

WiMAXマルチキャストシステムの開発

Development of WiMAX Multicast System

佐藤 克彦 勝又 貞行 長谷川 晃
Katsuhiko Sato Sadayuki Katsumata Akira Hasegawa
寺山 和博 吉田 憲史
Kazuhiro Terayama Norifumi Yoshida

要 旨

当社は、基地局装置をはじめ、加入者管理システムや基地局管理システム、および端末装置など地域WiMAX事業者向けに総合的なソリューションを提供している。本レポートでは、当社が提供するWiMAXソリューションにおいて同報型データ配信を可能とするマルチキャスト機能を開発したことを報告する。マルチキャスト機能は、地域WiMAXの10MHzの無線帯域を有効に活用し、事業者にとっては、放送型サービスを融合させた先進的アプリケーションを展開できるようになる。

Abstract

JRC has been providing the total WiMAX solutions comprising the base station, subscriber management system, base station management system and mobile station for the regional mobile WiMAX operators. This report introduces the multicast features newly added to the current systems, enabling simultaneous content distribution service. The multicast function will make effective use of radio bandwidth of regional WiMAX and allow the operators to deploy more advanced application such as local broadcast service.

1. まえがき

2007年12月に総務省より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なされた。国際標準規格であるWiMAXは、高速モバイルインターネットアクセス技術として発展し、地域WiMAXにおいては、地域が主体となって、地域の特性やニーズに応じた独自の通信サービスを提供してきた。今後、地域公共サービスの向上やデジタル・ディバイドの解消、防災等への適用にも大いに期待される。

当社は、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基地局装置をはじめ、Connectivity Service Network (CSN) の全機能を統合した加入者管理システムや基地局管理システム、および屋外端末装置など地域WiMAX事業者向けにコンパクトかつトータルなソリューションを提供している。本レポートでは、当社が提供するWiMAXシステムにおいて、新たに開発したマルチキャスト機能について紹介する。マルチキャスト機能は、地域WiMAXの10MHzの無線帯域を有効に活用することが可能となる。また、放送型サービスを融合させた先進的アプリケーションを地域コミュニティへ展開することができる。当社は、基地局装置だけでなく、マルチキャスト管理サーバや端末装置まで全てをカバーすることによって、容易にマルチキャストサービスを実現することが可能な、エンド・ツー・エンドの総合的なソリューションを提供する。

2. マルチキャストとは

マルチキャスト技術は、同一データを複数の相手を指定して、同時に配信する技術である。図1に、一般的な通信イメージを示す。マルチキャストは、片方向の通信であり、マルチキャストグループメンバーと呼ばれる特定複数の受信者に対して、データに単一の宛先アドレス（マルチキャストグループアドレスと呼ぶ）を付与して配信する。ネットワーク内の中継装置（ルータやスイッチ、基地局等）は、データを配送するためのツリー状の配信経路を構築し、送信元で送り出したデータは、各中継装置で必要に応じてコピーされて各受信者まで到達する。各受信者に対して個別にデータを送信するユニキャストとは異なり、マルチキャストは、データ伝送のための帯域資源が削減されるため、ネットワークやサーバにかかる負荷を大幅に軽減することができる。

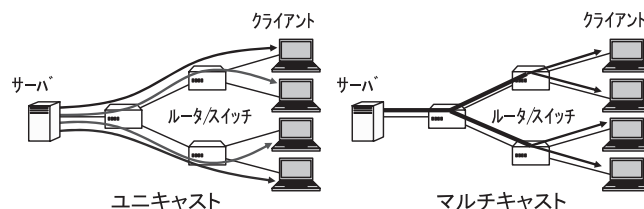


図1 ユニキャストとマルチキャスト

Fig.1 Unicast and Multicast

3. マルチキャストシステム構成

WiMAXにおけるマルチキャストサービスはMCBCSと呼ばれ、WiMAX Forumによってシステムアーキテクチャと構成装置間のプロトコルが規格化されている。MCBCSを実現するために、マルチキャストサービスや加入者に対する認証・認可の管理を行うMCBCSサーバ機能をCSNに置き、WiMAXレイヤにおけるマルチキャストコネクションやIPレイヤにおけるマルチキャスト配信経路を制御する機能をASNに置く。

以下に、WiMAXシステムを構成する各装置と、マルチキャストを実現するための機能を説明する(図2参照)。本レポートで紹介するWiMAXシステムのアーキテクチャはProfile Bと呼ばれる構成であり、基地局は全てのASN機能要素を実装し、基地局機能とASN-GW機能の両方を実行する(1,2,7)。

