

ベクトル信号発生器を使用した 無線 LAN の MIMO 受信試験

MG3710A
ベクトル信号発生器

目次

はじめに.....	2
MIMO の概念.....	3
無線 LAN IEEE802.11n と MIMO	5
無線 LAN IEEE802.11n の受信試験.....	7
最小入力感度.....	7
隣接チャンネル除去.....	7
非隣接チャンネル除去.....	8
最大入力レベル.....	8
ベクトル信号発生器を使用した無線 LAN の MIMO 受信試験.....	9
アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器を使用した無線 LAN の 2x2 MIMO 受信感度試験.....	11
WLAN IQproducer で無線 LAN IEEE802.11n の信号を作成する.....	11
ベクトル信号発生器から信号を出力する.....	13
RF ポート間の信号の同期.....	14
無線 LAN IEEE802.11n の信号にフェージング効果を加える.....	17
無線 LAN 機器で受信する.....	19
まとめ.....	19

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、WiMAXなど、多くの無線規格で採用されています。もはやデータ転送速度向上の技術としてMIMOは当然のように検討または採用されるようになってつつあります。MIMOが無線LANに採用されたのは、IEEE802.11nからで、その発展形であるIEEE802.11acにも採用されました。MIMO技術を搭載した無線LAN機器はごく一般的なものとして今後も増え続けると予想されます。

MIMOは複数のアンテナを使用しますが、アンテナごとのデータ割り付けなどのMIMO処理そのものはベースバンドチップによって処理されます。無線LAN機器の開発者は、そのベースバンドチップをリファレンスデザインに基づいて配置し、必要に応じて複数のパワーアンプやアンテナを組み込みます。個々のアンテナルートが正しく動作すれば、後は動作保証されたベースバンドチップによってMIMO処理は問題なく処理されるでしょう。実際のところ、多くの無線LAN機器の開発の現場では、検証コストを下げるため、個々のアンテナルートをSISOの状態でも測定することで製品の動作テストを行っています。

しかし、このテストだけでは、最低限の動作保証はできるものの、実際にその無線LAN機器を使った場合のスループットを確認したり、より高性能な製品を生み出すための検証データを取得したりするには不十分です。検証済みのパッケージ化された無線LANチップセットやモジュールを組み込んでいても、最終製品の定量的な評価手法を模索し、確立していくとは完成品ベンダにとって必要な作業です。もしそれが実現すれば、より高性能でかつ価格の安いチップセットやモジュールの選定やトラブルシュートに役に立つばかりでなく、より効率的なアンテナの配置による無線LAN機器の性能改善や、製品の利用形態に応じて性能を落とさずにより魅力的な外観デザインを実現することも可能になるからです。

MIMO自体の技術は非常に高度な数学を使用し難解であるため、原理から理解するのは日々繁忙な一般的な無線LAN機器開発者にとって大きな障壁です。しかし、前述のとおり、MIMOを理論から正確に理解しないとMIMO対応の無線LAN機器が開発できないというわけではありません。大事なことは、様々な環境下におけるMIMO環境下の無線LAN機器の性能を定量的に評価して記録し、それを再現可能な形にし、その因果関係を理解することです。

本アプリケーションノートは、主に無線LANを搭載したモジュールまたは最終製品の設計・評価担当の方々を対象に、アンリツMG3710Aベクトル信号発生器とIQproducerを使用した無線LANデバイスのMIMO環境下における受信特性の評価方法について説明します。

本アプリケーションノートでは、MIMO環境下の無線LAN機器の性能を定量的に評価する指標としてパケット誤り率(Packet Error Rate、以下PER)を使用します。PERは、無線機の受信性能を測る指標の一つで、送信機からの送信パケット数に対する正しく受信できたパケット数の比です。SISOでPERが十分低かったにも関わらず、MIMOでPERが高ければ、その環境下ではMIMOの性能が発揮されないことを示します。そこから1つ1つパラメータを確認していくことで真の原因に近づけるようになります。

本書で使用される略語について

BCC	Binary Convolutional Code
CCA	Clear Channel Assessment
GI	Guard Interval
HT	High Throughput
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multi-Input Multi-Output
MPDU	MAC Protocol Data Unit
PER	Packet Error Rate
PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
PMD	Physical Medium Dependent
PSDU	PLCP Service Data Unit
RSSI	Received Signal Strength Indication
SISO	Single-Input Single-Output
STA	Station
STBC	Space Time Block Coding

MIMO の概念

この章では、本アプリケーションノートを読み進めるうえで前提となる MIMO についての概念についておさらいします。

無線通信における MIMO の Multi-Input・Multi-Output という言葉は、先に「入力」、後に「出力」という単語を配置しています。これは、無線の伝送路である空間に対して、複数のストリーム(信号系列)を入力し、複数のストリームを取り出すシステムを表しています。このシステムは同一の周波数を使用することが特徴です。そのため、新たな周波数資源、つまりチャンネルの帯域幅を広げたり新しいチャンネルを追加したりすることを要求しません。

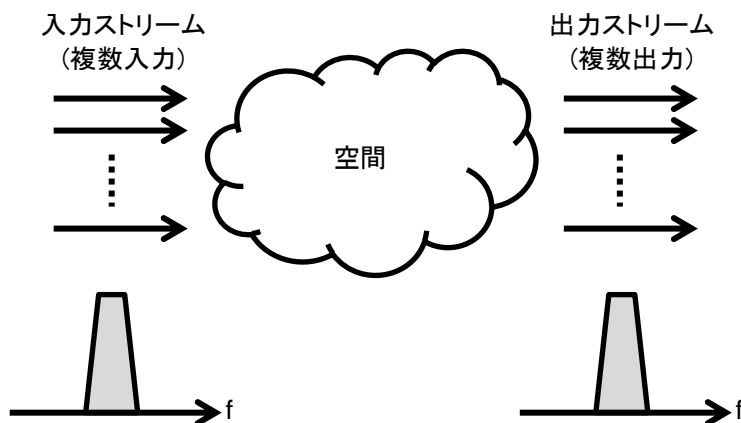


図 1. MIMO システムの基本構成

MIMO では、複数の送信アンテナを使って空間への入力ストリームを送信し、複数の受信アンテナを使って空間からの出力ストリームを受信します。各ストリームに同じ情報を流せば、いくつかのストリームの伝送品質が落ちてても、元の信号を再現できる確率が上がり、全体的な伝送品質は維持されます。一方、各ストリームに異なる情報を流せば、データ伝送量が増えることになり、伝送速度が向上します。

図 2 は、送信アンテナ数が 2 つで受信アンテナ数が 2 つの 2x2 MIMO の概念図です。送信機において 2 つのデータ系列 A と B が MIMO 信号生成処理によって 2 つのストリームになり、アンテナ 0 とアンテナ 1 から同じ周波数、タイミングで送信されます。受信機は 2 つのアンテナで受信し、MIMO 信号分離処理によってデータ系列 A と B を再現します。図 2 からわかるとおり、受信機の MIMO 信号分離ブロックに入る信号は、複数のパスからの複数のストリームが混合されています。送信側の 1 つのアンテナから受信側の 1 つのアンテナに届く経路をチャンネルと呼び、2x2 MIMO では 4 つのチャンネルがあります。

