

3-1-2 38GHz 帯の 156Mbps 超高速無線 LAN 試作システム

3-1-2 156 Mbps Ultrahigh-Speed Wireless LAN Prototype in the 38GHz Band

鄔 剛 井上真杉 村上 誉 長谷良裕

Gang Wu, Masugi INOUE, Homare MURAKAMI, and Yoshihiro HASE

要旨

本稿では、38GHz のミリ波帯を用いた 156Mbps 超高速無線 LAN システムについて取り上げる。このシステムは、通信総合研究所が 1998 年より開発を進めてきた 3 代目の試作システムである。それまでの試作システムに比べて高速 (156Mbps) かつ小型 (送受信機の体積が 1000cc 未満) である上、運用範囲が広く (オーバーラップする二つの基本運用単位)、伝送距離が長い (プロトコルは 200m を超える距離をサポート)。改善されたのは主に物理層とデータリンク制御層であり、今回中心となった開発部分は、GMSK を用いるミリ波送受信機及びエンハンスド RS-ISMA プロトコルである。本稿では新たな試作システムの設計、構成及び実現方法について紹介する。

This paper describes a 156 Mbps ultrahigh-speed wireless LAN operating in the 38 GHz millimeter (mm)-wave band. The system is a third prototype developed at the Communications Research Laboratory since 1998. Compared with the previous prototypes, the system is faster (156 Mbps) and smaller (volume of radio transceiver < 1000 cc), it has a larger service area (two overlapping basic service sets), and a longer transmission distance (the protocol can support a distance of more than two hundred meters). The development focuses on the physical layer and the data link control layer, and thus a GMSK-based mm-wave transceiver and an enhanced RS-ISMA (reservation-based slotted idle signal multiple access) protocol are key development components. This paper describes the prototype system's design, configuration, and implementation.

1 はじめに

ミリ波帯 (30 ~ 300GHz) は高速・大容量のデータ通信が可能であることから、学术界及び産業界の注目を集めている。屋内を対象とした超高速無線 LAN、無線ホームリンク (家庭内無線リンク)、多重テレビ放送のほか、屋外を対象とした FWA (fixed wireless access)、ブロードバンド・モバイル・アクセス、高度道路交通システム (ITS) による車両間通信といった新たなサービスが、ミリ波通信を使用することによって実現可能となる。我が国では、既に FWA において 38GHz 帯が使用可能となっている。また、10GHz 以上の帯域を持つ 60GHz 帯が、免許制・無免許

制の両方について利用可能となっている [1]。

通信総合研究所では、ミリ波帯を通信に応用するための開発を 1990 年代初めに開始した [2]。ミリ波の伝播特性に関する初期の研究及びミリ波帯用通信機器の開発により、屋内向け超高速無線 LAN の試作システムが製作された [2] ~ [7]。1998 年には、マルチメディア伝送をサポートする ATM ベースの無線 LAN 試作システムが完成した [4] [5] [6]。これはバックボーンにつながる一つのアクセスポイント (AP) と、マルチメディア端末につながる 6 台の装置 (STA) とで構成される中央集中形システムである。このシステムは 60GHz 帯で動作し、各チャネルで高速伝送 (51.84Mbps) を実現する FDD (周波数分割二重化)

のチャンネル構成を備えている。また、統合的なマルチメディア伝送をサポートするために、RS-ISMA (Reservation-based Slotted Idle Signal Multiple Access) と呼ばれる新しいMAC (媒体アクセス制御) プロトコルが提唱・開発された[4][8]。

1999年に開発された2代目の試作システムも、60GHz帯で動作した。これは一つのAPと3台のSTAを備えたIPベースの無線LANシステムである[7][9]。各チャンネルの無線伝送速度が初代システムと比べて高速(64Mbps)になっているほか、MACプロトコルとして改善したRS-ISMAが使用された。またTCP(UDP)/IPを利用するアプリケーションやマルチキャスト・サービスが使用できる。

2.4GHz無線LAN向け製品の伝送速度は、IEEE 802.11bの仕様によると最大11Mbpsである[10]。一方、5GHz帯ではIEEE 802.11aに準拠したチップセットが既に製造されており、2001年末には更に多くの製品が出回っていると考えられる。我が国の電波産業会(ARIB)は本稿で紹介するシステムをもとに、60GHz帯で動作する超高速無線LANに関する標準(STD-T74)を策定した[11]。

