

Vertex のお役立ち機能：DEE

Vertex は弊社で取り扱っている RF チャネルエミュレータです。(Fader：フェーダとも呼ばれます。ちなみに「チャンネル」は電波伝搬路を意味します。) 現在は様々な目的・用途で無線通信が利用されていますが、その実運用状態での特性を実験室で評価するには、電波伝搬環境を模擬した試験が欠かせません。Vertex は各種のフェージング、マルチパス、ドップラーシフト、あるいは AWGN(熱雑音付加)などの生成機能を有し、室内、ビル街、郊外、海上、大気圏、宇宙など、多様な電波伝搬環境を実験室で再現する装置です。かつてアナログ部品主体で作られていた頃と比べると、デジタル信号処理を駆使した各種の高度な機能を備えるようになってきています。今回はその一つである、DEE 機能についてご紹介したいと思います。

DEE(Dynamic Environment Emulation)は、Vertex が制御する様々な電波伝搬上のパラメータを動的に変化させることが出来る機能です。DEE を使ってどのようなことが出来るのか、まず図1のハンドオーバー系でご説明したいと思います。

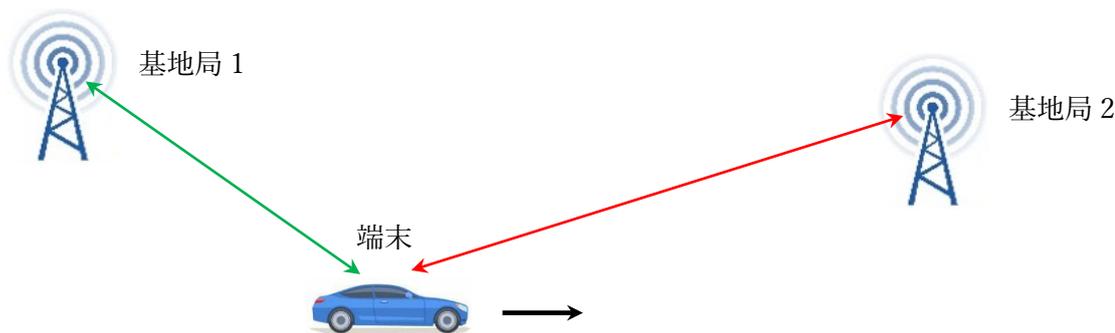


図1 ハンドオーバー系

図1 は車に搭載された携帯端末が基地局1と基地局2の間を移動する状況を示したものです。車が右に移動すると共に基地局1からの信号が弱くなり電波を受信するまでの遅延時間は増えて行きます。逆に基地局2からの信号は強くなり遅延時間が短くなります。また基地局1とのドップラーシフトはマイナス方向、基地局2とはプラス方向に生じ、その値も車の移動と共に大きく変化します。このような状況において、端末が基地局1から基地局2へ適切にハンドオーバー出来るか？また遅延時間の変化に対して Timing Advance によるタイミング調整が正しく動作するか？などを、実環境と同じくフェージングのかかった状態で評価したいという場面があるのではないのでしょうか。このような場合に役に立つのが DEE 機能です。

DEE を使うと Vertex を通過する信号の信号レベルや遅延時間、またドップラーシフトを時々刻々と変化させることができます。DEE の設定方法は、Excel ベースのテンプレートに経過時間ごとの信号強度と遅延時間、ドップラーシフトを書き込むだけです。時間は最短 10msec 間隔まで設定出来ますが、車の速度くらいであれば 1 秒程度の間隔でも十分かと思えます。

ハンドオーバの評価系は、例えば図 2 のように基地局 1, 2 と端末を接続すれば構築できます。端末には普通はケーブル接続用のコネクタが付いていないでしょうが、シールドボックスに入れて無線で接続すれば大丈夫です。基地局 1~端末間、基地局 2~端末間のリンクは Vertex 内部で接続されており、各リンクの各マルチパスに対して DEE でダイナミックに信号レベルや遅延時間を変化させることが出来ます。ここではハンドオーバの評価系としてご紹介しましたが、同じ評価系で CoMP(Coordinated Multi-Point transmission/reception)や ICIC/eICIC(enhanced Inter-Cell Interference Coordination)の評価を行うことも、もちろん可能です。

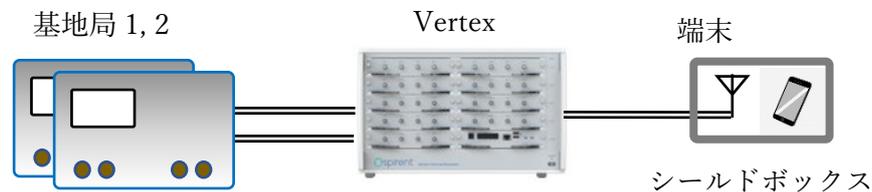


図 2 ハンドオーバ評価系

DEE でどのようなパラメータを変化させられるかについて、ここで少しご説明します。

Vertex のチャンネルモデルは、遅延量と相対レベルでマルチパスを規定する TDL(Tapped Delay Line)モデルに対応した Classical モードと、マルチパスの放射角/到来角や角度広がり等も加味した CDL(Clustered Delay Line)モデルに対応する Geometric モードに大別されます。DEE で変化させられる主なパラメータを、各モード固有の項目と両者共通の項目に分けて例を挙げると、以下のようなものがあります。

