

## 3 ソフトウェア無線技術

### 3 Software Defined Radio Technologies

#### 3-1 新世代移動通信システム用ソフトウェア無線機

##### 3-1 Software Defined Radio

原田博司

HARADA Hiroshi

##### 要旨

本稿では、複数の通信システム間を切れ目なく通信を行う新世代モバイルシームレス通信システム用に開発された W-CDMA、IEEE802.11a、さらに、地上波デジタル放送が実現可能な小型ソフトウェア無線機の概要について述べる。当該無線機は、独自開発した FPGA ボード、CPU ボード及び RF ボードからなるコモンプラットフォーム上で動作し、各種通信システム用のソフトウェアを用意するだけで、ユーザーの所望の通信システムを実現できる。また、複数の通信システムを所定の条件に合わせて切り替えるプログラムも用意されている。

In this paper, the configuration of the newly developed small-size software radio terminal for new generation seamless mobile communication systems is introduced. The terminal consists of a common platform that includes an original FPGA board, a CPU board, and RF boards with open interface. Users have only to prepare software for FPGAs and CPUs that can configure mobile communication systems that users hope to operate. In addition, the common platform has a control software that can change several communication systems as users like by using several algorithms based on certain conditions. On the common platform, the software of W-CDMA and IEEE802.11a that realizes physical layer, data-link layer, and network (TCP/IP) layer has been established.

##### 【キーワード】

コグニティブ無線、ソフトウェア無線、研究開発項目、ネットワーク、プラットフォーム  
Cognitive radio, Software radio, Research and development items, Network, Platform

#### 1 はじめに

日本における携帯電話と PHS に代表されるセルラー移動通信の利用者数合計は、2004 年 2 月末現在 8,500 万人を超え<sup>[1]</sup>、いつでも、どこでも音声通信、インターネットアクセスができる個人の通信手段としてユーザーに定着してきた。また、セルラー移動通信以外の無線アクセスシステムとしては、2.4、5 及び 25 GHz 帯を用いた無線

LAN 系無線アクセスシステム並びに通信速度は、100 Mbps 以上である 22、26、38 GHz 帯を用いた FWA (Fixed Wireless Access) に代表される固定系無線アクセスシステムがある。

このように、ユーザーは、今後多くの無線アクセスシステムを利用できるようになる。しかし、これらの無線アクセスシステムをすべて利用できる端末をユーザーが持ち歩くことは現状困難である。また、相異なる無線アクセスシステム間での

通信及び複数の無線通信システムを利用しての通信はまだできていない。

このような複数の通信システムが混在する環境で、所要の品質を満たしつつ通信を行うためには、ユーザーのいる位置、その位置における周波数の混み具合(干渉の度合い、受信信号強度)、ユーザーが端末に対して思っている条件(例えば、料金を安くしたいとか省電力にしたいといったもの)に合わせて“ユーザーが必要としている情報量をユーザーが希望している時間内に一番よい通信回線を有線無線問わずに選択し、情報を通信の相手方に伝える”ことが必要になる。

この「複数の通信システムが混在した中で、各無線機が自身の置かれている環境を自らが認知し、その認知結果に応じて必要な通信システムを選択する」機構を無線機内に構築し、それを用いて複数システム間をつなぎ目なく通信を行うシステムが新世代移動通信システムである。また、新世代移動通信システムを実現するために不可欠な技術として注目されている技術が「ソフトウェア無線技術」である。

ソフトウェア無線技術自身は、1995年ごろ[2]より、通信機器内で生じたバグに対するアップグレード、無線機に対する格納スペース削減のための手段としてその有効性が示されてきた[3][4]。NICTにおいても、1999年9月に、PHS、GPS、自動料金収受システム(ETC)を、また、2001年9月には、ETC、GPS、AM/FM放送、FM文字多重放送、VICSを1台の無線機でソフトウェアの変更のみで実現できる高度道路交通システム(ITS)用ソフトウェア無線機の開発に成功している[3]。しかし、新世代移動通信システムを実現するためには、無線機内に電波利用環境を認識する機構、高速に通信システム用ソフトウェアを変更する機構等を具備させ、かつ信号処理が膨大な第3世代携帯電話、無線LANシステム等でも処理ができ、誰でも所望の通信システムを構築できる汎用的でオープンな仕様を持つ再構築可能な信号処理基盤(オープンプラットフォーム)上で無線機を実現させる必要性があった。

