

# ソフトウェア無線機

Software Radio

横井 時彦  
YOKOI Tokihiko

並木 慎一  
NAMIKI Shin-ichi

吉田 弘  
YOSHIDA Hiroshi

近年、ソフトウェアの処理を変更することにより、異なった複数の無線システムに対応できるソフトウェア無線機の開発が各所で進められている。当社は、PHS、ETC( Electronic Toll Collection )、GPS( Global Positioning System )の三つの動作モード( 通信方式 )に対応したソフトウェア無線機を、郵政省通信総合研究所( CRL)から受注し開発した。この装置では、動作モードを変更する場合、既存のソフトウェアとの差分情報だけをダウンロードする方式を採用している。これにより、変更するソフトウェアの容量を削減でき、動作モードの変更が短時間( 約1/10 )で行えることが確認できた。

Software radio, which is adaptable to several radio systems by changing the software, is being widely discussed nowadays. Communications Research Laboratory (CRL,MPT) have conducted a triple-mode (personal handy-phone system/electronic toll collection/global positioning system: PHS/ETC/GPS) software radio system development and we contracted for this. This software radio system is characterized by a parameter download for minimization of the download software capacity.

## 1 まえがき

近年、ソフトウェアを変更するだけで複数の無線システムに対応できるソフトウェア無線機の開発が各所で進められている。その応用分野は、無線通信をはじめ、放送や電波監視など広範囲にわたっている。ここでは、ソフトウェア無線機の基本的な概念及び開発動向を述べるとともに、CRLから受注し開発した、差分情報駆動<sup>1)</sup>を特長とするPHS、ETC、GPSの三つの動作モードを備えたソフトウェア無線機<sup>2)</sup>について述べる。この装置の外観を図1に示す。

## 2 ソフトウェア無線の概念と研究開発の動向

ソフトウェア無線という概念が無線通信の分野に登場してきたのは、1995年のIEEEのCommunication Magazine 5月号であり<sup>3)</sup>、比較的新しい技術分野である。

ソフトウェア無線機は、単一のハードウェアプラットフォーム上で、ソフトウェアの変更により複数の動作モードを実現する。このため、通信方式によらず、従来及び将来の無線通信システムへの対応が可能である。このことは、無線通信システムの事業者、メーカー、ユーザーにとってもメリットが大きいことから、広く検討される要因となっている。無線通信に限らず、放送分野や電波の適正な使用を監視する電波監視装置への応用も期待されている。

ソフトウェア無線機を、周囲環境に適応して動作モードを自動的に適応させるインテリジェンス化へ向けた検討も行われている<sup>4)</sup>。

ソフトウェア無線に関する国内外における研究開発動向

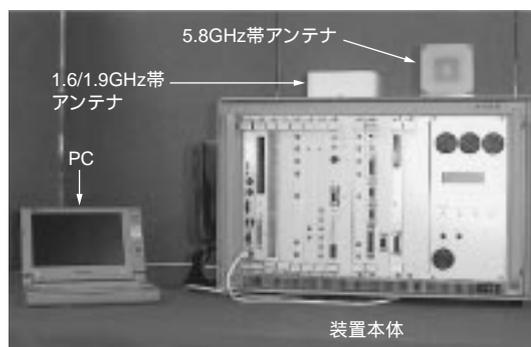


図1. 試作装置 試作装置本体は、19インチ工業標準シャーシとそこに収容される基板ユニットにより構成される。  
Prototype software radio equipment

は、以下のように概説できる。

米国では、SDR( Software Defined Radio)フォーラムを中心として、ソフトウェア無線機のダウンロードプロトコルや無線API( Application Programming Interface)の標準化作業が進められている。

ヨーロッパでは、SORT( Software Radio Technologies )、SLATS( Software Libraries for Advanced Terminal Solutions )、PROMURA( PROgrammable MULtimode RAdio for multimedia wireless terminals)などのプロジェクトが推進されている。

国内では( 社)電波産業会( ARIB)のソフトウェア受信機の開発に関する調査検討会や( 社)電子情報通信学会のソフトウェア無線研究会において、幅広い活動が行われている。

当社は、CRLから、差分情報をダウンロードすることによりソフトウェアの変更を行えることを特長としたソフトウェア

無線機試作装置の開発を受託した。以下、この試作装置の構成、概要、評価結果について述べる。

### 3 試作装置のねらい及び構成

試作装置は、変復調方式や伝送レートなどのパラメータを外部から与えることにより、通信方式に関する特性を変更することができる。実システム用として、PHS、ETC、GPSなどの機能を搭載している。

