

さまざまな移動通信システムが林立するなかで、無線機のマルチモード化を実現するための“ソフトウェア無線機”が注目されている。ソフトウェア無線機はソフトウェアによって無線機能を実現する無線機で、アプリケーションプログラムを交換するだけでハードウェアを変更することなく無線機としての仕様を変更することが可能となる。ソフトウェア無線機の実現のためには、高速・高精度 A/D 変換器や高速デジタル信号処理技術に加え、無線部(アナログ部)の広帯域化が重要となる。

Software-defined radio is one of the solutions for realizing a multimode terminal for various mobile communication standards in the world. The software-defined radio can change itself with replacement of the application program, including modems, filters, equalizers, and so on. Broadband high-resolution A/D and D/A converters, high-speed digital signal processing, and a broadband RF stage are required to realize a software-defined radio. This paper presents an architecture suitable for the implementation of software-defined radio, focusing on configuration of the broadband RF stage.

1 まえがき

近年、携帯電話や PHS などの移動通信システムは急激にその普及の度合いを高めている。しかし、現在移動通信システムにはさまざまな規格が林立している。携帯電話を例にとると、日本では PDC(Personal Digital Cellular)、米国では AMPS(Advanced Mobile Phone Service)や cdmaOne^(注1)(code division multiple access One)、欧州では GSM(Global System for Mobile communications)などがあり、これらは互いに互換性がない。さらに、これらの既存のシステムに加え、次世代のモバイルマルチメディア対応を旨とする IMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)が来世紀初頭には登場する。IMT-2000 では、世界統一規格を旨としてはいるものの、日米欧で物理層から上位レイヤまですべての仕様が統一されるかどうかは微妙な状況である。

こうしたなかで、複数の移動通信システムが利用可能な、いわゆる“マルチモード無線機”への要求が高まっている。ソフトウェア無線機は無線機のマルチモード化を実現する一つの方法であり、従来ハードウェアで実現されていた無線機能をソフトウェア処理によって実現するものである。これによって、アプリケーションプログラムを交換するだけでモデムやフィルタ、等化器、通信プロトコルなどの無線機能ブロックの特性を必要に応じて変更することが可能となり、共通のハードウェアを用いながらさまざま

な移動通信システムに対応することができるようになる。このようなソフトウェア無線機が近年脚光をあびており研究開発が始まっている^{(1),(2)}。

ソフトウェア無線機を実現するためには、デジタル信号処理部の DSP(Digital Signal Processor)や FPGA(Field Programmable Gate Array)によるソフトウェア化、リコンフィギュラブル化に加えて、アナログ部(無線部)の広帯域化が必要となる。また、従来の無線機では考慮されていなかった、アプリケーションプログラムの交換による無線機能の変更ができるアーキテクチャの開発が重要となる。

ここでは、まずソフトウェア無線機概念について述べ、次にソフトウェア無線機を実現するための無線機の構成について述べる。次に、無線部の広帯域化手法について述べる。また、ソフトウェア無線機の標準化動向についても言及する。

2 ソフトウェア無線機概念

無線信号処理の一部を DSP のソフトウェアによって実現すればそれは狭義の“ソフトウェア無線機”であり、この意味でのソフトウェア無線機はすでに世の中に存在している。しかし、ここで言うソフトウェア無線機は単に無線機能の一部をソフトウェア化するだけではなく、ソフトウェアを入れ換えることでハードウェアの変更なしにさまざまな移動通信システムに対応できるという点が狭義のソフトウェア無線機と大きく異なる。

ソフトウェア無線機の目的は、無線機能をプログラマブ

(注1) cdmaOne は、米国 CDG(CDMA Development Group)の登録商標。

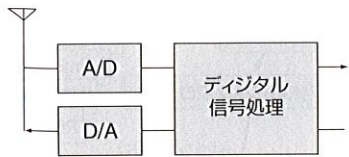


図1. 理想のソフトウェア無線機 理想的なソフトウェア無線機はアンテナに直結された A/D/A 変換器である。

Ideal software-defined radio

ル化することで無線機に汎(はん)用性をもたせることである。そのためには、なるべく多くの無線信号処理機能をデジタル化、ソフトウェア化することが重要である。

理想的なソフトウェア無線機は、アンテナに直結した A/D (Analog to Digital) 変換器、D/A (Digital to Analog) 変換器とデジタル信号処理部の組合せである(図1)。このような構成は、A/D 変換器や D/A 変換器の動作速度や分解能の観点から見て現段階では現実的ではないが、理想のソフトウェア無線機に少しでも近づくためには、受信信号の A/D 変換あるいは送信信号の D/A 変換をなるべく高周波側で行い、周波数変換やチャンネル選択などの従来アナログ部で実現されていた機能をデジタル信号処理によって行うことが望ましい。

