

フェーズマトリクス of 意外な？使い方

フェーズマトリクスについてはご存知ない方も多いかと思いますので、まずはどのようなものか説明させていただきます。

アレーアンテナや Massive MIMO など、ビームフォーミングを行う無線システムの評価は最終的には屋外や電波暗室など、OTA(Over The Air)で行うものと思います。しかしデバッグ段階から OTA で評価を行うと、少しの手直しでも一々測定場まで往復することになり、手間がかかって大変です。やはりデバッグは実験室で行いたいものです。

そのための手法を説明する前に、まずビームフォーミングの基本動作を振り返っておきましょう。図1のようにアレーアンテナの正面に対し、右 $\theta$ 方向にビームを向けるものとします。このときアンテナ1とアンテナ2の間には $d \sin \theta$ 、アンテナNとの間には $(N-1)d \sin \theta$ の行路差が生じます。波長 $\lambda$ が位相一回り分の $2\pi$ に相当するので、行路差 $d \sin \theta$ は、 $\phi = (2\pi/\lambda) d \sin \theta$ の位相差に相当します。このため送信の場合なら、アンテナ1に対し、アンテナ2は位相を $\phi$ 遅らせ、アンテナnは位相を $(n-1)\phi$ 、・・・と順次位相を遅らせて送信すれば、 $\theta$ 方向で全アンテナからの送信電波の位相が揃うので、最大パワーが得られます。それ以外の方向では位相がバラバラなので合成電界は大きくはなりません。受信の場合はアンテナ1に対し、アンテナnの受信信号の位相を $(n-1)\phi$ 遅らせて合成すると、同様に $\theta$ 方向からの到来電波を最大ゲインで受信出来るようになります。

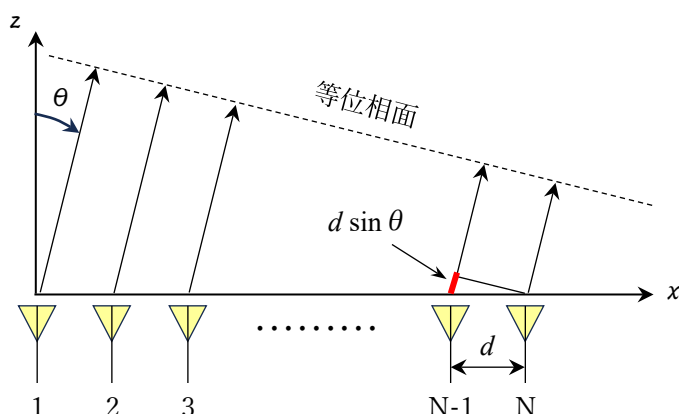


図1 アレーアンテナ

以上は空間で位相差が生ずるために起こる現象ですが、図2のように代わりに位相器を挿入して、空間と同じ位相差になるよう設定すれば同様の状態を作り出すことが出来ます。フェーズマトリクスは全ての入出力間に個別に位相器を用意して、空間で発生する位相差を代替し、ビームフォーミングの評価を実験室で行えるようにした装置です。