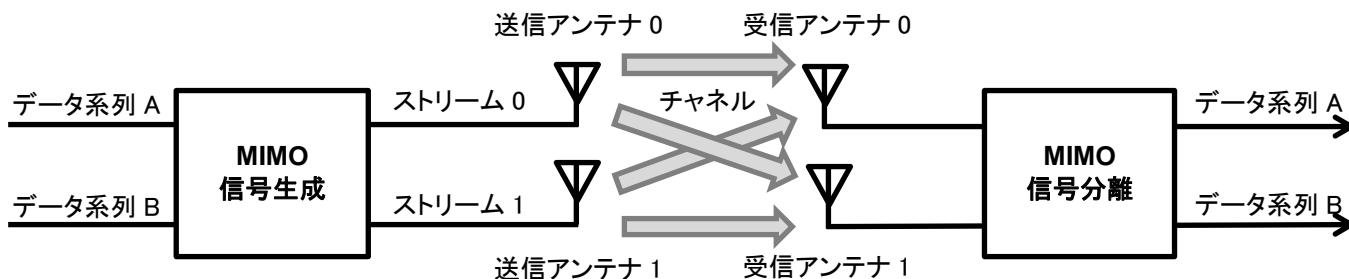


図 2. 2x2MIMO システムの概念図

通常、送信アンテナから出た電波は、室内であれば壁や物、屋外であれば地面や建物の壁などで反射され、様々な入射角で遅延時間を伴って、受信アンテナに届きます。そのため、各受信アンテナでは、振幅や位相、タイミングが異なる複数の信号(パス)を受信することになります。受信機はこれらの信号を分離して送信機が出力した元のストリームの再現を試みます。

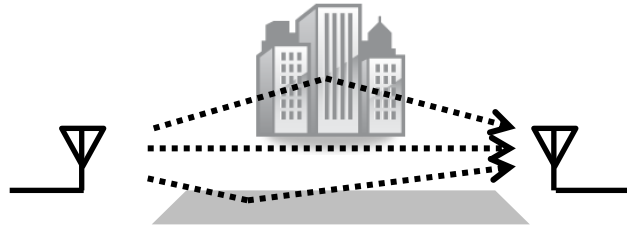


図3. 電波は様々なパスで受信アンテナに届く

ここで、受信機が混合された受信信号からどの程度元の信号を分離することができるかが問題になります。この信号の分離のしやすさを示す指標の1つが、混合されている信号どうしの相関性です。相関とは、2つの事象が密接にかかわり合っていることを言います。たとえば、2つの信号がほとんど同じ特性を持っていれば相関性は非常に高いと言えます。逆に、ほとんど類似性が見られないのであれば相関性は低いと言えます。信号分離の過程では、混合されている信号データから特定の信号パターンを数学的に処理して抽出します。このとき、信号どうしの相関性が高いと、抽出対象以外の信号を排除しようとする、抽出したい信号の多くも一緒に排除されてしまいます。信号どうしの相関性が低ければ、抽出対象以外の信号だけが排除され、希望の信号が取り出せます。MIMOでは、各システムの利用形態(伝搬モデル)に応じて、受信機が相関性の低い混合信号を受信できるように、送信機においてストリーム信号を生成しますが、空間伝搬中にも様々な障害物によって信号の振幅や位相が変化し、相関性は変化します。これは、いわゆるフェージング現象がMIMOシステムの性能に大きく関わっていることを意味します。

無線 LAN IEEE802.11n と MIMO

無線 LAN に初めて MIMO が採用されたのが IEEE802.11n です。IEEE802.11n では最大 4 つの空間ストリームを使用できます。IEEE802.11n において、最も効率の良い変調方式とコーディング・レートの組み合わせである 64QAM・5/6 で、4 つの空間ストリームを使えば、ガードインターバル(GI)が 400ns のとき、理論上毎秒 600Mビットの伝送速度を実現できます。

コーディング・レートとは誤り訂正符号(畳み込み符号)の符号化率のことで、数値が高いほど高い効率、つまり伝送量が多くなります。ガードインターバルとは単位当たりの信号に含まれるいわば「のりしろ」で、ガードインターバルが長いほど信号の遅延に対する耐性が高まりますが、含まれる正味のデータ量が少なくなるので伝送量は少なくなります。

無線 LAN IEEE802.11n の物理層では、MCS(Modulation and Coding Scheme)という値を使って変調方式やコーディング方式、空間チャネル数を表します。MCS が 0~32 の場合、各空間ストリームに使用される変調方式は同じです。MCS が 33 以上になると、空間ストリームごとに使用する変調方式が異なります。MCS は、IEEE802.11n のフレーム・フォーマットが IEEE802.11a 互換モード(Non-HT)以外であるミックス(HT-mixed)フォーマットかグリーンフィールド(HT-Greenfield)フォーマットのときに適用されます。

表 1. IEEE802.11n MCS 一覧(すべてのストリームに同じ変調方式を使用する場合)

MCS	変調方式	R	空間 ストリーム数	データ転送速度(Mb/s)			
				20MHz 帯域幅		40MHz 帯域幅	
				800ns GI	400ns GI	800ns GI	400ns GI
0	BPSK	1/2	1	6.5	7.2	13.5	15.0
1	QPSK	1/2	1	13.0	14.4	27.0	30.0
2	QPSK	3/4	1	19.5	21.7	40.5	45.0
3	16QAM	1/2	1	26.0	28.9	54.0	60.0
4	16QAM	3/4	1	39.0	43.3	81.0	90.0
5	64QAM	2/3	1	52.0	57.8	108.0	120.0
6	64QAM	3/4	1	58.5	65.0	121.5	135.0
7	64QAM	5/6	1	65.0	72.2	135.0	150.0
8	BPSK	1/2	2	13.0	14.4	27.0	30.0
9	QPSK	1/2	2	26.0	28.9	54.0	60.0
10	QPSK	3/4	2	39.0	43.3	81.0	90.0
11	16QAM	1/2	2	52.0	57.8	108.0	120.0
12	16QAM	3/4	2	78.0	86.7	162.0	180.0
13	64QAM	2/3	2	104.0	115.6	216.0	240.0
14	64QAM	3/4	2	117.0	130.0	243.0	270.0
15	64QAM	5/6	2	130.0	144.4	270.0	300.0
16	BPSK	1/2	3	19.5	21.7	40.5	45.0
17	QPSK	1/2	3	39.0	43.3	81.0	90.0
18	QPSK	3/4	3	58.5	65.0	121.5	135.0
19	16QAM	1/2	3	78.0	86.7	162.0	180.0
20	16QAM	3/4	3	117.0	130.0	243.0	270.0
21	64QAM	2/3	3	156.0	173.3	324.0	360.0
22	64QAM	3/4	3	175.5	195.0	364.5	405.0
23	64QAM	5/6	3	195.0	216.7	405.0	450.0
24	BPSK	1/2	4	26.0	28.9	54.0	60.0
25	QPSK	1/2	4	52.0	57.8	108.0	120.0
26	QPSK	3/4	4	78.0	86.7	162.0	180.0
27	16QAM	1/2	4	104.0	115.6	216.0	240.0
28	16QAM	3/4	4	156.0	173.3	324.0	360.0
29	64QAM	2/3	4	208.0	231.1	432.0	480.0
30	64QAM	3/4	4	234.0	260.0	486.0	540.0
31	64QAM	5/6	4	260.0	288.9	540.0	600.0
32	BPSK	1/2	1	n/a	n/a	6.0	6.7

R:コーディング・レート

表 2. IEEE802.11n MCS 一覧(ストリームごとに異なる変調方式を使用する場合)

