

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. はじめに

移動通信システムではマルチメディア情報伝送を中心とした高信頼な高速伝送を実現し、周波数有効利用を向上させるため、さまざまな無線信号処理技術が実装されている。また、近年、シームレスな国際ローミング、多種多様なサービスへの対応を可能にするため、ソフトウェア無線をベースとする移動通信システムの構築が注目されている。

ソフトウェア無線を実現するためには、プログラマブルデバイスであるDSPやFPGA上で動作するソフトウェアモジュールの設計、開発、ならびにそれらを実環境に近い状況で検証するツールが必要になる。また、各モジュールを用いた場合のシステム全体としてのパフォーマンスを検討し、効率的にシステムを設計する必要がある。さらに、従来の研究開発の現場においても、マーケットへの投入を速やかに行うため、基礎研究から試作・開発までの期間の短縮が必要不可欠である。我々はこれらのニーズに応える無線信号処理アルゴリズムを研究・評価するプラットフォームを提案し、研究している[1][2]。我々はこのプラットフォームを移動無線通信用デジタルシミュレータと呼んでいる。

2. 移動無線通信用デジタルシミュレータ

シミュレータはソフトウェア無線に近い構成とし、RF、IFなどのアナログ無線モジュールを含み、無線信号処理アルゴリズムをDSPやFPGAなどのプログラマブルデバイスに実装している。シミュレータの完成イメージを図1に示す。実環境に近い伝送実験系を実現するため、フェージングシミュレータをアナログインタフェースに挿入できる

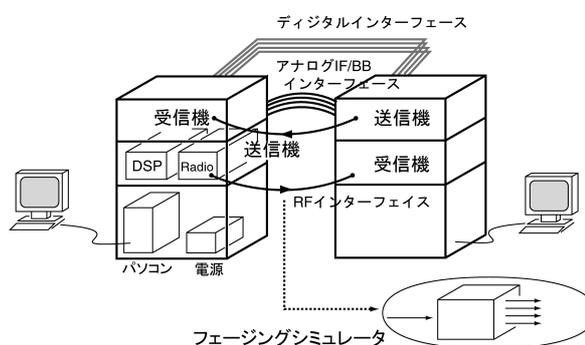


図1 シミュレータの完成イメージ

ようにしている。また、信号処理のデバック用にデジタルインタフェースも用意している。

シミュレータのハードウェアはマルチ DSP ボード、デジタルレシーバ付き A/D モジュール、FPGA モジュール、D/A ボードなどの汎用ボードで構成される。各ボード間のデジタルインタフェースとして 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である。マルチ DSP ボードは TI 社の 32 ビット浮動小数点演算 C6701 (167MHz, 1GFLOPS) を 4 個搭載し、シミュレータは計 5 枚のマルチ DSP ボードを搭載している。各 DSP 内の信号処理の様子をリアルタイムに D/A 変換してアナログ信号として観測できるようにしている。これによりビジュアルな思考、効率的なデバックが可能となる。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。

3. 開発成果

本研究ではソフトウェアの開発として、シングルキャリア伝送およびマルチキャリア伝送の移動無線系の評価を行うためのモジュールのライブラリ化を目指しており、検波器 (同期検波、遅延検

表 1 ソフトウェアモジュール

構成要素	機能または特徴	処理能力
信号生成部	<ul style="list-style-type: none"> ・波形生成型QPSK変調 ・QPSK変調と64ポイントIFFT 	1.2 Mbps
移動無線伝搬路シミュレーション部	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	128 kbpsで $f_D=10$ kHz
信号復調部	<ul style="list-style-type: none"> ・ガウス雑音発生 ・判定帰還型適応等化 ・MLSE型適応等化 ・適応干渉キャンセラ ・64ポイントFFT 	5 Msps 275 kbps 130 kbps 135 kbps 150 k回/秒

波), 適応等化器 (判定帰還形, 最尤系列推定形) および干渉キャンセラ (干渉キャンセルと等化の結合処理) 等の高度な復調技術を実装した。また, 伝送特性の評価に重要なガウス雑音発生器を実装した。このモジュールでは 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を行っている。その際, テーブル化により誤り率に差が出ないように, 値が急峻となる付近では別のメモリを用意して, 精度を上げている。表 1 に各モジュールの特徴, 性能について示す。

モジュールは信号復調部だけでなく, 信号生成部, 移動無線伝搬路シミュレーション部を含んでいる。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, 当研究室で考案されたアルゴリズムを実装した[3]。周波数選択性フェージング環境における受信信号を D/A 変換してアナログモジュールに入力し, スペクトルアナライザで図 2 のようなスペクトルを観測できた。

さらに, 無線 LAN や地上波デジタル TV などに採用されている OFDM の実装を行った。OFDM の送受信モジュールは 5GHz 帯無線 LAN に準拠したパラメータで設計した[4]。信号の時間領域と周波数領域の変換には 64 ポイントの FFT/IFFT を使用しており, ビット反転やバタフライ演算の順序を予めメモリ上に展開しておくことで高速化を行った。OFDM 送信モジュールは周波数領域においてシリアルな送信ビット系列をパラレルに変換し, 各サブキャリアで変調する。さらに, IFFT で時間領域に変換後, ガードインターバル(GI)を挿入する。各サブキャリアの変調方式には QPSK を用いた。OFDM 受信モジュールは受信信号から GI を取り除き, FFT により周波数領域に変換後, 各サブキャリアにおいて同期検波を行う。なお, FFT タイミングはカンニングしている。同期検波にはパイロット信号を用いて推定した伝達関数を用い

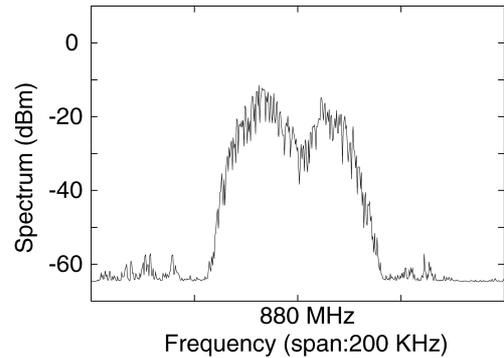


図 2 周波数選択性フェージング環境における受信信号スペクトル

また, 受信信号および同期検波における判定信号を D/A ボードに出力している。判定信号は任意のサブキャリアを選択できるようにしており, サブキャリアごとに変調方式が違う場合でも信号を確認ができる。OFDM では GI を超える遅延波が存在すると, サブキャリア間の直交性が成り立たなくなり伝送特性が劣化することが知られている。シミュレータにおいてその様子を確認できるようにした。また, 誤り率特性も測定できるようにした。

4. 今後の開発計画

RF, IF のアナログ無線モジュールの組み立てを行う。ソフトウェアに関しては FPGA への実装も行う。また, OFDM の精度の良いチャネル推定器や適応等化器, MC-CDMA, アダプティブアレー等の移動通信用モジュールを実現する予定である。

5. まとめ

移動無線通信用シミュレータの構成, 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グ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ことを示した。

参考文献

- [1]須山他, YRP 移動体通信産学官交流シンポジウム 2001, pp. 88-89, 2001 年 7 月. [2]須山他, 電子情報通信学会, ソサイエティ大会, B-5-159, 2001 年 9 月. [3]N.Suwunniponth, et al, Proc. 1999 IEEE Intern. Symp. on Intelli. Signal Proc. and Commu. Systems, pp.137-140, Dec. 1999. [4]IEEE Std 802.11a, High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band, 1999.