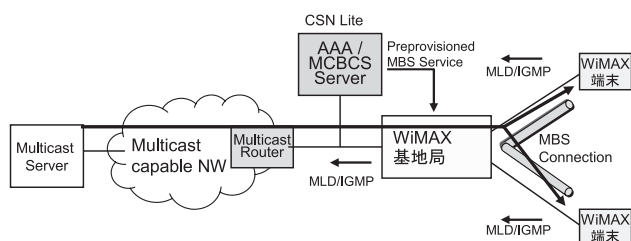


図2 MCBCSシステム構成
Fig.2 MCBCS System Architecture

(1) WiMAX加入者管理システム (CSN Lite)

CSN Liteは、WiMAXシステムのCSNに必要とされるDHCPサーバ、AAAサーバ、およびPolicy Function (PF)サーバの機能を提供し、かつMCBCSサーバ機能も提供する。CSN Liteは、各サーバ機能を単一ハードウェア上に統合化した独自システム⁽⁸⁾であり、規格上はこれに限定されるものではない。追加実装されたMCBCSサーバ機能は、WiMAX端末に対するマルチキャストサービスの認証・認可制御とマルチキャスト (MBS) コネクションのプロファイル (識別情報やQoS情報) の管理を行う。

(2) WiMAX基地局装置 (BS)

BSは、無線処理部、ベースバンド処理部とネットワークインタフェース処理部から構成され、IEEE802.16e準拠のOFDMA変復調 (PHY) とMAC制御、上位有線網間のIPパケットルーティング機能とWiMAX Forumで規定されるASN機能を有する。マルチキャスト機能としてMBSデータパス機能、MBSプロキシ機能およびMBSエージェント機能^(4,5,6)を追加し、MCBCSサーバからMBSコネクション情報の取得、および上位マルチキャストルータとのマルチキャスト配送ツリーの構築制御、MSとのMBSコネクションの確立・解放制御、およびマルチキャストデータの転送制御を行う。5章で紹介する信頼性マルチキャスト機能を実行する場合は、上位有線網から受信するIPマルチキャストパケットをMBSコネクションではなく、ユニキャストコネクション上に転

送する。

(3) WiMAX端末 (MS)

MSは、IEEE802.16e準拠のOFDMA変復調とMAC制御、標準的なIPパケットルーティング機能と、CSN上のAAAサーバと通信することによるユーザ認証機能を有する⁽¹⁰⁾。BSとのMBSコネクションの確立・解放を制御し、マルチキャストデータの転送制御を行う。5章で紹介する信頼性マルチキャスト機能を実行する場合は、ユニキャストコネクション上で受信されたマルチキャストパケットを抽出して、上位レイヤであるIPマルチキャスト処理部に転送する。

(4) WiMAX基地局管理システム (EMS)

EMSは、BSの開設や試験に必要な操作のためのGUI自動表示、複雑で高度な無線コンフィグレーションパラメータの一括管理、MSの無線状態と移動状況を含む接続トポロジの表示、広域に配置されている複数のBSのファームウェア・ソフトウェア更新機能等、WiMAXシステムの管理を容易にするための統合管理システムである⁽⁹⁾。運用されているマルチキャストグループの情報をBSから取得し、マルチキャストグループ単位のBSとMS情報をオペレータに提供する。

4. マルチキャスト動作シーケンス

WiMAX MCBCSでは、端末主導と網主導の2通りのマルチキャスト接続手順が規定されている^(4,5,6)。端末主導手順ではMSがレイヤ3マルチキャストグループ管理プロトコル (MLD⁽¹⁴⁾、IGMP⁽¹⁵⁾) によるマルチキャスト参加要求を送信し、それをBSが受信してマルチキャスト (MBS) コネクションを確立する。網主導手順では、MSがBSにネットワークエントリ (接続) が完了した時点で、もしくはCSNからの要求次第で、網側からMBSコネクションが確立される。

以下に、端末主導におけるMBSコネクションが確立するまでの一連のシーケンスを示す (図3参照)。

- ① 事前にマルチキャストサービスを提供する事業者のオペレータは、AAAサーバに加入者認証情報とMCBCSサーバアドレスを登録する。更にそのMCBCSサーバには、認可するMCBCSサービス情報と受信加入者情報 (サービスフロー識別子、IPマルチキャストグループアドレス、サービスクラス、帯域等) を登録する。
- ② MSがネットワークエントリ (NE) を実行すると、その過程でAAAサーバとMSとの間で拡張認証プロトコル (EAP) が実行され、AAAサーバからBSに、MCBCSサーバアドレスが渡される。Host端末がマルチキャスト受信要求をすると、MLD (ないしはIGMP) Reportメッセージが送信される。そのメッセージをMSを通じてBSが受信すると、BSは当該MSの加入者IDをMCBCSサーバに通知する。MCBCSサーバは、当該MSがMCBCSサービスを受ける権利があることを判定し、サービスを受けることができる場合は、MCBCSサービスに関する情報 (サービスフロー識別子、IPマルチキャストグループアドレス、サービスクラス、帯域等) をBSに送信

