

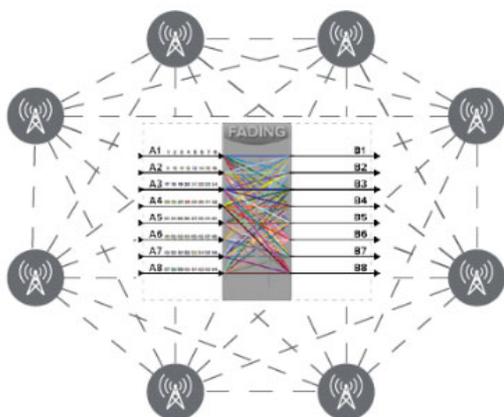
チャンネルモデルの必要性とチャンネルエミュレータの役割

携帯電話を筆頭に非常に多くの機器で利用されている無線通信技術、これらはもちろん異なる環境下で必要十分なサービス品質を得られるように設計・評価されてきています。重視されるファクタはテクノロジーにより異なりますが、主に通信距離、周波数帯、変調方式などです。いずれのデバイス評価においてもそれに適した電波伝搬環境を構築することから始まります。

皆様の中でも 5G、ローカル 5G、更には 6G に関連するデバイス評価手法が盛んに議論されていることと思います。無線の試験対象は大小問わずありとあらゆる電子機器に広



まりました。しかしながら、テクノロジーの高度化に伴って試験環境の設計負荷が費用面・難易度共に高くなっています。実環境でのフィールドテストが無くなる事はありませんが、テクノロジーのキーファクタに主眼を置いた効率的な試験シナリオを構築することが、開発期間の短縮やコスト低減のためにも一層求められます。



各無線テクノロジーに合わせて電波伝搬環境をモデル化することは、再現性の高い試験環境の構築を助けます。チャンネルエミュレータはデジタル信号処理によって多くの伝搬モデルを自由に生成・再現するために必須の試験装置です。

チャンネルモデルで必要とされる環境変動の要素も、通信技術の世代に沿って変遷してきました。電波伝搬においてまず考慮されるパラメータはパスロスかと思います。送受信アンテナの利得と、通信周波数、そして 2 点間の距離特性からトータルの通信特性が算出されます。これは単に送受信間が何らかの遮蔽の影響を受けるケース、NLoS: Non-Line of Sight 環境の試験に過ぎません。

パスロス要素だけでも、携帯電話で言えばカバーエリアやハンドオーバー特性の評価が可能ではありますが、これだけでは実環境とはまだ乖離があり、試験モデルとしては不十分で

す。一般に、伝搬環境は対数正規分布で変動するという考え方をベースに、パスロスにシャドウフェージング・ファストフェージングを加えた 3 つの変動要素でチャンネルモデルが構成されます。

パスロスは既に述べた通りで、奥村・秦モデルや COST231 などが有名です。シャドウフェージングは数十 m 内の変動分布を指し、端末移動に伴う遮蔽物の影響などが相当します。送受信間が見通し、LoS : Line of Sight であるかは距離に応じた確率分布でモデル化されます。最後にファストフェージングは、数波長レベルの区間での瞬時値変動で、マルチパス起因のフェージングとなります。レイリー分布をすることからレイリーフェージングとも呼ばれます。

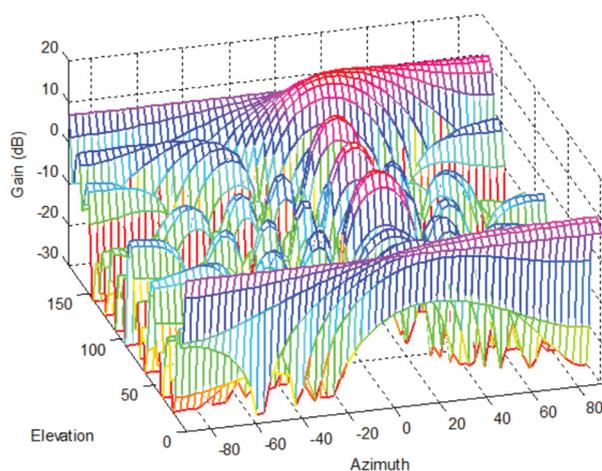
チャンネルモデルは携帯電話の世代と共に進化しており、主にファストフェージングモデルに各世代の新テクノロジーに合わせた様々な手法が取り入れられています。