これらの機能に加え、任意の伝送レートや変調方式を設定できるユーザーモードも実装しており、外部制御装置から入力されるパラメータにより変更できる。装置全体構成を図2に示す。この装置は、アンテナ、RF (Radio Frequency) ユニット、IF (Intermediate Frequency) ユニット及びBB (Base Band) ユニットから構成される。装置全体は、10base Tを用いたLANによって接続されたノート型パソコン(PC)により制御される。この装置の諸元を表1に示す。

- (1) アンテナ 5.8GHz帯用パッチアンテナ及び1.9/1.6GHz帯用デュアルバンドアンテナから構成される。

- (2) RFユニット アンテナからの信号をIF帯に変換する。5.8GHz帯のETC部、1.9GHz帯のPHS部、1.6GHz帯のGPS部から構成される。
- (3) IFユニット 各モード用インタフェース(I/F)部、D/A(Digital to Analog)変換部、A/D(Analog to Digital)変換部から構成される。
- (4) BBユニット 以下に示す信号処理を行う。
  - (a) 位相マッピング処理
  - (b) インターポレーション(内挿補間)
  - (c) デジタルフィルタリング
  - (d) IF周波数帯へのアップコンバージョン
  - (e) IF周波数帯からのダウンコンバージョン
  - (f) デシメーション(間引き)
  - (g) リサンプリング(クロック再生、キャリア再生)
  - (h) 復調処理

BBユニットは、データ変換ユニット、FPGA(Field Programmable Gate Array)ユニット、DSP(Digital Signal Processor)ユニット、各モード用信号処理部から構成される。これらのユニットは、様々な動作モードに対応できるように、FPGAやDSPなどのプログラマブルハードウェアを用いている。これは、汎用的に用いる無線機能をすべてのモードで共通化し、PHS、ETC、GPSの個別機能にかかわる部分をそれぞれ専用の機能ブロックとして追加できるようにした。

### 4 プログラマブルハードウェア

無線信号処理には、周波数変換や相関処理などの高速動作が要求される信号処理がある。このような処理には、高速動作が可能な専用プログラマブルICや、FPGAを用いることにより信号を狭帯域化した。また、比較的低速なBB帯域での信号は、DSPにより処理した。

周波数変換処理では、送信側に、デジタル領域でBB信号をIF信号に変換するデジタルアップコンバータ(DUC)を用いた。受信側には、デジタル領域でIF信号をBB信号に変換するデジタルダウンコンバータ(DDC)を用いた。

また、GPS受信機能に必要な、1.023 Mcps(chips per second)のスペクトラム拡散信号の相関処理はFPGAにより実施した。プログラマブルハードウェアを用いているBBユニットのうち、データ変換ユニット、FPGA ユニット、DSP ユニットについての詳細を以下に示す。

#### 4.1 データ変換ユニット

送信BB信号は、DUCに入力され、波形生成処理が行われる。波形生成された信号は、プログラマブルなNCO(Numerically Controlled Oscillator)によりIF出力周波数が選択され、直交変調処理が行われる。この信号は、14ビットのD/A変換器により、50 MHzの変換速度でアナログ信号に変換される。

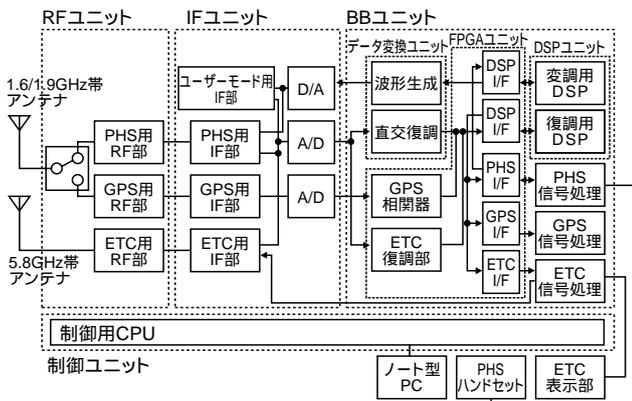


図2. 試作装置の構成 試作装置は、大きくRFユニット、IFユニット、BBユニットから成る。

Configuration of prototype software radio equipment

表1. 試作装置の主要諸元

Main specifications of prototype software radio equipment

項目	仕様
RF周波数	1.6/1.9/5.8 GHz帯
A/D変換	60 MHz/10ビット
D/A変換	50 MHz/14ビット
DSP処理速度	200 MHz x 4
変復調方式	BPSK, QPSK, 1/4 QPSK, GMSK, ASK
伝送レート	最大192 ksps (BPSK, QPSK, 1/4 QPSK) 最大270.833 ksps (GMSK) 最大1,024 kbps (ASK)
差動符号化	あり/なし
検波方式	遅延検波/同期検波
寸法	520 mm(幅) x 431 mm(奥行き) x 344 mm(高さ)

sps : symbol per second

アンテナ部で受信された信号は、IF信号に周波数変換され、10ビットのA/D変換器により60 MHzの変換速度でサンプリング処理の後、直交復調部DDCに入力される。DDCでは、NCOの基準信号により受信信号を直交検波し、BB帯域に変換する。直交検波後の信号は低域ろ波され、デシメーション処理により狭帯域化され、FPGAユニットに出力する。

