

Vertex のお役立ち機能：IQ Playback

これまでの2回、弊社で取り扱っているRFチャネルエミュレータ（Fader）であるVertexが備える、DEE(Dynamic Environment Emulation)機能、およびACM(Advanced Channel Modeling)についてご紹介しました。これらを利用することで自動車、ドローン、HAPS、LEO衛星などの移動に伴う伝搬環境の動的な変化を模擬することができ、また多様なシナリオによって様々な試験環境を容易に構築することもできるようになります。

今回は、Faderの最も基本的な機能の一つであるフェージング、さらにはドップラーシフトを、ユーザーが任意に生成・変化させることが可能になるIQ Playback機能についてご紹介します。

【IQ Playback 機能の仕組み】

IQ Playback機能は図1に示すように、Vertexに入力したユーザー信号に、ユーザーが作成したユーザー定義フェージングサンプルデータ(以下、ユーザー定義データ)を乗算することで、ユーザー信号の振幅変化や位相変化に加え、ドップラーシフトの生成も行えるものです。この乗算はデジタルのIQ信号の形で行います。

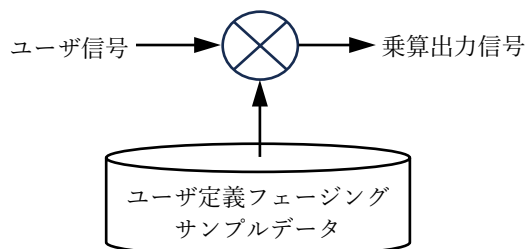


図1 IQ Playback ブロック図

これを数式にすると、まずユーザー信号は式(1)で代表させることができ、ユーザー定義データは式(2)のように表わせます。このとき両者を乗算すると式(3)が導かれます。

$$I_0 + jQ_0 = A_0 e^{j(\omega_0 t + \theta_0)} \tag{1}$$

$$I_1 + jQ_1 = A_1 e^{j(\omega_1 t + \theta_1)} \tag{2}$$

$$(I_0 + jQ_0) \times (I_1 + jQ_1) = A_0 e^{j(\omega_0 t + \theta_0)} \times A_1 e^{j(\omega_1 t + \theta_1)} = A_0 A_1 e^{j[(\omega_0 + \omega_1)t + (\theta_0 + \theta_1)]} \tag{3}$$

式(3)から、乗算後の振幅は $A_0 \times A_1$ 、角周波数は $\omega_0 + \omega_1$ 、位相は $\theta_0 + \theta_1$ になることが分かります。従って乗算出力信号は、ユーザー定義データの振幅 A_1 、角周波数 ω_1 、位相 θ_1 によって任意に振幅・周波数・位相を変化できることとなります。IQ Playback機能では、 I_1, Q_1 の時系列データを読み込んで逐次乗算を行うことで、時間とともに振幅・位相を変化させたり、ドップラーシフトをかけた信号を生成したりできます。

例えば $A_1 = 0, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0$ のような時系列データを作成すればインパルス状の信号を作ることも可能ですし、フェージングの連続的なレベル変動を生成したい場合は、その振幅変動と同じ変化をする A_1 のデータを作成すればよいことになります。

周波数については乗算後の角周波数が $\omega_0 + \omega_1$ になることから、 ω_1 が正であれば乗算によって周波数は増加し、負であれば減少するので、これによってドップラーシフトをかけられます。周波数が正では、

IQ 平面上で位相ベクトルが正回転(反時計回り)し、周波数が負では負回転(時計回り)します。正回転の場合の I 成分、Q 成分を時間軸方向でプロットすると図 2 のように、青色の I 成分の方が位相が 90°進んだ状態になります。逆に負回転の場合は、緑色の Q 成分の方が位相が 90°進んだ状態になります。表 1 は正回転の場合の I 成分、Q 成分を 1/8 周期毎(=45°毎)にサンプリングしたデータです。ある一定周波数でドップラースhift をかける場合、ユーザ定義データはこのようなデータ列になります。