NICTにおいては、今回、上記の機構を有したオープンプラットフォームの開発に成功し、その上で第3世代携帯電話システムであるW-CDMAシステムと高速無線LANの一方式である

IEEE802.11a/bシステムを実現させ、複数の通信システム間を1台の端末で端末に対するソフトウェアを変更するだけで切れ目なく通信を行うことができるソフトウェア無線機を開発した。この無線機は、さらに、ソフトウェアの変更のみで地上波デジタル放送の受信も可能である。本稿では、この開発無線機の概要を示す。

## 2 ソフトウェア無線技術の概要

図1に、ソフトウェア無線技術の概要を示す[4] - [6]。ソフトウェア無線機は、基本的にアンテナ部、アップコンバータ部、ダウンコンバータ部等の高周波回路からなる高周波無線信号処理部、直交変復調部、アナログ・デジタル変換部等の中間周波回路からなる中間周波無線信号処理部及びデジタル・アナログ変換部、FPGA、デジタル信号処理プロセッサからなるデジタル信号処理部で構成される。高周波及び中間周波無線信号処理部は統合して無線信号処理部と呼ぶ場合もある。

ユーザーは、システムを変更するために、所望の無線通信システムにおける無線機の機能をデジタル信号処理ハードウェアで実現できるプログラムで記述し、そのソフトウェアを適宜、デジタル信号処理部に対して外部コントローラから入力させ、所望の通信/放送システムの実現を行う。また、同時に無線信号処理部にもシステムの変更情報を与え、所望の無線通信システムの信号を送信及び受信ができるよう調整を行う。そして、携帯電話無線機用ソフトウェア、無線LAN用ソフトウェア、地上波デジタルの受信用ソフトウェア...というように、このソフトウェアを複数準備し、ユーザーの要求に合わせて、このソフトウェアを適宜ダウンロード及び無線機の再構築を行うことにより、1台の端末で複数の機能を実現することが可能となる。

## 3 試作無線機の概要

開発装置の外観図を図2に示す。開発装置は、無線信号を送受信の信号処理を行うソフトウェア無線機(写真右)と、無線機で受信された信号をTCP/IPパケットの形で受け、動静止画像、音声の形で出力し表示する機能と、撮影した動静止画

