

モバイルWiMAX小型通信モジュールの開発

Development of Compact Mobile WiMAX Communication Module

遠藤 和隆 上村 昌史 小笠原 将光
Kazutaka Endo Masahito Kamimura Masamitsu Ogasawara

杉山 宏充 中田 一規 杉崎 裕吾
Hiromitsu Sugiyama Kazunori Nakada Yugo Sugizaki

要 旨

本モジュールは、IEEE802.16e-2005のモバイルWiMAX規格に準じた無線モジュールである。WiMAXには全国バンドと地域バンドがあり、この両方の周波数帯に対応している。インタフェース部は組み込み機器に装着し易い形状を考慮し、一般的なコネクタ形状である「PCI-Express-MiniCard-2.0」を採用している。また、外形サイズ30mm×27mmと小型化を実現するため、BB SoC、RFモジュール、電源IC、ROM、RAMとシンプルな回路構成としている。データ伝送速度は、理論値の約16Mbps (SISO 下り) に対して、実測値約15Mbpsを実現しており、高速なデータ通信が可能となっている。

Abstract

This wireless module conforms to the IEEE802.16e-2005 mobile WiMAX standard. WiMAX has national and local frequency bands. This module supports both. The interface section has been designed to be easy to attach to embedded devices, and it uses the common PCI Express Mini Card 2.0 connector. Also, the module is compact, with external dimensions of 30 × 27 mm, thanks to its simple circuit design, which consists of a BB SoC, an RF module, a power management IC, ROM, and RAM. The module makes high-speed data transmission possible. The theoretical data throughput is 16 Mbps (SISO Down Link). The actual measured data throughput achieved by the module is approximately 15 Mbps.

1. まえがき

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) はIEEE標準規格802.16eをもとに規格化された無線通信技術の規格の一つである。スポット的に利用される無線LANとは異なり、広いエリアで利用可能となるので、外出先でADSL並みの速度と料金でデータ通信が可能になる。また、移動しながらの通信や、省電力対応などモバイル通信に対応するための変更を加えた規格がモバイルWiMAXである。

モバイルWiMAXの特長をまとめると下記の通りである。

- ・カバーエリアがWi-Fiより広域
基地局のカバーエリアは2～3 km
- ・高速移動が可能
120km/h移動時で最大十数Mbpsの通信が可能
- ・高速通信が可能
最大40Mbpsの高速・大容量通信
- ・常時接続
IPレイヤで常時接続環境を提供

現在、UQコミュニケーションズ株式会社がモバイルWiMAXを使ったサービスを2009年7月より開始しており、下り最大40Mbps (MIMO)、上り最大10MbpsとADSL並みの高速なブロードバンド通信サービスを提供している。

これらを背景に今回モバイルWiMAXの小型通信モジュールを開発したのでここに報告する。

2. 装置概要

表1に開発したモバイルWiMAX小型通信モジュールの仕様を示す。

本モジュールはモバイルWiMAX用のBB SoC及びRFモジュールを採用し、モバイルWiMAXの通信を実現している。

周波数は全国バンドと地域バンドに対応しており、インタフェース部は「PCI-Express-MiniCard-2.0」を採用している。また、外形サイズはハーフミニカードの30mm×27mmを実現している。

図1に本モジュールの外観図を示す。

表1 主な仕様

Table 1 General specifications

| 項目 | 仕様 |
|---------|--|
| 通信方式 | IEEE 802.16e-2005 (WAVE2 対応) |
| 周波数 | 2,582~2,592MHz (地域バンド) 2,595~2,625MHz (全国バンド) |
| 周波数帯域幅 | 5MHz/10MHz |
| 送信出力 | 200mW max (RFコネクタ端) |
| 変調方式 | UL: QPSK, 16QAM DL: QPSK, 16QAM, 64QAM |
| マルチアンテナ | 2x2 STC/MIMO |
| インタフェース | USB2.0/RFコネクタ (U.FL-R-SMT相当) /電源 |
| 電圧供給 | +3.3V ± 9% |
| 消費電力 | 3.3W以下 |
| 外形寸法 | 30.0×27.0×5.0mm (PCI Express Half Mini Cardサイズ) |
| 質量 | 5g以下 |
| 使用温度範囲 | 0℃ ~ +70℃ |
| 保存温度範囲 | -20℃ ~ +80℃ |
| 動作相対湿度 | 5~90%RH (結露なきこと) |
| 振動 | JIS-E4031 1種 B |
| 衝撃 | JIS-E4031 1種 B |