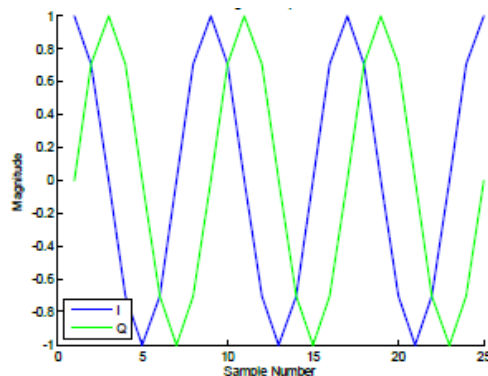


図 2 時間軸方向 IQ 成分

最後に位相については、乗算後の位相が $\theta_0 + \theta_1$ になることから、正負も含んだ θ_1 の位相の値によって任意に位相をコントロールできることが分かるかと思ます。ちなみに位相だけを制御する場合のデータ列は、式(2)で $A_1=1$ 、 $\omega_1=0$ と置くと、

$$I_1 + jQ_1 = A_1 e^{j(\omega_1 t + \theta_1)} = e^{j\theta_1} = \cos \theta_1 + j \sin \theta_1 \quad (4)$$

となり、 $I_1 = \cos \theta_1$ 、 $Q_1 = \sin \theta_1$ と表されます。従って、もし固定的に 30°位相を遅らせたい場合は、(4)式で $\theta_1 = -30^\circ$ と置いて、

$$I_1 = \cos(-30^\circ) = 0.8660 \quad Q_1 = \sin(-30^\circ) = -0.5$$

というデータ列を作ればよいことになります。

IQ Playback 機能のユーザ定義データは、そのような I 成分と Q 成分のデータ列をテキストファイルに書き込んだ形式になっています。

[Fading Sample Data]	
I成分	Q成分
1.0000	0.0000
0.7071	0.7071
0.0000	1.0000
-0.7071	0.7071
-1.0000	0.0000
-0.7071	-0.7071
0.0000	-1.0000

表 1 IQ サンプルデータ

【IQ Playback 機能の利用例】

① DEE より高速なチャネル変動の生成

前回ご紹介した DEE 機能ではパラメータ変動の最小時間は 10ms です。端末の移動に伴うレベル変動、遅延時間やドップラースhift 周波数の変動に対しては 10ms 間隔でパラメータを変更させられれば十分だと思われれます。しかしマルチパスフェージングのようなもっと変化の速い現象も存在します。仮にマルチパスフェージングの定在波が $\lambda/2$ 間隔で立っていて、周波数が 3GHz とすると $\lambda/2=5$ cm です。そこを時速 36km/h、すなわち 10m/s で車が走ると、定在波の一波分である 5 cm を移動する時間は 5ms です。従ってその間のレベル変動をトレースしようとする、5ms より(1/数)程度は短い時間で変化させたいところでは。

これに対し IQ Playback 機能では最短 15k sample/sec で IQ データを取り込み、乗算を行うため上記のような例にも対応可能です。このように伝搬チャネルのパラメータを DEE よりさらに高速に制御したい場合、IQ Playback 機能が有効です。

② シミュレーションと同じフェージング環境を実機で実現

携帯電話の基地局や端末など、無線通信装置の受信性能の評価においては、実機で確認する前にまずシミュレーションを行って特性評価するのが一般的ではないでしょうか。その場合、AWGN(Additive White Gaussian Noise)による静特性の評価だけでなくフェージング環境下の動特性の評価も行われるものと思います。このときシミュレーションで何らかのフェージング環境を用意することになりますが、そのフェージングの振幅・位相変動/ドップラーシフトを I,Q データの形でテキストファイルに落とせば、IQ Playback 機能によってシミュレーションと全く同じフェージングを再現できます。これを使えば実機評価を行う際に、シミュレーションと実機でどれだけ特性劣化が生じたかを正確に判定することができるので、特性劣化の評価がスムーズに進みます。またフェージングモデルがあまり用意されていないような伝搬環境、例えば海上伝搬や大きな倉庫・工場内の電波伝搬モデルなどをシミュレーションで作成すれば、そこからユーザ定義データを生成して、実機評価の実施が可能になります。