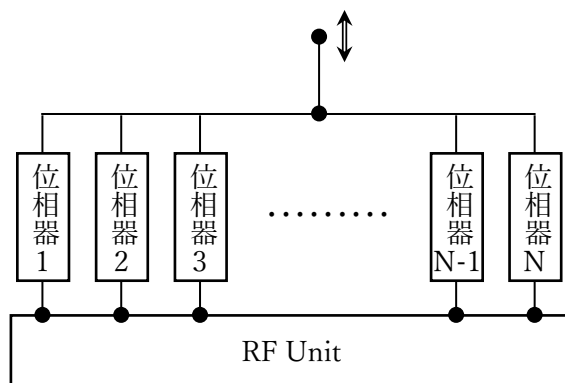


図2 アレーアンテナ評価系

次にフェーズマトリクス構成について、弊社で取り扱っている、64×16のタイプについて図3のブロック図で説明します。この製品は全て受動素子で出来ているため入出力の方向はどちらの向きでもいいのですが、便宜上、上側のAポートから入力するものとします。全てのAポートの信号は16分配器で分配されてBポートに向かいます。全てのBポートには64合成器があり、これでAポートからの全信号を合成します。このためAポート→Bポートには64×16=1024のリンクが出来ますが、全てのリンクに個別に位相器とアッテネータが入っており、位相器は0~360°まで1°ステップ、アッテネータは0~90dBまで0.5dBステップで制御出来るようになっています。

