

マルチモード無線機の展望 - ソフトウェア無線機技術を中心として

Technological Trends in Multimode Mobile Communication Terminals
- Concept and Key Technologies of Software-Defined Radio

鶴見 博史 芹澤 睦

TSURUMI Hiroshi

SERIZAWA Mutsumu

近年の林立する移動体通信システムのサービスを共通端末で享受できるマルチモード無線機への要求が高まっており、この実現手法として、ソフトウェア無線機技術が注目されている。ソフトウェア無線機を実現するためには、マルチバンド無線部と汎用デジタル信号処理部の実現が鍵となる。マルチバンド無線部を実現する手法としては、アナログ回路の特性を外部パラメータによって変化させ、プログラマブルに制御する方法が有効である。また、汎用デジタル信号処理部を実現する手法としては、複数のプロセッサ並びにハードウェアエンジンを組み合わせ、それらを統合的に制御するマルチプロセッサ方式のアーキテクチャが有効である。

A number of wireless communication standards have been determined for various types of mobile communication services. Since some of these important services need to be implemented on the same terminal, transceivers that can cope with multiple wireless standards possess strategic importance in the next-generation wireless terminal technology.

Software-defined radio technology can be the ultimate technology to realize the flexibility that is indispensable for such multistandard connections. Multiband RF processing and flexible digital signal processing are two key stages in the processing for software-defined radio. The parameterized analog stage, with variable analog circuits controlled according to system requirements, will be one of the solutions for the multiband RF stage. Multiprocessor architecture, with a layered microprocessor and hardware engine controlled by a CPU, will be suitable for the flexible digital signal processing stage.

1 まえがき

近年、携帯電話や無線LANに代表される移動体通信システムは、その普及とともに、様々な規格やサービスが林立した状態になっている。携帯電話では、日本でPDC(Personal Digital Cellular)、米国でcdmaOne(code division multiple access One)、欧州でGSM(Global System for Mobile communications)がそれぞれサービスされている。第3世代システムIMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)では世界統一規格を目指したものの、日欧のW-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)、米国のcdma2000と、やはり複数仕様が存在しており、これらシステム間には互換性がない。一方、無線LANは、IEEE(米国電気電子技術者協会)802委員会主導で標準化が進められており、互換性の点では整備されているが、IEEE802.11a, b, gなどの複数システムが林立する状態となっている。今後も高速化対応を中心に、更なる新規システムの規格化が進むものと考えられる。

このような状況下、複数の移動体通信システムへの対応が可能な“マルチモード無線機”への要求が高まっている。マルチモード無線機に対しては、異システム間ローミング機能のほか、従来システムを新規システムにバージョンアップする

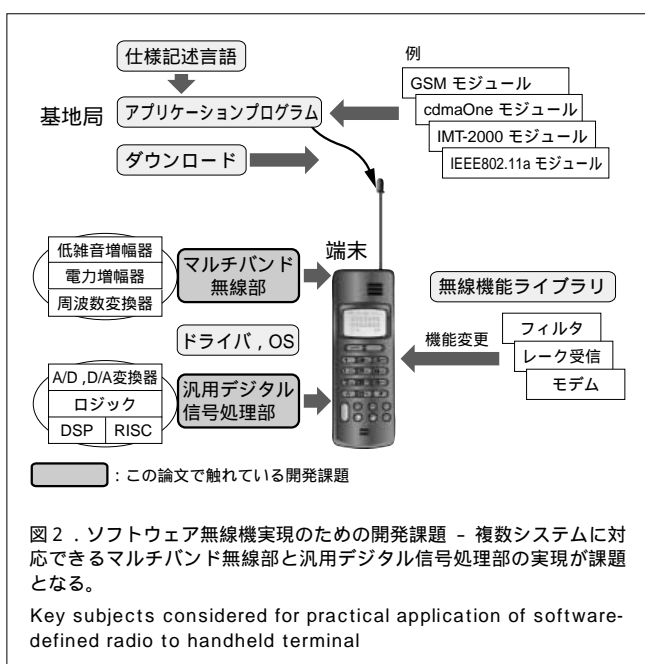
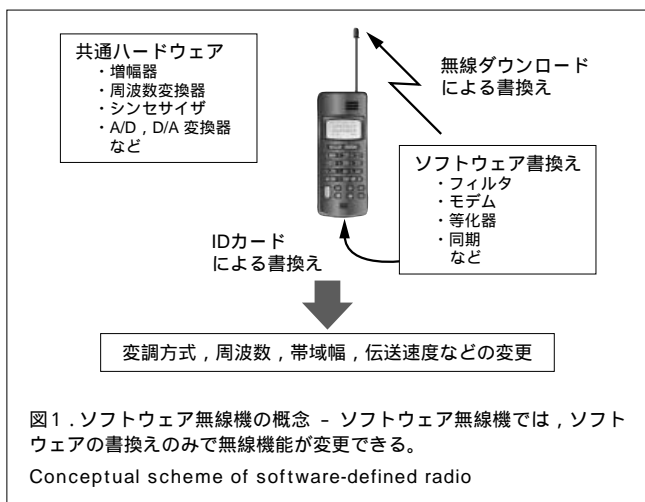
機能などが要求される。このマルチモード無線機を実現するための一つの手段として、“ソフトウェア無線機”⁽¹⁾が近年になり脚光を浴び、研究開発が始まっている。