図2はマルチモード端末を従来の無線機の組合せで実現した場合(図2(a))とソフトウェア無線機によって実現した場合(図2(b))を示している。従来の無線機(a)では、チャンネル選択を無線部(アナログ部)で行いその信号を A/D 変換した後にデジタル信号処理によって受信信号を復調する。したがって、複数の移動通信システムへの対応は単純に複数の受信機を組み合わせることによって実現している。これに対してソフトウェア無線機(b)では、広帯域の信号を一括して A/D 変換し、チャンネル選択を含めた復調処理はすべてデジタル部におけるソフトウェア的な信号処理によって実現する。このように、ソフトウェア無線機で

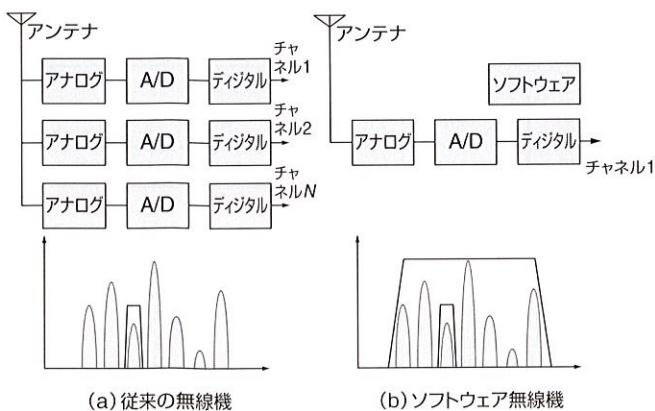


図2. ソフトウェア無線機による無線機のマルチモード化 周波数変換とチャンネル選択機能がデジタル信号処理で実現できる。

Differences between multimode and software-defined radio

はソフトウェアを入れ換えるだけで無線機能を変更することが可能となり、これによってマルチモード化が実現できる。したがって、ハードウェアが対応できる限りどのような移動通信システムでも利用可能となる。さらに、無線によるソフトウェアダウンロード機能を利用したソフトウェアのバージョンアップやバグフィックス^(注2)が容易である。

また、それ以外のソフトウェア無線機のメリットとして以下の点が挙げられる。

- (1) 同じ無線端末でさまざまなシステムが利用可能になる(ユーザーサイドのメリット)。
- (2) 移動通信システムごとに個別に端末を開発する必要がなくなる(メーカーのメリット)。
- (3) 新しい機能をすぐにサービスできる(プロバイダのメリット)。

3 ソフトウェア無線機の構成

ソフトウェア無線機の構成を図3に示す。ソフトウェア無線機は広帯域無線部および無線信号処理専用チップ(DRP: Digital Radio Processor)からなるハードウェアプラットフォームと、デバイスドライバ、OS および無線機能が記述されたライブラリからなる基本ソフトウェアによって構成され、OS 上で動作するアプリケーションプログラムを交換することで無線機としての特性が変更できる。

以下にこれらの構成要素について説明する。

- (1) 無線記述言語 おのおのの移動通信システムに応じた無線機能とその特性を表現するための高級言語である。この言語を用いることで、アプリケーション開発者はハードウェアを意識せずに、送信出力、データレート、変調方式、チャンネルコーデックや音声コーデックなどの物理層制御プログラムを記述することが可能となる。
- (2) アプリケーションプログラム 無線機の構成や機能が特別な記述言語(無線記述言語: 上述)によって

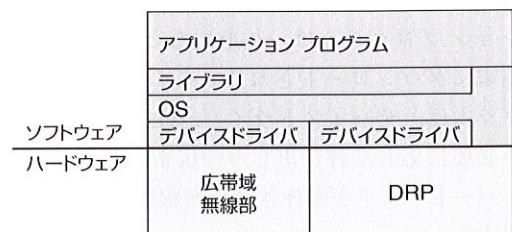


図3. ソフトウェア無線機の構成 ハードウェアは広帯域無線部とDRPからなり、アプリケーションを交換することで機能を変更する。

Architecture of software-defined radio

(注2) プログラム上での誤りであるバグを修正すること。

記述されている。例えば、GSMやcdmaOne、IMT-2000などの特定の移動通信システム向けにそれぞれ用意され、無線機の仕様はこのアプリケーションプログラムを交換することによって簡単に変更できる。

(3) ライブラリ 基本的な無線機能を記述する関数群である。例えば、A/D変換器やD/A変換器の制御関数、DSPで動作する変調プログラム、FPGAで動作するフィルタプログラムなどである。アプリケーションプログラムからの命令に応じて必要な関数が呼び出され、与えられたパラメータに応じて動作する。例えば、モデムやフィルタなどに対して必要な変調方式や伝送レートなどに応じた設定がなされると同時に実行される。