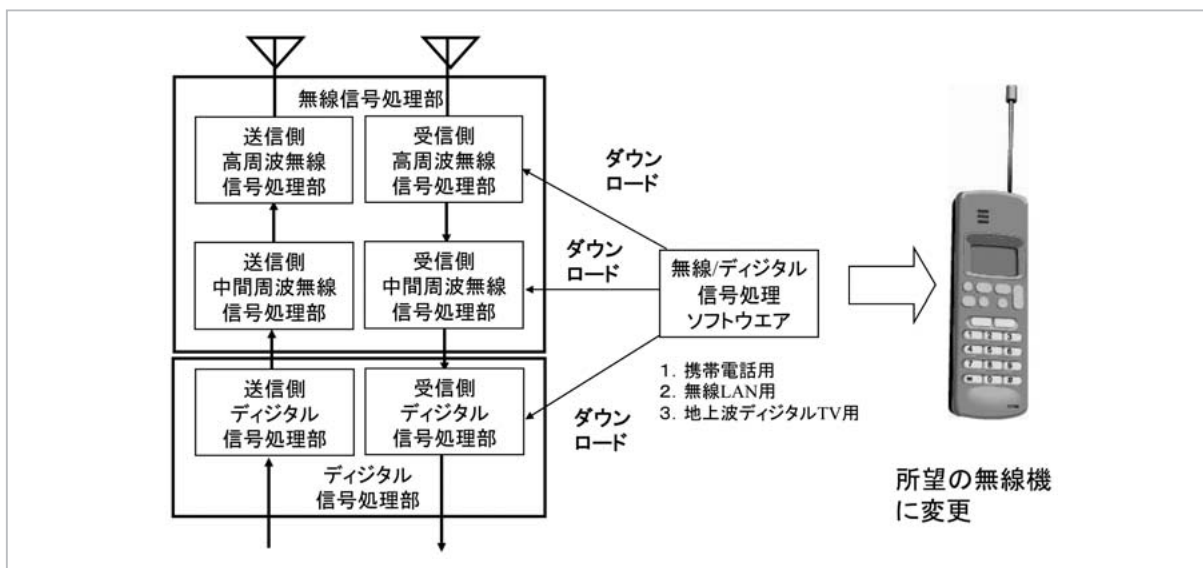


図1 ソフトウェア無線技術の概要



図2 開発したソフトウェア無線機の外観図

像、音声信号を TCP/IP パケットの形にして信号処理部に渡す表示機(写真左)からなる。ソフトウェア無線機の内部は NICT で独自開発した FPGA ボード及び  $\mu$ ITRON を OS とした CPU ボードからなるデジタル信号処理部並びに仕様公開されたインターフェースを持つ RF ボードからなる無線信号処理部で構築されるオープンプラットフォームである(図3)。各ボードは、図4のように接続されている。そして、各種通信システム用の FPGA 用、CPU 用及び RF ボード用ソフトウェアを用意するだけでユーザーの所望の通信システムを実現できる。また、複数の通信システムを所定の条件に合わせて切り替えるプログラムもあらかじめ用意されている。

FPGA ボードは、表1の特徴を有する。高速 AD/DA 変換器、RF ボードへの出力、CPU との高速 I/F、600 Mbyte/s の外部専用出力を持ち、

主に Layer1 の処理をすべて行う。図4に示すように二つの FPGA で一つのシステムを実現でき、FPGA のボードで少なくとも二つの通信システムを同時に動作可能である。一方、CPU ボードも表1の仕様で動作し、携帯端末でも使用可能になるよう 430MIPS の  $\mu$ -ITRON で動作する二つの CPU からなり、各種 I/F も有する。そして、このプラットフォーム上で W-CDMA 及び IEEE802.11a/b 無線 LAN の IP 層以下の機能をソフトウェア化した。具体的にはソフトウェア化した部分については、文献[5]に詳説している。これらのソフトウェアは、ユーザーの希望、電波伝搬路情報等に合わせ自由に変更可能である。

また、現行システムの中で最も信号処理量の多い、W-CDMA システムと IEEE802.11a/b 以外に地上波デジタル TV (13 セグメント) も実現している。表2に、実現しているシステムの仕様と容量を示す(IEEE802.11b は除く)。

#### 4 ソフトウェアのインストール方法

このプラットフォームに対するソフトウェアのインストール方法を、図5を用い、以下に示す。ここで、ソフトウェアのインストールとは、無線機に通信システムを実現するソフトウェアをいつでも利用できるように格納することである。ここから電波伝搬路状況等を加味して必要な通信システムが所定の時間に FPGA、CPU にダウンロー



デジタル信号処理部 (FPGAボード)



デジタル信号処理部 (CPUボード)



無線信号処理部 (RFボード)



すべてを組み合わせたもの

図3 開発無線機を構成する各信号処理ボード

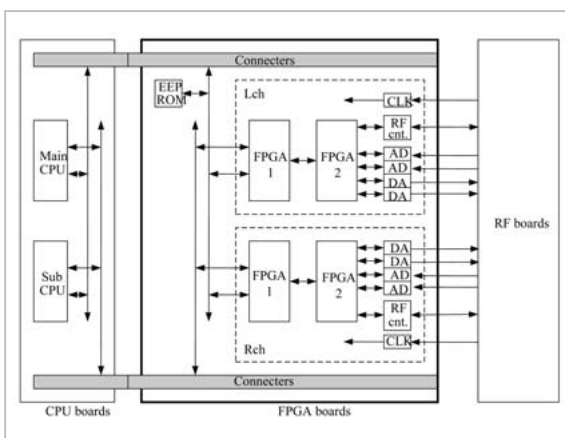


図4 ボード間の接続図 (RF cont. は無線信号処理部コントローラ)

表1 各開発ボードの基本仕様

Item	Requirement
<b>FPGA board</b>	
ADC	2ch/170 Msps/12bit/0dBm input
DAC	2ch/500 Msps/12bit/0dBm output
FPGA	Xilinx XC2V4000,6000,8000 (selectable)
IF to RF board	Analog in (2ch)/Analog out(3ch)/Cont(5bit)
External clk I/F	Input 5M-66MHz, 0dBm 2,4,8,16 times clk generate automatically
External output	CPU-IF (Max 80Mbyte/s) External output(Max 600Mbyte/s)
<b>CPU board</b>	
CPU	430 MIPS(240MHz)×2
OS	μ-ITRON (PrKERNELv4)
I/O	Compact Flash, RS232C,USB,Ethernet/JTAG
RF boards	5 GHz band board + 2 GHz band board+VUHF board