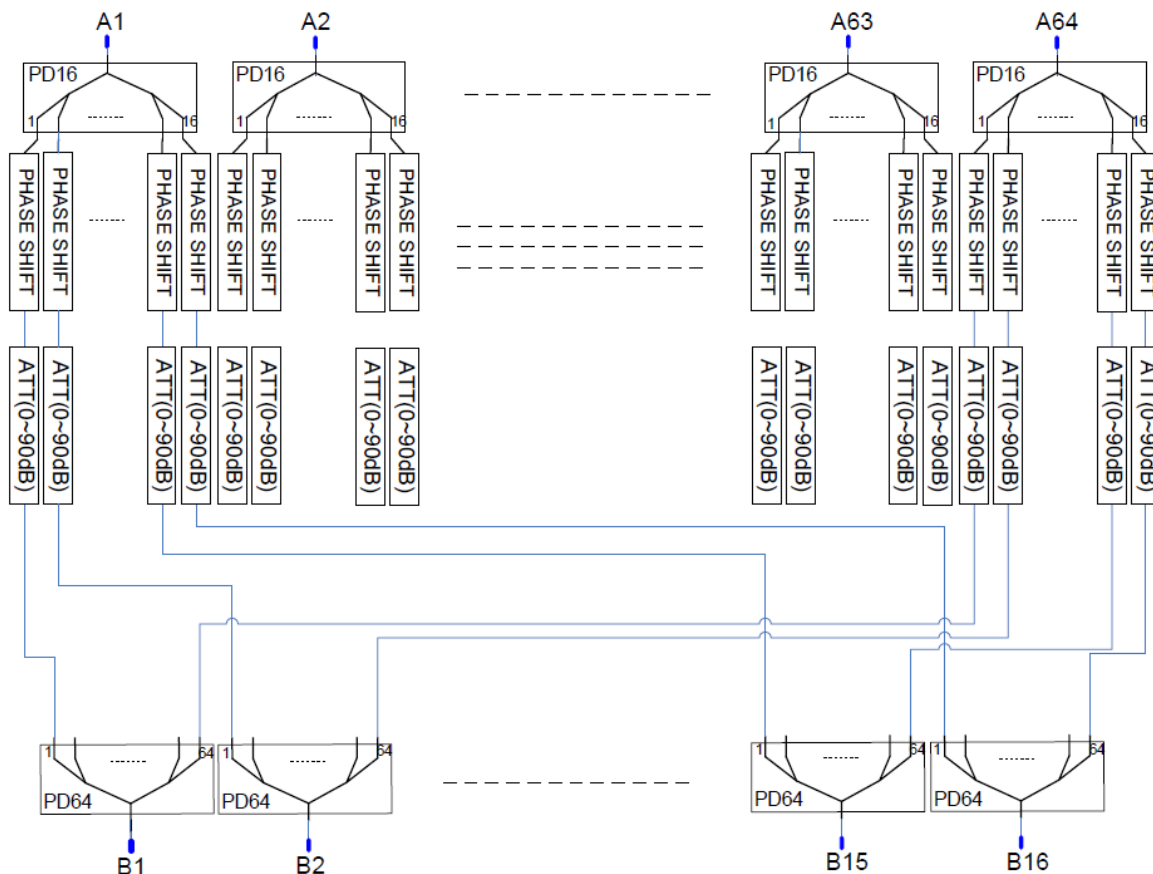


図3 フェーズマトリクスのブロック図

位相器の位相とアッテネータの減衰量はマニュアルやプログラム制御で任意に設定することも出来ますが、初期値と最終値、1回の変化量、動作間隔(sec)を設定すれば、初期値→最終値、あるいは初期値→最終値→初期値のように自動的に変化させる機能もあります。特に、アンテナ間隔  $d$  を設定すると、 $\phi = (2\pi/\lambda) d \sin \theta$  の位相差を自動的に計算して上述のように変化させることも出来るので、便利です。

これを使えば例えば16素子のアレーアンテナのビームフォーミング特性の評価も容易に行えますが、その場合にはこれほど多数のポートは必要ありません。多数のポートを必要とする用途としては、Massive MIMO などでしょう。この64×16の製品であれば最大64アンテナのMassive MIMOを、最大16台の端末を接続して評価することが出来ます。

ところで話は変わりますが、大掛かりな無線システムの評価系を構築するのはなかなか大変な作業です。評価に必要な機材を揃えるのにコストも労力もかかりますし、それを組み上げる作業も容易ではありません。例として5Gの様々な機能試験を行う系を考えます。試験する機能としては例えば、HARQ, TPC, AMC, Rank adaptation, Multi-user MIMO, ハンドオーバ等です。ハンドオーバのためには基地局は最低2台必要で、端末は、各基地局が1台の端末と通信中にもう1台をハンドオーバさせる場合、3台必要です。どうせ3台用意するのなら、同時に2台や3台ハンドオーバさせるような評価や、3台接続したMulti-user MIMOも評価したいところです。またRank adaptationの評価なら4×4 MIMOでの評価が望まれます。

以上の要求条件を満足する系を考えると、一例として図4のようになります。このように大量の分配器、合成器、ステップアッテネータ、接続ケーブルが必要で、さらにMIMOの伝送路を形成するButler Matrixも何台も必要です。ステップアッテネータはマニュアルで切り替えることも出来なくはありませんが、あるシナリオで同時に複数の減衰量を変えたい場合は、プログラマブルアッテネータをパソコン等から制御することになるでしょう。

