

WiFi/BluetoothとWiMAXの共存技術

Technology for WiFi/Bluetooth and WiMAX Coexistence

あらまし

モバイルWiMAX (IEEE 802.16e) はOFDMA方式を用いる次世代ワイヤレスブロードバンドアクセス技術として期待されている。しかし、その運用帯域 (2.3 GHz/2.5 GHz) はWiFi/Bluetoothで使用するISM (Industrial Scientific and Medical) 帯 (2.4 GHz) と隣接しており、普及には電波妨害によるシステム間干渉の解決が求められる。次期標準化改訂による対策普及までの複数年間のサービスギャップを埋める有効手段として、富士通独自のシステム共存技術を確立した。この独自共存技術は既存仕様に変更を加えず互換性を維持したまま、再送の仕組みを用いてシステム共存を実現する。懸念されるシステムスループットへの影響も、システム容量の75%以下のトラフィック負荷では発生しないことをシミュレーションにより明らかにした。

本稿では、WiFi/BluetoothとWiMAXのシステム共存に対する問題と、確立した富士通独自の共存技術について概要を述べる。

Abstract

Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mobile WiMAX) is useful as next-generation wireless broadband access technology based on OFDMA. For it to proliferate, the radio interference between WiMAX operated on bands (2.3 GHz/2.5 GHz) and WiFi/Bluetooth located on the ISM band (2.4 GHz) needs to be resolved. Fujitsu has developed some proprietary coexistence technology as a way to do this until a countermeasure by having an enhanced IEEE specification is deployed in a few years. The developed coexistence technology does not need any modifications with the current specifications for backward compatibility. It works by using automatic repeat requests (ARQ). There were concerns about the technology's effect on system throughput, but no such effect was observed when operating at 75% of system capacity or less. This was evaluated by making a simulation. This paper describes the issues regarding WiFi/Bluetooth and WiMAX coexistence, and Fujitsu's proprietary coexistence technology.



近藤 泰二
(こんどう たいじ)

ネットワークシステム研究所ワイヤレス信号処理研究部 所属
現在、移動通信システムの研究開発に従事。



藤田 裕志
(ふじた ひろし)

ネットワークシステム研究所ワイヤレス信号処理研究部 所属
現在、移動通信システムの研究開発に従事。



吉田 誠
(よしだ まこと)

ネットワークシステム研究所ワイヤレス信号処理研究部 所属
現在、移動通信システムの研究開発に従事。



齊藤 民雄
(さいとう たみお)

プラットフォームテクノロジー研究所 所属
現在、RFおよび低消費電力デバイスの研究開発に従事。

まえがき

近年の携帯電話（セルラーシステム）や無線LANなどの普及に伴い、ワイヤレスによるブロードバンド接続への要求が高まっている。これに応える次世代ワイヤレスブロードバンドアクセス技術の一つとして、モバイルWiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access）が注目されている。モバイルWiMAXはOFDMA（Orthogonal Frequency Division Multiple Access）方式をベースとするシステムで、IEEE 802.16e^{(1),(2)}として既に標準化され、第3世代移動通信システム（IMT-2000）の6番目のエアインタフェースとして全世界で仕様が規定されている。本システムは現在、2 GHz帯から3.8 GHz帯までの広い周波数帯をカバーしており、さらにその能力の高さから適用周波数帯が広がる方向で検討されている。

モバイルWiMAXは世界に先駆け米国で2008年9月より、また日本国内でも2009年2月より商用運用が開始されている。両国での運用帯域は2.5 GHz帯であり、帯域幅は10 MHzとなっている。ともにライセンスバンドでの運用であり、セルラーネットワークのような基地局の面的配備が計画されている。しかし、このモバイルWiMAXに割り当てられた2.5 GHz帯は隣接帯域としてISM（Industrial Scientific and Medical）帯（2.4 GHz）があり、当初より相互システム間干渉による影響が懸念されていた。

この問題の解決に向け、システム運用上の仕様を策定する業界団体のWiMAXフォーラムでは、システム共存のための仕組みをIEEE標準に追加する方向で議論を進めている⁽³⁾。しかし、標準化改訂作業は遅延しており、本機能に対応した基地局の登場は、早くても2010年の後半以降と予想されている。さらにシステム共存機能が実装された基地局は既存基地局との互換性が保証されておらず、運用中の基地局はリプレースの必要があるため、普及を阻害する要因と考えられ、サービスインから少なくとも数年間は、すでにコンシューマ製品へ多くの適用実績のあるWiFiやBluetoothなどのISM帯通信システムとの共存が困難であることが大きな問題となる。