ここでは、このソフトウェア無線機技術について紹介するとともに、実現のための技術課題を述べ、更に、マルチモード化を実現するためのアナログ部、デジタル部の基本構成を提案する。

2 ソフトウェア無線機の概要と技術課題

ソフトウェア無線機は、図1に示すように、増幅器、周波数変換器、シンセサイザ、A/D(Analog to Digital)及びD/A(Digital to Analog)変換器などのハードウェアは各システム共通とし、フィルタ、モデム、等化器、同期機能などの無線機能をソフトウェア処理によって実現することが特徴である。したがって、この構成では、ソフトウェアの書換えのみで無線パラメータ、例えば、変調方式、送受信周波数、帯域幅、伝送速度などのシステム固有の無線特性を必要に応じて変更することが可能となる。すなわち、複数の移動体通信システムに対応可能なマルチモード無線機を実現することができる。

ソフトウェア無線機システム実現のための開発課題を図2に示す。



ここでのソフトウェア無線機は端末を想定しており, マルチバンド無線部, 汎用デジタル信号処理部などから成るハードウェアと, 無線機能を記述したライブラリから成る基本ソフトウェア(OS), 更にOS上で動作するアプリケーションプログラムによって構成している。

アプリケーションプログラムは, 無線記述言語によって書かれ, このアプリケーションプログラムを交換することで無線機能を変更する。ライブラリは, 基本的な無線機能を記述する関数群であり, 例えばデジタルフィルタやDSP(Digital Signal Processor)で動作するモデムのプログラムなどである。

マルチバンド無線部は, 特性可変な低雑音増幅器, 電力増幅器, 周波数変換器などから構成され, 搬送周波数や帯域幅, 変調方式や送信電力などが異なる無線システム仕様に対応する汎用性を備えている。

汎用デジタル信号処理部は, A/D変換器, D/A変換器などのサンプリング部と, ハードウェアロジック, DSP, RISC(縮小命令セットコンピュータ)などのプロセッサ群から構成されており, 信号処理機能をプログラマブルに実行する。