③ 多様なドップラーシフトの生成

IQ Playback 機能の仕組みの説明では入力されたユーザ信号に対して、ある周波数シフトを行う操作のみを説明しましたが、ユーザ定義データの作り方によっては、他にも様々なドップラーシフトをかけることができます。

例えば式(2)の代わりに下記の式(5)で表されるユーザ定義データ、すなわち振幅だけの項を含むものを乗算すれば、式(6)のように元の周波数成分を定数倍した項、 $A_0A_c e^{j(\omega_0 t + \theta_0)}$ も生成されるので、図3のように元の周波数の信号も残したままドップラーシフトした信号を作り出せます。また、式(7)のように多数の周波数成分を持つユーザ定義データを用意すると、図4のような多様なドップラーシフト信号を生成することも可能です。

$$A_c + A_1 e^{j(\omega_1 t + \theta_1)} \tag{5}$$

$$A_0 e^{j(\omega_0 t + \theta_0)} \times [A_c + A_1 e^{j(\omega_1 t + \theta_1)}] = A_0 A_c e^{j(\omega_0 t + \theta_0)} + A_0 A_1 e^{j(\omega_0 + \omega_1)t + j(\theta_0 + \theta_1)} \tag{6}$$

$$A_c + A_1 e^{j(\omega_1 t + \theta_1)} + A_2 e^{j(\omega_2 t + \theta_2)} + A_3 e^{j(\omega_3 t + \theta_3)} + A_4 e^{j(\omega_4 t + \theta_4)} + \dots \tag{7}$$

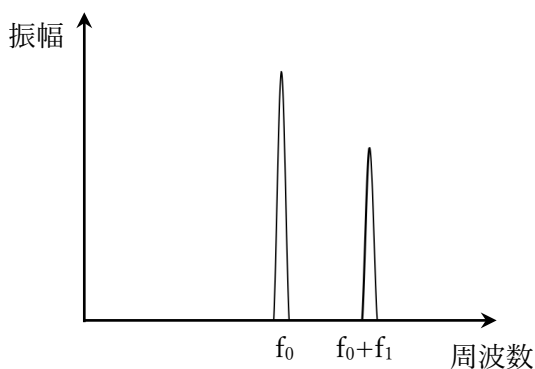


図3 元の信号+ドップラーシフト

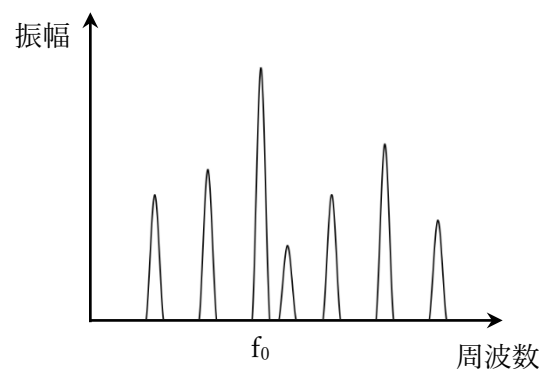


図4 多様なドップラーシフト

以上のように Fader の最も基本的な機能をユーザに開放した IQ Playback 機能は、ユーザオリジナルの伝搬モデルを作成する上で非常に有益です。従来は難しかった伝搬環境での装置評価もこの機能を使

えば、その多くが実現可能になるものと思われます。

なお RF チャネルエミュレータ「Vertex」にご興味をお持ちの場合、詳細はこちらからご覧ください。

<https://www.toyo.co.jp/ict/products/detail/vertex.html>