MCS	変調方式				R	データ転送速度(Mb/s)			
	ストリーム					20MHz 帯域幅		40MHz 帯域幅	
	1	2	3	4		800ns GI	400ns GI	800ns GI	400ns GI
33	16QAM	QPSK	-	-	1/2	39	43.3	81	90
34	64QAM	QPSK	-	-	1/2	52	57.8	108	120
35	64QAM	16QAM	-	-	1/2	65	72.2	135	150
36	16QAM	QPSK	-	-	3/4	58.5	65.0	121.5	135
37	64QAM	QPSK	-	-	3/4	78	86.7	162	180
38	64QAM	16QAM	-	-	3/4	97.5	108.3	202.5	225
39	16QAM	QPSK	QPSK	-	1/2	52	57.8	108	120
40	16QAM	16QAM	QPSK	-	1/2	65	72.2	135	150
41	64QAM	QPSK	QPSK	-	1/2	65	72.2	135	150
42	64QAM	16QAM	QPSK	-	1/2	78	86.7	162	180
43	64QAM	16QAM	16QAM	-	1/2	91	101.1	189	210
44	64QAM	64QAM	QPSK	-	1/2	91	101.1	189	210
45	64QAM	64QAM	16QAM	-	1/2	104	115.6	216	240
46	16QAM	QPSK	QPSK	-	3/4	78	86.7	162	180
47	16QAM	16QAM	QPSK	-	3/4	97.5	108.3	202.5	225
48	64QAM	QPSK	QPSK	-	3/4	97.5	108.3	202.5	225
49	64QAM	16QAM	QPSK	-	3/4	117	130.0	243	270
50	64QAM	16QAM	16QAM	-	3/4	136.5	151.7	283.5	315
51	64QAM	16QAM	QPSK	-	3/4	136.5	151.7	283.5	315
52	64QAM	64QAM	16QAM	-	3/4	156	173.3	324	360
53	16QAM	QPSK	QPSK	QPSK	1/2	65	72.2	135	150
54	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	1/2	78	86.7	162	180
55	16QAM	16QAM	16QAM	QPSK	1/2	91	101.1	189	210
56	64QAM	QPSK	QPSK	QPSK	1/2	78	86.7	162	180
57	64QAM	16QAM	QPSK	QPSK	1/2	91	101.1	189	210
58	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	1/2	104	115.6	216	240
59	64QAM	16QAM	16QAM	16QAM	1/2	117	130.0	243	270
60	64QAM	64QAM	QPSK	QPSK	1/2	104	115.6	216	240
61	64QAM	64QAM	16QAM	QPSK	1/2	117	130.0	243	270
62	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	1/2	130	144.4	270	300
63	64QAM	64QAM	64QAM	QPSK	1/2	130	144.4	270	300
64	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	1/2	143	158.9	297	330
65	16QAM	QPSK	QPSK	QPSK	3/4	97.5	108.3	202.5	225
66	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	3/4	117	130.0	243	270
67	16QAM	16QAM	16QAM	QPSK	3/4	136.5	151.7	283.5	315
68	64QAM	QPSK	QPSK	QPSK	3/4	117	130.0	243	270
69	64QAM	16QAM	QPSK	QPSK	3/4	175.5	195.0	283.5	315
70	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	3/4	156	173.3	324	360
71	64QAM	16QAM	16QAM	16QAM	3/4	175.5	195.0	364.5	405
72	64QAM	64QAM	QPSK	QPSK	3/4	156	173.3	324	360
73	64QAM	64QAM	16QAM	QPSK	3/4	175.5	195.0	364.5	405
74	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	3/4	195	216.7	405	450
75	64QAM	64QAM	64QAM	QPSK	3/4	195	216.7	405	450
76	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	3/4	214.5	238.3	445.5	495

R:コーディング・レート

無線 LAN IEEE802.11n の受信試験

この章では、受信機の性能に関わる主要な試験内容について解説します。IEEE802.11n は物理層の受信規格を「20.3.22 HT PMD receiver specification」(IEEE Std 802.11n-2009)で記載しています。ここで記載されている各試験の測定条件は、MIMO 試験でも基準とすることができます。

表 3. IEEE802.11n 物理層の受信試験項目

項目番号	試験名
20.3.22.1	Receiver minimum input sensitivity (受信感度)
20.3.22.2	Adjacent channel rejection (隣接チャンネル除去)
20.3.22.3	Nonadjacent channel rejection (非隣接チャンネル除去)
20.3.22.4	Receiver maximum input level (最大入力レベル)
20.3.22.5	CCA sensitivity
20.3.22.6	Received channel power indicator (RCPI) measurement
20.3.22.7	Reduced interframe space (RIFS)

最小入力感度

この試験は、一般的に言われる「受信感度試験」で、PER が 10%未満でなければならない最小入力レベルが表 4.の規定値以下であることを確認します。ここでいう入力レベルとは、受信機のアンテナポートで測定した平均電力です。空間ストリームの数は送信機と受信機のアンテナの数と一致していなければなりません。アンテナポート間はケーブルで接続します。この試験は、4096 オクテット長のパケットにおいて、誤り訂正は BCC、MCS は 0 から 31 の範囲、GI 長は 800ns にして行います。

この試験では、STBC 処理を無効にします。STBC とは、データ転送品質を向上させるための送信ダイバーシティ技術の 1 つで、空間ストリーム信号系列を生成した後に、各アンテナで送信するデータの内容を行列式によって多重化する処理です。

表 4. 最小入力感度

変調方式	R	20MHz 帯域幅 [dBm]	40MHz 帯域幅 [dBm]
BPSK	1/2	-82	-79
QPSK	1/2	-79	-76
QPSK	3/4	-77	-74
16QAM	1/2	-74	-71
16QAM	3/4	-70	-67
64QAM	2/3	-66	-63
64QAM	3/4	-65	-62
64QAM	5/6	-64	-61

隣接チャンネル除去

この試験では、最小入力レベルより 3dB 高いレベルの希望波に対して、PER を測定しながら隣接チャンネルにある妨害波のレベルを上げていきます。そして、PER が 10%になったところでの希望波に対する妨害波のレベル差が表 5.の規定値以上であることを確認します。

20MHz 帯域幅の試験の場合、5GHz 帯域では 20MHz 離れたところに、2.4GHz 帯域では 25MHz 離れたところの隣接チャンネルに妨害波を配置します。40MHz 帯域幅の試験の場合、帯域に関わらず 40MHz 離れたところの隣接チャンネルに妨害波を配置します。妨害波は OFDM 信号で希望波とは同期していないことが必要で、かつこの試験の定義レベルは表 4 と同様、かつ信号のオン区間とオフ区間の比は 50%以上でなければなりません。

この試験は、4096 オクテット長のパケットにおいて、誤り訂正は BCC、MCS は 0 から 31 の範囲、GI 長は 800ns、STBC は無効にして行います。

表 5. 隣接／非隣接チャンネル除去

変調方式	R	隣接チャンネル除去レベル [dB]	非隣接チャンネル除去レベル [dB]
BPSK	1/2	16	32
QPSK	1/2	13	29
QPSK	3/4	11	27
16QAM	1/2	8	24
16QAM	3/4	4	20
64QAM	2/3	0	16
64QAM	3/4	-1	15
64QAM	5/6	-2	14

非隣接チャンネル除去

この試験は、最小入力レベルより 3dB 高いレベルの希望波に対して、PER を測定しながら非隣接チャンネルにある妨害波のレベルを上げていきます。そして、PER が 10% になったところでの希望波に対する妨害波のレベル差が表 5. の規定値以上であることを確認します。

この試験は、5GHz 帯域に対してのみ行います。20MHz 帯域幅の試験の場合、40MHz 以上離れたところに妨害波を配置します。40MHz 帯域幅の試験の場合、80MHz 以上離れたところに妨害波を配置します。妨害波は OFDM 信号で希望波とは同期していないことが必要で、かつこの試験の定義レベルは表 4 と同様、かつ信号のオン区間とオフ区間の比は 50% 以上でなければなりません。

この試験は、4096 オクテット長のパケットにおいて、誤り訂正は BCC、MCS は 0 から 31 の範囲、GI 長は 800ns、STBC は無効に行います。

最大入力レベル

この試験は、受信機の各アンテナに対して次のレベルの信号を入力し、PER が 10% を超えないことを確認します。この試験は、4096 オクテット長のパケットにおいて、いずれかの変調方式に対して行います。

表 6. 最大入力レベル

帯域	最大入力レベル [dBm]
2.4GHz	-30
5GHz	-20

ベクトル信号発生器を使用した無線 LAN の MIMO 受信試験

MIMO システムの評価対象には次のようなものが考えられます。

MIMO システムの評価対象の例

- 空間伝送路／フェージング環境
- 送信機または受信機のアンテナ特性
- 送信機または受信機のベースバンド／モデム回路
- 受信機特性試験(受信感度など)……………本アプリケーションで取り上げる内容
- システムの性能(スループットなど)
- システムの通信プロトコル(パケット解析)

