

# SEDAN™ 高性能アンテナテクノロジー

## SEDAN と MIMO アルゴリズムとの相乗効果

現在、MIMO（マルチインプット・マルチアウトプット）アルゴリズム、およびスマートアンテナに関して数多くの議論がなされている。スマートアンテナの採用は、無線通信の著しいパフォーマンス向上の大きな可能性を担っている。複数アンテナを使用したアーキテクチャは、ビットレートの向上と通信範囲の拡大が可能で、それらは基本的に無指向アンテナの利得を向上させる。そのため、この利得の向上を無線通信のリンクバジェットの改善に利用することができる。

### ビームフォーミングとは何か

ビームフォーミング<sup>1</sup>とは、放射パターンの指向性、または放射パターンに対する感度を制御する送受信機でアレイ（配列）を利用した、信号処理技術の一つである。簡単に説明すると、ビームフォーミングは、複数の放射素子を使用、そしてそれらの振幅、および位相の操作を行うことで、望まない全て方向では無線信号を弱め合うように干渉させ、望む方向では無線信号を強め合うように干渉させ、事実上、送信信号の指向を可能にする。ビームフォーミングは、フェーズドアレイ（位相配列）アンテナを使い、特定の望む場所との間で信号を送受信するレーダー技術によって何十年間も利用されてきた。

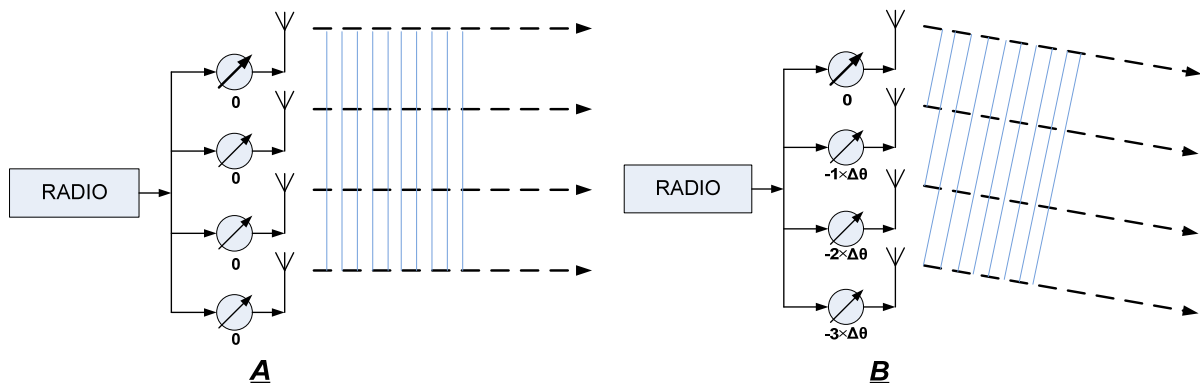


図1: ビームフォーミング例

上図は、2つの二次元アンテナアレイを示している。Aの図では、異なるアンテナ間に位相差はない。波面を示す青色のラインは、アレイ面に対し垂直に移動する。Bの図では、定数 $\Delta\theta$ の移相（Phase shift）差を2つの隣接するアンテナ間に与えている。そのため、波面は、下の方向に向かってシフトし、無線送信がアレイ面からある角度で指向することになる。異なるアンテナ素子間で移相（可能なら同様に振幅も）を操作することにより、アンテナビームを任意の望む方向に指向させることが可能になる。この例では、送信側で説明しているが、無線リンクの受信側でも同じことが等しく可能である。この操作で、静的なアンテナアレイを動的に操作できるアンテナビームに変えることができる。本白書では、このビームフォーミングをMIMOビームフォーミングと区別するため、RFビームフォーミングと呼ぶことにする。

### MIMO アルゴリズムのタイプ

MIMOアルゴリズムを簡単に述べると、2つの基本的なタイプ、STC（Space Time Coding: 時空間符号化）とSM（Spatial multiplexing: 空間多重化）に分類することができる。SMを利用する一つのオ