表2 各ソフトウェアの仕様と容量

Name of module	Requirement / Volume(byte) / Number of FPGA slices
CPU-OS	210k(Main-CPU) / 193k (sub-CPU)
System Selection /TCP-IP	583k(Main-CPU)/ 219k(sub-CPU)
W-CDMA	2GHz band、64kbps/384kbps 2.214M(sub-CPU)
	3.217M(FPGA1)/2.668M(FPGA2)
	72268 (Xilinx VertexII)
IEEE802.11a	5GHz band、Max 54Mbps BPSK/QPSK/16QAM/64QAM 168k(CPU)
	1.192M(FPGA1)/2.668M(FPGA2)
	22621 (Xilinx VertexII)
Digital terrestrial TV	VHF/UHF band、21.47Mbps 64QAM-OFDM(13segment)
	2.668M (FPGA1)/2.668M(FPGA2)
	39794 (Xilinx VertexII)

ドされる。また、ここでいうソフトウェアとは、FPGA 用と CPU 用と RF ボード用を足したものである。また、RF ボードの中にはどのシステムに対応するかの情報が書き込まれている。そして、この情報は無線機を起動時に PC の BIOS チェックのようにソフトウェア無線機のメモリに格納される。

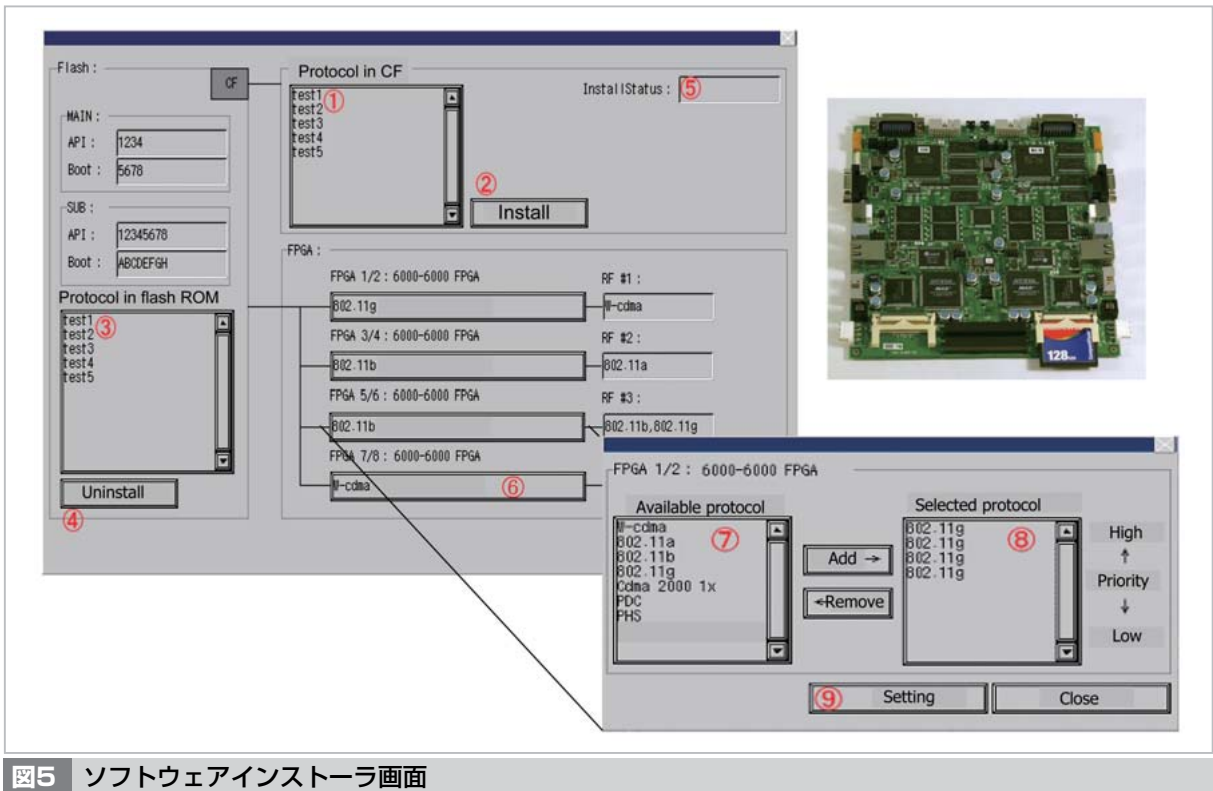


図5 ソフトウェアインストーラ画面

- (1) CPU ボード内にあるコンパクトフラッシュ (CF) インターフェースにソフトが入った CF を挿入。
- (2) 表示機よりコントローラアイコンをクリックして、メイン画面よりダウンロードをクリック。
- (3) 図 5 に示すメニューが起動され、①に CF 内のソフトウェア一覧が表示、その中から希望のものをクリックし②を押す。⑤にインストール状況が示される。
- (4) ソフトウェアが Flash ROM に書き込まれる。そして、③にメモリ内のソフト一覧が示される。
- (5) ソフトウェア無線機起動時につながっている RF ボードの情報は、⑥の左隣でみることができる。そして、その各ボードの横の⑥をクリックすると図 5 下の画面が表示される。そこには、各 RF ボードに対してユーザーがどのソフトウェアを優先させるか優先度を入力することができる。決定が終わったらインストーラ画面に戻りソフトを終了し、ソフトウェア無線を再起動する。