次章以降では, 図2に示す構成要素のうちマルチバンド無線部と汎用デジタル信号処理部に着目して, 基本構成を提案する。

3 マルチバンド無線部

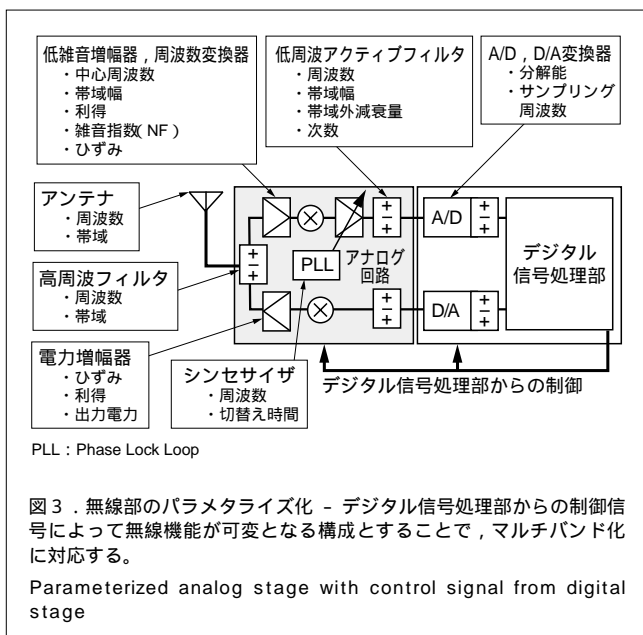
ソフトウェア無線機では, 無線機能をプログラマブル化することで, 無線機に汎用性とマルチモード性を持たせることを狙っている。そのためには, なるべく多くの無線信号処理機能をデジタル部で実現することが望ましい。しかし, 信号を増幅する機能や周波数変換する機能などのアナログ要素は依然として残るものと考えられる。したがって, アナログ部は無線機能コアとして, デジタル部との区別なく, 必要に応じてプログラマブルに特性を制御・変更できることが必要である。

無線部の広帯域化の観点からは, 周波数固定のパスフィルタが原理的に不要なダイレクトコンバージョン方式が広帯域信号の送受信に適している⁽²⁾⁽³⁾。しかし, 広帯域にわたって複数システムに対して無線特性を維持するためには, アナログ部のハードウェアはくり付けでは不十分であり, デジタル部でなんらかの特性補償をする必要がある。しかし, 従来のデジタル部での特性補償は単一システムを対象としており, 複数システムを取り込むべくマルチバンドにわたって無線性能を維持するためには, デジタル部のみの特性補償では間に合わない。

これを解決するためには, 図3に示すように, 無線部のアナログ回路を外部からのパラメータ入力によって特性可変にできるようにパラメタライズしておき, プログラマブルに制御する方法(無線部のパラメタライズ化)が有効である。

図3には, アナログ部を無線機能コア部として見たときに, マルチバンド特性を実現するために各回路で制御すべき無線パラメータを記載している。

回路の技術的観点からは, 低雑音増幅器, 周波数変換器, 電力増幅器ともに利得の特性可変には比較的自由度がある。しかし, 高周波フィルタやアンテナと同様に, 中心周波数, 帯域幅などの周波数軸上の特性可変は今後の課題である。東芝は, 外部信号によるバイアス制御で周波数変換器のひずみ量を制御する回路を提案してきており⁽⁴⁾, これは機能的には無線部のパラメタライズ化の一種である。なお, シンセサイザの周波数切替え, 低周波アクティブフィルタの周波数, 帯域幅, 帯域外減衰量, 次数などを可変にする技術は既に研究が進んでいる分野であり, 今後更なる汎用性(可変範囲



の拡大)と低消費電力化が望まれる。

この無線部のパラメタライズ化は, 無線部のマルチバンド化や無線性能の向上が図れるうえ, システム的な補償であるため, アナログ回路やデバイスの不完全性に対する耐性が強く, 量産時の無線部の小型化, 低価格化の実現に有効であると考えられる。

4 汎用デジタル信号処理部

近年のDSP並びにCPUの進歩により, 無線信号の変復調に必要なあらゆる信号処理機能は, すべてソフトウェアにより実現できるといっても過言ではない。すなわち, 個々の処理に対応できるだけの処理能力を持った大規模なCPU又はDSPを搭載することにより, 汎用デジタル信号処理機能は原理的には容易に実現可能である。

しかし, これらの処理機能が究極に小型・軽量化された携帯端末又は無線カードに搭載されるとなると, 徹底した低消費電力化が必要になる。一般に, 低消費電力化と高度な信号処理機能や汎用性の双方を同時に実現することは困難であり, そのトレードオフをいかに解決するかという点が, マルチモード無線機のための汎用デジタル信号処理部の構成において, もっとも重要な検討課題である。