本アプリケーションノートでは、ベクトル信号発生器を活用した試験として「受信機特性試験」を取り上げます。また、試験条件の 1 つとして一部フェージングについて取り上げます。

単純に評価対象の無線 LAN 機器が動作するかどうかを確認するのであれば、基準となるアクセスポイントに対して通常の使用状態にした無線 LAN 機器が MIMO 状態で通信できるかを確認するだけで済みます。受信レベルの調整も大まかであれば機器間の距離を調整することである程度目安はつくかもしれませんが、また、フェージングも機器の間に壁や障害物を置くことで実験可能です。

しかし、これらの簡易的な方法にはいくつかの欠点があります。先ずそのような実験空間がいつも利用可能であるとは限らず、受信レベルを調整するために機器間の距離を調整するのは時間がかかります(無線 LAN の一般的な通信距離は数十メートルから数百メートルです)。また、大抵の無線 LAN 機器には RSSI と呼ばれる受信レベルモニタついていますが、精度が良いとは言えません。フェージング環境の構築も実際の障害物を置く作業には時間も、場合によっては人手もかかります。何より特定の伝送路の物理的な表現とその再現を行うこと自体が難しいかもしれません。

そこで、評価対象の無線 LAN 機器が受信する信号をベクトル信号発生器から出力することを考えます。ベクトル信号発生器を使うことの主な利点は次のとおりです。

MIMO 受信試験におけるベクトル信号発生器の利点

- 出力レベルが非常に正確で幅広い範囲で調整できる
- 決められた信号パターンを繰り返し再生できる
- 信号生成ソフトウェアによって簡単に信号パターンを生成・カスタマイズできる
- RF ポート間で位相とタイミングが同期させた信号を出力することができる(一部の機種に限ります)

つまり、ベクトル信号発生器を使用することによって、限られたスペースで簡単に MIMO 受信試験の評価環境を実現できるのです。

なお、2つのベクトル信号発生器の間で位相とタイミングの同期をとるためには、ローカル信号(LO)とベースバンド信号(BB)が共有されている必要があります。また、無線 LAN 機器がベクトル信号発生器からの信号を受信するには、通信が確立するまでのプロトコルを介する必要がある「テストモード」に対応している必要があります。

フェージング環境の実現にはチャネルシミュレータを使用することも可能ですが、一般的にチャネルシミュレータは大変高価で、使いこなすにも高度な知識が必要です。そこで、信号生成ソフトウェアを使って、あらかじめフェージング効果を与えた信号パターンを作成しておき、ベクトル信号発生器から出力すれば、チャネルシミュレータを使うのと同じ効果を得ることができます。信号パターンそのものを保存しておけば、評価のたびに信号を生成、つまりパラメータを調整する必要はありません。

アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器は、全く同じ性能と周波数出力範囲を持つ 2つの RF ポートを搭載でき、かつ追加のケーブルを接続する必要なく RF ポート間で位相とタイミングを同期させた信号を出力することができるベクトル信号発生器です。

無線 LAN 信号の作成にはアンリツ MX370111A WLAN IQproducerTMが便利です。このソフトウェアを使用すれば、無線 LAN IEEE802.11a/b/g/n/ac/j/p 規格の信号パターンを、必要なパラメータを設定するだけで簡単に生成できます。さらに、アンリツ MX370107A Fading IQproducerTMを使えば、作成済みの無線 LAN 信号にフェージング効果を加えた信号パターンを生成できます。作成した信号パターンはアンリツ MG3710A ベクトル信号発生器に転送して出力します。2つの RF ポートを搭載したアンリツ MG3710A ベクトル信号発生器と信号生成ソフトウェア IQproducerTMを使用すれば、フェージング効果を与えた 2x2MIMO の無線 LAN 信号を 1 台のベクトル信号発生器で実現することができます。

図 4 は、実際の機器を利用形態にあわせて試験する場合です。機材コストは安く、試験系も複雑ではありません。また、受信機をテストモードに移行させる必要もありません。しかし、精度の高い設定や、定量化された環境の構築、そして試験結果の再現性を得ることは難しく、試験時間も長くなりがちです。



図 4. 実環境での試験ブロック図

図 5 は、一般的なベクトル信号発生器とチャネル・シミュレータを使う場合です。この方法は、フェージング環境の設定をリアルタイムで設定できる点が特長ですが、高価な機材をそろえる必要があり、使いこなすために高度な知識も要求されます。

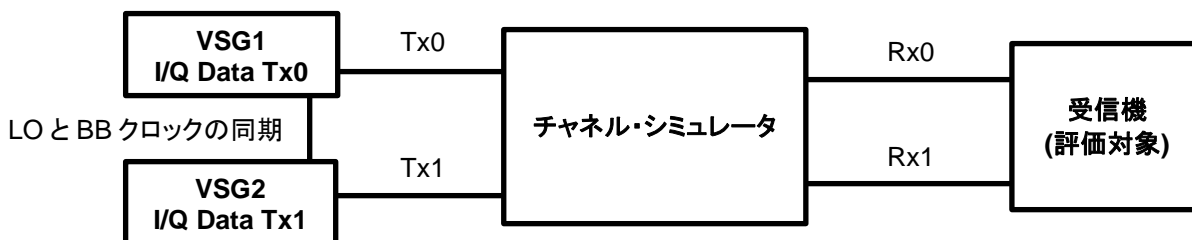


図 5. 一般的なベクトル信号発生器とチャネル・シミュレータを使用した試験ブロック図

図 6 は、アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器と信号生成ソフトウェア IQproducer™を使用する場合です。使用する測定器は、1 台の 2RF ポート搭載 MG3710A ベクトル信号発生器だけです。MG3710A ベクトル信号発生器から直接フェージング効果を与えた信号を出力します。使用する信号パターンは信号生成ソフトウェア IQproducer™で作成しておきます。

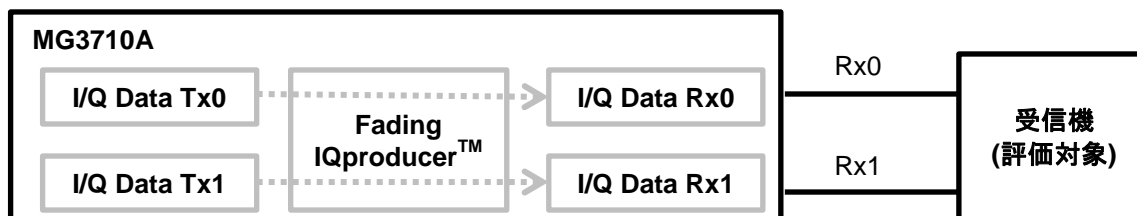


図 6. アンリツ MG3710A と IQproducer™を使用した試験ブロック図

表 7 は、図 5・図 6・図 7 で取り上げた 2x2 MIMO の一般的な試験ブロック図とその特徴を比較したものです。

表 7. 試験系の比較

試験系	定量化された環境構築と再現性	試験系の複雑さ	機材コスト
実環境	困難 ×	低い ◎	低い ◎
一般的なベクトル信号発生器とチャネル・シミュレータの使用	高い ◎	高い △	高い ×
アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器と信号生成ソフトウェア IQproducer™の使用	高い ○	低い ○	低い ○

アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器を使用した無線 LAN の 2x2 MIMO 受信感度試験

ここからは、実際にアンリツ MG3710A ベクトル信号発生器と信号生成ソフトウェア IQproducer™を使った、無線 LAN の 2x2 MIMO 受信感度試験の例を紹介します。

この試験は、表 8 の条件で IEEE802.11n の信号を作成します。そして、ベクトル信号発生器から出力し、無線 LAN 機器で受信して PER で評価します。

なお一般的に、PER のモニタを行うためには、その無線 LAN 機器のベースバンドモデムチップセットに対応した制御アプリケーションが必要です。

表 8. 試験条件

条件	受信機アンテナ端での入力レベル	フェージング	パス間の相関性
1	最大入力レベル	なし	—
2	最小入力感度レベル	なし	—
3	最小入力感度レベル	あり	低
4	最小入力感度レベル	あり	中
5	最小入力感度レベル	あり	高