共通項目：出力レベルまたはパスロス、マルチパスの遅延量と相対レベル、AWGN の C/N 比

Classical：Bulk Delay、ライスフェージングの K ファクターと到来角、ドップラーシフト

Geometric：基地局/移動局の放射角、到来角と角度広がり、端末の移動方向と速度、K ファクター

ハンドオーバ系は二つの基地局と端末の間でパラメータが動的に変化する例ですが、一つの基地局(あるいはコントローラ)と端末間の動的な変化を評価したい場合もあります。例えば基地局近くを高速で車が移動する場合やドローンが操作者の前を横切る場合などです。その他、LEO(低軌道)衛星と地上の端末との間の伝搬路も、LEO 衛星が非常に高速で移動するため、ドップラーシフトと遅延時間の変動は地上よりも格段に大きくなります。

図3はLEO衛星と端末の間の位置関係を表したものです
 が、このような座標系において衛星の移動に伴うドップラ
 ーシフト F_d の値は次の式で表されます。

$$F_d = \frac{F_c}{c} \times V \times \cos \theta = \frac{F_c}{c} \times V \times \frac{\sin u}{\sqrt{1+\gamma^2-2\gamma\cos u}}$$

ここで、 $\gamma = (R_E + h)/R_E$ $V = \sqrt{GM_e/(R_E + h)}$

また、 F_c : 使用周波数、 c : 光速、 R_E : 地球の半径、 h : 衛
 星の高度、 G : 万有引力定数、 M_e : 地球の質量 です。

この式を使いLEO衛星が天頂を通る前後3分間のドップ
 ラーシフトを、衛星高度 550km、使用周波数 12.7GHz の場
 合に計算して図にすると、図4のようなグラフになります。
 このグラフからドップラーシフトの変化量は天頂を通る時
 が最大であることが分かり、その変化量は1秒間に約 4kHz
 にもなります。周波数が短時間にこれだけ大きく変化する
 と、自動周波数調整回路や同期回路の動作が問題無いか実機
 評価が望まれるところかと思えます。

遅延時間の変化については、式は省略しますがこちらは仰
 角 α が低いほど変化量が大きくなり、例えば仰角が 30°の場
 合で 1秒間に 20 μ s 程度も変化します。これだけ変化する
 と、精度良く復調するためのシンボルタイミング同期が問題
 ないか、またタイミング調整は正しく動作するかなど、これ
 も実機評価で確認しておきたいところです。

以上のような要求事項に対しても DEE を利用すれば、ド
 ップラーシフトも遅延時間も最短 10msec 単位で変化させて
 評価することが可能になるので、LEO衛星との通信を模擬した評価を行い、事前に問題点を把握するこ
 とが出来ます。また単発的に現象が発生する実環境とは異なり、全く同じ伝搬環境を何度でも忠実に再
 現出来るので、どのような状況で問題が発生したのか容易に解析できるようになり、かつ対策の効果確
 認も的確に行えます。

このように DEE は、フェージングだけではない伝搬環境の動的な変化の評価を必要とされている方
 にとって、とてもお役に立つ機能かと思えます。

RFチャネルエミュレータ「Vertex」の詳細はこちらからご覧ください
<https://www.toyo.co.jp/ict/products/detail/vertex.html>

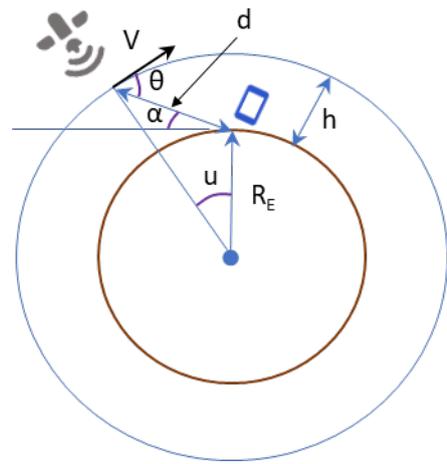


図3 衛星～端末の位置関係

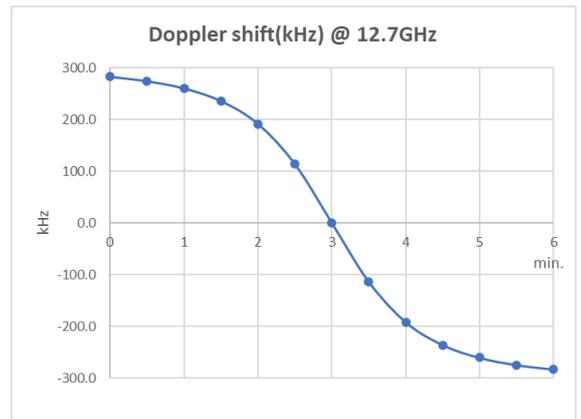


図4 LEO衛星のドップラーシフト