低消費電力化のためには, やみくもな信号処理の高速化と汎用化ではなく, 無線通信のための信号処理の特徴を抽出し, 個々の特徴に適合した処理機能をうまく組み合わせることが望ましい。すなわち, 無線信号の処理において, 一般的に必要な機能をグループ分けし, 個々のグループに必要な語長(ビット幅)と処理速度に最適化された信号処理機能を複数そろえることで低消費電力化を図る構成である。これ

により, 不必要なハードウェアや処理を極力抑え, 増大しがちな消費電力の徹底削減が可能になる。

以下, CDM(A)方式の復調部を例にとり概説する。携帯電話やモバイル衛星放送, GPS(Global Positioning System)などで用いられるCDMAやCDM方式の復調にあたっては, まず, 受信した高周波信号をベースバンドのデジタル信号に変換した後, 逆拡散などの処理を行う。この逆拡散機能は, CDMAのチップレートに対応した速度で動作することが必要である。チップレートは実際の信号伝送速度の十数倍から千倍にもなる速度であるため, これらの回路には非常な高速で動作することが要求される。

例えば, モバイル衛星放送では, 16 Mcpsというチップレートの信号を復調するため, サンプル速度は32~64 MHzが要求され, その処理にはそれに対応可能な速度が要求される。しかし, それらのベースバンドデジタル信号の語長は一般に6~8ビットあれば十分である。すなわち, CDM(A)方式の逆拡散機能には, 高速ではあるが小語長で十分であるような信号処理機能が必要となる。

一方, 逆拡散を受けた信号にはレーク合成や位相復調などの処理がなされるが, これらの処理の速度は伝送速度程度であり, 前記逆拡散に比べると処理速度の面ではかなり余裕がある。その一方, ここで必要とされる語長は16ビット以上である。よって, ここでは低速ではあるが大きな語長の処理機能が必要とされる。

ところで, 前記の逆拡散や, レーク合成, 位相復調といった処理は, 比較的単純なルーチンの繰返しである。これらの処理にはDSPなどの演算コアが望ましい。

一方, これらの通信システムにおいては, ユーザーデータの伝送に加え, 様々な形態の制御信号が送受される。これらの制御信号については, 個々の通信システムや方式などにより大きく異なり, 複雑な処理が要求される。個々の信号に含まれる制御信号を個々の方式のプロトコルに従って適切に処理し, それに従って動作させることが要求される。このような処理に対しては, できるだけ汎用なCPUを利用することが適切である。

更に, 地上デジタル放送や, 無線LANで用いられる直交周波数分割多重(OFDM)などについては, 高速フーリエ変換(FFT)といった処理が必須である。また, 多くの通信方式では畳込み符号やターボ符号が利用されるが, これらの複合にはヴィタビアルゴリズムが必須である。これらの多くの方式に共通であり, かつ, 定型化された処理に対しては, むしろ専用ハードウェアを利用することが低消費電力化の面から利点大きい。

以上をまとめるならば, 無線信号のための汎用処理部を構築するにあたり, ただ単純に大規模なプロセッサを搭載し, 一元化されたソフトウェアを用いて, すべての処理を行うア

アーキテクチャよりも、むしろ複数のプロセッサとハードウェアエンジンを組み合わせ、それらを統合的に制御するようなマルチプロセッサ方式のアーキテクチャが望ましい。更に、同時に動作する必要のある複数の無線方式に対応した信号処理の検討も必要である。例えば携帯端末上でテレビ(TV)を見ているときに、そこに電話が着呼することを想定するならば、少なくとも、TVの動作と電話の制御信号の送受信機能は同時に動作する必要がある。全体の仕様を決定するにあたり、必要とする多重処理数を十分に検討し、どの程度のリソースを必要とするか把握しておくことが重要である。

このアーキテクチャの一例を図4に示す。この構成では、CDMA 逆拡散などの高速小語長に対応した高速プロセッサと、レーク受信、位相復調、フィルタリングなどに対応した比較的低速で大語長に対応した高精度プロセッサ、並びにFFTコア、ウィタピコア、インタリーブなどに利用可能なメモリとCPUをバスで接続したものである。

