

モバイルWiMAX基地局装置の開発

Mobile WiMAX Base Station

田子 晃 小林 清仁 佐藤 克彦
Akira Tago Kiyohito Kobayashi Katsuhiko Sato

要 旨

総務省よりWiMAXシステムに対する2.5GHz帯の全国バンドと地域バンドの割り当てが2007年12月になされた。今回、地域バンド向けWiMAXの無線局として、高い施工性・保守性を有する、Access Service Network (ASN) の全機能を内蔵したオールインワンタイプのモバイルWiMAX屋外設置型基地局装置を開発した。

マルチアンテナ技術への対応としてMIMO Matrix A及びMatrix Bの機能を有し、伝送路状態に応じて切り替えることで、通信品質の向上と伝送速度の向上の効果を適応的に選択できるシステムを実現した。また、WiMAX Forumで規定するASNの構成である、Profile B及びCに対応することで、小規模から中規模なネットワークまで、スケーラブルなASNシステムの構築が可能となった。

Abstract

The Ministry of Internal Affairs and Communications assigned the 2.5 GHz frequency band for WiMAX in December 2007. JRC has developed all-in-one type and outdoor installable base station for the regional mobile WiMAX system, which has high installability and maintainability.

The base station has MIMO Matrix A and Matrix B functions for the multi-antennas technology. By switching between them according to channel condition, it provides the system that can adaptively choose effectiveness of communication quality or throughput performance. In addition, by supporting both Profile B and C ASN configurations, the base station enables operators to deploy scalable ASN system.

1. まえがき

モバイルWiMAXは、固定無線アクセスの標準規格IEEE802.16-2004にモビリティを持たせた通信システムであり、標準規格IEEE802.16eをもとに規格化されている。

日本国内においては、2.5GHz帯を使用する広帯域移動無線アクセスシステムの周波数割り当てが2007年12月になされた。

今回、地域WiMAXの無線局として高い施工性・保守性を有するオールインワンタイプで屋外設置可能なモバイルWiMAX基地局装置を開発したので報告する。

Low_IF回路に受け渡す機能を有する。



図1 WiMAX基地局装置外観
Fig.1 WiMAX Base Station

2. ハードウェア構成

本装置はIEEE802.16eに準拠したOFDMA技術を使用した一体型屋外基地局である。図1に装置外観を、図2にハードウェアの構成を示す。ハードウェアはBB回路、Low_IF回路、F_Conv回路、HPA回路、FE回路、EXTIF回路、PS回路、GPS_OSC部から構成される。以下各回路について説明する。

(1) BB回路

BB回路はベースバンド処理部とネットワークインタフェース部から構成される。

ベースバンド処理部はIEEE802.16e準拠のOFDMA変復調(PHY)とMAC制御、およびベースバンド変復調信号を

ネットワークインタフェース部は上位ネットワーク間のパケットルーティング機能とASN機能を有する。

ベースバンド処理部、ネットワークインタフェース部はそれぞれ3章と4章で詳しく説明する。

(2) Low_IF回路

BB回路から出力されるデジタルI/Q信号を、低い周波数のアナログ変調波に変換、また、F_Conv回路から出力されるアナログ変調波を、デジタル処理してデジタルI/Q信号をBB回路に受け渡す。

(3) F_Conv回路

帯域制限および利得制御を行った後、GPSからのRef信号(10MHz)に同期した無線周波数(2.5GHz帯)に周波数変換する。受信側も同様の機能を持つ。

送信利得制御はBB回路から、受信利得制御はLow_IF回路からの制御にて行う。

(4) HPA回路

F_Conv回路の出力信号を、所望の出力レベルに持ち上げるための高出力リニアアンプである。

消費電力を抑えるため、送受切り替え信号により最終段アンプの電流制御を行っている。

(5) FE回路

送信側スプリアスの除去、受信側イメージ周波数の除去を行う。また送受の切り替えスイッチ、広帯域のLNAも具備している。

誘雷対策を施しているため、外付けの誘雷保護素子は不要である。

上記F_Conv回路~FE回路を2系統持つことにより受信ダイバーシチ、及びMIMO(A/B)に対応可能である。

MIMO機能については3章のベースバンド処理部で記載する。

(6) EXTIF回路

外部アラームの接点入力を行う回路である。

最大4接点を取り込み、EMS等にて管理することができる。

(7) PS回路

AC100Vまたは220V電源から2次側DC電源を作り、各回路に供給する。

(8) GPS_OSC部

GPS衛星の信号を受信し、Pulse Per Second(PPS)信号、10MHzの基準信号およびTime of Day(TOD)情報を出力する。このPPS信号により、他の基地局装置との送信同期を行う。