本稿では最近新たに開発された、38GHz帯で動作する156Mbps無線LANの試作システムを紹介する。このシステムは、これまでのシステムに比べてデータレート的高速化(156Mbps)、機器サイズの小型化(送受信機の体積が1000cc未満)及び運用範囲の広域化(マルチセル構成)を実現している。このあとの構成は次のとおりである。**2**では、これまでの試作システムで実現した技術を用いて開発された156Mbpsシステムのシステム設計について述べる。システムの具体的な説明を**3**で行い、最後に**4**において実験結果を紹介する。

2 システム設計

2.1 システム構成

一つの基本運用単位(BSS)をカバーする無線LANは、一つのAPと数台のSTAで構成されている。2.4GHz帯及び5GHz帯の無線LANが分散形システムとして設計されるのに対し、ミリ波帯の無線LANは中央集中形のシステム構成をと

る必要がある。その一番の理由は、ミリ波通信では高い利得を得るとともにマルチパスの影響を低減するために円偏波を持つ指向性アンテナが必要とされ、通信機器間を中継器なしで通信するのに必要なキャリア検知などの機能が利用できないことによる。もう一つの理由は、マルチメディア伝送では一般に中央制御が好ましいということである。このようなシステムでは、BSSとの間で送受信されるトラフィックはすべてAPを経由するため、バックボーンに接続されるAPがミリ波チャンネルの伝送を制御することになる。

ミリ波無線LANにおけるBSSの半径は10m程度であるため、より広域(ESS:広域運用単位)で運用するには一つの無線LANに対して複数のBSSが必要となる。ESSの場合、STAにおいて指向性アンテナが使用されることから、全BSSにおいて同一の周波数帯を使用することができる。ユーザのSTAが二つのBSS間を移動する際にシームレスな伝送を行おうとすれば、APは隣接BSS間でのハンドオフ(ハンドオーバー)をサポートしなければならない。

2.2 送受信機

物理層の基本的な目的は、高速・高品質の伝送を実現することにある。通信にミリ波帯を使用するという考えは極めて新しいため、機器類はまだ開発途上であり、非常に高価である。小型化とコスト低減も重要である。その点、38GHz帯の機器は、60GHz帯の機器ほど高価ではない。レーダを使った車両衝突防止システムのために76GHz帯が既に開発されており、76GHz用の装置は倍の周波数に対応した38GHzの装置をもとに製造されるからである。

私たちがターゲットとする伝送速度は156Mbpsである。MPEG 2の動画転送を扱うには、ビット誤り率(BER)を 10^{-7} 未満に抑えることが必要になる。FDDを使用することと、アップリンクのチャンネルを複数のユーザで共有することから、アップリンク・チャンネルでのバースト伝送に対応できなくてはならない。極めて短時間の送受信切替遅延が必要である。初代及び2代目の試作システムがASK(振幅変調方式)とFSK(周波数変調方式)を使用するのに対し、今

回の試作システムではGMSK(ガウスフィルタ形最小変調方式)を使用することによってパワースペクトルを向上させている。

2.3 エンハンスドRS-ISMA

RS-ISMAは、ミリ波帯の無線LANにおいてマルチメディア伝送をサポートするために開発されたMACプロトコルである。初代及び2代目の試作システムで使用されている。R-ISMA(Reserved ISMA)^[12] 及びS-ISMA(Slotted ISMA)^[13] のMACプロトコルをもとに開発された。機能的にはランダムアクセス・プロトコルとポーリング方式を組み合わせたものである。予約と情報転送という二つのステップからなり、第1段階ではSTAが短いフレームを送出し、ランダムアクセス方式で予約する。第2段階では、QoSの条件に応じてアイソクロナス又は非同期のポーリング方式を用いて情報転送が行われる。

RS-ISMAは、無線ATM上で統合的なマルチメディア伝送をサポートするために初代の試作システムにおいて開発された。2代目の試作システムでは、IPデータグラムを効率よく搬送するよう、そして無線マルチキャスト・サービスが扱えるように改良された。RS-ISMAでは、STA側がAPの送出した制御信号に即座に応答する必要があるため、各スロットにおいて往復分の伝播遅延が発生する。遅延は数メートルで100nsのオーダーにすぎないものの、156Mbpsの伝送速度