本稿では、このシステム共存が困難であることによるサービスギャップを埋めるため、既存仕様を変

更することなくISM帯通信システム、とくにWiFiおよびBluetoothとWiMAXの共存を実現する富士通独自のシステム共存技術について述べる。

WiFi/Bluetooth/WiMAX干渉問題

モバイルWiMAXの運用周波数帯はいくつかの周波数帯に分割されている。WiMAXフォーラムで定義されているBand Classを表-1に示す。この中でBand Class 2（2.3 GHz帯）とBand Class 3（2.5 GHz帯）が、2.4 GHz帯で運用されるWiFi（IEEE 802.11b/g）やBluetooth（IEEE 802.15.1）と隣接（一部オーバーラップしている）しており、互いに電波干渉による妨害を与え合ってしまう。

これらシステム間の干渉を抑圧するために帯域制限フィルタを用いる方法もあるが、WiFi/WiMAX、Bluetooth/WiMAXシステム間ではフィルタに必要な周波数間隔が十分に取れないため、その実現は非常に困難となる。

システム共存の利用シーン

電波妨害によるシステム間干渉は図-1に示すような利用シーンで問題となることが想定されている。

(1) Bluetoothヘッドセットを用いた音声（VoIP）サービス {図-1 (a)}

VoIPはパケットサービスを提供するモバイルWiMAXにおいて音声通信を実現する重要なアプリケーションであり、モバイルWiMAXの端末においても現在の携帯電話で実現されているBluetoothを

表-1 WiMAX/ISM帯通信システムの運用周波数帯

Band Class Index	周波数帯 (GHz)	帯域幅 (MHz)
1	2.3~2.4	8.75, 5, 10
2	2.305~2.320, 2.345~2.360	3.5, 5, 10
3	2.496~2.69	5, 10
4	3.3~3.4	5, 7, 10
5	3.4~3.8, 3.4~3.6, 3.6~3.8	5, 7, 10
WiFi (IEEE 802.11b/g)	2.4~2.497	26
Bluetooth (IEEE 802.15.1)	2.402~2.480	1

用いた利用シーンが想定される。しかし、モバイルWiMAXでは両システムの使用周波数帯が隣接しているため、何らかの干渉対策が必要となる。ところが既存の仕様ではBluetooth/WiMAXシステム間の干渉回避は想定されておらず、現状での同時使用は困難と言える。

(2) WiFi/WiMAXシームレスハンドオーバー{同図(b)}

モバイルWiMAXでは、その伝送速度の高さを用いたビデオストリーミングも有効なアプリケーションとして期待されている。一方、WiFiは屋内での通信システムとして広く普及しており、ユーザ宅内に設置されたアクセスポイントを用いることで無料のブロードバンド環境を実現できる。

屋外でモバイルWiMAXを用いて開始したビデオストリーミングを、屋内で途切れることなくWiFiを用いて継続するには、システム間のシームレスハンドオーバーが不可欠である。しかし、同様に2シス

テムが近接する運用周波数であることから、干渉の要因によりハンドオーバー実現のための同時動作は非常に困難となる。

標準エンハンス化による対策

WiMAXフォーラムで議論されているシステム共存方式は、図-2に示すように共存する複数の通信システム間を時間分割（TDM：Time Division Multiplex）制御することで電波妨害を防ぐものである。

システム共存端末とモバイルWiMAX基地局（BS：Base Station）は、Bit Mapと呼ばれるTDM制御フレーム情報の交換を行うことで意図的にモバイルWiMAX端末（MS：Mobile Station）の動作を停止させる。Bit Mapの1 bitはモバイルWiMAXフレーム上の下りリンク（DL：Down Link）および上りリンク（UL：Up Link）サブフレームに対