(9) 筐体

一体型装置の施工性を生かすため、一人で運べる重さに抑えた。防水構造、日除け板による耐候性の向上、FAN Less自然空冷など、保守性に優れた設計となっている。

表1に装置仕様概要を示す。

表1 仕様概要

Table 1 General specifications

項目	仕様
無線周波数	2587MHz
占有帯域幅	9.9MHz以下
空中線電力	5W+5W
空中線電力許容偏差	±50%以内
空中線電力可変範囲	10dB以上
インタフェース仕様	10BASE-T/100BASE-TX 1000BASE-LX×2系統
接点インタフェース	接点入力：4(ループ接点)
準拠規格	IEEE802.16e(TM)-2005
送信タイミング精度	±1μs以内
電源電圧	AC100V/220V±10% 50/60Hz
消費電力	200VA以下
環境条件	温度：-20~+50℃ 湿度：20~95% (結露なきこと)
外形寸法	307(W)×468(H)×184(D)mm (突起物含まず)
質量	24kg以下
防塵・防水性能	IP55(吸排気口は除く)
冷却方式	自然空冷
設置方法	ポールまたは壁掛け設置

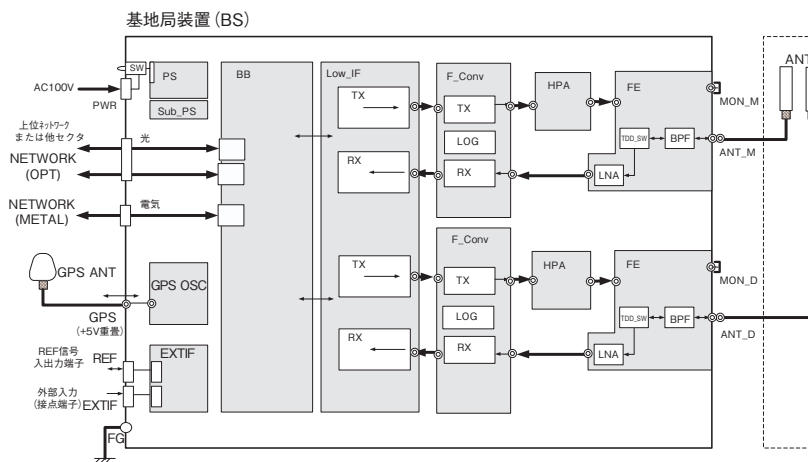


図2 ハードウェアの構成

Fig.2 Block diagram of equipment

3. ベースバンド処理部

ベースバンド処理部はIEEE802.16e標準規格に規定されるメディアアクセス制御 (MAC) 層と物理 (PHY) 層の機能を有する。

図3にベースバンド処理部の構成を示す。

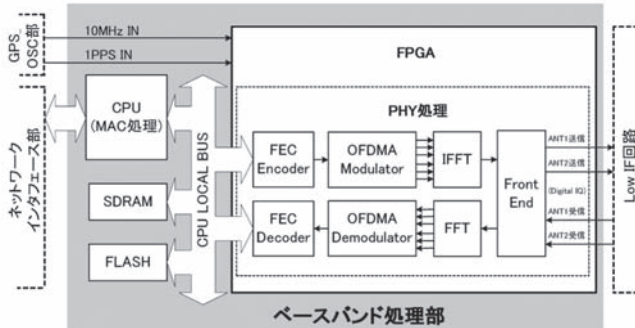


図3 ベースバンド処理部の構成
Fig.3 Block diagram of BB

ベースバンド処理部は、MAC機能を実現するCPU、メモリ、及びPHY機能を実現するFPGAから構成される。

MAC処理部では、以下の機能を実現する。

(1) サービス品質 (QoS) 制御

多数の端末が同時に基地局装置にアクセスする場合、基地局と端末間には複数の無線リンクのコネクションが確立される。様々なアプリケーションに対応したスケラブルなQoSの選択がコネクション単位で可能であり、この設定に応じて端末への利用可能帯域を制御する。

