Advancing beyond

ベクトル信号発生器による MIMO 位相コヒーレントの実現

ベクトル信号発生器 MG3710A/MG3710E



はじめに

MIMO(Multi-Input Multi-Output)は、無線区間のデータ転送速度または品質を向上させる技術の1つで、LTE, 無線 LAN など 多くの無線規格で採用されています。従来の一般的な MIMO は、基地局を送信機に、端末を受信機にした ダウンリンク向けのシステムが主流でした。最近では、データ転送量の増加要求に応えるため、IEEE802.11n や LTE-Advanced などアップリンクでも MIMO が採用されています。今後、さらに MIMO の適用範囲は広がり、複雑度が増していく と予想されます。

本アプリケーションノートは、アンリツのベクトル信号発生器 MG3710A / MG3710E を使用して、MIMO 送信機をシミュレートするときに考慮する必要のある複数チャネル間の RF 信号の同期について説明します。

本アプリケーションノートで記載されている MIMO の評価システムをアンリツベクトル信号発生器 MG3710A / MG3710E で 実現するには、以下のオプションとファームウェアが必要です。

1stRF (いずれか一つを選択してください)
 1stRF 100kHz ~ 2.7GHz [MG3710A-032 / MG3710E-032]
 1stRF 100kHz ~ 4GHz [MG3710A-034 / MG3710E-034]
 1stRF 100kHz ~ 6GHz [MG3710A-036 / MG3710E-036]

•2ndRF (いずれか一つを選択してください)
 2ndRF 100kHz ~ 2.7GHz [MG3710A-062 / MG3710E-062]
 2ndRF 100kHz ~ 4GHz [MG3710A-064 / MG3710D-064]
 2ndRF 100kHz ~ 6GHz [MG3710A-066 / MG3710E-066]

・汎用入出力 [MG3710A-017 / MG3710E-017]
 複数台の MG3710A / MG3710E を同期させる場合に必要です。

•ファームウェア Ver. 2.02.00 以降

MIMO の概略

MIMO は、複数のアンテナを使って異なるデータを送信し、複数のアンテナで受信するシステムです。データの伝送路である アンテナを増やせば、その分単位時間当たりのデータ転送量を増やすことができるという考えに基づいています。 2本のアンテナで送信して2本のアンテナで受信するシステムを2x2 MIMO,4本のアンテナで送信して4本のアンテナで受 信するシステムを4x4 MIMOと呼びます。



図 1. 2x2 MIMO の概念図

送信機は、MIMOのチャネル数に応じたデータの流れを生成します。次に、生成されたデータの流れに対して行列演算を行い ます。この行列演算は、送信機と受信機で同じものが使用され、受信機が各アンテナで受信した混合されたチャネル信号を分 離するために使われます。行列演算が行われた各データの流れは、対応するアンテナから送信されます。受信機のアンテナは、 それぞれ送信機の複数のアンテナからの混合された信号を受信することになります。受信機は、送信機で使用された行列の逆 行列演算を行うことによって混合された信号を分離し、元のデータの流れを生成します。

一般的な MIMO では、各チャネル間で使用される RF 信号のキャリア周波数と帯域幅は同じで、かつ送信時の位相とタイミン グも同期しています。無線区間になるとアンテナ間の距離や障害物によって減衰と伝送遅延が生まれ、受信機のアンテナでは 周波数や振幅・位相などに誤差が生じます。受信機ではイコライジングなどによってこれらの誤差を補正し、データの復元を 試みます。

複数の信号発生器を使用して MIMO の送信機をシミュレートする場合も同様に、RF 信号間の位相とタイミングの同期が必要 な場合があります。送信するベースバンド信号に既知の位相・タイミング誤差を加えてそれに対する MIMO 受信機の機能・性 能をテストしたり、フェージングシミュレータを使って伝送特性に対する受信機の能力を評価したりする場合などです。

位相コヒーレントの実現

RF 信号間の位相とタイミングが同期すると RF 信号間で一定の位相差(オフセット)を持つ状態になります。 これを位相コヒーレントと呼びます。

図 2 は、ダイレクトコンバージョン方式を採用した無線送信機の簡易的なブロック図です。 1 次変調されたデジタルデータは、ベースバンド部の D/A コンバータによってアナログの IQ 信号に変換されます。 アナログ IQ 信号はダイレクトコンバージョンによって RF 信号に変換されます。



