WiMAXモジュールの開発
Development of WiMAX Module

上村昌史 Masahito Kamimura
小笠原將光 Masamitsu Ogasawara
布浦武文 Takefumi Fuura
谷内勝 Masaru Yachi
中田一規 Kazunori Nakada
杉﨑裕吾 Yugo Sugizaki

要　旨

本モジュールはモバイルWiMAX規格(IEEE802.16e-2005)に準拠した産業機器向けWiMAX通信モジュールである。従来品と比較して動作温度範囲を－30～85℃まで拡張し，屋外使用も想定した広範囲な周囲温度に対応できる。

また，従来はホスト側の機器に組み込む必要があったWiMAXドライバを本モジュール側に搭載することにより，WiMAX通信を容易に実現可能なモジュールとなっている。

小型で機器への組込が容易なPCI Express Half Mini Cardサイズを採用し，遠隔ファームアップ，遠隔ログ取得等，組込機器向けに特化した市場要求の高い機能を搭載している。

Abstract

This module is a WiMAX communication module for industrial devices, that conforms to the mobile WiMAX specifications (IEEE802.16e-2005).

In contrast to conventional products, the operating temperature range was expanded to -30 to 85°C, and so can be used in any possible outdoor temperature.

This module easily carries out WiMAX communication because a WiMAX driver is installed in the module, instead of the host device as is conventional.

The compact size of the PCI Express Half Mini Card was adopted, so that it can easily be installed in a device, and the module is equipped with the advanced functions demanded by the market especially for embedded systems, such as remote firmware upgrades and remote log acquisition.

1. まえがき

現在，UQコミュニケーションズ株式会社（以下UQC）がモバイルWiMAXを使ったブロードバンド通信サービスを提供しているが，用途はPC，携帯端末等のコンシューマ向けが占められている。今後UQCは新たなビジネスとしてWiMAXの特長（高速通信，パケット料金定額等）を活かして，産業機器向け等のMtoM市場への展開を考えている。当社はそのMtoM市場向けとして組み込みWiMAXモジュールを開発，市場投入している。

特に産業機器向けとして過酷な環境に対応できる温度範囲が要求されている為，以前に開発したWiMAXモジュールから動作温度範囲を拡大し，更に組込機器側で必須であったドライバ開発を不要とするドライバレスに対応し，更なる低消費電力化を狙ったWiMAXモジュールを開発した。

2. 装置概要

開発したモバイルWiMAXモジュールの仕様を表1に示す。

従来のモジュールは動作温度範囲が0～60℃で，産業用組込モジュールとしては動作温度範囲が狭かったが，本モジュールは-30～85℃と屋外使用も想定した広範囲な温度環境に対応できる。

従来はホスト側の機器に組込開発する必要があったWiMAXドライバを本モジュール側に搭載することにより，WiMAX通信を容易に実現可能なモジュールとなっている。この為ドライバ組み込み開発期間，費用が不要となる。また，低消費電力化として従来のモジュールと比較して通信時の消費電流を約2/3とし，更にバッテリ駆動を伴う携帯端末向けとして，待機電流1mA以下で起動時間が高速であるハイバネートモードを搭載した。

その他，下記の特長がある。

・装置への組み込みに適した小型サイズ
　（PCI Express Half Mini Card サイズ）
・OMA-DM対応（アクティベーションの無線対応）
・遠隔ファームアップ対応
・周波数は全国バンドと地域バンドに対応

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	1x2 MIMO，Beamforming ULダイバーシチ
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	2.0W 以下
平均消費電流	通信時：600mA以下（@Vcc＝3.3V） アイドルモード時：10mA ハイバネートモード時：1mA以下
外形寸法	30.0 × 27.0 × 5.0 mm （PCI Express Half Mini Card サイズ）
質量	5g以下
使用温度範囲	－30 ℃ ～ ＋85 ℃
保存温度範囲	－30 ℃ ～ ＋85 ℃
動作相対湿度	5 ～ 90% RH（結露なきこと）

図1 WiMAXモジュール
Fig.1 WiMAX module

3. 動作原理

3.1 ハードウェア

本モジュールのハードウェアブロック図を図2に示す。主にBBIC，フロントエンドモジュール（FEM），電源IC，メモリ（ROM，RAM）から構成される。BBICにてモバイルWiMAXのPHY，MACを処理し，RF部で2.6GHz帯，OFDMA，1x2 MIMOの無線通信を実現している。