する。これを受信したBSは、BS-MS間のMBSコネクションを確立する。このMBSコネクションは同一のマルチキャストグループである複数のMSで共有され、当該コネクション上で転送されるマルチキャストデータは複数のMSで同時に受信されるようになる。

- ③ BSはMCBCSサーバより受信したIPマルチキャストアドレス（上流のマルチキャスト対応ルータ（MR））に対して、MLD（ないしはIGMP）Reportメッセージを送信する。以上によりエンドノード間のマルチキャスト経路が確立しMSはマルチキャストデータの受信を行うことがされるようになる。

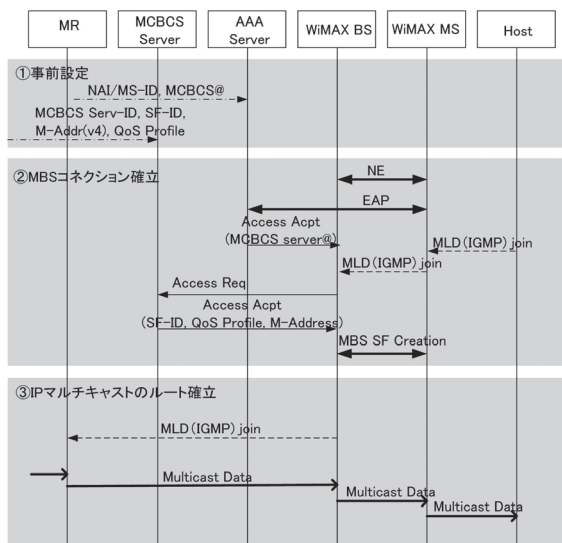


図3 MCBSC制御シーケンス
Fig.3 MCBSC Control Sequence

5. 信頼性マルチキャスト

無線通信システムにおいて、同一データを特定多数端末に配信するマルチキャスト技術は、周波数利用効率の点で有効な手段である。しかしながら、無線通信では、電波状況の変化などにより伝送中のパケット欠損の影響を受けやすいため、マルチキャストでは、複数の端末が公平かつ安定して受信できるように、最も安定した低いレベルの変調符号化方式を用いてデータ転送を行うことが望ましい。加えて、各端末個別にデータ送信するユニキャストとは異なり、同一データを複数端末に同時送信するマルチキャストは、パケット欠損時のパケット再送制御を行うことが容易ではない。

マルチキャスト配信における信頼性を向上する技術として、トランスポートレイヤで送達確認をするリライアブルマルチキャスト、データに冗長情報を付与して受信者側で誤り訂正を行うIP-FEC、データ送信元がデータ損失に関わらず、データを一定周期ごとに再送信するカルセル連送技術が提案されている。いずれもエンドノード間の制御によって実現されるが、エンドノード間での冗長トラフィックの発生や、一般の加入者端末装置に標準的に実装されていないという課題がある。

当社は、各受信端末個別に変調符号化方式や再送制御を実行することが可能なユニキャストによる配信を無線区間だけに用いて、再送制御によるマルチキャスト配信の信頼性を向上し、かつ高い変調符号化方式を動的に実行することにより、ユニキャストによるトラフィックの増大を抑制する方式を開発した。本方式（Reliable MBSと呼ぶ）は実システム上に実装され、フィールド試験とともにシミュレーションによる分析も行い、その有効性を明らかにしている⁽¹¹⁾。Reliable MBSのシステム構成を図4に示す。

Reliable MBSは、パケット損失の多い無線区間だけ、ユニキャストでデータを転送し、受信端末個別にARQを実行し、MACレイヤにおいてデータ欠損に対する再送制御を実現する。ユニキャストによる送信は、マルチキャスト受信端末数に比例したトラフィックの増大を招くが、受信端末個別に適応変調符号化制御が実行できるようになるため、受信電波環境が良好な受信端末に対しては高いレベルの変調符号化方式を用いて高効率なデータ転送を実現する。

無線基地局は、上流のマルチキャストルータから受信するIPマルチキャストパケットをレイヤ2におけるユニキャストコネクション上で送信する。Reliable MBSによれば、マルチキャスト送信元と受信側の装置に高位レイヤのリライアブルマルチキャスト機能を実装することを要求しない。局所化した無線区間において、低位レイヤの制御によってデータ欠損を極小化し、周波数利用効率の高い転送を実現することができる。