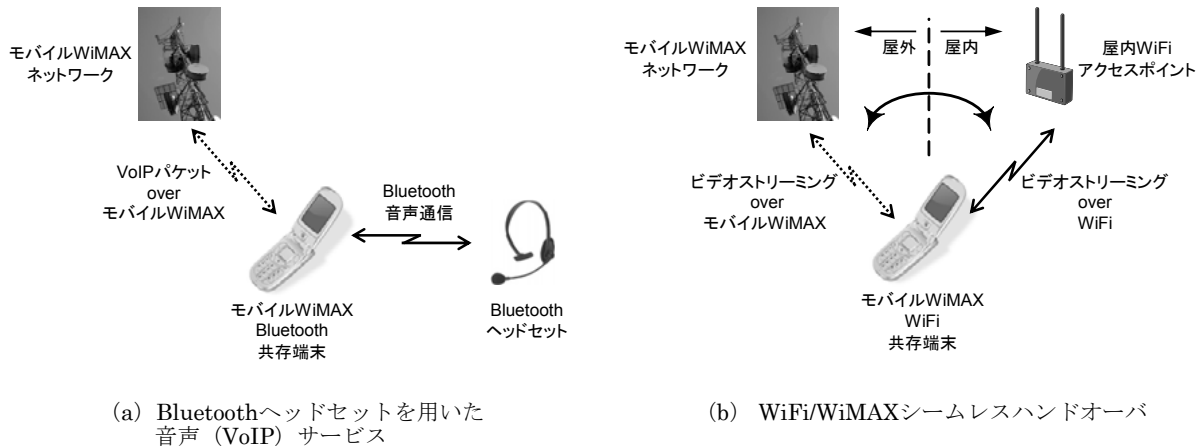


図-1 システム共存の利用シーン
Fig.1-Use cases of coexistence.

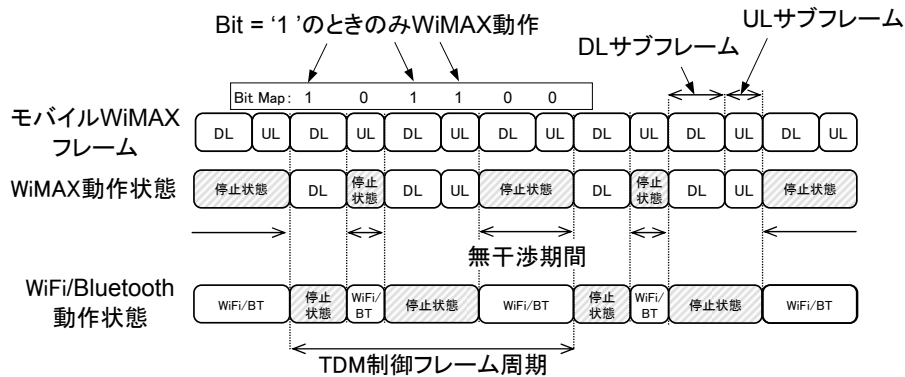


図-2 IEEE 802.16e Rev.2共存仕様
Fig.2-IEEE 802.16e Rev.2 coexistence specification.

応しており、Bit= '1' のときにモバイルWiMAXシステム (BS/MS) が動作する。

TDM制御フレームにより間欠的にモバイルWiMAXの停止状態が作られ、無干渉となったこの停止期間を用いWiFi/Bluetoothが通信を行う。逆にモバイルWiMAXの動作期間はWiFi/Bluetoothの送信を停止する。TDM制御フレーム周期はアプリケーションごとの所要伝送速度によって異なる。

標準化によるTDM制御は、システム既知の動作であるため、つまりBSがあらかじめシステム共存端末を認識できるため、周波数リソースの無駄がない最も効果的な共存技術と言える。しかし、本方式を利用する場合には既存BSのリプレイスあるいは改版を伴う上、既存システムでは運用できないという互換性の上で大きな問題を抱えている。

富士通独自のシステム共存方式

富士通研究所ではシステム共存が困難であることによるサービスギャップを埋めるため、既存仕様を変更せず実現可能な独自のシステム共存方式を開発した。

富士通独自のシステム共存方式は、図-3に示すよ

うに標準エンハンス化による対策と同様にTDM制御により電波干渉を防ぐものである。ただし、独自方式では、エンハンス標準のようなBS/MS間のTDM制御フレーム情報の交換を必要とせず、システム共存端末 (MS) のみの動作でTDM制御を行う。モバイルWiMAXは帯域制御をすべてBSが行うため、TDM制御にはBS/MS間の協調が必要であり、エンハンス標準ではTDM制御フレーム情報の交換で実現する。一方、独自方式ではMSへの再送要求を意図的にBSに行わせることで複数の送受信機会を設ける。間欠的に送受信を行い、それ以外の時間を他システムに開放することでTDM制御を行う。これにより、既存仕様である再送制御をそのまま用いてシステム共存を実現する。