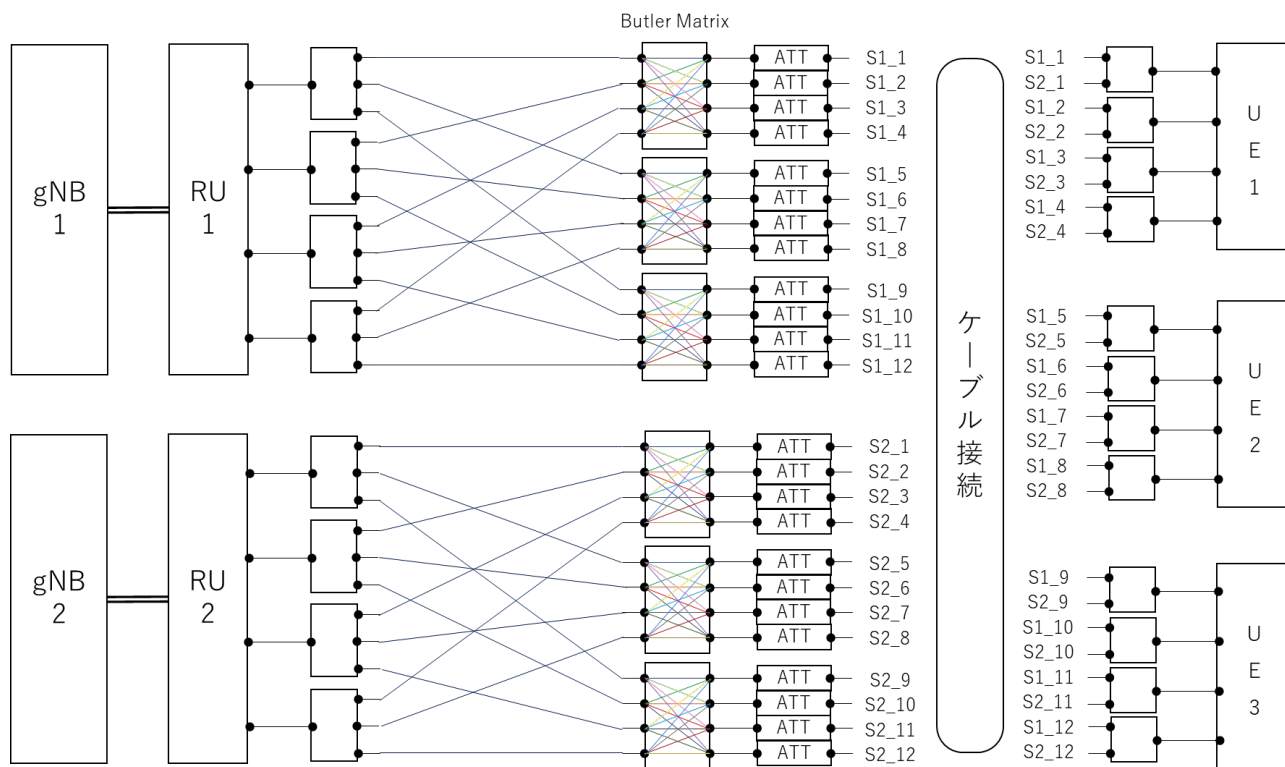


図4 携帯電話機能試験系

このような系を用意するとなると、費用は軽く1,000万円を超えそうです。また接続ミスなく系を組み上げるのも大変な労力ですし、置き場所の確保にも苦労することでしょう。もし系全体で位相のキャリブレーションを必要とする場合は、大変な騒ぎです。

さてここでフェーズマトリクスの構成を改めて見てみると、全ての入出力間をつなぐ分配器と合成器が入っており、各リンクにプログラマブルアッテネータが入っています。おまけに(というかこれが本来

の機能ですが)位相器もあるので、これで任意のアンテナ数に対応した Butler Matrix も組めます。ということで、なんと図 4 の大量の評価系+αが 12×8(製品ラインナップ上は 16×8)のフェーズマトリクス 1 台でまかなえてしまうのです。

リンク毎に入ったアッテネータによって HARQ, TPC, AMC, ハンドオーバーの機能確認を、アンテナ間にレベル差があるようなケースも含めて詳細に行うことが出来ます。また位相器で作った Butler Matrix は設定位相を変えられるので、ポート間の位相差を減らして空間相関を高めるような Matrix にすることも可能です。このため、入力レベルを落とすのではなく、MIMO の分離条件を厳しくして Rank adaptation の評価を行うといったことも可能です。Multi-user MIMO の評価で Butler Matrix を作る場合も、2 台の端末が近くに居るような分離の厳しい状況を模擬して位相器を設定し、どれくらい性能が出るかを評価するのも、機能試験の範疇は超えますが、有意義かと思います。もし系全体で位相のキャリブレーションが必要となった場合、フェーズマトリクスは本来位相校正の必要な装置なので、そのための手段は用意されています。また、先にご紹介した 64×16 の製品を使うと、比較的大規模な負荷試験にも対応出来ます。例えば 8 アンテナの基地局 2 台と、アンテナ 1 本の端末なら 64 台、アンテナ 2 本の端末なら 32 台を接続した系を構築し、信号レベルも自動的に変化させるような負荷試験を実施可能です。

ビームフォーミングの試験が終わった後も、このような場面でフェーズマトリクスを活用すれば、費用、労力、場所の大きな削減が期待出来ます。評価系構築でお悩みの方、一度こんな方法も検討されてはいかがでしょうか？