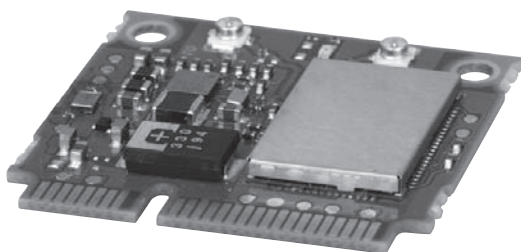


図1 モバイルWiMAX小型通信モジュール
Fig.1 Compact mobile WiMAX communication module

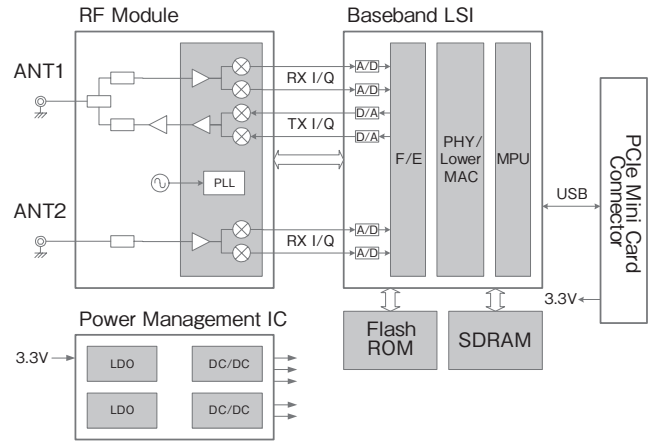


図2 モバイルWiMAX小型通信モジュールのブロック図
Fig.2 Compact mobile WiMAX communication module block diagram

3.2 信号処理

図3, 図4に信号処理の基本的なフローを示す。送信系はデータに対してランダム化, 誤り訂正, インターリーブをかけて一次変調 (QPSK, QAM) し, IFFTでOFDMの二次変調がかけられ, CP (Cyclic Prefix) を挿入してRF部で送信される。

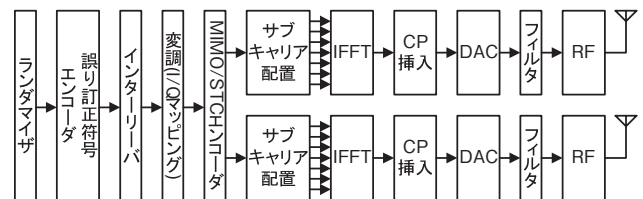


図3 送信系信号処理フロー
Fig.3 Transmitter signal processing flow

受信系は送信系と全く逆の処理を行う。RF部で復調されたデータからCPを除去し, FFTでOFDMの一次復調, 更に二次復調して, デインターリーブ, 誤り訂正, デランダム化を経てデータを取り出す。

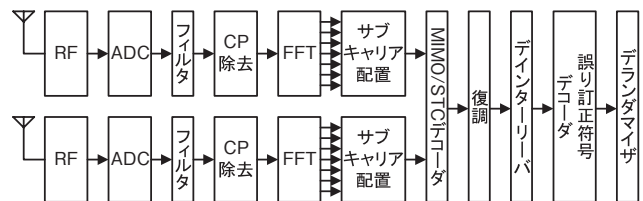


図4 受信系信号処理フロー
Fig.4 Receiver signal processing flow

3. 動作原理

3.1 ブロック図

図2に本モバイルWiMAX小型通信モジュールのブロック図を示す。主にBB SoC, RFモジュール, 電源IC, メモリ (ROM, RAM) から構成される。BB SoCにてモバイルWiMAXのPHY, MACを処理し, RFモジュールにて2.6GHz帯, OFDMA, 2x2 STC/MIMOの無線通信を実現している。

また, BB SoC, RFモジュール, その他の多くの電源を供給するシステム電源を採用することにより, 更に小型化を図っている。

I/Fのコネクタ形状は「PCI-Express-MiniCard-2.0」であるが, その中のUSBのI/Fのみを使用している。

3.3 スループット理論値

表2, 表3に下記条件における各変調方式及びUL (Up Link: 上り) /DL (Down Link: 下り) のスループットの理論値を示す。

- ・ チャンネル帯域幅: 10MHz
- ・ OFDMシンボル数 (DL/UL): 29/18
- ・ サブチャンネル数 (DL/UL): 30/35
- ・ サブチャンネル配置: PUSC
- ・ アンテナ: SISO

表2 DLスループット理論値

Table 2 Theoretical down link throughput

| 変調方式 | DLスループット理論値 [Mbps] |
|-----------|--------------------|
| QPSK 1/2 | 3.17 |
| QPSK 3/4 | 4.75 |
| 16QAM 1/2 | 6.34 |
| 16QAM 3/4 | 9.50 |
| 64QAM 1/2 | 9.50 |
| 64QAM 2/3 | 12.67 |
| 64QAM 3/4 | 14.26 |
| 64QAM 5/6 | 15.84 |