図2.ダイレクトコンバージョン方式の無線送信機構成

図3は、図2の構成を基本とした位相コヒーレントを実現するブロック図です。

位相コヒーレントを実現するには、チャネル間の送信データの開始タイミング, ローカル発振器(LO), そしてベースバンド信号のサンプリングクロック(CLK)のすべてが共有されている必要があります。



図 3. チャネル間の同期

2x2 MIMO

アンリツのベクトル信号発生器 MG3710A / MG3710E は、2 つの RF を搭載することができます。

2 つの RF を搭載した MG3710A / MG3710E を使用すれば、SG 同期機能によって簡単に、図 4 のようなブロックを構成できます。



図 4. MG3710A / MG3710E SG 同期機能によるチャネル間の同期

本アプリケーションノートでは、スペクトラムアナライザを使って RF 信号間で位相差とタイミング誤差を最小にします。 この方法は、位相差が 180 度の同じ信号を結合すると正と負の振幅が打ち消し合い、電力が最小になる性質を利用しています。



図 5. 同期対象の 2 チャネルの波形 位相差|ΔΦ|(左)と位相差 180°+|ΔΦ|(右)

図 6 のような測定系を構成します。VSG1 とコンバイナを接続するケーブルと VSG2 とコンバイナを接続するケーブルは、同じ種類・長さのものを使用してください。



Marker1 Output to Trigger Input

図 6. 2x2 MIMO のタイミング調整時の構成

ここでは、VSG1 を基準として VSG2 の位相とタイミングを調整します。

2x2 MIMO (続き)

【調整手順】

- 1. [Preset] → [F1] Preset を押して、初期化を行います。
- 2. VSG1 と VSG2 の両方において、パッケージ名「PhaseCoherence」の波形パターン「Adjustment」をロード・選択します。
- [Mode]キー →[→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG を押して Sync Multi SG ファンク ションメニューを表示します。
 - -1. [F1] Sync Type を押して、[F4] SG1&2 を選択します。
 - -2. [F4] LO Sync を On にします。
- VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを同じ値に設定します。
 Frequency 任意 (ただし、チャネル間で同じ値)
 Amplitude 任意 (ただし、チャネル間で同じ値)
 Modulation On
 RF Output On
- 5. VSG1 と VSG2 の両方において、
 - -1. [Cal] → [F2] I/Q Cal を押して、I/Q Calibration ファンクションメニューを表示します。
 - -2. [F2] Cal Type を DC に設定します。
 - -3. [F1] Execute を押して、I/Q DC Cal を実行します。
- VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを同じ値に設定します。
 ATT Hold ^{注1} On
- 7. VSG1 において、[Mode]キー→[→](ファンクションメニュー 2ページ目) → [F4] Marker Setup → [F1] Marker1 A を以下のように設定します。
 [F1] Edit Mode Sync
 [F2] Offset 0.00
 [F3] Width 10.00
- 8. VSG1 において、 [Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F2] Mode を Start [Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F3] Source を Trigger Key に設定します。
- 9. VSG1 において、[Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F8] Trigger Key を実行します。

図7は、位相調整前のスペクトラムアナライザの様子です。



図7. 位相調整前の状態

VSG1 において、[Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調 整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。 図 8 は、この時点でのスペクトラムアナライザの様子です。



図8. 位相調整1回目後の状態

10. VSG2 において、[Level]キーを押して、出力レベルを調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になる ようにします。 【調整手順】 (続き)

図9は、この時点でのスペクトラムアナライザの様子です。



図9. レベル調整後の状態

VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。 図 10 は、この時点でのスペクトラムアナライザの様子です。



図 10. 位相調整 2 回目後の状態

2x2 MIMO (続き)

【調整手順】 (続き)

- VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F8] I/Q Delay を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
- 図 11 は、この時点でのスペクトラムアナライザの様子です。



図 11. タイミング調整後の状態

この時点で、VSG1からの出力信号とVSG2からの出力信号の位相差は180°+|ΔΦ|になります。

 VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase の値を現在の設定値に対して 180°を加算した値にします。たとえば、手順 10 において 10 dgree を設定した 場合、180+10=190 degree を設定します。ただし値が 360°を超える場合は 180°を減算した値にします。

この時点で、VSG1 からの出力信号と VSG2 からの出力信号の位相差は、最小化された ΔΦ になります。

- 13. VSG1 において、チャネル#1 の波形データをロード・選択します。
- 14. VSG2 において、チャネル#2 の波形データをロード・選択します。
- 15. VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F8] Trigger Key を実行します。