ソフトウェアは主に物理層の機能を実現する FPGA 用のソフトウェア、そして MAC 層とそれより上位層とのインターフェースを持つ CPU 用ソフトウェア及び RF ボード設定用のソフトウェアからなる。これら通信システムを実現するソフトウェアのことを Waveform software と呼ぶ場合がある。ソフトウェアがインストールされても常に駆動しているのではなく、図 6 に示す複数の管理者からなるソフトウェアプラットフォームによって管理される。主に利用している Waveform からの電波の利用状況を取得し、この状況に合わせて使用するべき Waveform を決定する Waveform selection Manager、Waveform selection Manager が取得した情報を管理するとともに、Waveform Software のインストール及びアンインストールする Waveform control manager、Waveform selection Manager が決定した通信システムを FPGA、CPU、RF ボードに入力し、起動させる Waveform boot manager、Waveform selection Manager が取得した情報等を表示させる Waveform view manager である。そして、ソフトウェアインストール後のソフトウェア無線機を駆動させると、Waveform selection Manager が駆

動して RF ボードにおいて電波利用環境が測定され、所定の受信電力に達した場合、先ほど設定した優先度に従い、ソフトウェアが所定の時間に実際使用する FPGA、CPU にダウンロードされ、ユーザーにとって常に最適な優先度の通信システムを使用して通信を実現することができる。また、通信システムの切替えは、自動だけではなく手動で変更することができ、地上波デジタル放送に關しては、適宜手動で変更することができる。

また、システムの切替えの基準として受信電力

を用いたが、各システムは、ソフトウェアで構築されているため、ビット誤り率、フレーム誤り率等を切替えの基準として用いることも可能である。そして、基本的には図7に示すように現在利用しているシステムの電波利用環境を調査する。もし現在利用しているシステム(図7においては System1 と仮定)が第一段階の閾値を下回ると、次に利用する可能性のあるシステム(図7においては System 2 と仮定)のサーチが始まる。そしてその電波利用環境が調べられ、いつでも変更でき