この試験では、表 9 の無線 LAN 信号と表 10 のフェージング環境を使用します。

表 9. 無線 LAN 信号のパラメータ

パラメータ	値
中心周波数	2412 MHz
帯域幅	40MHz
MCS	15 (64QAM R=5/6 空間ストリーム数 2)
PSDU	4096 オクテット
GI	800ns
送信パケット数	1000

表 10. フェージング環境

パラメータ	値
プロファイル	モデル A(IEEE 802.11-03/940r) 典型的なオフィス・見通し無し
移動速度	10.8 km/h
ドップラー周波数	24.137 Hz
パス	1
タイプ	レイリー(Rayleigh)

この試験で使用する機材は次の通りです。特に記載が無い場合、測定器やソフトウェアは初期状態(初期値)であるとしします。

- 試験対象の無線 LAN 機器
- 無線 LAN 機器の制御と PER をモニタする PC
- 無線 LAN の電力を測定できるシグナルアナライザまたは電力計(必要な場合)
- アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器 オプション 17、36、66 付 (以下、この章では「MG3710A」と表記します)
下記 IQproducer™ 波形ライセンスがインストールされている必要があります。
- アンリツ MX370111A WLAN IQproducer™ (以下、この章では「WLAN IQproducer」と表記します)
- アンリツ MX370107A Fading IQproducer™ (以下、この章では「Fading IQproducer」と表記します)
- その他各種ケーブル、コネクタ類

MG3710A のファームウェアはバージョン 2.01.00 以降、IQproducer はバージョン 14.01 以降を使用します。

WLAN IQproducer で無線 LAN IEEE802.11n の信号を作成する

ここでは、この試験で基本となる無線 LAN の信号パターンを作成します。

【手順：無線 LAN 信号の作成】

1. MG3710A において IQproducer を起動します。

以下、IQproducer の手順です。

2. System(Non-Cellular)タブにある「WLAN」を選択します。

以下、WLAN IQproducer の手順です。

3. Normal Setup ボタンを押します。

4. Common > System の値を「11n」に設定します。

5. Common > Bandwidth の値を「40」MHz に設定します。

6. Common > Number of Packets の値を「1000」に設定します。

7. Common > Repeat Count の値を「1」に設定します。

8. 画面左のツリーにある「MPDU」を選択し、画面右に「MPDU」設定ウインドウを表示します。

9. MPDU > MCS の値を「15」に設定します。

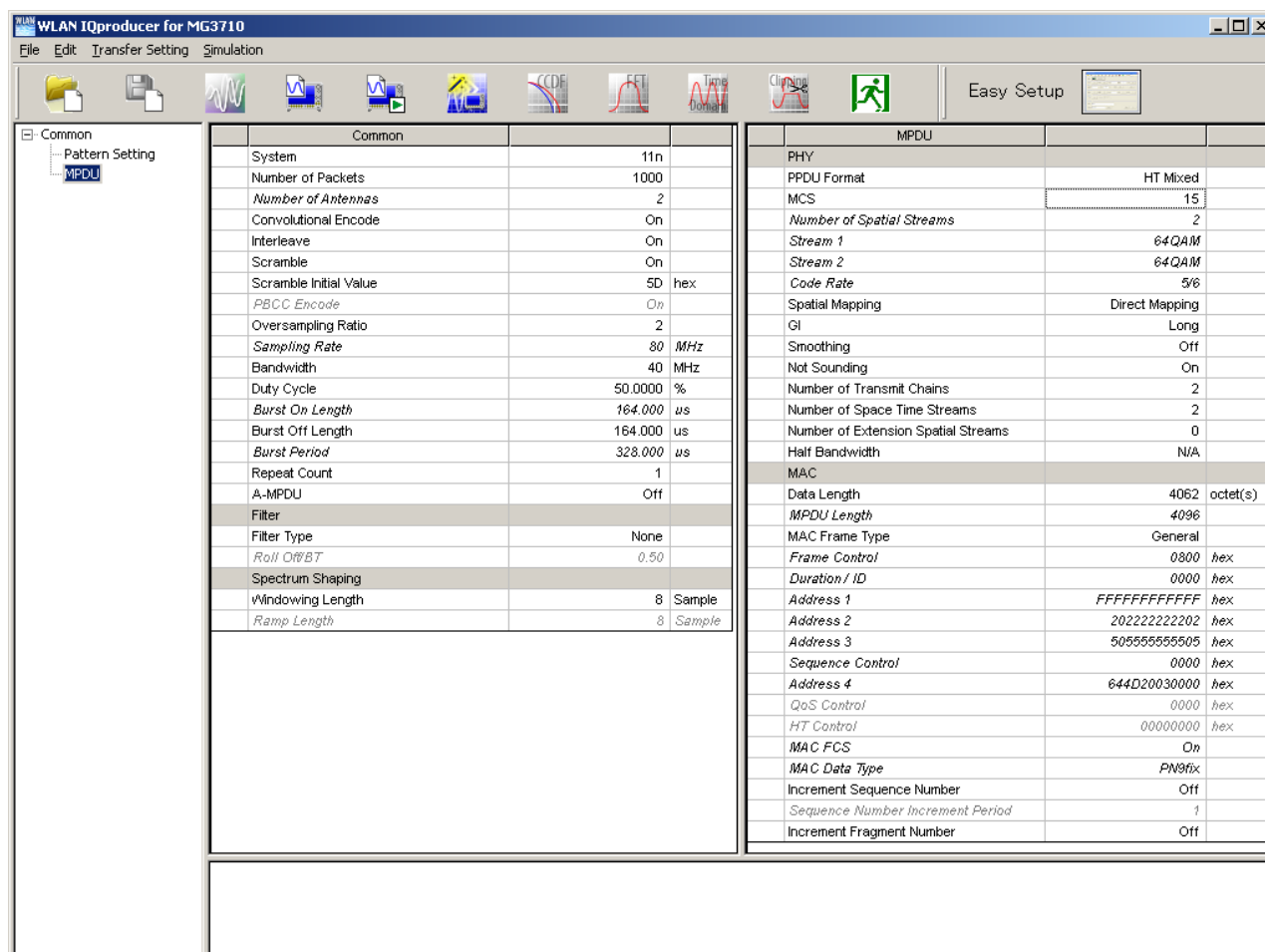


図 7. 無線 LAN IEEE802.11n のパラメータ設定

以上で、表 9 で定義された無線 LAN パラメータの設定は終了です。

10. 「Calculation」ボタンを押し、波形パターンファイルを生成します。

11. ここでは、ファイルの名前を「Test1」とします。この名前は Tx0 と Tx1 の信号のセットの名前であり、ファイルは 2 つ生成され、それぞれファイル名の末尾に「_0」と「_1」が付けられます。