では16ビットのデータが紛失することになる。そのためRS-ISMAは超高速伝送に耐え得るように改善されたのである。

第1の改善点は、STAが制御信号を受信してからデータを送出する時間について時間オフセットを導入したことである。図1に、エンハンスドRS-ISMAのタイムチャートを示した。STAは例えばPOLLを受信すると、時間オフセット「 ΔT 」の間待機してからデータフレームを送出する。 ΔT の時間幅は、フレームが次のタイムスロットの開始時にAPに届くよう自動的に調整される。また、 ΔT は、APと個々のSTAとの距離によって異なる。第2の改善点は、非同期ポーリングのポーリング周期をトラフィックの変動に応じて動的に調整できるようにした点である。STAのトラフィック発生速度が下がったことをAPが検出するとポーリング周期が長くなり、逆にトラフィック発生速度が上がると周期が短くなる。第3の改善点は、アップリンク伝送におけるACK(acknowledgement)周期を短くして効率を向上させたことである。ACKフィールドは図1に示すようにタイムスロットの一部とされた。即時ACKが使用されるため、ACKは制御フレームから特別に定義したデータブロックへと簡素化され、データ長はフレームの場合に比べてかなり短くなった。APでは、ACKの有無の判断としてACKフィールドのキャリア検知が使用される。

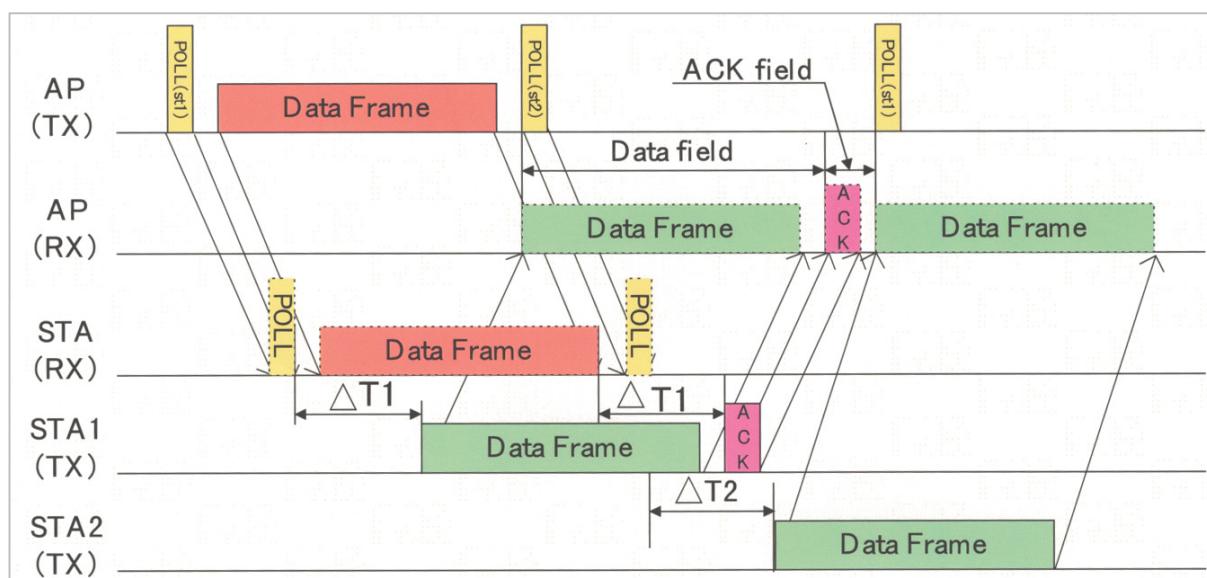


図1 エンハンスドRS-ISMAのタイムチャート

2.4 ハンドオフ制御

初代及び2代目の試作システムでは、BSSを一つ持つ無線LANが製作された。これに対し、ESSに複数のBSSが含まれる場合、STAがあるBSSから別のBSSに移動する際に上位層の接続が切断されないようハンドオフ制御を行う必要がある。移動電話システムでは隣接セルで使用する周波数帯が異なり(周波数繰返し率が1より大きい)、かつハンドオフ検出を基地局における受信電力をもとに行うが、ESSの場合は同一の周波数帯が使用される(周波数繰返し率が1に等しい)。ミリ波帯の無線LANにおけるハンドオフ制御の手順を以下に示す。