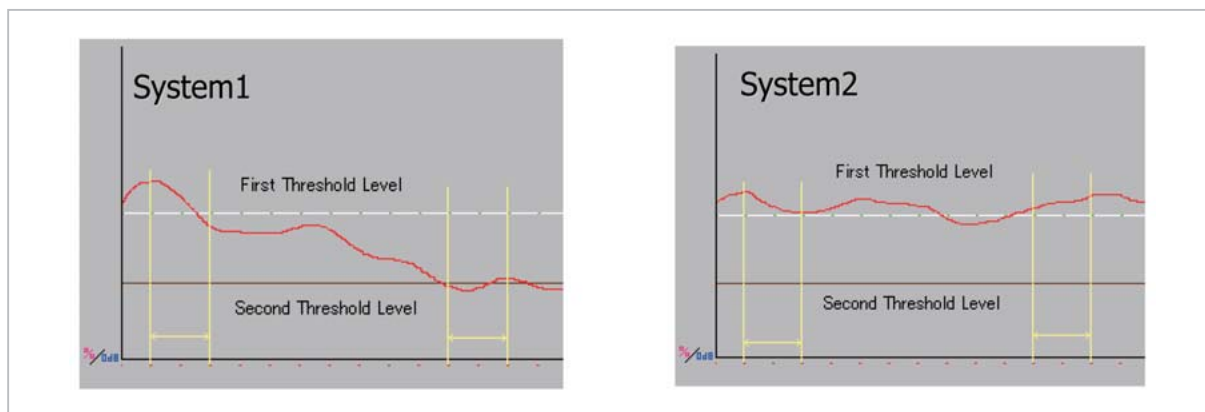


図6 ソフトウェアプラットフォームの概要

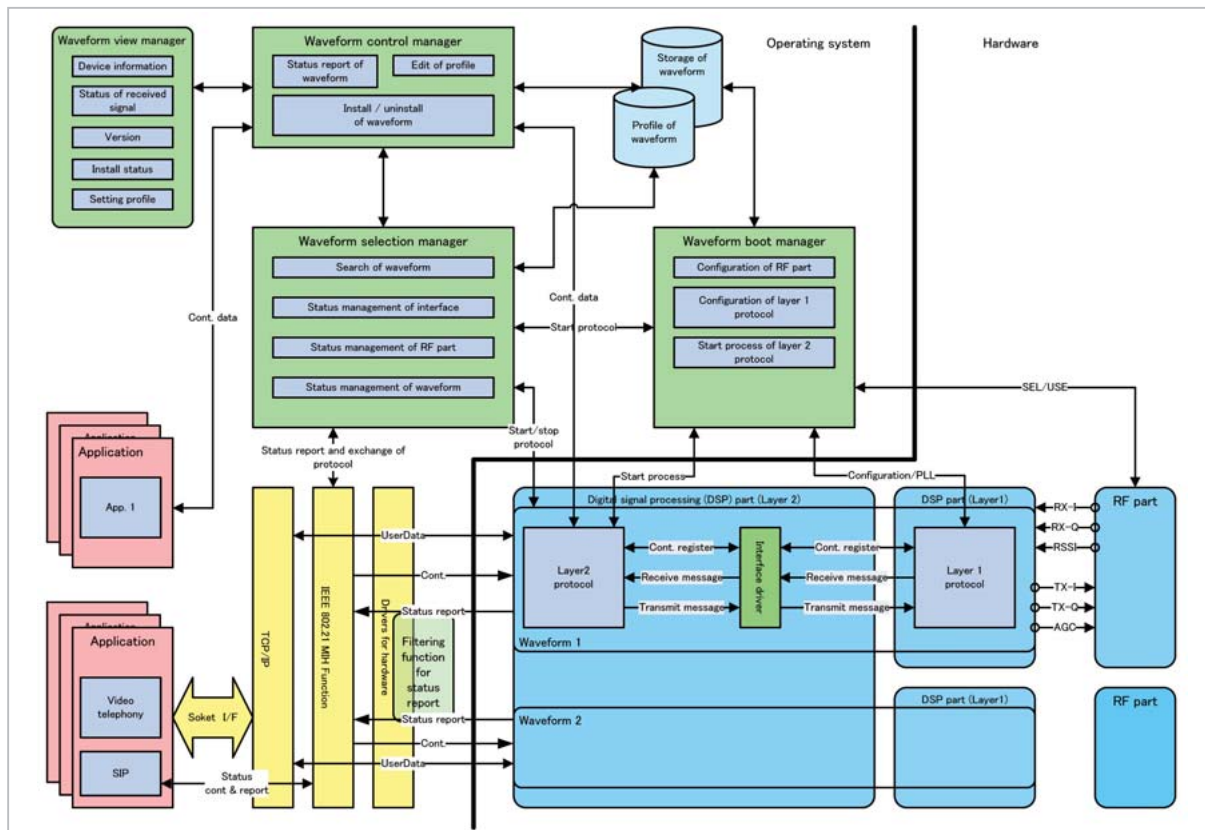


図7 システム切替えの方法

る状態に保たれる。そして次に System 1 の利用環境が更に悪くなり、定められた第 2 閾値を下回ったときにソフトウェアの変更を行い、常に状態の良い通信システムを選択することができる。

## 5 デモンストレーションの概要

本試作ソフトウェア無線機を用いると、図 8 (左) に示す通信用デモンストレーションが可能になる。一つは、W-CDMA と IEEE802.11a との異機種間接続のハンドオーバーである。可変抵抗器を動かす、まずは、W-CDMA を動作させる。そして、可変抵抗器を動かす、W-CDMA 用抵抗器のレベルを下げ無線 LAN のレベルを上げると無線 LAN に自動的に接続される。いずれも、動画像通信、VoIP を使った音声通信が可能になる。次が、図 8 (右) に示す同時通信である。このデモでは、最初地上波デジタルテレビのソフトウェアを起動させ、同時に IEEE802.11b 等の無線 LAN を起動させる。そして、地上波デジタルテレビと Web テレビを同時に受信したり、テレビを見ている場合に必要になった情報を無線 LAN で調べるといったことも同時に可能になる。