(4) DRP ソフトウェア無線機のデジタル信号処理専用ハードウェアであり、A/D変換器、D/A変換器、FPGA、DSP、専用デジタル回路(ASIC(用途特定IC))からなる。これらFPGA、DSP、ASICによって、アップコンバージョン、ダウンコンバージョンなどの周波数変換機能や、フィルタリング機能がプログラマブルに実現される。フィルタやミキサ、信号発生器などの定型的な機能はASICで実現され、パラメータ変更により特性を変更する。またCDMAの拡散/逆拡散処理のような高速性を要求される汎用機能にはFPGAをリコンフィギュアして実現する。高速性を要求されない複雑な機能、例えばモデムや音声コーデックなどの機能はDSPによってソフトウェア処理される。これらの機能と実行ハードウェアの関係はすべてライブラリによって定義される。このブロックでは高速・高精度A/D変換、高速デジタル信号処理が課題である。

(5) 広帯域無線部 搬送波周波数や帯域幅、変調方式や送信電力など異なる無線特性を要求するさまざまな移動通信システムに対応するために、汎用性をもつ広帯域無線部を備え、各システムで共通に使用する。広帯域無線部については次章で詳説する。

図4はアプリケーションプログラムによるソフトウェア無線機の動作を示す。無線記述言語で記述されたアプリケーションプログラムは、基地局などから無線回線を介して端末にダウンロードされる。このアプリケーションプログラムは、デバイスドライバ、OSを介して、ライブラリを必要に応じて呼び出しつつ広帯域無線部とDRPからなるハードウェアを動作させ、無線機として所望の特性を実現する。

4 ダイレクトコンバージョン方式による無線部の広帯域化

前章に述べたとおり、ソフトウェア無線機では、複数の

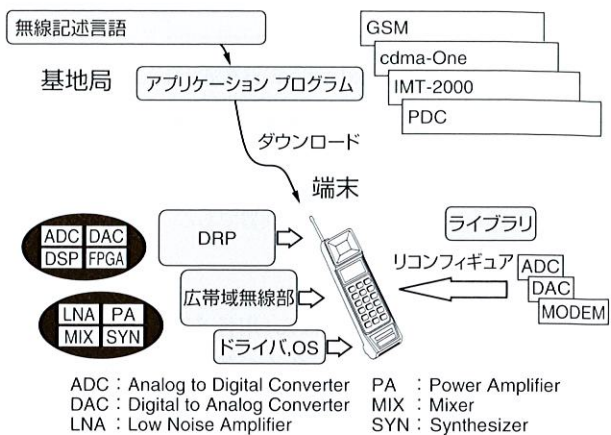


図4. アプリケーションプログラムによるソフトウェア無線機の動作 アプリケーションは無線回線を介してダウンロードされる。

Operation of software-defined radio with application programs

チャンネルが一つの広帯域無線部に入力される。入力されたすべてのチャンネルは高速A/D変換器によってデジタル信号へ変換され、所望のチャンネルはDRP内のプログラマブルチャンネルフィルタによって選択される。DRPのパラメータを変更することによってフィルタの特性を変化させることでさまざまな帯域幅に対応可能となる。この広帯域無線部は、全システム受信帯域をA/D変換器に出力する必要があるが、主要な移動通信システムのシステム受信帯域幅は表1に示すとおりである。

広帯域無線部は、システムの受信帯域として利用されているこれらの12.5 MHzから60 MHz程度の帯域幅を取り扱う必要がある。

図5は従来用いられているスーパーヘテロダイン方式による無線部の構成を示している。この構成は、受信信号をいったんIF(Intermediate Frequency)信号へ周波数変換