第1段階ではハンドオフの有無をチェックする。STAは、登録APのアドレスを受信制御信号内のアドレスと常に比較している。アドレスが不一致であれば、STAは別のBSSに入ったことを意味する。第2の段階では、この新しいBSSに対して登録を行う。そのためにSTAはAPに対して登録要求を送信する。STAの登録要求が新APに認められると、第3段階に進む。STAのアドレスが新APに登録されるとともに、旧APのリストから削除される。

2.5 QoS制御

QoS制御は、マルチメディア伝送をインターネット上で行うために広く研究されている昨今のホットトピックである。インターネットのQoSには一般にIntservとDiffservという二つの基本サービスがある。それぞれ方法は異なるが、基本的な考え方は、いずれもトラフィックを複数のクラスに分類し、実時性が要求されるトラフィック・クラスに対して高いプライオリティ(優先度)を与えるというものである。クラスの定義と分類には幾つかの方法が提案・標準化されてきた。クラスに関する情報を通知するには、IPヘッダに含まれるToS(type of service)フィールドを使用する。IEEE 802.1Qのフレームフォーマットでは3ビットのユーザプライオリティ・フィールドが定義されており、レイヤ3(IP)のQoSをレイヤ2(イーサネット)のQoSに対応付けることができる。RS-ISMAは、アイソクロナス及び非同期のポーリングを使ったマルチメディア伝送をサポートするように策定されているため、レイヤ3のQoSをこれら二つのポーリング方式に対応付けることが必要である。