(2) 端末の認証

ネットワークインタフェース部から鍵生成データを受信し、ユーザデータを暗号化するための鍵を生成して端末へ配信する。

(3) 自動再送要求 (ARQ)

伝送路状態の劣化により受信側でデータを受信できなかったことを検知してデータを再送する。

(4) ハンドオーバー (HO)

端末は隣接基地局との信号レベル差をモニタし、基準レベルを超えると隣接基地局とのHOを開始する。

本基地局装置は同一周波数HOをサポートしている。

PHY処理部では、以下の機能を実現する。

(1) 送信処理

MACデータを符号化 (FEC) 処理し、OFDMA変調により複数のサブキャリアを生成することで送信データを並列伝送し、CPを付加してデジタルIQ信号としてLow_IF回路へ出力する。

(2) 受信処理

Low_IF回路からのデジタルIQ信号からCPを除去した後、OFDMA復調によって各サブキャリアの信号に変換して受信シンボルを復元し、FECのデコード処理をしてMACデータとして出力する。

表2にベースバンド処理部のPHY主要諸元を示す。

表2 PHY主要諸元
Table 2 Specifications of Physical Layer

項目	仕様
無線アクセス方式	OFDMA
複信方式	TDD
チャンネル帯域 (BW)	10MHz
Sampling Factor (n)	28/25
FFT Size (N_{FFT})	1024
CP/useful time比 (G)	1/8
サンプリング周波数 (F_s)	11.2MHz (=INT (n*BW/0.008) *0.008)
サブキャリア間隔 (Δf)	10.94kHz (=Fs/ N_{FFT})
Usefulシンボル長 (T_b)	91.4 μ s (=1/ Δf)
CP長 (T_g)	11.4 μ s (=G* T_b)
OFDMAシンボル長	102.9 μ s (=T _b +T _g)
フレーム長	5ms
DL/ULフレーム比	(DL, UL) = (29, 18)
DLサブキャリア割当	PUSC, PUSC w/all sub-channels
ULサブキャリア割当	PUSC
チャンネル符号化	ランダム符号化 畳み込みターボ符号化 インタリーブ
送信電力制御	閉ループ+開ループ
チャンネル測定	Physical CINR (Preamble, Pilots) Effective CINR (Pilots)
変調方式	DLバーストデータ変調 (QPSK, 16QAM, 64QAM) ULバーストデータ変調 (QPSK, 16QAM) プリアンブル変調 (QPSK) パイロット変調 (BPSK)
MAPサポート	Normal/Compressed MAP
受信ダイバーシチ	最大比合成 (MRC)
MIMO	MIMO Matrix A (STC) MIMO Matrix B (SM)

マルチアンテナ技術への対応として、Space Time Coding (STC) により送信ダイバーシチを行うMIMO Matrix Aと、Spatial Multiplexing (SM) により2つのアンテナからの送信データを空間多重化して伝送するMIMO Matrix Bの両方の機能を有する。

図4にMIMOの動作概要を示す。

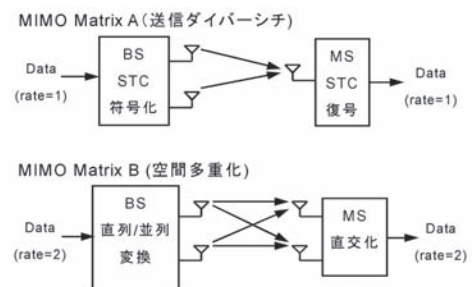


図4 MIMOの動作概要
Fig.4 Principle of MIMO

Matrix Aは2つのアンテナで同一のデータ伝送を行うことで、フェージング環境下での通信品質の向上を実現し、Matrix Bは2つのアンテナで異なるデータを並列伝送することで、データ伝送速度の向上を実現する。