また、図 8 (右) に示すデモンストレーションは屋外でも行っている。図 9 に示すように試作したソフトウェア無線機を車に搭載し、横須賀リサーチパーク内に設置された無線 LAN 及び W-

CDMA の試験基地局との間を適材適所で選択し、常に高品質な伝送を行う。このときネットワーク側は IEEE802 系無線 LAN と W-CDMA ネットワークが統合化されて接続されている必要がある。このデモンストレーションでは NICT が開発した Mobile Ethernet<sup>[7]</sup> を使用している。

## 6 まとめ

本稿では、複数の通信システム間を切れ目なく通信を行う新世代移動通信システム用ソフトウェア無線機の概要について述べた。本ソフトウェア無線機は、ソフトウェアとして W-CDMA、IEEE802.11a/b、地上波デジタル TV といった現存する通信/放送システムの中で、最も信号処理量が多いものが用意され、これらが新世代移動通信システムを実現するのに必要な機構を持つオープンプラットフォーム、汎用 OS mITRON の上で動作するものであり、セルラー系と無線 LAN 系を有し、受信信号のレベル等を利用して、異機種間接続及び同時通信が可能になる TCP/IP 層以下がすべてソフト化されたソフトウェア無線機の開発としては世界初のものである。また、地上波デジタル TV もサポートする無線機としても世界初である。今後は、信号処理アルゴリズムの見直し及び RF ボードの広帯域化を更に行い、より小型化したソフトウェア無線機の研究開発を行う予定である。