また，BBIC内にフロントエンドモジュール（FEM），その他のデバイスに供給する電源ICを内蔵しており，更に小型化を図っている。

更にWiMAXのPHY，MACを処理するMPUの他にもう一つMPUを内蔵しており，今回のWiMAXドライバを処理させるドライバレス対応や，WiMAX CPE，無線ルータを本BBICのみで実現することが可能となっている。

I/Fのコネクタ形状はPCI-Express-Mini Card規格準拠であるが，その中のUSBのI/Fのみを使用している。

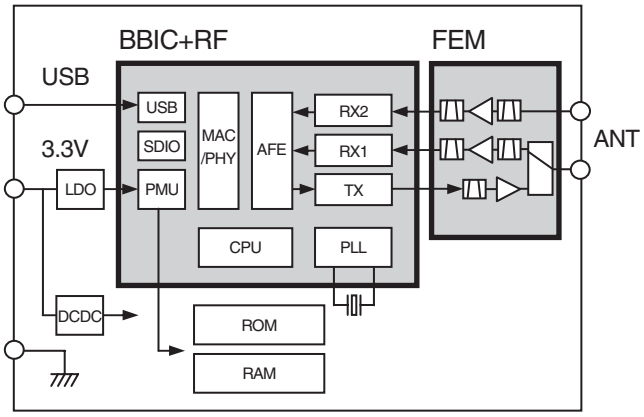

図2 WiMAXモジュールのハードウェアブロック図
Fig.2 WiMAX module hardware block diagram

3.2 ソフトウェア

本モジュールのソフトウェアブロック図を図3に示す。従来のWiMAXモジュールはPHY,MACを制御するファームウェアとそのAPIのみモジュール内に組み込まれており，ホスト側に通信制御を行う，Connection Manager，Supplicant等を組込開発する必要があった。

その通信制御を行うアプリケーションをモジュール側に内蔵することにより，ホスト側のOSに標準で添付されている，USBドライバ，Ethernetドライバ等を使用するだけでWiMAXの通信を容易に実現させることが可能となった。

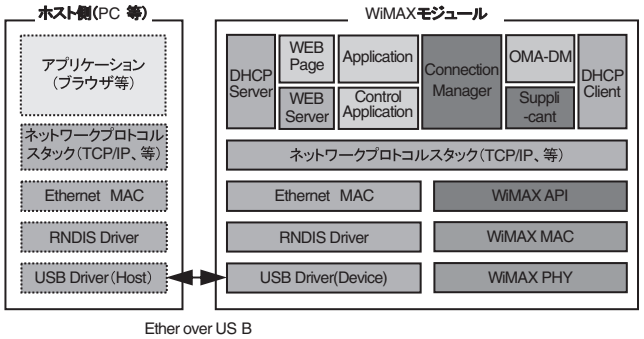

図3 WiMAXモジュールのソフトウェアブロック図
Fig.3 WiMAX module software block diagram

4. 評価結果

本モジュールの試作機の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，代表値の16QAM 3/4のスペクトラム及びコンスタレーションを図4，図5に示す。

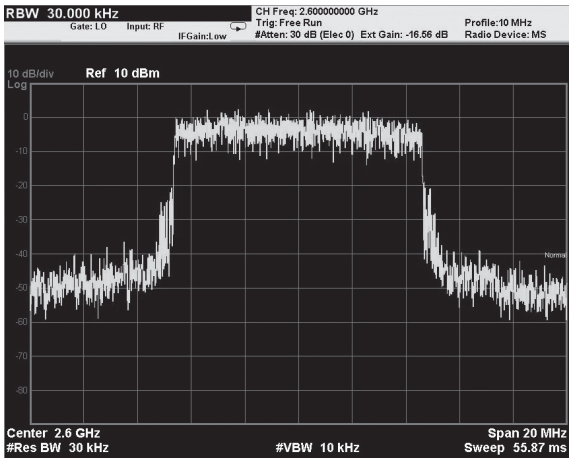

図4 スペクトラム波形
Fig.4 Spectrum

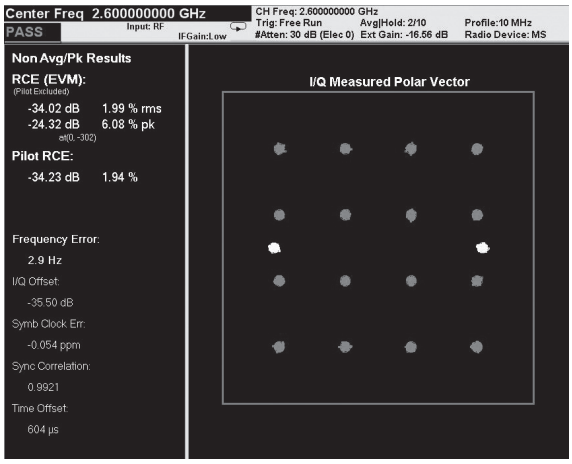

図5 コンスタレーション，フラットネス波形
Fig.5 Constellation and flatness

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
・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
・隣接チャネル選択度