クションが、ビームフォーミングである。STC<sup>1</sup>とは、複数の送信アンテナを使用した無線通信システムにおいて、データ送信の信頼性を向上するために用いる手法である。STCは、異なる時間に異なるアンテナを通して送信されるデータに部分冗長性、もしくはデータ全体の冗長性を持たせ、複数のアンテナを通して複数のデータストリームを送信する。受信機側で複数のデータストリームの合成は、受信機にデータストリームが到達する異なるパスの間のダイバーシティを利用し、基本的に異なるパスを通過してきた送信信号の信頼性を最大にする。STCは、送信機での全体的な電力消費を低減することは無いが、特に弱め合う干渉が短い時間間隔、および/あるいは決まった場所で起る可能性があるフェージング環境では、逆に受信の信頼性を向上させる。

SMビームフォーミングは、スマートアンテナを議論する場合、STCよりさらに関連がある。今日の世界では、ビームフォーミングは、OFDM（直交波周波数分割多重）送信システムの周波数領域ビームフォーミングとして知られているものと関連している。そのように言われる理由は、周波数領域内の信号の操作、特にFFT/IFFT（高速フーリエ変換/逆高速フーリエ変換）の使用に起因する。これらのアルゴリズムでの主な考え方は、受信機と送信機との間の閉じたループとしての環境の動作モデルを“学習”すること、そしてその環境の特性に対して送信を最適化することである。簡単な言葉に言い換えれば、送信機から受信機に送られた信号には、環境、距離、および途中での異なる反射波や減衰などが原因で特定の変化が生じる。このチャンネル情報Hは、プリコーディング行列の生成に利用され、仮に線形ゼロフォーミング(ZF)アルゴリズムが使用されるなら、 $1/H$ として表すことができ、これを周波数領域内の各サブキャリア内のデータストリームに掛け合わせる。次の図の示すとおり、信号が既知のチャンネルを通じて伝搬する場合、信号は送信機側で意図していた信号として受信機で受け取ることができる。

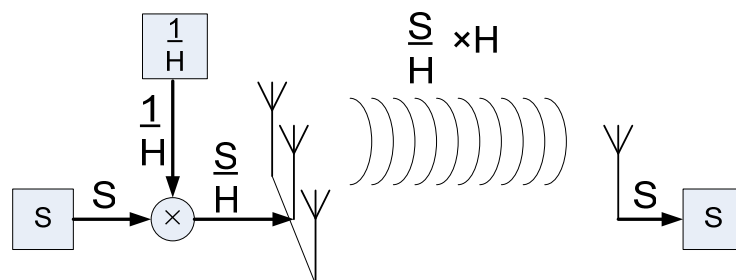


図2: MIMO ビームフォーミング- 簡略化された MISO の概念

この処理技術は、3G、4G、Wi-Fi、および WiMAX といった通常の無線標準規格で使われている技術である。

### ではMIMOビームフォーミングとRFビームフォーミングの違いは何か？

MIMO ビームフォーミングは、デジタル領域で形成される。信号が受信機で正確に受け取られ理解される能力を向上するため、閉ループ方式内で最初に収集される必要があるチャンネルの情報で、まずプリコード（入力の符号に対してあらかじめ符号変換）される。それを行うため、通信経路上で信号に影響を与える環境の状態と変化を知るため、信号が複数のアンテナから複数のストリームで送信される。MIMO ビームフォーミングは、全方向に信号を送信し、特定の方向にだけ信号を送信するのではない。その代わりに、空間内の特定の地点で、チャンネルと別々の送信アンテナに起因するマルチパス信号波の強め合う干渉特性を利用することで、特定の受信機でより良好な受信が行われるよう送信を最適化する。

<sup>1</sup> Wikipedia から引用

一方、RF ビームフォーミングは、意図する受信機に向けた特定の方向に信号を送信する（すなわち、電磁エネルギーが空間を伝搬する）。全方向にエネルギーを送信する代わりに、エネルギーは要求する方向にのみ送信される。その意味するところは、送信された信号が正確に受信される能力を向上させるため（電磁波の許容量と周波数割当の両面による規制基準による制限があるため）全ての利用可能なエネルギーを受信機に向ける。