表3 ULスループット理論値

Table 3 Theoretical up link throughput

| 変調方式 | ULスループット理論値 [Mbps] |
|-----------|--------------------|
| QPSK 1/2 | 1.68 |
| QPSK 3/4 | 2.52 |
| 16QAM 1/2 | 3.36 |
| 16QAM 3/4 | 5.04 |

及びコンスタレーション, フラットネス波形を示す。

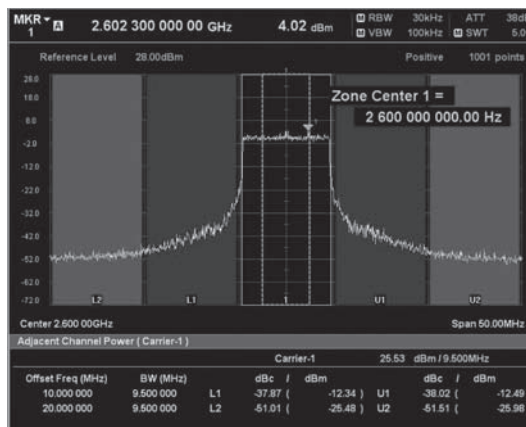


図5 スペクトラム波形
Fig.5 Waveform of spectrum

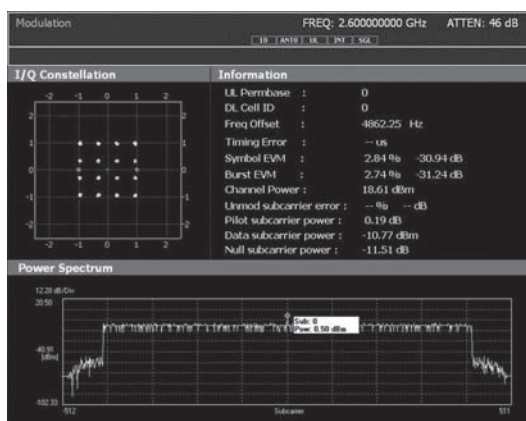


図6 コンスタレーション, フラットネス波形
Fig.6 Waveform of constellation and flatness

4. 評価結果

WiMAX小型通信モジュールの試作機の各諸特性の測定結果を示す。

4.1 送信諸特性

送信諸特性については下記特性とも全て規格内に入っていることを確認した。

- ・ 送信周波数偏差
- ・ 送信電力
- ・ 占有帯域幅
- ・ スプリアス領域における不要発射
- ・ 隣接チャンネル漏洩電力
- ・ 帯域外領域における不要発射
- ・ 搬送波を送信していない時の漏洩電力
- ・ 送信バースト長
- ・ スペクトラム平坦度
- ・ 変調精度

また, 図5, 図6に代表値の16QAM 3/4のスペクトラム

4.2 受信諸特性

受信諸特性については下記特性とも全て規格内に入っていることを確認した。

- ・ 受信感度
 - サブキャリア配置: PUSC/FUSC/AMC2x3
 - 周波数帯域幅: 5MHz/10MHz
 - マルチパス: AWGN/Ped-B@3km/Veh-A@60km
 - 各変調方式: QPSK 1/2, QPSK 3/4, 16QAM 1/2, 16QAM 3/4, 64QAM 1/2, 64QAM 2/3, 64QAM 3/4, 64QAM 5/6
- ・ 受信最大入力レベル
- ・ 副次発射
- ・ 相互変調特性
- ・ スプリアスレスポンス
- ・ 隣接チャンネル選択度

また, 図7に代表値の64QAM 5/6のPERカーブを示す。

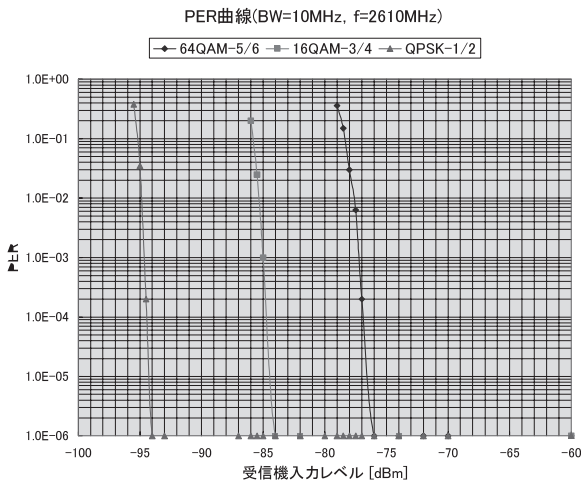


図7 PERカーブ
Fig.7 PER curve

4.3 スループット

表4、表5にスループットの測定結果を示す。実験室内の基地局とケーブル接続して測定を実施している。理論値にほぼ近い測定結果が得られた。

表4 DLスループット測定結果

Table 4 Measured down link throughput

| 変調方式 | 測定結果 [Mbps] | 理論値 [Mbps] |
|-----------|-------------|------------|
| QPSK 1/2 | 3.06 | 3.17 |
| QPSK 3/4 | 4.58 | 4.75 |
| 16QAM 1/2 | 6.12 | 6.34 |
| 16QAM 3/4 | 9.12 | 9.50 |
| 64QAM 1/2 | 9.12 | 9.50 |
| 64QAM 2/3 | 12.2 | 12.67 |
| 64QAM 3/4 | 13.7 | 14.26 |
| 64QAM 5/6 | 15.2 | 15.84 |