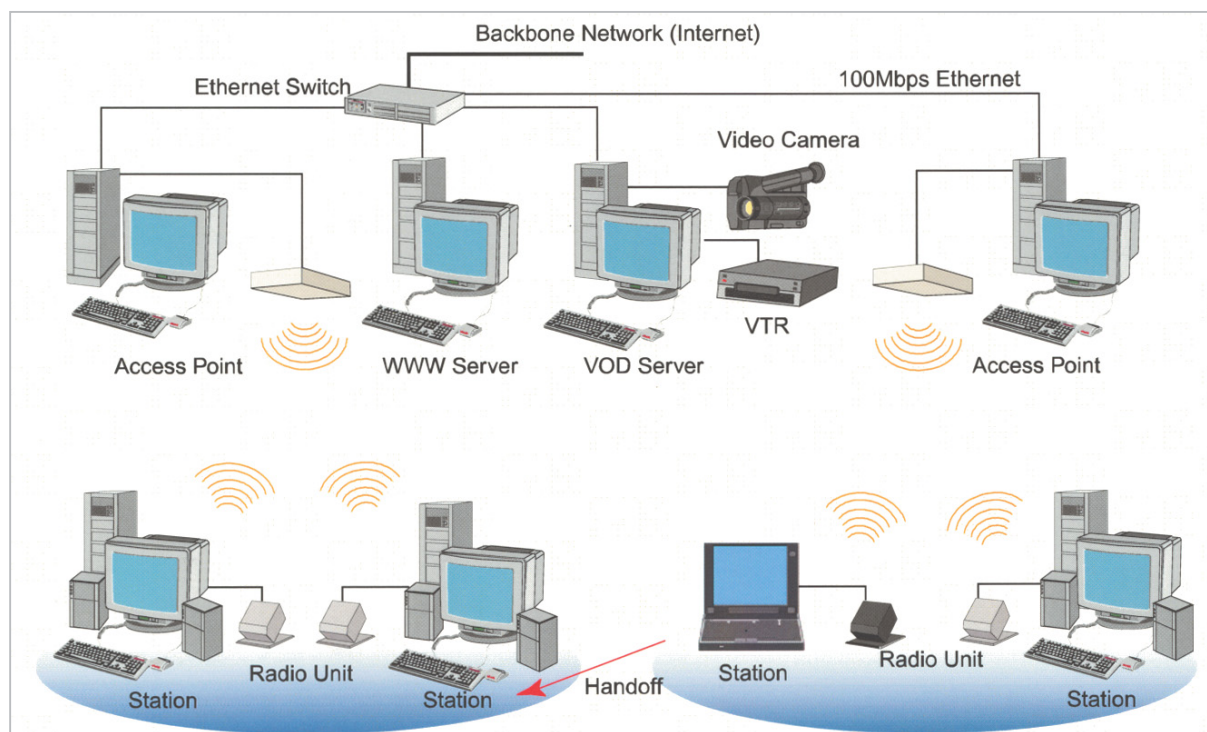


図2 システム構成

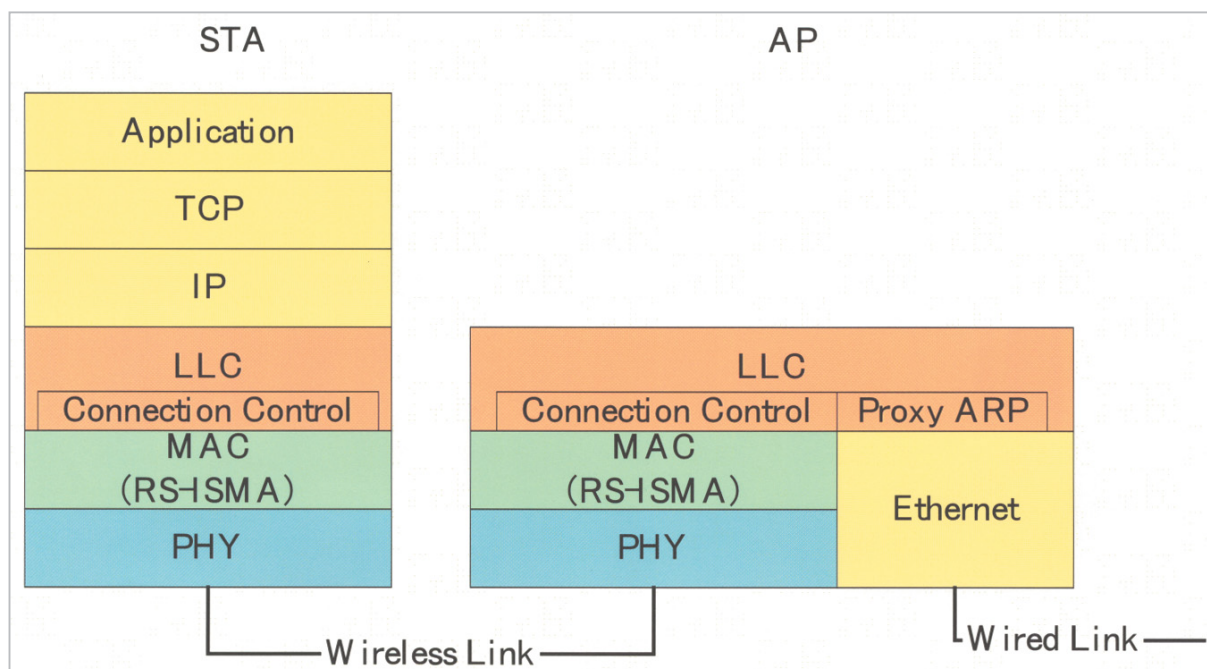


図3 プロトコルスタック

3 実現方法

3.1 システム構成

本試作システムは図2に示すように二つのAP、4台のSTA、2台のメディアサーバ及び1台のイーサネットスイッチで構成される。本システムは、各部署がパーティションで仕切られた机と椅子のある比較的大きなオフィスに設置される。APの送受信機は2.2m高のパーティションの頂部に据え付けられ、もう一方の装置は反対側の1.2m高の机の上に置かれる。APとサーバはツイストペアケーブルでイーサネットスイッチに接続され、イーサネットスイッチは更にバックボーンネットワーク（イントラネット又はインターネット）にリンクされる。二つのAPが形成する各BSSは、一部をオーバーラップさせて連続する一つのESSにすることもできるし、それぞれ別個のBSSに分離することもできる。二つのAPがもし同じサブネットに属していれば、STAは二つのBSSの間を何の変更もなく自由に移動することができる。