以上の操作で最後に選択した波形データが位相・タイミングの差が一定かつ最小の状態で出力されます。

注*1:*

アンリツのベクトル信号発生器 MG3710A / MG3710E は、あらゆる設定条件で最高の性能を実現するため、周波数やレベル の設定によって信号の経路が最適化されています。そのため、チャネル間の位相・タイミング調整を行った後に周波数やレベ ルの設定を変更した場合は、位相・タイミング誤差の調整を再度行う必要があります。ただし、パラメータ「ATT Hold」をオ ンにしておくと、レベルを変更しても信号の経路は変わりません。

4x4 MIMO

4x4 MIMO を実現するには、2 台のアンリツのベクトル信号発生器 MG3710A / MG3710E が必要です。図 12 のような測定 系を構成します。4 つのチャネル間で送信データの開始タイミング,チャネル間のローカル発振器,そしてベースバンド信号の サンプリングクロックのすべてを共有するため、それらの信号を 2 台の MG3710A / MG3710E 間で共有します。



図 12. 4x4 MIMO の構成

(コンバイナとスペクトラムアナライザの接続は Primary MG3710A / MG3710E の VSG1・VSG2 の調整に対するもの)

共有するチャネル数が増えるとチャネル間の位相・タイミング誤差の調整手順も増えます。4x4 MIMO では、次の順番で調整 を行います。ここでは、Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 を基準として、他のチャネルの位相とタイミングを調整し ます。

ステップ 1: Primary-VSG1-Primary-VSG2 間の位相差調整

- 1. Primary-VSG1 と Primary-VSG2 の RF 出力をコンバイナで結合し、スペクトラムアナライザに入力します。
- 2. Primary MG3710A / MG3710E と Secondary MG3710A / MG3710E の両方において、[Preset] → [F1] Preset を押 して、初期化を行います。
- 3. Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 と VSG2 の両方, Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 と VSG2 の両 方において、パッケージ名「Phase Coherence」の波形パターン「Adjustment」をロード・選択します。
- Primary MG3710A / MG3710E において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG を押して Sync Multi SG ファンクションメニューを表示します。
 -1. [F1] Sync Type を押して、[F2] Primary を選択します。
 -2. [F4] LO Sync を On にします。
- Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを同じ値に設定します。
 Frequency 任意 (ただし、チャネル間で同じ値)
 Amplitude 任意 (ただし、チャネル間で同じ値)
 Modulation On
 RF Output On

4x4 MIMO (続き)

- 6. Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 と VSG2 の両方において、
 - -1. [Cal] → [F2] I/Q Cal を押して、I/Q Calibration ファンクションメニューを表示します。
 - -2. [F2] Cal Type を DC に設定します。
 - -3. [F1] Execute を押して、I/Q DC Cal を実行します。
- 7. Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを設定します。 ATT Hold ^{注1} On
- Primary MG3710A / MG3710EのVSG1において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2ページ目) → [F4] Marker Setup → [F2] Marker2 A を以下のように設定します。
 [F1] Edit Mode Sync
 [F2] Offset 0.00
 [F3] Width 10.00
- Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F4] Marker Setup → [F3] Marker3 A を以下のように設定します。
 [F1] Edit Mode Sync
 [F2] Offset 0.00
 - [F3] Width 10.00
- Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、
 [Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F2] Mode を Start
 [Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F3] Source を Trigger
 Key に設定します。
- 11. Primary-VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F8] Trigger Key を実行します。
- 12. Primary MG3710A / MG3710EのVSG2 において、
 - -1. [Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、 スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
 - -2. [Level]キーを押して、出力レベルを調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
 - -3. 再度、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調 整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
- Primary MG3710A / MG3710E の VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) →
 [F8] Sync Multi SG → [F8] I/Q Delay を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
- Primary MG3710A / MG3710E の VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase の値を現在の設定値に対して 180°を加算した値にします。値が 360°を超える場合は 180°を減算した値にします。

ステップ 2: Primary-VSG1-Secondary-VSG1 間の位相差調整

- 15. Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 と Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 の RF 出力をコンバイナで結 合し、スペクトラムアナライザに入力します。
- 16. Secondary MG3710A / MG3710E において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG を押して Sync Multi SG ファンクションメニューを表示します。
 - -1. [F1] Sync Type を押して、[F3] Secondary を選択します。

-2. [F4] LO Sync を On にします。

4x4 MIMO (続き)