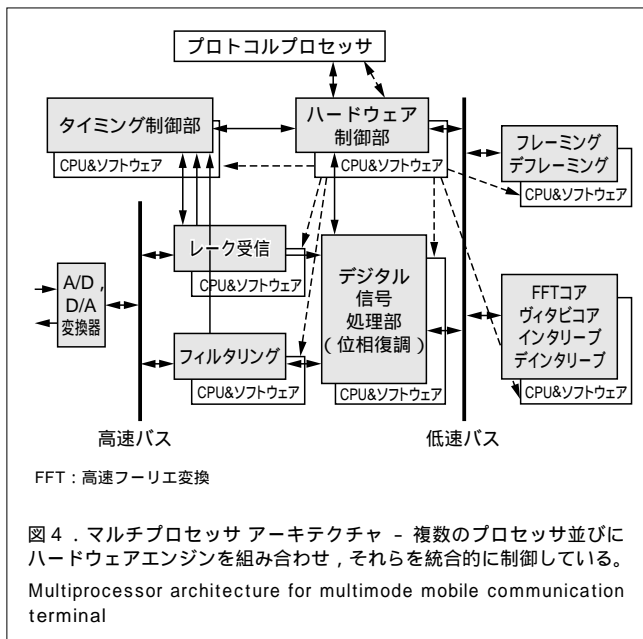


図4. マルチプロセッサアーキテクチャ - 複数のプロセッサ並びにハードウェアエンジンを組み合わせ、それらを統合的に制御している。
Multiprocessor architecture for multimode mobile communication terminal

この構成では、CPUが複雑な制御信号やプロトコル処理を行うとともに、全体システムの制御を取り持つ。すなわち、CPUが個々の処理機能のリソース管理を行う。具体的には、プロセッサやハードウェアコアを制御統合して所望の無線信号処理を行わせる。これらの個々の処理機能を制御統合しつつリアルタイムで信号を処理する方式とソフトウェアの開発が、汎用デジタル処理部の実現における具体的課題の一つである。

当社は、このようなアーキテクチャを踏まえ、小回りのきく小型のプロセッサであるMeP(Media embedded Processor)⁽⁵⁾を開発している。今後、このMePを活用した個々の処理ブロックの構成とともに、それに必要なソフトウェアアーキテクチャについて継続的に検討していく。

5 あとがき

ソフトウェア無線機は、理想的にはA/D変換器とD/A変換器を除く全無線機能をソフトウェアで実現するものであるが、現状では、使用可能なデバイスを考慮し、ソフトウェアとハードウェアをいかに適材適所に使い分けるかが課題となっている。しかし、今後、ソフトウェア無線の概念がマルチモード無線機に搭載されていくことはまちがいない、無線LANや携帯電話、更に地上デジタル放送向けのマルチモード無線機に対し、この技術が有効に適用されていくと考える。

文献

- (1) Mitola, J. The software radio architecture. IEEE Commun. Mag. 33, 5, 1995, p.26 - 38.
- (2) Tsurumi, H., et al. Broadband and flexible receiver architecture for software defined radio terminal using direct conversion and low-IF principle. IEICE Trans. Commun. E83-B, 6, 2000, p.1246 - 1253.
- (3) 吉田 弘, ほか: "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の試作(2) 送信系". 電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会報告書, SR00-22. 東京, 2000-10. p.27 - 33.
- (4) Yamaji, T., et al. "An I/Q active balanced harmonic mixer with IM2 cancellers and a 45° phase shifter". International Solid-State Circuits Conference '98 Digest of Technical. Papers SP 23. 3. San Francisco, 1998-02, p.1 - 11.
- (5) 松井正貴. システムオンチップの普及とMeP. 東芝レビュー. 58, 5, 2003, p.2 - 8.



鶴見 博史 TSURUMI Hiroshi, Ph. D
研究開発センター モバイル通信ラボラトリー室長, 情科博。
移動体通信機の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Mobile Communication Lab.



芹澤 睦 SERIZAWA Mutsumu, D. Eng.
-semiconductor社 統括技師長附, 工博。
衛星・移動体通信, 通信システムLSIの研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Semiconductor Co.