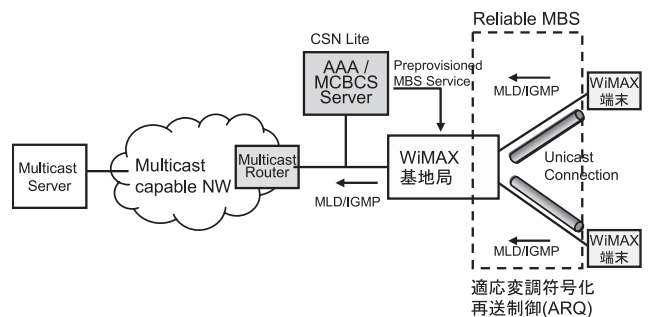


図4 Reliable MBSシステム構成
Fig.4 Reliable MBS System

6. マルチキャスト転送性能

通常のマルチキャスト（以降Normal MBSと呼ぶ）とReliable MBSの転送性能の特性について実測結果に基づき紹介する。Reliable MBSは、マルチキャストデータを複数のユニキャストコネクション上で送信するため、受信端末の増加に伴い無線区間のトラフィックが増大していくが、受信端末個別に適応的に変調符号化方式の切替を行うため、効率的なデータ伝送が期待できる。Normal MBSは、単一のマルチキャストコネクションで転送するため、受信端末が増加しても無線区間のトラフィックは一定である。全ての受信端末が安定した受信を行うために最低レベルの変調符号化方式を用いてデータ転送を行う。本章では実際のフィールドにおいて実装したReliable MBSとNormal MBSの転

送性能を測定、比較し、それぞれの適用範囲を示す。

基地局装置 (BS) 1台に対してWiMAX端末 (MS) 4台を実無線環境で接続し、BSの設定を変更することによりReliable MBSとNormal MBSを切替えて行う。端末全数を基地局から400m離れた位置に配置する遠方配置と、全数を基地局から100m以内に配置する近傍配置の2パターンを実施する。端末の遠方接続時は、無線区間の伝送品質を保つためにユニキャストデータ送信において変調符号化方式が相対的に低いレベルに設定されるようになる。一方、近傍接続時は無線状態が安定するため、ユニキャストデータ送信において変調符号化方式がより高いレベルに設定されるようになる。Reliable MBSでは、近傍接続のとき、より効率的なデータ送信ができると期待される。

マルチキャストデータ配信サーバより、マルチキャストパケットを0.5Mbps、1Mbps、2Mbps、3Mbps、4Mbpsそれぞれのレートで送信する。各端末に接続したマルチキャスト受信クライアントでは、受信したマルチキャストパケットのデータレートを測定する。図5においては、Reliable MBSおよびNormal MBSの遠方接続と近傍接続に対し、計測された受信データレートを示す (横軸はサーバからの送信データレート、縦軸はクライアントで受信したデータレートである)。

Reliable MBSにおける遠方接続では、変調符号化方式がQPSK1/2、QPSK3/4となり、総スループットの上限が、理論上5.47Mbpsとなるため、サーバからの送信データレートが2Mbps (すなわち端末4台で8Mbps) 以上になるとパケットの損失が発生し、各クライアントで受信できるデータレートは1Mbpsに抑えられることを示している。一方、Reliable MBSにおける近傍接続では、変調符号化方式が64QAM3/4 (スループット理論値16.4Mbps)、もしくは16QAM3/4 MIMO-B (スループット理論値21.86Mbps) となるため、サーバからの送信データレートが4Mbps (すなわち端末4台で16Mbps) になってもパケット損失はなく、クライアントで受信できたデータレートが4Mbps近くまで達していることを示している。

Normal MBSでは、変調符号化方式がQPSK1/2と固定となっており、サーバからの送信データレートに対する各クライアントで受信できるデータレートは、遠方接続、近傍接続とで差異はない。スループットの上限が理論上3.64Mbpsであることからサーバからの送信データレートが4Mbps (すなわち端末4台で4Mbps) になると、パケット損失が発生し、各クライアントで受信できるデータレートは3.5Mbps程度であることを示している。

このように端末が近傍で接続されたときは、Reliable MBSの方が高いスループットとなり、遠方で接続されたときは、Normal MBSの方が高いスループットとなっており、端末の接続位置、すなわち受信電波状況によって、Reliable MBSとNormal MBSで転送効率、つまり、周波数利用効率が変化することを表している。