### 4.2 FPGAユニット

FPGAユニットでは、GPS信号受信のための関連処理、ETC受信のためのASK( Amplitude Shift Keying )復調処理や、各送受信信号のDSPユニットとのデータインタフェース機能を備えている。このユニットは、上記データ変換ユニットとともに制御部用CPUのメモリアreaを共有している。制御部用CPUは、差分情報パラメータを用いて外部のノートPCなどから所定のメモリ領域を書き換えることによって、動作モードを変更する。

### 4.3 DSP ユニット

図2のDSPユニット内で処理を行う変復調機能のソフトウェアの構成を図3に示す。送信、受信の各処理をそれぞれ1個のDSP( 200 MHzの固定小数点 )で行う。PHS、ETC、GPSの個別機能にかかわる部分には、それぞれ専用のソフトウェアを使用している。主な処理内容を以下に示す。

- (1) データ復号/差動復号化 検波された出力信号から復調方式に応じてデータを復号する。差動符号化ON/OFF設定に応じて復号された信号の差動復号化を行う。
- (2) クロック再生 検波された出力信号から位相誤差を検出し、図2のデータ変換ユニットにフィードバックすることによりクロックを再生する。

DSPによる変復調機能の変復調方式の切換えを行う設定画面を図4に示す。設定されたパラメータの切換え方法を図5に示す。DSPは、DSPユニット上の共有メモリ上の書き込みフラグを常に監視している。ノート型PCから変復調方式の変更が要求されると、図2に示す制御ユニットは、共有メ



図4 . パラメータ設定画面 モデムの変復調方式パラメータの設定を行う。  
Parameter setting menu

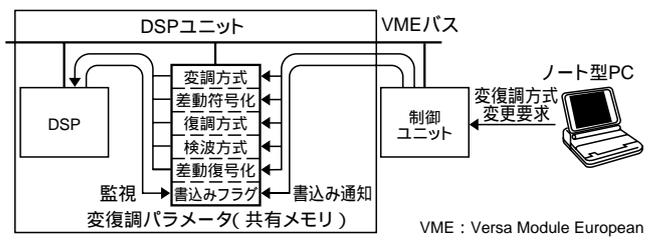


図5 . 変復調方式の切換え方法 共有メモリ上に変復調方式に応じたパラメータ情報が設定される。  
Parameter modification procedure

モリ上に要求された変復調方式に対応した変復調パラメータを書き込む。DSPは、この書き込みに応じて新しい変復調パラメータを読み込み、対応した処理を開始する。以上に述べた切換え方法で、GMSK( Gaussian filtered Minimum Shift Keying )と 1/4 QPSK ( Quadrature Phase Shift Keying )について同期検波を実施した。出力の一例として位相平面上に表した復調結果を図6に示す。信号点が収束しており、同期検波が行われていることがわかる。

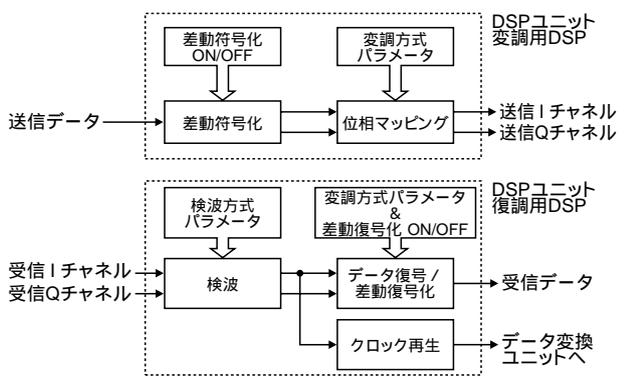


図3 . DSPモデムのソフトウェア構成 DSPで実行されるソフトウェア処理を示す。  
Configuration of digital signal processor (DSP) software

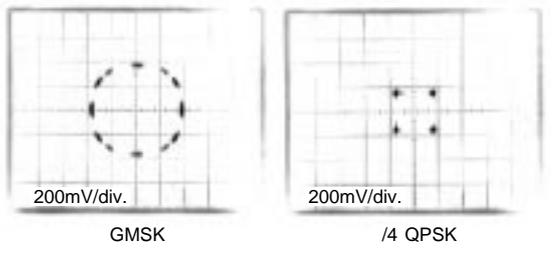


図6 . 同期検波の復調結果 位相平面上に復調結果を表した。  
Constellations of received signals

## 5 評価結果

この試作装置では、プログラムのフルダウンロードはいつ

たん装置の初期起動時に行えば、その後のモード変更はパラメータダウンロードにより対応でき、ダウンロード時間の削減ができる。これを評価するため、動作モード変更におけるソフトウェアダウンロード時間を測定した。また、変復調機能の性能を示すビット誤り率 (BER: Bit Error Rate)、並びに変調精度の測定結果を以下に示す。