- 17. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 と VSG2 の両方で、次のパラメータを同じ値に設定します。
 - Frequency任意 (ただし、チャネル間で同じ値)Amplitude任意 (ただし、チャネル間で同じ値)ModulationOnRF OutputOn
- 18. Secondary MG3710A / MG3710Eの VSG1 と VSG2の両方において、
 - -1. [Cal] → [F2] I/Q Cal を押して、I/Q Calibration ファンクションメニューを表示します。
 - -2. [F2] Cal Type を DC に設定します。
 - -3. [F1] Execute を押して、I/Q DC Cal を実行します。
- 19. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを設定します。 ATT Hold ^{注1} On
- 20. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F2] Mode を Start に設定します。
- 21. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、次の操作を行います。
 - -1. [Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、 スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
 - -2. [Level]キーを押して、出力レベルを調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
 - -3. 再度、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調 整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
- 22. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2ページ目) →
 [F8] Sync Multi SG → [F8] I/Q Delay を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。

Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase の値を現在の設定値に対して 180°を加算した値にします。値が 360°を超える場合は 180°を減算した値にします。

ステップ 3: Primary-VSG1-Secondary-VSG2 間の位相差調整

- 23. Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 と Secondary MG3710A / MG3710E の VSG2 の RF 出力をコンバイナで結合し、スペクトラムアナライザに入力します。
- 24. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG2 において、次の操作を行います。
 - -1. [Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、 スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
 - -2. [Level]キーを押して、出力レベルを調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
 - -3. 再度、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調 整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
- 25. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Delay を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
- 26. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) →
 [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase の値を現在の設定値に対して 180°を加算した値にします。値が 360°を超える
 場合は 180°を減算した値にします。

この時点で、4つのチャネル間の RF 信号の位相差は、最小になります。

- 27. Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、チャネル#1 の波形データをロード・選択します。
- 28. Primary MG3710A / MG3710E の VSG2 において、チャネル#2 の波形データをロード・選択します。

4x4 MIMO (続き)

- 29. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、チャネル#3 の波形データをロード・選択します。
- 30. Secondary MG3710A / MG3710E の VSG2 において、チャネル#4 の波形データをロード・選択します。
- 31. Primary MG3710A / MG3710E の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F8] Trigger Key を実行します。

以上の操作で最後に選択した波形データが位相・タイミングの差が一定かつ最小の状態で出力されます。

注1:

アンリツのベクトル信号発生器 MG3710A / MG3710E は、あらゆる設定条件で最高の性能を実現するため、周波数 やレベルの設定によって信号の経路が最適化されています。そのため、チャネル間の位相・タイミング調整を行った 後に周波数やレベルの設定を変更した場合は、位相・タイミング誤差の調整を再度行う必要があります。ただし、パ ラメータ「ATT Hold」をオンにしておくと、レベルを変更しても信号の経路は変わりません。

まとめ

MIMO の評価システムでは、複数の RF 信号間で厳密な位相コヒーレントを実現する必要がある場合があります。 アンリツのベクトル信号発生器 MG3710A / MG3710E を使用すると MIMO の評価システムをシンプルに構成でき、簡単に操 作できるようになります。

Advancing beyond

https://www.anritsu.com

アンリツ株式会社

お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。 記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

	ご使用の前に取扱説明書を上くお詰みのうう。正しくお使いください	210
		210
厚不 T243-0016 仲佘川県厚不巾田村町8-5		
通信計測営業本部 TEL 046-296-1244 FAX 046-296-1239		
通信計測営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248		
仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 SS30		
通信計測営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529		
名古屋〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル		
通信計測営業本部 TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485		
大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル		
通信計測営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118		
福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクェア		
通信計測営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699		
■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください	• •	
通信計測営業本部 営業推進部		
TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX : 046-296-1248		
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)		
E-mail : SJPost@zy.anritsu.co.jp		
■計測器の使用方法、その他については、下記までお問い合わせください。		
計測サポートセンター		
TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)		
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)		
E-mail: MDVPOST@anritsu.com		
■ 木製品を国外に持ち出すときけ、外国為琴お上び外国貿易法の損宅により、日本国政の	らの輸出許可またけ役務取引許可が必要とかス場合があります	
= 本設品を固力につう日うととは、力固応目的なび力固負勿広りがたになり、日本国政の また、平国の輸出管理相則に上り、日本からの再輸出には平国商務必の許可が必要と	かえ提合がおりますので、必ず敝社の営業担当までで通紋ください	
あた、小園の柵面自生が点になり、日本の うの骨制面には木園同切目の計りが必要し	なる物目があったで、かっ并任め日来担当なくと注格へんという	

公知 2022-3 MJM No. MG3710A-J-F-3-(3.01)