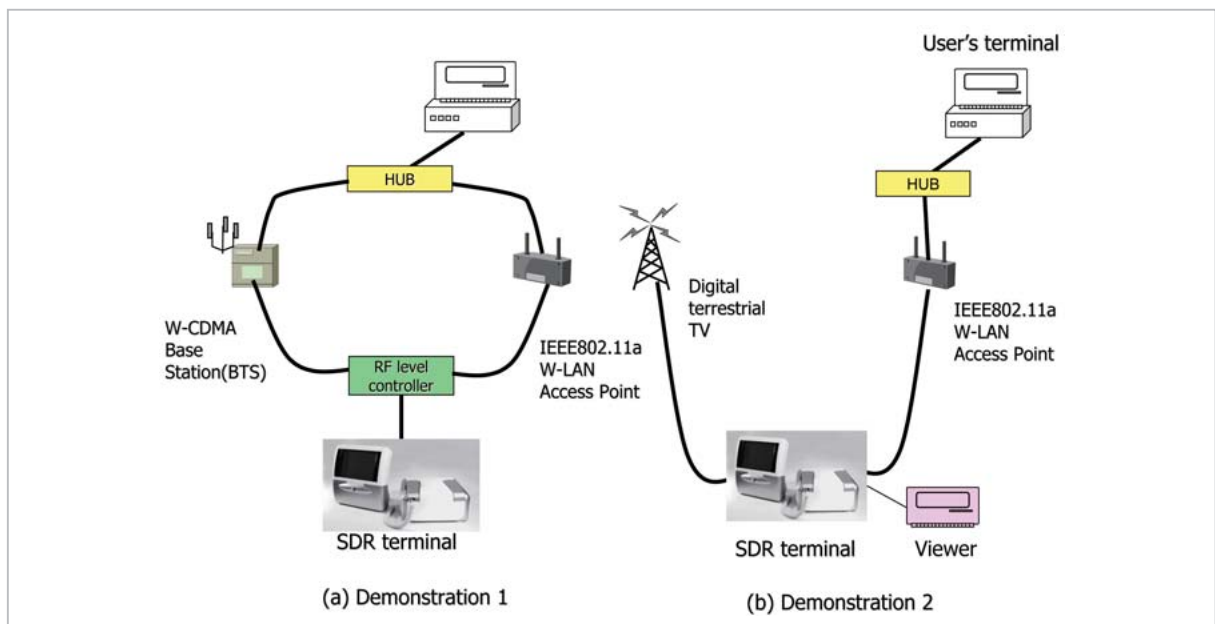


図8 デモンストレーションの概要

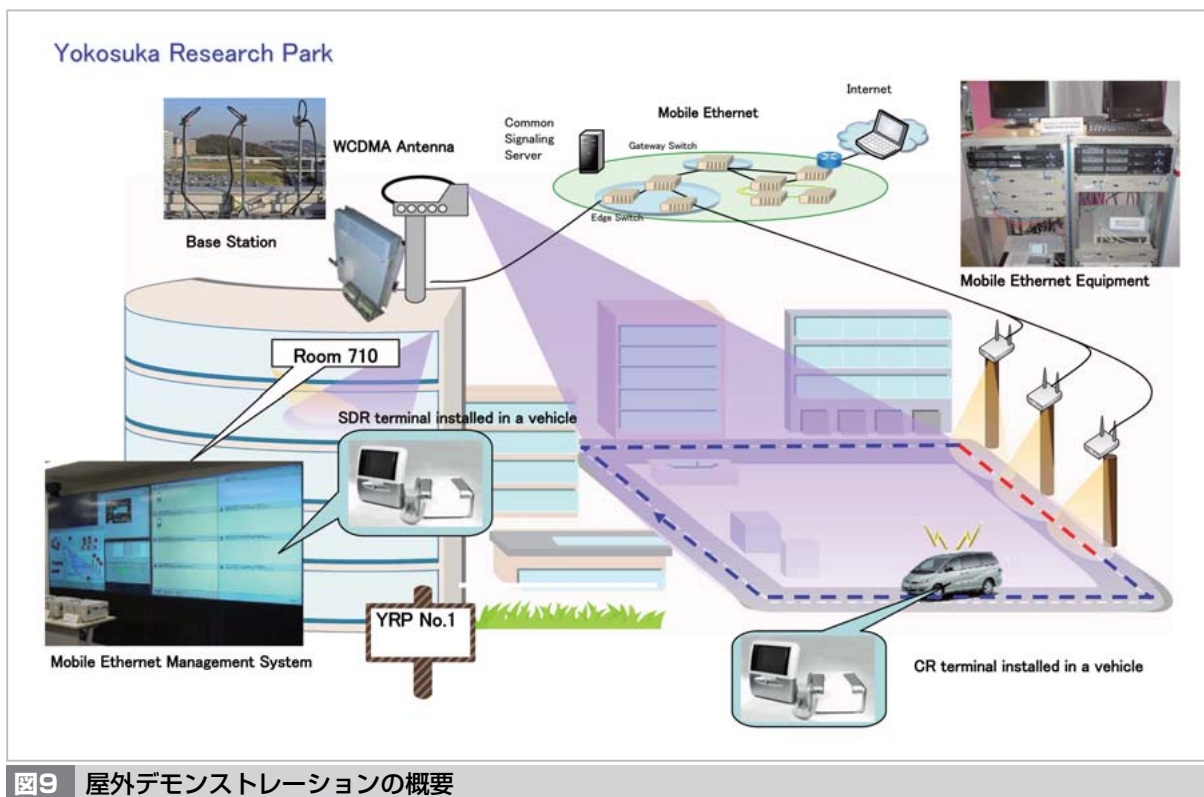


図9 屋外デモンストレーションの概要

## 参考文献

- 1 [http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040331\\_13.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040331_13.html)
- 2 Special Issue on Globalization of Software Radio, IEEE Commun. Mag., Feb.1999.
- 3 原田, 神尾, 藤瀬, “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通信システム”, 電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会, SR99-12, pp.81-88, Nov.1999.
- 4 H. Harada, "A Proposal of Multi-mode & Multi-service Software Radio Communication Systems for Future Intelligent Telecommunication Systems", Proc. of WPMC'99, pp.301-304, Sep.1999.
- 5 H. Harada, "Software defined radio prototype for W-CDMA and IEEE802.11a wireless LAN", 2004 IEEE 60th Vehicular Technology Conference (VTC2004-Fall), Vol.6, pp.26-29, Sep.2004.
- 6 H. Harada, "Software defined radio prototype toward Cognitive Radio Communication Systems", IEEE Dyspan 2005, Vol.1, pp.539-547, Nov.2005.
- 7 M. Kuroda and G. Miyamoto, "Mobile Ethernet and its security toward ubiquitous network", Proc. WPMC'05, Aalborg, Denmark, Sep.2005.

ほらだ ひろし  
原田博司

新世代ワイヤレス研究センターユビキ  
タスマイルグループ研究マネー  
ジャー 博士(工学)  
コグニティブ無線、ソフトウェア無線、  
ブロードバンドワイヤレス通信技術