### 5.1 ソフトウェアダウンロード時間

ソフトウェアダウンロードは、ノート型PCから制御用CPUに対する命令により起動される。ソフトウェアダウンロード時間は、制御用CPUからDSPユニットに対してプログラムをダウンロードする際の、コマンド操作の開始から終了までの時間とし、これを測定した。この測定は、プログラム全体と、動作モードに応じた差分情報だけをダウンロードする二つの場合について測定した。この二つの場合について、プログラム容量の比較を表2に示す。ソフトウェアダウンロード時間は、フルダウンロード時3,410 ms、パラメータダウンロード時33.65 ms(平均)であり、約1/10に短縮された。

表2. プログラム容量の比較  
Comparison of program sizes

	フルダウンロード	パラメータダウンロード
PHS(バイト)	22,926	1,616
GPS(バイト)	54,366	4
ETC(バイト)	(復調はFPGAで行うため測定不可)	570

### 5.2 BER

BERは、受信信号の1ビット当たりの電力 $E_b$ と雑音電力 $N_0$ の比である $E_b/N_0$ に対するビット誤りとして表す。差動符号化されたBPSK(Binary Phase Shift Keying)、QPSK、 $1/4$  QPSKの三つの変調方式についてBERを測定した。測定結果を図7に示す。いずれの場合も理論値からの劣化は約1 dBであった。

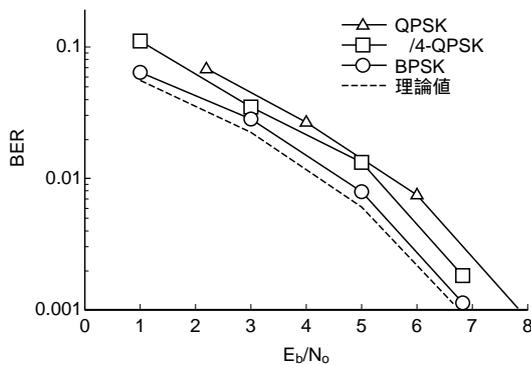


図7. 誤り率測定結果  $E_b/N_0$ (1ビット当たりの信号電力/1Hz当たりの雑音電力)に対するBER(縦軸)を示す。  
Bit error rate measurement

### 5.3 変調精度

送信系について、PHSモードでDSP出力での変調精度を測定し、4%以下という結果を得た。

## 6 考察

パラメータだけのダウンロードを行う動作モード変更方式の高速化が確認できた。この方式は、帯域に制約のある無線を用いたダウンロードにおいて特に有効である。

BERについては、各方式とも理論値と良く一致しており、ソフトウェアによる変復調処理が良好に行われていることが確認できた。

## 7 あとがき

差分情報駆動をソフトウェア変更の特長とした、PHS、ETC、GPS機能を備えたソフトウェア無線機を開発した。この結果、通信方式を変更する時のダウンロード時間が約1/10に短縮された。今後は、ソフトウェア無線の技術を駆使し、次世代電波監視システム、高度道路交通システム(ITS)といった実システムへの適用の検討を進める。

## 文献

- (1) Harada, H.; Fujise, M. "Multimode software radio system by parameter controlled and telecommunication toolbox embedded digital signal processing chipset". Proc. ACTS Mobile Communications Summit '98. Rhodes, Greece. 1998, p.115 - 120.
- (2) 原田博司, 他. "高度道路交通システムにおけるマルチモード・マルチサービスソフトウェア無線システム - 概要と試作検討結果 -". 信学会ソフトウェア無線研究会予稿集. 1999. 11, p.81 - 88.
- (3) Mitola, J. "The software Radio architecture". IEEE Commun. Mag. 33, 5, 1995, p. 26 - 38.
- (4) Karasawa, Y., et al. "The Software antenna: A new concept of Kaleidoscopic antenna in multimedia radio and mobile computing era". IEICE Trans. Commun. E80-B, 8, 1997, p. 1214 - 1217.



横井 時彦 YOKOI Tokihiko

情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術部主務。電波応用機器の開発に従事。電子情報通信学会会員。  
Komukai Operations



並木 慎一 NAMIKI Shin-ichi

情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術部経営変革エキスパート。電波応用機器の開発に従事。  
Komukai Operations



吉田 弘 YOSHIDA Hiroshi

研究開発センター モバイル通信ラボラトリー研究主務。移動通信技術の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。  
Mobile Communication Lab.