次の試験シナリオが二つのケースの違いをより明確に説明している。

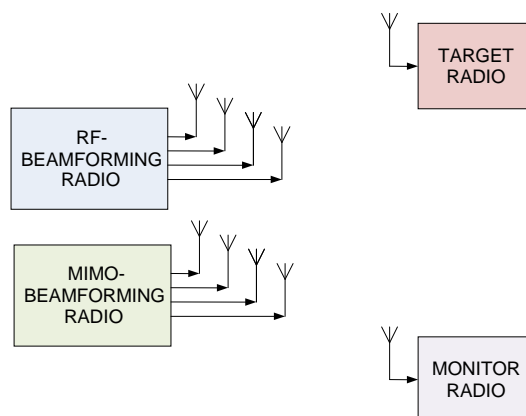


図3: MIMO vs. RF ビームフォーミングの比較試験シナリオ

上図は、目標とする受信機 Target Radio に向けて送信する2つの隣り合う（RF ビームフォーミングと MIMO ビームフォーミング）無線機を示している。双方の無線機は、ビームを目標とする Target Radio に向けて、同じ周波数で送信をする。双方の信号とも目標とする Target Radio に到達し、リンク特性を向上させる。しかし、ここには大きな違いがある。RF 無線機は、送信エネルギーを目標とする Target Radio にのみ向けて送信し、他の不要な方向には送信しない。MIMO 無線機は全方向にエネルギーを送信するものの、送信機から送信された異なる電波の受信を Target Radio において向上させる。次に、モニター用の受信機 Monitor Radio を調べると、MIMO 無線機からはかなりの電磁エネルギーを受信することができるが、RF 無線機からは何も受信できない。Monitor Radio が RF 無線機から Target Radio に向けられた信号を受信することは非常に困難であるが、一方 MIMO 無線機からの信号（エネルギー）は依然として受信できる。これは、決して Target Radio には到達することがなく浪費されるだけで、それは無線リンク性能に役立つことが無い無駄なエネルギーである。

## なぜ MIMO ビームフォーミングは特定方向のみにエネルギーを送信できないか？

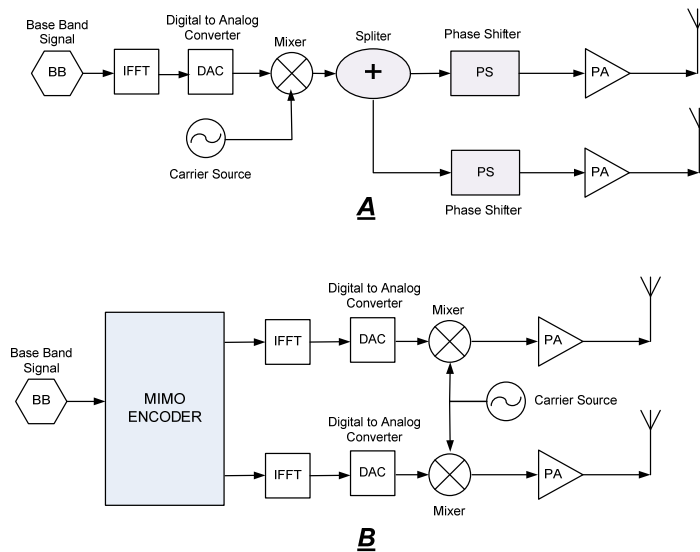


図4: MIMO ビームフォーミングと RF ビームフォーミングとの主な相違点

アンテナアレイを経由してエネルギーを特定の方向に送信するためには、電磁波の干渉パターンを制御することが必要である。**A**の場合、図から解るように、これは移相器 (Phase shifter) を使用し、RFビームフォーミング無線機によって行われる。それを実現するためには、アレイ内の異なるアンテナを通して送信される信号が、送信元では (ほぼ) コヒーレント (可干渉なように位相がほぼ揃っている) で、かつ位相の操作は送信される信号全体に対して行われなければならない (RF周波数での完全な変調信号)。変調信号の位相と振幅の操作を通してのみ (つまり、変調信号上の変調されたキャリアとベースバンド信号)、アンテナアレイによって送信された電磁エネルギーの干渉パターンを制御できる。