フレーム#1ではMSは既にBS/MS間で帯域予約をしているWiMAXのUL送信を自立的に停止し、無干渉期間であるこのフレームを用いBluetoothが通信する。停止したULデータはBSでは通常の伝搬路におけるロスフレームとして扱われる。

フレーム#2ではMSよりBluetoothへ送信停止の制御が行われ、この無干渉期間にMSは、フレーム#1でロスしたWiMAXのULデータ再送要求をBS

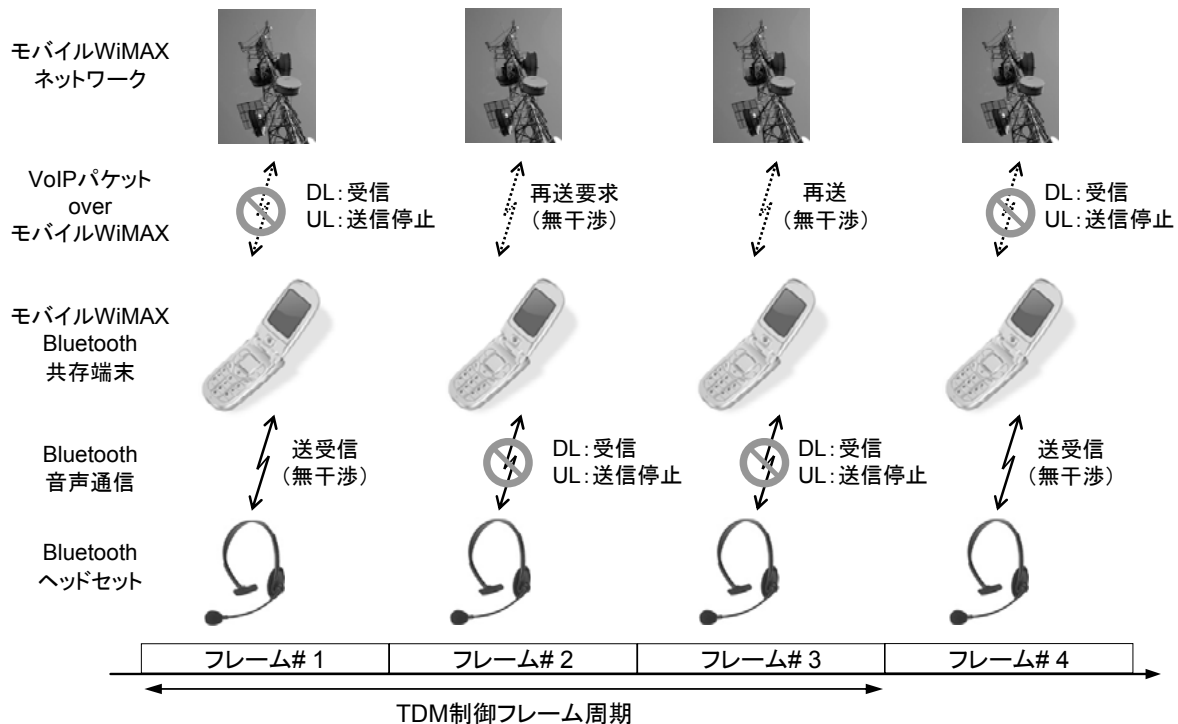


図-3 富士通独自のシステム共存方式
Fig.3 Fujitsu's proprietary coexistence method.