1G では、基地局~端末間の単一の通信路について、送受信間遅延と相対速度によるドップラがチャンネルモデルの要素として設定されました。

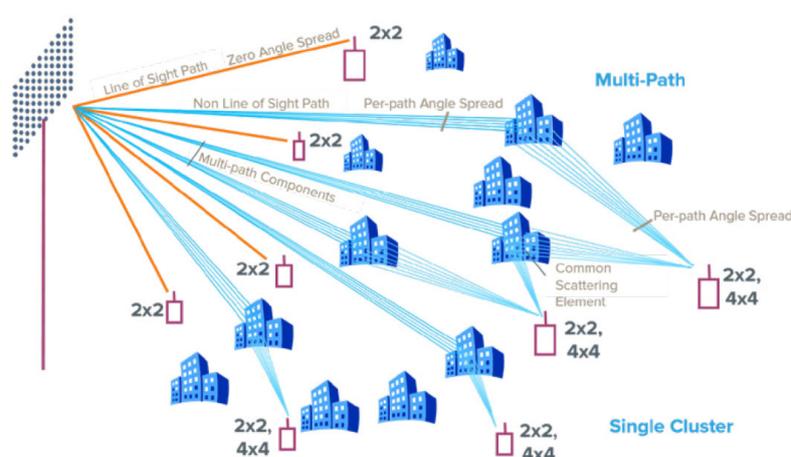
2G では通信方式にデジタル変復調が取り入れられると、符号間干渉評価のために複数遅延波のファストフェージングを構成する TDL : Tapped Delay Line がモデルに加えられました。

3G では 2G と同じく TDL モデルを採用し、ITU-R M.1225 Annex 2 にて初めてチャンネルモデルの標準ガイドラインが定められました。ここでは利用環境別に Indoor office・Outdoor to indoor & pedestrian・Vehicular といったモデルパラメータのバリエーションを記述していることが特徴です。

4G では MIMO が加わり、複数パス間の位相関係や空間相関が重視されることになりました。MIMO では送受信端で持つ各アンテナエレメントの組において、相関の低い独立した伝送路が形成されることが求められます。送受信の放射・到来角パラメータはそれぞれ AoA : Angle of Arrival、AoD : Angle of Departure としてモデルパラメータに含まれました。送受信間の LoS, NLoS パスはクラスタとしてグループ化され、各クラスタ内で AoA/AoD の角度分散と電力分布を持ちます。これらによってより正確なファストフェージングモデルを持つ MIMO 評価環境が構成されます。ITU-R M.2135 では 3G から発展して、Indoor・Urban micro・Urban macro・Rural macro といった利用環境別のシナリオ定義がなされています。



5G では基本的に 4G のチャンネルモデルをベースにはしていますが、更なる広帯域化(BW 1GHz 以上)、マッシブ MIMO によるビームフォーミングとビームトラッキング、~500km/h の高速鉄道シナリオ、6GHz を大きく超えて 100GHz のミリ波帯までといった広い周波数で適用可能なモデルなど多くの新要素に対応して順次拡張されています。~100GHz までの広い周波数範囲へ適用するために、LoS/NLoS 信号の遅延分布には周波数特性が持たされています。また、ミリ波帯では微細な遮蔽物であっても動的变化の影響がクリティカルになりやすいとされています。100GHz までの対象周波数のうち、現時点で主に行われているミリ波の試験は 28GHz 帯などに留まります。60GHz 以上など他の周波数帯の知見が増えることで、さらに効果的なモデルへの発展が期待されています。



チャンネルエミュレータは、核となるデジタル信号処理部を挟むようにアップ/ダウンコンバータと物理ポートで構成されており、近年これは基本的に大きく変わっていません。ここまでに挙げられた多くの試験パラメータを連動させて優れた伝搬環境を構築するためには、正確で滑らかなパラメータ制御により想定シナリオ通りの変動をさせることが基本であり、常に信号処理装置の性能に支えられていると言えます。

チャンネルモデルの標準化に際して、シミュレーションツールに過大な負荷をかけないことも（一応は）考慮されています。しかし LoS 信号に加えて、固定・移動問わず様々な遮蔽物による透過・反射・回折・散乱といった NLoS 成分、それらが個々に時間・空間・周波数軸で変動するなど複雑なパターンが求められます。加えて、ビームフォーミング評価ではビームを形成するための個々のアンテナエレメントや各偏波、RF コンポーネント群に至るまで全てがモデリング対象となり得ます。どれも必要な試験要素ですから、最先端の Tool-Assisted なチャンネルモデル生成ツールなどの活用は今後もあらゆる無線評価において不可欠となるでしょう。