MIMOビームフォーミング無線は、**B** から解るようにベースバンド信号の操作のみを行う。RFキャリアの操作を行わないため、制御された位置と方向で、変調信号は強め合うような干渉や弱め合うような干渉をしない。さらに理論的に、仮にそのような試みがOFDM (直交波周波数分割多重) 変調を利用したブロードバンド無線システムで行われたとしても、周波数領域にて適切な位相変調を加えることは、IFFT演算モジュールにおいて全てのビームに対し異なる位相シフトを適応する必要があり、非実用的でかつ実質的に不可能である。これは、ベースバンドから送信された広帯域信号と比較して、主にアンテナアレイを通してのあらゆる強め合う干渉と弱め合う干渉の制御と操作を行う狭帯域な作用がその原因である。MIMO ビームフォーミングと RF ビームフォーミングはお互いにそれぞれの機能を減少させるものではない。事実、MIMO ビームフォーミングは、リンク特性をさらに強化するため RF ビームフォーミングと共に使用することが可能である。RF ビームフォーミングは、エネルギーを望む方向に集中させ、MIMO ビームフォーミングは、目標とする受信機での信号の受信能力を最適化する。ともに機能することにより、ブロードバンド無線通信において最大の効率を実現することが可能となる。

## SEDAN とは

SEDAN とは、**Smart Electrically Steered AN**tenna の略である。SEDAN は、フェーズドアレイ技術とスマートアンテナ機能の両方をシングルチップで提供する。SEDAN は、1つのアンテナアレイに接続した1個のCMOSチップコントローラとそのアレイを一緒に結合した1つの指向性スマートアンテナから構成される。指向性アンテナ SEDAN は、全般において一般の無指向性アンテナより性能が優れている。送受信機能の改善、消費電力の低減、そしてバッテリー寿命の延長を実現するが、携帯装置に対し追加のコストは発生しない。さらに比吸収率 (SAR: specific absorption rate) をも改善し、利用者の手が携帯装置のアンテナに近づくことで起こるインピーダンス不整合作用も低減させる。

### SEDAN アンテナの特徴

- 多くの革新的なアドバンテージを持つ、フェーズドアレイ技術を使ったインテリジェント指向性アンテナ
- 現在適応されている技術との比較においても追加コストは無い
- 無指向性アンテナを最大で 6 dB 上回る平均アンテナ利得
- 電力消費を 50%以上低減し、バッテリー寿命を延長
- 受信可能範囲の拡大、およびビットレートの向上
- 性能向上とともに、携帯端末ユーザーから離れた方向へほとんどのアンテナからの信号を指向
- 1μs 未満で電氣的に最適パスへ切り替え可能 (可動部品は不要)
- 必要に応じ無指向性アンテナとしても利用可能
- RF ビームフォーミング上での MIMO 通信の組込サポート

### BON製アンテナ仕様

パラメータ	値	備考
アンテナサイズ (2.3 - 2.5 GHz MIMO 対応)	アンテナ 1 台： 20mm×1mm×1mm を 4 基	Tmm10i(セラミック熱硬化性ポリマー複合材)。その他のサイズも可
アンテナコントローラサイズ	5mm×5mm	シングルチップ
省電力	>50%	携帯装置/ネットワークに依存
内部 PA/LNA	(オプション)	
内部 T/R スイッチ	可能	
切替時間	1 μs	T/R + 探知
探知負荷サイクル(使用率)	<0.5%	モードに依存
最大電力	24 dBm	アンテナ出力において

この文書は、BON Networks Inc. と BON Networks Israel Ltd. が所有権を保有し、一部、特許の対象となっている件名を公開するものである。書面による許可書類、または BON Networks との書面による合意なしに、これを提供、および、受け取りまたは所有することは、この文書、その全ての箇所、そこに含まれる情報、あるいは、物理的な物品、装置を複製、または公開すること、また、この中で参照したあらゆる手法または処理を実践する全ての権利を授与または移譲するものではない。BON Networks は、この文書中に示した任意のパラメータ、または値を予告なしに変更、あるいは改訂する権利を保有する。