングを設定するには、MS2090A 設定メニューの"OUTPUT PORT"で"USB"を選択し、"STORAGE DEVICE"でストリーミングするデバイスを選択します。



3.2 PCIe 転送および、イーサネット転送(PC への IQ ストリーミング)

MS2090A は、PCIe またはイーサネットを介した PC への直接ストリーミングにも対応しています。

PCIe 転送は、システムの大きさ、コスト、ギャップレスストリーミング可能な帯域幅とビット分解能の点で、比類のないパフォーマンスを発揮します。16 ビットで 110MHz のデータストリーミングに対応する 800MB/s を実現できます。 一方、イーサネットは、特別なハードウェアを必要とせず、IQ データをあるストレージデバイスから PC に転送する必要がないため、利便性の高い方法です。

IQ データを USB ストレージデバイスへストリーミングする場合とは異なり、PC へのストリーミングは、スペクトラムアナライザと PC 間の転送状態を管理する必要があります。このプロセスをサポートするために、アンリツは IQ ストリーミング設定ツール MX280006A を用意しました。MX280006A は無料でダウンロード可能なソフトウェアで、機器との接続、ストリーミングパラメータの設定、ストリーミングの開始/停止、IQ データのローカルストレージへの保存を制御できます。また、ストリーミングをモニタし、転送速度の低下から生じるデータギャップに関する詳細情報を提供します。

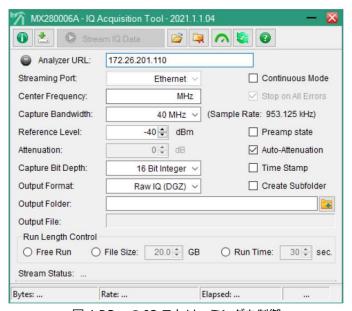


図 4 PC への IQ ストリーミングを制御 IQ ストリーミング設定ツール MX280006A

PCIe/イーサネットでの注意点は、USB ストレージデバイスへのストリーミングと同様に、転送速度です。前述のとおり、PCIe 経由のストリーミングは、他のストリーミング方法よりも高い転送速度が得られますが、この転送速度の維持は、PC のリソースおよび PC の OS に大きく依存します。ストリーミング中に他のアプリケーションのプロセスが実行されると、データ転送速度が低下し、IQ データのデータギャップが発生する可能性があります。IQ ストリーミングの十分なパフォーマンスを得るためには、PC の構成は 16GB 以上の RAM、Intel i5 以上のプロセッサ、Windows 10 オペレーティングシステムを使用することをお勧めします。また、PC の実行中アプリケーションの中で IQ ストリーミング設定ツール MX280006A の優先順位が最も高いことが理想的です。

イーサネット経由でのストリーミングも、転送速度の変動による影響を受けます。PCIe とは理由は異なり、イーサネットの帯域幅によって制限されます。PC とスペクトラムアナライザ間のイーサネットがオープンネットワークである場合、他のトラフィックがネットワーク上で送信されると、転送速度が変動してデータギャップが生じる可能性があります。ストリーミングシステムが外部のプロセスから隔離されているほど、ストリーミングは良い結果が得られます。

PCIe ストリーミングを実施するには、まずハードウェアを準備します(図 5)。PC のマザーボードに PCIe カードを装着します。PC はストリーミングに適したコネクタとインタフェースを備えている必要があります (例えばタワー型 PC)。 MA25101A PCIe ストリーミングキット (図 6) には、PCIe カード、スリム型 PC とワイド型 PC の両方に対応するブラケット、PC と MS2090A の間を接続する PCIe ケーブルが含まれています。セットアップが完了すると、図 7 のような構成になります。ハードウェアの接続を完了後、IQ ストリーミング設定ツール MX280006A を使用してストリーミングの設定と制御を実施します。詳細な手順は MX280005A ユーザーガイドに記載されています。

