

移動無線通信用デジタルシミュレータ

Digital Simulator for Mobile Communications

須山 聡, 鈴木 博, 府川 和彦

東京工業大学 大学院理工学研究科集積システム専攻

ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1

TEL: 03-5734-3289, FAX:03-5734-3770

E-MAIL: suzuki@radio.ss.titech.ac.jp, URL: http://www.radio.ss.titech.ac.jp/

1. デジタルシミュレータ

従来、移動通信における信号伝送の基礎研究は計算機によるシミュレーションが主体であったが、伝送システムの高度化に伴って膨大な計算時間が必要になってきている。また、計算機シミュレーションによる基本アルゴリズムを実証するだけでなく、試作機を開発し性能を提示することが要求されている。さらに、試作機を開発するためには膨大な時間と費用が必要になっている。

我々はこれらの問題を解決する研究プラットフォームとして移動無線通信用信号伝送デジタルシミュレータを提案し研究している。シミュレータは研究から試作・開発までの期間短縮を考え、RFを含む構成とし、無線信号処理アルゴリズムをDSPやFPGAなどのソフトウェアで何度も修正可能なデバイスで実装している。基本構成を図1に示す。

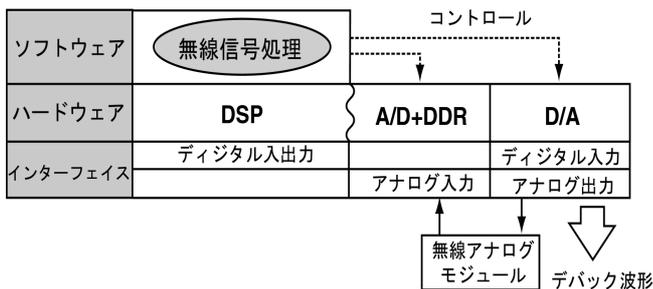


図1 シミュレータの基本構成

シミュレータのハードウェア構成はマルチDSPボード、デジタルレシーバ(DDR)付きA/Dモジュール、D/Aボードなどの汎用ボードで成り立っている。各ボード間のデジタルインターフェースとしてFPDPを搭載しており、160MB/sの転送速度でデータの受け渡しが可能になって

いる。DSPはTI社の32ビット浮動小数点演算C6701(167MHz, 1GFLOPS)を計8個搭載している。

DSP内の信号処理の様子をD/Aによってアナログ信号として取り出すことにより視覚的なデバッグ環境を実現している。また、アナログ信号をアナログ無線モジュールに入力することで送受信機を作成することができる。(アナログ無線モジュールについては現在開発中)

シミュレータの心臓部であるソフトウェアは信号生成部、移動無線伝搬路シミュレーション部、信号復調部に分けられる。各部に用いられるソフトウェアモジュールについて以降で述べる。

2. 開発成果

シミュレータの各部で用いられるソフトウェアモジュールを表1に示す。例えば、信号復調部では同期検波、適応等化、干渉キャンセルなどのモジュールを用意している。これらを選んで一つのリアルタイムシミュレーションを実行する。

信号生成部では波形生成形QPSK変調モジュールを用いている。ロールオフフィルタ波形を予めメモリにストアしておき、それを入力シンボルパターンによって出力する構成にしている。変調コンスタレーションを図2(a)に示す。

また、移動無線伝搬路シミュレーション部では各パスがフェージング変動に比例して一定時間間隔で発生と消滅を繰り返すモデルを用いた。また、伝搬路応答はフェージング変動を追従する程度に生成しているためにサンプル補間してシンボル間隔にしている。移動無線伝搬路シミュレーション部の出力波形を図2(b)に示す。

表 1 ソフトウェアモジュールの機能または特徴

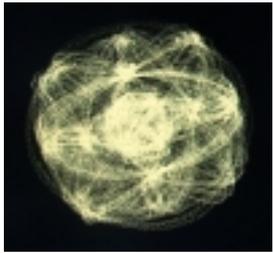
構成要素	機能または特徴
信号生成部	・ 波形生成型QPSK変調
移動無線伝搬路シミュレーション部	・ フェージング変動に応じてパスの発生、消滅を繰り返すフェージングモデル ・ サンプル点補間
信号復調部	・ ガウス雑音発生 ・ 同期検波 ・ 判定帰還型適応等化 ・ MLSE型適応等化 ・ 適応干渉キャンセル等化



(a) QPSK 変調信号



(b) フェージング環境



(c) 周波数選択性フェージング環境



(d) DFE の合成信号



(e) 同一チャネル間干渉



(f) ICE のレプリカ

図 2 観察された信号波形

信号復調部用に熱雑音発生、適応等化、干渉キャンセルモジュールを作成した。まず、ガウス雑音発生器は DSP の処理能力を著しく消費する $\sqrt{-\log(x)}$ の関数を予めメモリにテーブル化しておくことで高速化している。その際、テーブル化により誤り率に差が出ないように、0 付近の x に対しては別のメモリを用意して、精度を上げている。

ところで、無線伝搬路において各パスの遅延時間差が大きい場合には周波数選択性フェージング環境となりその受信信号は図 2(c)のように歪んでいる。このように歪んだ信号を元に戻す技術として適応等化器が知られている。本シミュレータの信号復調部には判定帰還型適応等化 (DFE) と MLSE 型適応等化モジュールを用意した。例えば、DFE のフィルタ合成波形は図 2(d)のようになり、周波数選択性フェージング環境においても信号点がきれいに復元されている。

また、移動通信では非常に膨大なユーザを収容するために、セル間隔を小さくしており、それに伴い同一チャネル間干渉が問題になってきている。そのような環境をシミュレータで実現したときの観察波形を図 2(e)に示す。干渉ユーザの信号と重なり合うことで 16 個の信号点が観測されている。干渉キャンセルモジュールとして本シミュレータの信号復調部には適応干渉キャンセル等化 (ICE) モジュールを用意している。ICE は MLSE 型適応等化モジュールを干渉ユーザについても受信信号レプリカを生成するように拡張することで実現できる。生成された受信信号レプリカ信号は図 2(f)のようになり、2 ユーザの受信信号とほぼ同様なものが得られることが確認された。

このようにシミュレータでは実装したアルゴリズムをリアルタイムにかつ視覚的に観察できるように効率的なデバックが可能となる。また、定量的な評価もプログラム上で行うことが出来る。

3. 今後の開発計画

現在、アナログ無線モジュールの組み立てを行っている。また、ソフトウェアの実装としてはアダプティブアレー、OFDM、CDMA 等の移動通信信号伝送系を実現したいと考えている。

4. まとめ

移動無線通信用シミュレータの基本構成、開発成果および開発計画を述べた。本シミュレータを用いることで無線信号処理アルゴリズムをリアルタイムにかつ視覚的にデバックすることが可能であり、ソフトウェアモジュールを変更するだけで様々な伝送実験系に対応できるので汎用的な研究プラットフォームとして有用である。

参考文献

須山 聡, 鈴木 博, 府川和彦, "移動無線通信用デジタルシミュレータ," YRP 移動体通信産学官交流シンポジウム 2000, pp. 45-46, 2000 年 7 月。