表-2 シミュレーションパラメータ

項目	条件
ユーザ数	150ユーザ/セクタ
チャンネル	PB3
TDM制御 フレーム周期	VoIP : 5フレーム ビデオストリーミング : 4フレーム
WiMAX UL送信 停止期間	1フレーム
配置数	1回
HARQ合成	UL送信停止期間を除き実行
シンボル構成	PUSC
DL/UL	32/15
セル/セクタ数	7セル/3セクタ
リユースファクタ	1
Ack遅延	1
ARQチャンネル数	∞
最大再送回数	無制限
トラフィック モデル	VoIP : VoIP (AMRコーデック) ビデオストリーミング : フルバッファ
アンテナ構成	SISO
シミュレーション 期間	1500フレーム
LLS条件	Channel : PB3 アンテナ構成 : SISO Real Channel Estimation 瞬時SNR基準

より受信する。必要に応じてフレーム#1のDLデータ再送要求も送信する。

フレーム#3でも引き続きBluetoothの送信を停止し無干渉期間を設け、再送要求に応じたWiMAXのUL送信、DL受信を行う。フレーム#1から#3までがTDM制御フレーム周期であり、以降TDM制御を繰り返す。TDM制御フレーム周期はBluetoothに求められる伝送速度に応じて決定する。

以上のように再送制御の仕組みを用いて、MS主導のTDM制御が実現可能となる。

WiMAXシステムへのインパクト

富士通独自のシステム共存方式では、標準エンハンス化とは異なりBSとの調停をせずMSが自立的にUL送信を停止しTDM制御を行う。このため、BSにはシステム共存端末であることが認識（通知）されず、送信しないUL帯域予約が発生する。実際にMSでは送信動作が停止しているため、システムスループットの観点からは無駄な帯域が確保されるというデメリットを有している。そこで、アプリケーションをVoIP（遅延）とビデオストリーミング

表-3 SLS/LLSシミュレーション結果

アプリケーション	インパクトのあるユーザ率
VoIP (最大許容遅延50 ms)	最大10%
ビデオストリーミング (所要伝送レート384 kbps)	最大25%

(伝送レート)と想定し、システムインパクトを評価した。本性能評価には、WiMAXフォーラムの性能評価でも用いられた無線リンクレベルシミュレータ(LLS: Link Level Simulator)およびIEEE 802.16j標準化作業で用いられたシステムレベルシミュレータ(SLS: System Level Simulator)を用いた(いずれも自社開発品)。

シミュレーション条件を表-2に示す。ユーザ数は1セクタあたりのスループットが最大になる150(ユーザ/セクタ)とした。トラフィックモデルとしてVoIPは12.2 kbps AMR、ビデオストリーミングはフルバッファを用いた。

シミュレーション結果を表-3に示す。VoIPでは、全ユーザの90%に対し仕様の最大許容遅延50 ms以内を満足することが確認された。また、ビデオストリーミングでは、全ユーザの75%に対し所要伝送レート384 kbpsを提供可能であることが確認された。

上記より、システム容量の75%以上のトラフィック負荷が発生した場合に影響が出ることが明らかとなった。

オペレータの設計する平均トラフィック負荷は100%ではないこと、モバイルWiMAXサービス導入時にはその普及率などから低負荷トラフィックが想定されることなどから、提案方式はほとんどシステムインパクトなくシステム共存を実現可能にする優れた方式であると考えられる。

む す び

近接周波数帯で運用されるWiFi/Bluetooth/WiMAXを同一筐体内もしくは近距離で同時動作させる場合、電波妨害によるシステム間干渉が発生し、サービス上無視できないインパクトをユーザに与える。

その対策として次期標準化改定時にシステム調停型のTDM制御が提案されているが、標準化作業の遅延や非互換性などから普及にはまだ多くの時間を

有することが想定されている。富士通研究所では、そのサービスギャップを埋める有効手段として、MSのみの動作でTDM制御を行う独自のシステム共存技術を確立し、モバイルWiMAXシステムへ適用した。

独自方式は、既存仕様に一切の変更を加えず互換性を維持しながらシステム共存を実現可能とする反面、システムスループットへのインパクトが懸念される。

ビデオストリーミングなどの高速リアルタイムアプリケーションではシステム容量の75%以下のトラフィック負荷であれば、全くインパクトを与えないことをシミュレーションにより定量的に明らかにした。今後は更に、実機を用いたフィールドでのスループット評価などの有効性検証を進める。

参考文献

- (1) IEEE Standard 802.16-2004, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16 : Air Interface for Fixed Wireless Access Systems.
- (2) IEEE Standard 802.16e-2005, Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16 : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems - Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands.
- (3) P802.16Rev2/D9 January 2009 (Revision of IEEE Std 802.16-2004 and consolidates material from IEEE Std 802.16e-2005, IEEE Std 802.16-2004/Cor1-2005, IEEE Std 802.16f-2005 and IEEE Std 802.16g-2007).