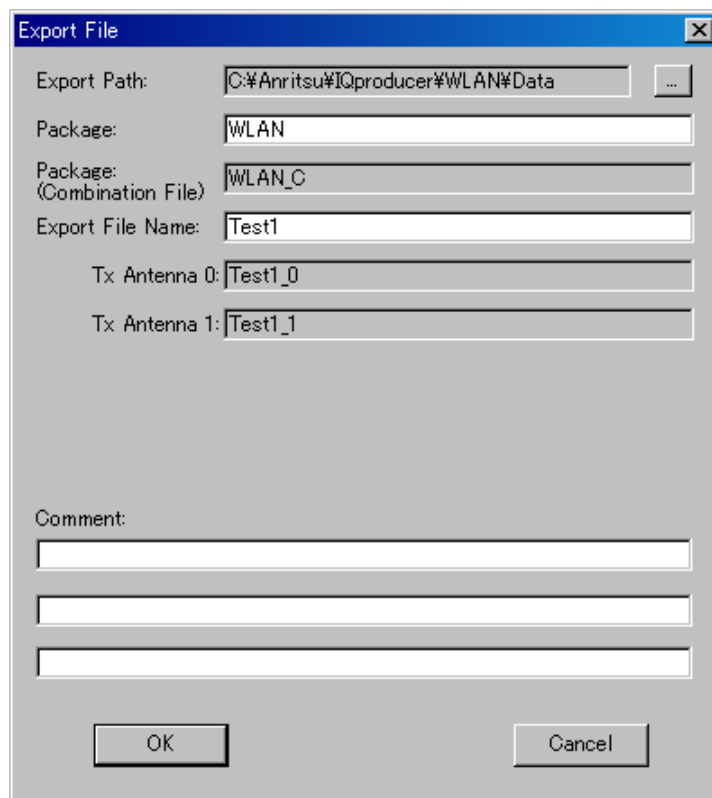


図 8. パターンファイルの生成画面

12. 「OK」を押してファイルを作成します。
ファイルは、MG3710A の中のフォルダ「C:\Anritsu\MG3710A\User Data\Waveform\WLAN」と「C:\Anritsu\MG3710A\User Data\Waveform\WLAN_C」の中に出力されます。

ベクトル信号発生器から信号を出力する

MG3710A の SG1 と SG2 それぞれに対して、波形パターンのロードと選択、およびアンテナ端での電力の調整を行います。

【手順： 波形パターンのロードと選択】

1. MG3710A において[SG1]キーを押して SG1 に対する操作を行います。(SG2 の場合は[SG2]キーを押します)。
2. [Load]キーを押します。
3. 画面左側の「Packages」下にある表のスクロールバーを動かし、「WLAN」というパッケージ名を選択します。パッケージとは、波形パターンファイルが入っているフォルダの名前で、波形パターンのグループ名を示します。
4. 画面右側の「Patterns in Package : WLAN」の表の中から「Test1_0」(SG2 の場合は「Test1_1」)を選択します。
5. [F6]Load Pattern を選択し、波形パターンをロードします。
6. [Select]キーを押します。
7. 画面左側の「Packages」下にある表のスクロールバーを動かし、「WLAN」というパッケージ名を選択します。
8. 画面右側の「Patterns in Package : WLAN」の表の中から「Test1_0」(SG2 の場合は「Test1_1」)を選択します。
9. [F6]Select を選択し、波形パターンを選択します。

この手順は、他の名前波形パターンをロード・選択するときも同じです。

続いて、無線 LAN の信号を出力し、受信機のアンテナ端での電力が希望する値になるよう調整します。この作業の目的は、ベクトル信号発生器と受信機の間を結ぶケーブルによる電力の減衰量を確認することです。必要に応じて実施してください。

【手順：アンテナ端での電力の調整】

図 9 のような系を構成します。

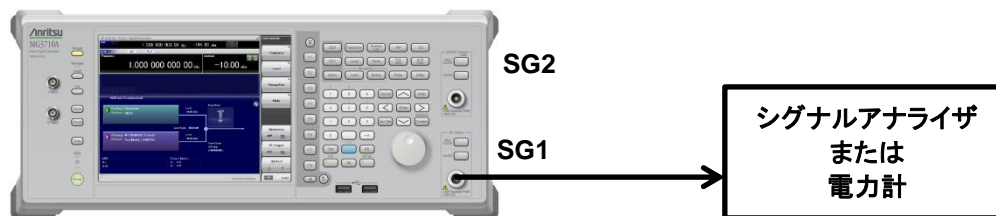


図 9. アンテナ端での電力の調整(SG1 の場合)

1. MG3710A において[SG1]キーを押して SG1 に対する操作を行います。(SG2 の場合は[SG2]キーを押します)。
2. [Frequency]キーを押し、中心周波数 Frequency を 2412MHz に設定します。
3. [Level]キーを押し、出力レベル Level を -30dBm に設定します。
4. [Mod On/Off]キーと RF Output[On/Off]を「On」にして無線 LAN の信号を出力します。
5. シグナルアナライザまたは電力計でバーストのオン区間の平均電力を測定し、その値が -30dBm になるよう MG3710A の出力レベルを調整します。
6. 手順 5 で得た値と -30dBm の差、つまり減衰量を[Level]キー>[F3]Offset Value に設定し、[F2] Offset を「On」にします。例えば、-25dBm になっていた場合は Offset Value を -5dB に設定します。

以降、出力レベルを設定するときは Level に試験条件の値を設定することで、アンテナ端での電力が入力した値と一致するようになります。

RF ポート間の信号の同期

2 つ以上の RF ポートから信号を出力するとき、それらの信号の同期とその効果について考慮する必要があります。信号間の同期は大きく分けて表 11 のように段階分けをすることができます。段階 0 は全く同期されていない状態で、段階を示す数字が大きいほど同期精度が高まります。

表 11. 信号間の同期段階

段階	ベースバンド信号 (波形パターンの 再生開始タイミング)	ローカル信号	位相差	タイミング差
0	非同期	非同期	ランダム	ランダム
1	同期	非同期	ランダム	ランダム
2	同期	同期	一定かつ小さい	一定かつ小さい
3	同期	同期	一定かつ最小	一定かつ小さい
4	同期	同期	一定かつ最小	一定かつ最小

複数のアンテナを備える無線 LAN 機器であっても、アンテナごとに SISO の状態で計測する場合は同期を考慮するはありません。しかし、MIMO 状態で測定する場合は最低でも段階 1 の状態にする必要があります。MIMO では同時刻のデータを複数のアンテナに配分して送信するため、ある時刻のデータをアンテナ 0 とアンテナ 1 で送信するとき、その出力時刻が大きく異なると受信側で復調できないためです。これは、パス間の遅延がシステムの許容範囲を超えて発生したことを意味

します。ただし段階 1 であっても、その位相差と時間差はわずかに変化していくため、より定量的な試験を行うには段階 2 以降の状態にします。例えば、非常にまれですが、フェージングをかけてアンテナ受信端でたまたまパス間の位相が 180 度違うように重なった場合は、信号が打ち消し合って電力の和がゼロになる可能性があります。

この章の試験例では、段階 2 の状態で試験を行います。一般的に、ベクトル信号発生器の RF ポート間の位相とタイミングが同期、つまり信号間の遅延差が一定で、かつ GI の長さに対して十分短ければ、信号パターンに意図的な遅延処理を与えない限り、無線 LAN 機器の受信性能に影響を与えないためです。これは多くの無線 LAN 機器が規格値に対して十分なマージンをとっているためと考えられます。試験パラメータの差分に対する無線 LAN 機器の性能を相対的に観察する場合はこれで問題ありません。

ただし、ベクトル信号発生器と無線 LAN 機器の間をケーブルではなくアンテナを使って空間伝搬させてフェージング特性を見る場合や、フェージング・プロファイルに遅延特性をのせて無線 LAN 機器の極限的な性能を評価する場合などは、ベクトル信号発生器の RF ポート間の位相とタイミングの差は最小限にしておく方がよいでしょう。なぜなら、試験結果に影響を与える要素に測定器の成分が大きい割合を占めることになるからです。

MG3710A の RF ポート間の位相・タイミングの差を最小化する方法については、アプリケーションノート「ベクトル信号発生器による MIMO 位相コヒーレントの実現」(文書番号:MG3710A-J-F-3)をご覧ください。

ここでは、MG3710A の 2 つの RF ポートからベースバンドとローカルを同期させた信号を出力する手順について説明します。

【手順: RF ポート間で信号を同期させる】

1. MG3710A の SG1 と SG2 それぞれにおいて、条件に応じた波形パターンを選択し、信号を出力します。この段階では表 8 の「段階 0」にあります。
2. MG3710A 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。
3. [F1] Sync Type > [F4] SG1&2 を選択します。
この段階で信号を出力すれば表 8 の「段階 1」になります。
4. 1 つ前の Sync Multi SG ファンクションメニューに戻り、[F4] LO Sync を On にします。
この段階で信号を出力すれば表 8 の「段階 2」になります。
この操作によって、[Mode]キー→[→](ファンクションメニュー 2 ページ目)→[F2]Start/Frame Trigger > [F1] Start/Frame Trigger が On に固定されます。