それぞれ得られる効果が異なるため、システム性能を最大限に引き出すためには、伝送路状態に応じて2つのゾーン (Matrix A/B) を適応的に切り替える必要がある。Matrix Aでは基地局装置の片方のアンテナからの信号が受信できればデータを復元できるが、Matrix Bでは端末において、基地局装置の2つのアンテナからの信号を同時に受信できない場合や分離できないような場合にはデータを復元できない。従って、端末からのMatrix Aのゾーンの信号対雑音比 (CINR) 報告値とMatrix BのゾーンのCINR報告値を用いると、安定してゾーンを切り替えられない問題が発生する。そこで、本基地局装置ではPhysical CINR報告値に加え、端末での各ゾーンの受信品質に基づいた情報を併用することで、安定した切り替え動作を実現した。

4. ネットワークインタフェース部

図5にネットワークインタフェース部の構成を示す。ネットワークインタフェース部は、有線網と接続するためのインタフェースポート (IFポート) 部、パケットスイッチデバイス、CPUおよびメモリ等で構成される。

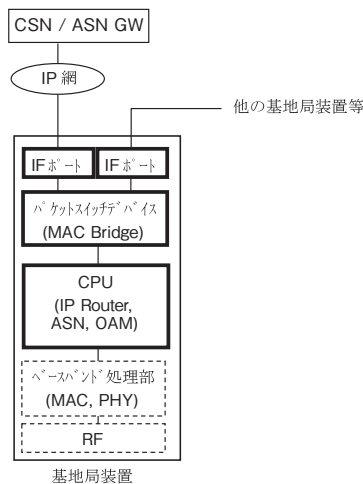


図5 ネットワークインタフェース部の構成
Fig.5 Block Diagram of Network Interface

パケットスイッチデバイスではMAC Bridge機能を実行し、CPUでは、IP Router機能、アクセスサービスネットワーク (ASN) 機能および装置運用・管理 (OAM) 機能を実行する。

4.1 パケット転送機能

インタフェースポートは、光ファイバインタフェース (100BASE-LX) を2ポート、メタルケーブルインタフェース (100BASE-TX) を1ポート具備し、パケットスイッチデバイスに接続される。セクタ構成時は、これらのポートを介して基地局装置同士をカスケード状に接続し、他の基地局装置へのトラフィックをMAC Bridge機能により高速に中

継することができる。

有線網-無線網間のパケット中継は、IP Router機能部を介して行う。IP Router機能部では、GREトンネルプロトコルを実行し、後述するMobile IPにおけるHome AgentとForeign Agent間の転送パス、端末移動時に基地局装置間に設定される転送パスを終端する機能を備える。また、基地局装置への不正アクセスを防止するため、宛先/送信元アドレスやTCP/UDPポート番号に基づくアクセス制限機能も備える。

4.2 ASN機能

基地局装置は、WiMAX Forumによって規定される2つのASNプロファイル (Profile BおよびProfile C) に対応する⁽¹⁾。WiMAX ForumではASNの機能要素をASN-GW機能とBS機能に分類している。

Profile Bでは、基地局装置は全てのASN機能要素を実装する。基地局装置内にBS機能とASN-GW機能の両方を具備したことにより、1台でもASNシステムを構成することができる。小規模から中規模なネットワークまで、スケラブルなASNシステムを構築することが可能である。

一方Profile Cでは、基地局装置はBS機能だけを実装する。ASN機能要素を基地局装置と外部のASN-GW装置に分離したことにより、大規模で、より端末移動性の高いASNシステムを構築することができる。