表1. 移動通信システムとその受信帯域幅

Major mobile communication systems and their system bandwidth

標準	移動通信システム			
	第一世代	GSM	PHS	IMT-2000
帯域幅	12.5 MHz	25 MHz	23 MHz	60 MHz

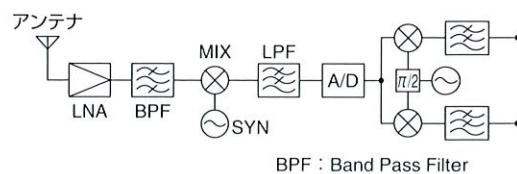


図5. スーパーヘテロダイン方式による構成 受信信号はいったんIF信号へ変換されその後A/D変換、デジタル信号処理される。

Architecture of heterodyne receiver

し、IF帯でシステム帯域を一括してA/D変換を行い、その後、デジタル信号処理によって、狭帯域の所望信号を切り出す。この構成では、イメージ抑圧のためにRF(Radio Frequency)段やIF段に誘電体フィルタやSAW(Surface Acoustic Wave)フィルタなどの受動部品が必要である。このようなフィルタは中心周波数や通過帯域幅のプログラマブル化が困難であるため、仕様によって決まる固定的な周波数特性をもったものを個別に用いる必要がある。さらに、通過帯域幅はフィルタのQ値(フィルタの急しゅんさを表す)によって制限されるため、通常、表1に示した12.5~60MHzという広い帯域幅を実現するのは困難である。さらに、ソフトウェア無線機では利用する移動通信システムによって必要な中心周波数が異なるものとなる。このような問題に対応するためには、フィルタバンクを用意して必要に応じて複数のフィルタを切り換える必要があり、端末の小型化に不向きである。同様な問題が受信系だけでなくIF段をもつ送信部でも発生する。これらの問題を解決する一つの手法がダイレクトコンバージョン方式である³⁾。

図6はダイレクトコンバージョン方式による構成である。受信されたRF信号は直交復調器でベースバンド信号へ周波数変換される。このIQ(複素数の実部と虚部)信号はLPF(Low Pass Filter)によってアンチエイリアシングされた後にA/D変換器でデジタル信号に変換される。この信号はデジタル部でチャンネル選択、波形整形フィルタリングなどの信号処理がなされる。ダイレクトコンバージョン方式は原理的にイメージレスポンスがないため、固定的なイメージ抑圧フィルタが不要である。さらに、A/D変換の折返し除去のためのLPFはスイッチトキャパシタフィルタのようなアクティブフィルタでの構成が可能であり、帯域幅を可変にしやすく、またIC化に適している。したがって、ダイレクトコンバージョン方式は広帯域化を図りやすい上に、IC化に適したフィルタを用いるためワンプリップ化、小型化に向けた方式であると言える。

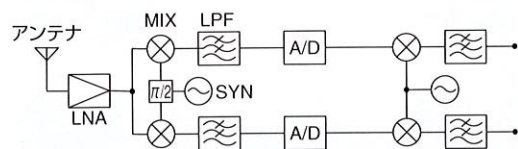


図6. ダイレクトコンバージョン方式による構成 受信信号は直接ベースバンドへ変換され、A/D変換、デジタル信号処理される。
Architecture of direct-conversion receiver

5 標準化動向

ソフトウェア無線機のデファクト標準化が、SDR

(Software Defined Radio)フォーラムで行われている。SDRフォーラムは1996年3月に設立された非営利民間団体で、主に米国のサービスプロバイダとセットメーカーがメンバーに登録されている。年に4回総会が開かれ標準化作業が行われている。主にアーキテクチャの要件、ソフトウェアのAPI(Application Programming Interface)およびソフトウェアダウンロードに関する標準化を行っている。SDRフォーラムは小規模ではあるが、現時点では唯一の標準化団体である。

一方欧州ではACTS(Advanced Communication Technologies and Services)プロジェクトにおいてSORT(Software Radio Technology)プロジェクトが98年に発足し、IMT-2000へのソフトウェア無線機導入を図っている。

6 あとがき

ここでは、ソフトウェア無線機の基本コンセプト、無線機の構成、広帯域無線部の実現方法を述べた。また、標準化動向についても述べた。ソフトウェア無線機はその汎用性、プログラマビリティからマルチモード化が容易で、IMT-2000を含めた次世代移動通信システム向け端末としてきわめて有望である。また、GPS(Global Positioning System)やITS(Intelligent Transport Systems)などの移動通信システム以外の無線機能を取り込むことも容易であり、統合化された無線機の実現が可能である。

文献

- (1) Mitola, J. "The Software Radio Architecture." IEEE Communication Magazine, 33, 5, 1995, p.26-38.
- (2) Harada, H., et al. "Multimode Software Radio System by Parameter Controlled and Telecommunication Toolbox Embedded Digital Signal Processing Chipset". Proc. of ACTS Mobile Communication Summit '98, 1998, p.115-120.
- (3) 吉田 弘, 他. "ダイレクトコンバージョン方式を用いたソフトウェア無線機受信部の広帯域化". 1998年信学通信ソ大会. B-5-45, 1998.



吉田 弘 YOSHIDA Hiroshi

研究開発センター 情報・通信システム研究所研究主務。
移動通信技術の研究・開発に従事。
電子情報通信学会会員
Communication & Information Systems Research Labs.



鶴見 博史 TSURUMI Hiroshi

研究開発センター 情報・通信システム研究所研究主務。
移動通信技術の研究・開発に従事。
電子情報通信学会会員
Communication & Information Systems Research Labs.



鈴木 康夫 SUZUKI Yasuo, D. Eng.

研究開発センター 情報・通信システム研究所ラボラトリー・リーダー, 工博。移動通信技術の研究・開発に従事。
電子情報通信学会会員。
Communication & Information Systems Research Labs.