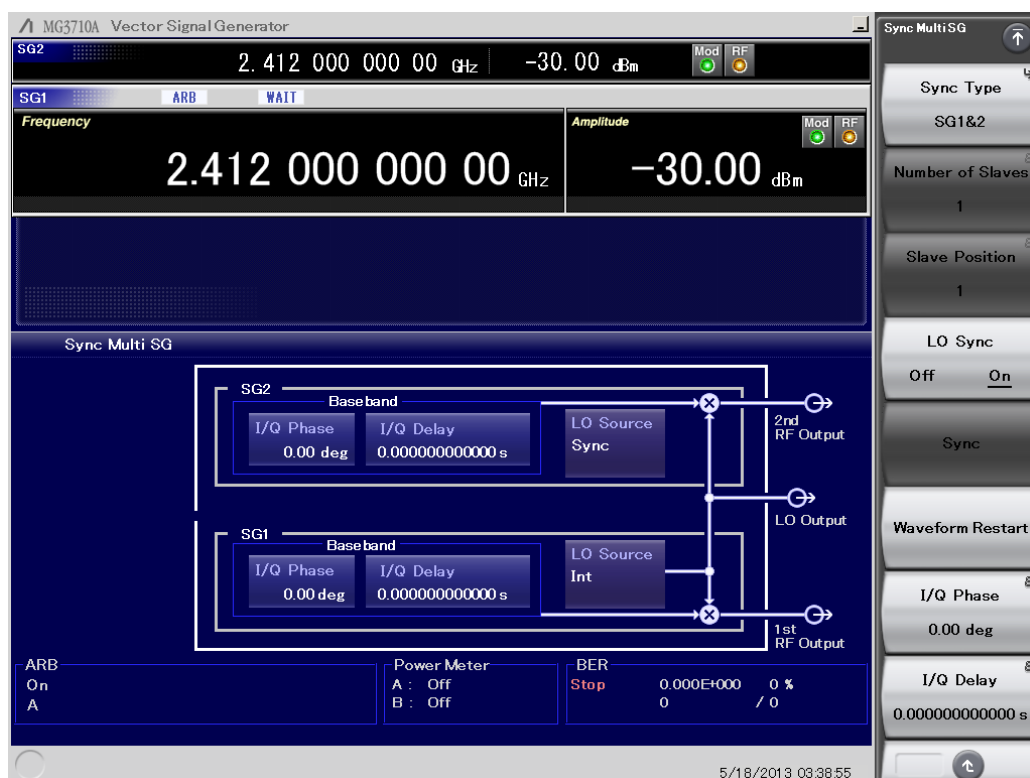


図 10. SG1 と SG2 のローカル信号の同期

5. [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 Frame に設定します。
6. [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。
7. [Mode]キー->[→](ファンクションメニュー2 ページ目)>[F2]Start/Frame Trigger > [F7]Frame Count を送信したいパケット数の値に設定します。
8. 1つ前の Start/Frame Trigger ファンクションメニューに戻り、[F8]Trigger Key を押して同期を開始します。

図 11 は、Frame Count の値、つまり送信パケット数を「10」に設定したときの信号の様子をシグナルアナライザで観察したときの様子です。10 個のバーストを観察することができます。

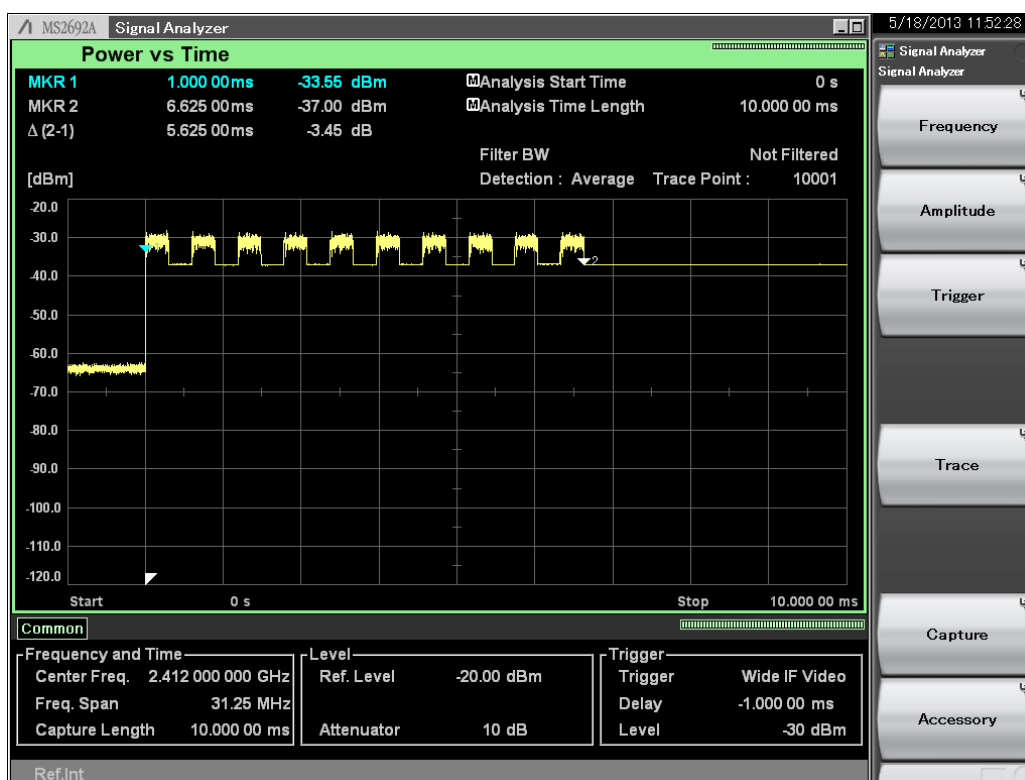


図 11.10 個のパケットを送信したときのタイムドメイン測定

無線 LAN IEEE802.11n の信号にフェージング効果を加える

ここでは、無線 LAN の信号パターンに対してフェージング効果を加えた信号の作成方法を説明します。

【手順】

1. MG3710A において IQproducer を起動します。

以下、IQproducer の手順です。

2. General Purpose タブにある「Fading」を選択します。

以下、Fading IQproducer の手順です。

3. 画面左の Common タブにある Channel Configuration の値を「2x2 MIMO」に設定します。

4. 画面右の Tx Antenna1 タブにある Reference ボタンを押し、WLAN IQproducer で作成した波形パターンファイルのあるフォルダを開きます。

5. 波形パターンファイル名に「_0」の着いたファイルを選択し、開きます。

6. Tx Antenna1 タブにある「RF Frequency」の値を「2412」MHz に設定します。

7. 画面右の Tx Antenna2 タブにある Reference ボタンを押し、WLAN IQproducer で作成した波形パターンファイルのあるフォルダを開きます。

8. 波形パターンファイル名に「_1」の着いたファイルを選択し、開きます。

9. Tx Antenna2 タブにある「RF Frequency」の値を「2412」MHz に設定します。

10. 画面左下の Channel1 タブにある「Select Profile」ボタンを押し、WLAN > Model A を選択します。

11. 画面左上の Channel1 タブにある「Select Profile」ボタンを押して、チャンネルの Path 設定表を表示します。

12. 「Path」の 1 のみにチェックを入れます。

13. Path1 の行の一番右の列にある「Correlation Setting」を「Edit」にし、Correlation Matrix ウィンドウを開きます。

14. 表 12 に従って低相関の行列要素を入力します。値を入力した後、「Save File」ボタンを押してここで設定した値を保存しておき、後で「Recall File」ボタンで読み込むことができます。

15. 「OK」ボタンを押して Correlation Matrix ウィンドウを閉じます。

Fading IQproducer のメニューバーから、Edit > Copy Channel 1 To All を実行します。これによって、すべてのチャンネルに同じフェージング・プロファイルが設定されます。