図6と図7にASNプロファイルの構成を示す。

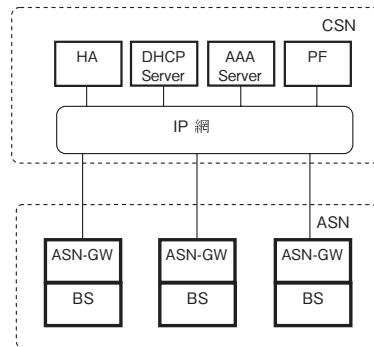


図6 ASN Profile Bの構成
Fig.6 ASN Profile B Configuration

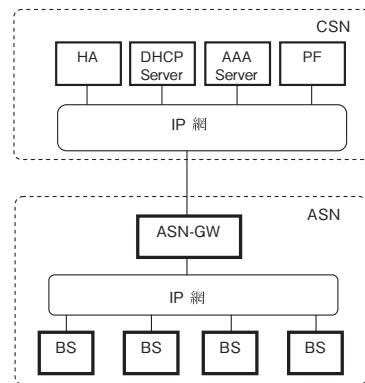


図7 ASN Profile Cの構成
Fig.7 ASN Profile C Configuration

(1) 移動制御

Profile Bでは、基地局装置は、ASN-GW間ハンドオーバー機能を実行する。端末が最初に接続した基地局装置を起点にして、移動先基地局装置へ転送パスを動的に設定することによって、端末の移動通信を実現する。また、Mobile IPのForeign Agent機能も実装しており、CSNに配置されるHome Agentと連携することによって、より広域な端末移動通信にも対応できるようにしている。

Profile Cでは、基地局装置は、BS間ハンドオーバー機能を実行する。外部のASN-GWを起点にして、移動先基地局装置に転送パスを動的に切り替えることによって、端末の移動通信を実現する。

(2) セキュリティ、QoS認可、IPアドレス割当

Profile Bでは、基地局装置は、Authenticator機能とAAA Clientを具備し、CSNに配置されるAAA Serverと連携することにより、接続される加入者端末のデバイス認証ならびにユーザ認証を実行し、無線リンク上で実行されるデータ暗号化処理の暗号鍵の管理を行う。また、CSNに配置するPFとDHCP Serverと連携し、接続する各加入者端末へのQoSパラメータ（無線リンク上のデータ送受信に関わる送信優先度や最大伝送レート等を決めるパラメータ）とIPアドレスの割当を行う。

4.3 OAM機能

基地局装置全体の起動制御、各機能ユニットのファームウェア管理、コンフィグレーション管理、統計情報・ログ管理、障害の検出とアラーム通知、自動復旧、および無線機能部の試験機能を備える。これらの機能は、SNMPv3, SSH, S-FTPといったセキュアな通信方式を通じて、外部のマネジメントシステム（EMS等）からの運用と管理を提供する。

5. あとがき

モバイルWiMAXシステム向けに高い施工性・保守性を有する屋外設置型基地局装置の商品化を行った。基地局装置は、MIMO Matrix A及びMatrix B機能を有し、ASNに必要なすべての機能を内蔵するProfile Bを実装したことにより、地域WiMAXでの比較的小規模なネットワークを低コストで構築することが可能となった。

今後は、モバイルWiMAX Plugfestへの参加などを通じて国内外の多数の端末装置ベンダーとの相互接続試験を実施するとともに、ASN-GWベンダーとProfile Cの相互接続試験を進めて、オープンな地域WiMAXネットワークの構築を進めて行く。

参考文献

- (1) WiMAX Forum: Network Architecture Stage 2 Part 2 Release 1, Version 1.3.0
- (2) IEEE Std 802.16 Rev2/D9a, March, 2009

用語一覧

AAA: Authentication Authorization Accounting
ARQ: Automatic Repeat Request
ASN: Access Service Network
ASN-GW: ASN-GateWay
BB: Base Band
BS: Base Station
CP: Cyclic Prefix
CSN: Connectivity Service Network
DL: Down Link
EMS: Element Management System
EXTIF: External Interface
FA: Foreign Agent
FE: Front End
FEC: Forward Error Correction
FPGA: Field Programmable Gate Array
FWA: Fixed Wireless Access
F_Conv: Frequency Converter
GPS_OSC: Global Positioning System Oscillator
GRE: Generic Routing Encapsulation
HA: Home Agent
HO: Handover
HPA: High Power Amplifier
IP: International Protection
LNA : Low Noise Amplifier
Low_IF: Low Intermediate Frequency
MAC: Medium Access Control
MIMO: Multiple Input Multiple Output
MRC: Maximum Ratio Combining
OAM: Operation Administration Maintenance
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PF: Policy Function
PHY: Physical Layer
PPS: Pulse Per Second
PS: Power Supply
QoS: Quality of Service
SM: Spatial Multiplexing
STC: Space Time Coding
TDD: Time Division Duplexing
TOD: Time of Day
UL: Up Link
WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access