また，代表値の64QAM 5/6のFERカーブを図6に示す。

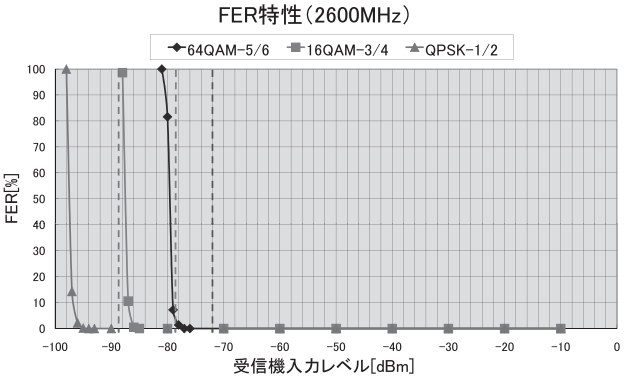

図6 FERカーブ
Fig.6 FER curve

4.3 スループット

スループットの測定結果を表2，表3に示す。

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2 DL スループット測定結果
Table 4 Downlink 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	6.11	6.34
16QAM 3/4	9.11	9.50
64QAM 1/2	9.10	9.50
64QAM 2/3	12.20	12.67
64QAM 3/4	13.70	14.26
64QAM 5/6	15.20	15.84

表3 UL スループット測定結果
Table 5 Uplink throughput

変調方式	測定結果[Mbps]	理論値［Mbps］
QPSK 1/2	1.62	1.68
QPSK 3/4	2.43	2.52
16QAM 1/2	3.23	3.36
16QAM 3/4	4.87	5.04

4.4 消費電力

消費電力の測定結果は仕様規格の2W以下を十分満足する電力値であった。

4.5 ソフトウェア評価

ホスト側のOSとして以下での動作確認を行い問題なく動作することを確認した。

・Windows 7/Vista/XP
・Linux

今後下記OSについても対応予定である。
・Windows CE
・Android

5. あとがき

PCI Express Half Mini Cardという小型サイズでモバイルWiMAXの規格を満足する温度拡張，ドライバレス，低消費電力のWiMAXモジュールを開発することができた。

本モジュールはドライバレスタイプである為，客先の機器のPCI Express Mini Cardスロットに差し込むだけで，容易にWiMAXの通信試験が可能となる為，客先機器の評価期間が短縮でき，採用しやすい製品となる。

また，使用温度範囲も広く，低消費電力である為，組込機器の分野を問わず導入しやすいモジュールとなっている。

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，ルータなど）を展開していく予定である。

また，更にデータ伝送速度を高速化したIEEE802.16m（通信速度 最大330Mbps）への取り組みや，LTE，WiFi等とのコンボモジュールへの展開も検討している。

参考文献

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

用　語　一　覧

AFE：Analog Front End
API：Application Program Interface
BBIC：Base Band Integrated Circuit（ベースバンドIC）
CPE：Customer Premises Equipment（加入者が管理･所有する通信機器）
DC/DC：DCDCコンバータ
DHCP：Dynamic Host Configuration Protocol
DL：Down Link（下り）
FEM：Front End Module（フロントエンドモジュール）
FER：Frame Error Rate（フレームエラーレート）
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）
LDO：Low Drop-Out regulator（低損失レギュレータ）
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）
M to M：Machine to Machine
OFDMA：Orthogonal Frequency Division Multiple Access（直交周波数分割多重アクセス）
OMA-DM：Open Mobile Alliance-Device Management
OS：Operating System
PCI：Peripheral Component Interconnect（コンピュータ用拡張バスアーキテクチャ）
PHY：PHYsical Layer（物理層）
PLL：Phase-Locked Loop（位相同期回路）
PMU：Power Management Unit（電源ユニット）
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）
RNDIS：Remote Network Driver Interface Specification
SDIO：Secure Digital Input/Output
TCP/IP：Transmission Control Protocol / Internet Protocol
UL：Up Link（上り）
USB：Univesal Serial Bus（ユニバーサル・シリアル・バス）
WiMAX：Worldwide Interoperability for Microwave Access（ワイマックス）