表5 ULスループット測定結果

Table 5 Measured up link throughput

| 変調方式 | 測定結果 [Mbps] | 理論値 [Mbps] |
|-----------|-------------|------------|
| QPSK 1/2 | 1.62 | 1.68 |
| QPSK 3/4 | 2.42 | 2.52 |
| 16QAM 1/2 | 3.23 | 3.36 |
| 16QAM 3/4 | 4.85 | 5.04 |

4.4 消費電力

消費電力の測定結果は仕様規格の3.3W以下を十分満足する電力値であった。

5. あとがき

PCI Express Half Mini Cardという小型サイズでモバイルWiMAXの規格を満足する通信モジュールを開発することができた。

本モジュールを用いてSISOで下り約15Mbps、上り約

5Mbpsの高速通信が実現できることを確認できた。

今後は本モジュールを組み込んだモバイルWiMAXの製品(CPE装置)を開発していく予定である。

また、更なる高速化を実現できる新しい規格IEEE802.16m(通信速度 最大330Mbps)が検討されておりモバイルWiMAXの進化と普及が期待される。

参考文献

- 庄納崇編著, インプレス標準教科書シリーズ WiMAX教科書, (株) インプレス (2008)

用語一覧

- ADC: Analog to Digital Converter (アナログデジタル変換回路)
- ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (非対称デジタル加入者線)
- AMC: Adaptive Modulation and Coding (隣接型サブキャリア配置法に基づく帯域の一部を用いたサブチャネル配置法)
- AWGN: Additive White Gaussian Noise (付加白色ガウス雑音)
- BB: Base Band (ベースバンド)
- CP: Cyclic Prefix (サイクリック・プレフィックス)
- CPE: Customer Premises Equipment (加入者が管理・所有する通信機器)
- DAC: Digital to Analog Converter (デジタルアナログ変換回路)
- DC/DC: DCDCコンバータ
- DL: Down Link (下り)
- F/E: Front End (フロントエンド)
- FFT: Fast Fourier Transform (高速フーリエ変換)
- FUSC: Full Usage of SubChannels (分散型サブキャリア配置法に基づく帯域全体に渡るサブチャネル配置法)
- IC: Integrated Circuit (集積回路)
- IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers (電気電子学会)
- I/F: Interface (インタフェース)
- IFFT: Inverse Fast Fourier Transform (逆高速フーリエ変換)
- IP: Internet Protocol (インターネットプロトコル)
- JIS: Japan Industrial Standards (日本工業規格)
- LAN: Local Area Network (ローカルエリアネットワーク)
- LDO: Low Drop-Out regulator (低損出レギュレータ)
- LSI: Large Scale Integration (大規模集積回路)
- MAC: Media Access Control (メディアアクセス制御)
- MIMO: Multi Input Multi Output (多入力多出力)
- MPU: Micro Processing Unit (マイクロプロセッサ)
- OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (直交周波数分割多重アクセス)
- PCI: Peripheral Component Interconnect (コンピュータ用拡張バスアーキテクチャ)
- PER: Packet Error Rate (パケットエラーレート)
- PHY: PHYSical Layer (物理層)
- PLL: Phase-Locked Loop (位相同期回路)
- PUSC: Partial Usage of SubChannels (分散型サブキャリア配置法に基づく帯域の一部を用いたサブチャネル配置法)
- QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (四位相偏移変調)
- QAM: Quadrature Amplitude Modulation (直交振幅変調)
- RAM: Random Access Memory (随時アクセスメモリ)
- RF: Radio Frequency (無線周波数)
- RH: Relative Humidity (相対湿度)
- ROM: Read Only Memory (読み出し専用メモリ)
- SISO: Single Output Single Input (1入力1出力)
- SoC: System on a chip (システムオンチップ)
- STC: Space-Time Coding (時空間符号化)
- UL: Up Link (上り)
- USB: Univesal Serial Bus (ユニバーサル・シリアル・バス)
- Wi-Fi: Wireless Fidelity (ワイ・ファイ)
- WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access(ワイマックス)