16. 「Calculation」ボタンを押します。

17. Export File ダイアログが表示されますのでパッケージ名とファイル名を入力します。

18. Scaling グループで「Output Gain」を選択し、値を設定してください。Output Gain に設定すると、フェージング処理後のピーク電力を基準に出力レベルが調整されます。一方、RMS Value に設定するとフェージング処理後の平均電力を基準に出力レベルが調整されるため、信号発生器のベースバンド出力レベルを超えたレベルが切り捨てられるクリッピング処理が多発する可能性があります。なお、Output Gain を設定した場合もパス間の相関は考慮されないため、-5dB 以下の設定を目安としてください。

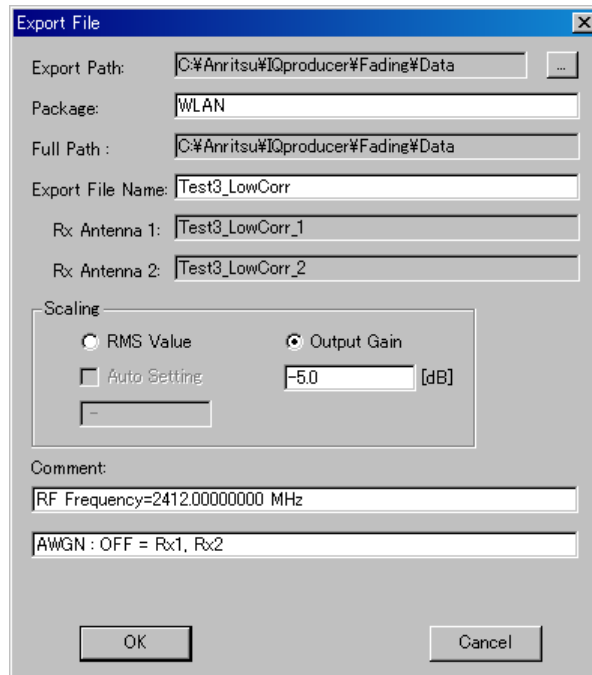


図 12. パターンファイルの生成画面(フェージングをかけたとき)

19. 「OK」ボタンを押して波形パターンを作成します。

以上で「条件 3」のフェージング・プロファイルを適用した波形パターンの設定は終了です。作成した波形パターンを MG3710A から出力する方法は「ベクトル信号発生器から信号を出力する」の項を参照してください。

条件 4 と条件 5 についても上記と同様の手順で作成できます。手順 15.において相関行列に表 13.と表 14 を使用してください。

表 12. 低相関の行列要素の例

	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4
Channel 1	1	0	0	0
Channel 2	0	1	0	0
Channel 3	0	0	1	0
Channel 4	0	0	0	1

表 13. 中相関の行列要素の例

	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4
Channel 1	1	0.9	0.3	0.27
Channel 2	0.9	1	0.27	0.3
Channel 3	0.3	0.27	1	0.9
Channel 4	0.27	0.3	0.9	1

表 14. 高相関の行列要素の例

	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4
Channel 1	1	0.9	0.9	0.81
Channel 2	0.9	1	0.81	0.9
Channel 3	0.9	0.81	1	0.9
Channel 4	0.81	0.9	0.9	1

無線 LAN 機器で受信する

図 13 のような系を構成し、条件ごとに作成した信号を MG3710A から出力し、無線 LAN 機器で PER をモニタします。

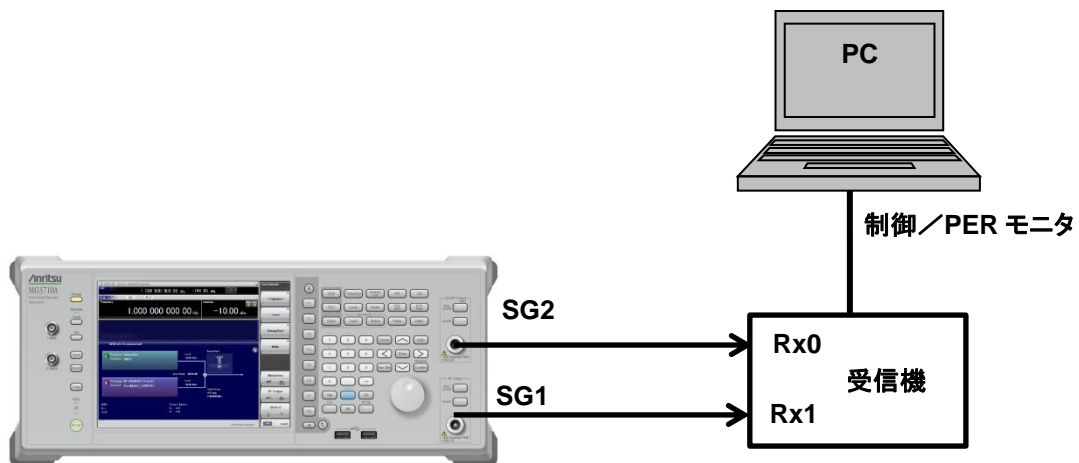


図 13. 試験系

測定の結果、表 15 のような結果が得られたとします。これは、試験対象の無線 LAN 機器が最大入力レベルおよび最小入力感度レベルで PER10%未滿を満たしていることを示しています。また、フェージング効果を加えた場合、チャンネル間の相関性が高ければ受信機が信号の分離を正しく行えずに多くのパケットを受信できないことを示しています。

表 15. 試験結果の例

条件	受信機アンテナ端での入力レベル [dBm]	フェージング	チャンネル間の相関性	PER
1	-30	なし	—	1000 / 1000
2	-61	なし	—	992 / 1000
3	-61	あり	低	985 / 1000
4	-61	あり	中	543 / 1000
5	-61	あり	高	308 / 1000

まとめ

本アプリケーションでは、アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器を使って無線 LAN 機器の MIMO 受信性能を定量的に評価する方法をご紹介しました。本アプリケーションノートでご紹介した試験例を基に、条件を様々変化させたり、試験条件を追加したりすることで無線 LAN 機器の特性をより詳細に把握することができます。その結果、無線 LAN 機器の性能に影響を与える主な要因の特定や、同じ形式の無線 LAN 機器の個体差なども明らかにできるでしょう。

Note



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。

アンリツ株式会社

<http://www.anritsu.com>

本社	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	TEL 046-223-1111
厚木	〒243-0016 神奈川県厚木市田村町 8-5	
	計測器営業本部	TEL 046-296-1202 FAX 046-296-1239
	計測器営業本部 営業推進部	TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	
	ネットワーク営業本部	TEL 046-296-1205 FAX 046-225-8357
新宿	〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-14-1	新宿グリーンタワービル
	計測器営業本部	TEL 03-5320-3560 FAX 03-5320-3561
	ネットワーク営業本部	TEL 03-5320-3552 FAX 03-5320-3570
	東京支店(官公庁担当)	TEL 03-5320-3559 FAX 03-5320-3562
仙台	〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央 4-6-1	住友生命仙台中央ビル
	計測器営業本部	TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
	ネットワーク営業本部東北支店	TEL 022-266-6132 FAX 022-266-1529
名古屋	〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅 3-20-1	サンシャイン名駅ビル
	計測器営業本部	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
	計測器営業本部	TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
	ネットワーク営業本部関西支店	TEL 06-6338-2900 FAX 06-6338-3711
広島	〒732-0052 広島県広島市東区光町 1-10-19	日本生命光町ビル
	ネットワーク営業本部中国支店	TEL 082-263-8501 FAX 082-263-7306
福岡	〒812-0004 福岡県福岡市博多区櫻田 1-8-28	ツインスクエア
	計測器営業本部	TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699
	ネットワーク営業本部九州支店	TEL 092-471-7655 FAX 092-471-7699

再生紙を使用しています。

計測器の使用法、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, FAX: 0120-542-425

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

● ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

1305



■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

No. MG3710A-J-F-5-(1.00)



2013-6 MG