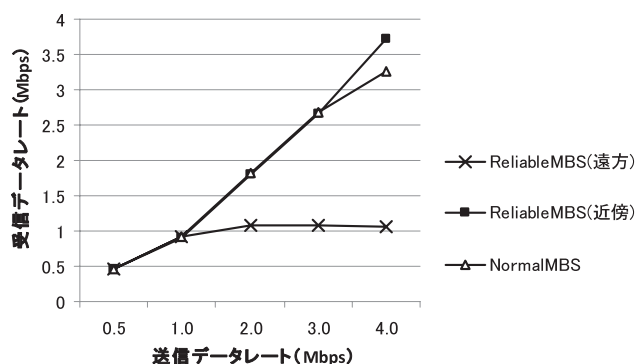


図5 転送性能特性

Fig.5 Characteristic of Forwarding Performance

5. まとめ

当社が提供するWiMAXソリューションにおいて同報型通信サービスを可能とするマルチキャスト機能を開発した。WiMAX低位レイヤからIP高位レイヤまでの連携技術を確認し、エンド・ツー・エンドのマルチキャスト配信システムを実現した。また、マルチキャストデータをユニキャストコネクション上で転送する信頼性マルチキャストを考案し、受信端末の状況に応じて、さらに高効率な配信を実現する技術を紹介した。WiMAXマルチキャスト技術は、デジタルサイネージ、防災分野における映像配信の用途として、周波数を有効に活用することが可能な必須の機能であり、地域WiMAXにおいて、より高度なサービスを展開できるようになると期待する。

本開発は、総務省 平成21年度第2次補正予算「ネットワーク統合制御システム標準化等推進事業」(環境負荷低減を実現するためのワイヤレスシステムに関する要件) のうち「WiMAXを利用したデータ収集システム」に関する開発・実証実験の一環で慶応義塾大学と共同で実施された。

参考文献

- (1) WiMAX Forum: Network Architecture Stage 2 Release 1, Version 1.3.0
- (2) WiMAX Forum: Network Architecture Stage 3 Release 1, Version 1.3.0
- (3) IEEE Std 802.16 Rev2/D9a, March, 2009
- (4) WiMAX Forum: MCBCS Subteams Common Sections, WMF-T33-111-R015v01, Nov. 2009
- (5) WiMAX Forum: Dynamic Service Flow Based (MCBCS-DSx), WMF-T33-112-R015v01, Nov. 2009
- (6) WiMAX Forum: MCBCS Application Layer Approach, WMF-T33-113-R015v01, Nov. 2009
- (7) 田子晃, 小林清仁, 佐藤克彦: モバイルWiMAX基地局装置の開発, 日本無線技報 No.57, 2010
- (8) 佐藤克彦, 柳下孝一: モバイルWiMAX加入者管理システムの開発, 日本無線技報 No.57, 2010
- (9) 佐藤克彦, 洞井裕介: モバイルWiMAX基地局管理システ

ムの開発, 日本無線技報 No.57, 2010

- (10) 宮崎伸介, 長谷川晃: モバイルWiMAX屋外設置型端末装置, 日本無線技報 No.57, 2010
- (11) 吉田憲史, 洞井裕介, 吉田成志, 佐藤克彦, 青木伸行, 松本伸史, 三次仁: WiMAXにおける信頼性マルチキャスト手法の提案, 信学技報RCS2011-27, 2011.
- (12) 青木伸行, 松本伸史, 寺山和博, 鈴木康史, 長谷川 晃, 佐藤克彦, 三次仁: WiMAX MCBCSを利用したIPマルチキャスト, 信学技報RCS2011-28, 2011).
- (13) 松本伸史, 青木伸行, 柳下孝一, 木村建夫, 佐藤克彦, 三次仁, " WiMAXにおけるIPv6 over IPv4の評価", 信学技報RCS2011-29, 2011
- (14) RFC3810: Multicast Listener Discovery Protocol Version 2 (MLDv2) for IPv6 , 2004
- (15) RFC3376: Internet Group Management Protocol,Version 3

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
CSN : Connectivity Service Network
DHCP : Dynamic Host Configuration Protocol
EAP : Extensible Authentication Protocol
EMS : Element Management System
FEC : Forward Error Correction
GUI : Graphical User Interface
IGMP : Internet Group Management Protocol
MAC : Medium Access Control
MBS : Multicast Broadcast Service
MCBCS : Multicast Broadcast Service
MS : Mobile Station
MLD : Multicast Listener Discovery Protocol
OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PF : Policy Function
PHY : Physical Layer
QoS : Quality of Service
WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access