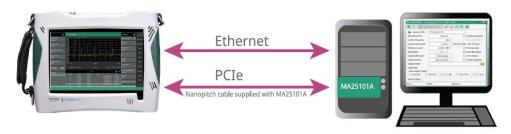


図 5 PCIe ストリーミング構成



図 6 MA25101A PCIe ストリーミングキット

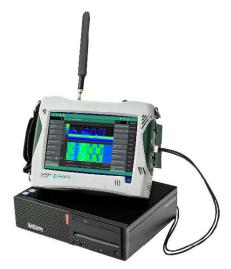


図 7 MS2090A と PC を接続して IQ ストリーミングを実行

イーサネットを経由したストリーミングは、より簡単です。MS2090A と PC が同じネットワーク上にあれば (PC が MS2090Aの IP アドレスに ping を実行できる状態)、後は IQ ストリーミング設定ツール MX280006A が管理します。

3.3 X-COM IQC500B

その他の IQ ストリーミングの実施方法は、IQC5000B RF 記録/再生システム (X-COM 社) を使用します。X-COM 社のツールは何十年も前から世界で使用されています。

IQ ストリーミングは、これまでは、ベンチトップ型のスペクトラムアナライザを使っていました。MS2090A の IQ ストリーミング機能が IQC5000B と互換になり、これまで研究室でしかできなかった測定がフィールドにおいて実施できるようになりました。IQC5000B は、800MB/s 以上の安定した転送速度をサポートしており、16 ビットの解像度で110MHz の帯域幅をフルに使ったストリーミングが可能です。また、最大 14TB のデータ保存が可能で、強力なソフトウェアツール Spectro-X (X-COM 社) とデータを統合し、IQ データの後処理(測定後のデータ解析)を実施できます。

IQC5000B へのストリーミングは、PC へのストリーミング設定と似ています。IQC5000B のソフトウェアがストリーミングを制御し、データを管理します。システム設定には、MA25424A IQ データコンバータ、USB 3.0 ケーブル、および PCIe ケーブルが必要です。MA25424A IQ データコンバータは、IQC5000B が IQ データを取り込むため、データをLVDS フォーマットに変換します。ハードウェアセットアップは、図 8 を参照してください。

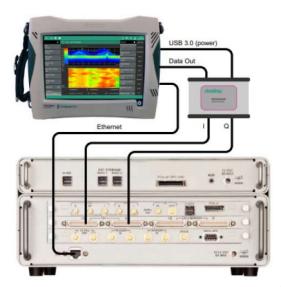
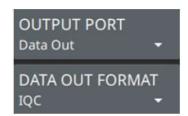


図 8 MS2090A から IQC5000B に IQ ストリーミング

ハードウェア設定

IQC5000B へのストリーミングを設定するには、MS2090A の設定メニューで"OUTPUT PORT"の"Data Out"を選択し、"DATA OUT FORMAT"で"IQC"を選択します。



4. まとめ

フィールドマスタ プロ MS2090A は、フィールドにおいて IQ データストリーミングを実施できることが、最大の特長です。 MS2090A は周波数カバレッジ、測定帯域幅、RF 性能の 3 つの高性能を、用途に応じた最適な組み合わせで IQ データストリーミングを実行します。

これは他のフィールド向けのスペクトラムアナライザには無い、価値の高い機能です。

MS2090A は、IQ ストリーミングをバッテリ駆動のコンパクトなサイズで実現しました。クラス最高の機能・性能を備えた MS2090A は、IQ ストリーミングで無線信号データ解析に新たな知見、価値をフィールドにもたらします。

関連する Web は下記です

https://www.anritsu.com/ja-JP/test-measurement/products/ms2090a



関連ビデオ

フィールドマスタ プロ MS2090A の RTSA と IQ キャプチャの具体的活用例

フィールドマスタ プロ MS2090A による IQ データキャプチャ (日本語字幕)

MS2090A とポストプロセスツール Spectro-X を使用した、IQ データ分析(日本語字幕)

関連資料

IQキャプチャ、ストリーミング 最適なビット分解能(ホワイトペーパー)

IQ キャプチャ/ストリーミングによるスペクトラムモニタリング (アプリケーションノート)

用語解説

データギャップ(データの不連続性)

ストリーミング時にデータ転送が転送速度制限を超え、データの連続性が失われること。

ギャップレスストリーミング

データギャップがない、データの連続性があるストリーミング