システムパラメータの値を表1に示す。アップリンク（STAからAP）とダウンリンク（APからSTA）の伝送（FDD）には38GHz帯の二つの周波数帯が使用される。無線伝送速度は156Mbpsである。アンテナ特性はAPとSTAとで異なる。

APではビーム幅が広く利得が小さいのに対し、STAではビーム幅が小さく利得が大きい。

図3は、無線LAN試作システムにおけるプロトコルスタックである。今回の開発のポイントは、物理層及びDLC（データリンク制御）層の下位2層であった。DLC層は更にMAC及びLLC（論理リンク制御）という二つの副層に分かれる。アクセス制御を行うエンハンスドRS-ISMAプロトコル及びRS-ISMAを基に誤り制御を行う一時停止型のARQ（自動再送要求）方式は、いずれもMAC副層に該当する。LLC副層の主な役割はDLC層とその上位層との間のインタフェースを提供することであり、PDU（プロトコルデータユニット）の分割と組立を行う。LLCはまた、STAからの接続要求を無線LAN側が管理できるよう、特別な接続管理機能を備えている。APではプロキシARP（アドレス解決プロトコル）を使用してハンドオフに付随する問題を回避する。

3.2 送受信機

AP及びSTAの送受信機を図4に示す。体積は1000cc未満である。おのおの送信と受信を行う2枚の平面アンテナ、数個のMMIC（モノリシックマイクロ波IC）及びアンテナと回路をつなぐ導波管から構成される。送受信機は、DLCボードに搭載されるベースバンド信号処理ユニットに対

表 1 システムパラメータ

Tx frequencies	AP: 37.75GHz	STA:38.75GHz
Tx power	AP: 10mW	STA:10mW
Ant. gain	AP: 5dBi	STA:20dBi
Half-power beamwidth	AP $\geq 60^\circ$	STA $\geq 10^\circ$
Modulation	GMSK	
Radio trans. rate	Up: 156Mbps	Down:156Mbps
Volume of transceiver	< 1000cc	
MAC	Enhanced RS-ISMA	
Multiplex	FDD	
System configuration	AP: 2	STA:4
MAC frame	header(4B)+ payload(64 to 256B)+ CRC(2B)	

してLVDS(低電圧差分信号)ケーブルで接続される。DLCボードはパソコンのPCIバス拡張スロットに装着される。

送受信機のブロック図を示したのが図5である。送信機側では信号が直接変調されるので回路は極めてシンプルになる。受信機側では導波管フィルタと単一変換方式を使用することで回路を簡素化している。また、156Mbps伝送をサポートするためにアナログ検出器を使用している。送信機と受信機は異なるアンテナを使用することによって確実に分離される。アップリンク・チャンネルは複数ユーザによる共用であるため、STAの送信機側にON/OFFスイッチを設け、送信機が何も送信しないときの電力漏れを低減している。

3.3 DLCボード

DLCの機能及び物理層のベースバンド信号処理は、パソコンのPCIバス拡張スロットに挿入するハーフサイズのPCIボードで実施される。DLCボードの外観とブロック図を図6と図7にそれぞれ示す。DLC層の機能及びPCIバス制御は、主に大規模な(STAで40万ゲート、APで80万ゲート)FPGA(現場でプログラム可能なゲート列)チップやデュアルポートSRAMで実現される。物理層のベースバンド信号処理には、3万ゲートを備える別のFPGAが使用される。DLCボードにはボードとパソコン本体をとりもつPCIバス・インタフェース及びボードと送受信機をつなぐLVDSインタフェースがある。また、このボードは156Mbpsの伝送処理を行うことができる。

ベースバンド信号処理ユニットが持つ一番の機能は、物理層フレームの組立と再組立である。STAではフレーム組立が次のようにして行われる。ベースバンド信号処理ユニットは、DLC処理ユニットから送られてきた70バイトのMACフレームを受信すると、4bit/5bitのスクランブルコードを用いてこれにスクランブル処理を行う。ついで、作成された700ビットのMACフレームに20ビットのフレーム開始(FS)コードを付加する。場合によりこれをBCH(14, 10)コードでエンコードしたあと、20ビットのプリアンプル(PA)コードを付加する。こうしてできあがったフレームを送受信機へと送り出す。このように、STAから送り出されるMACの物理層フレームには、20ビットのPAフィールド、20ビットのFSフィールド、そして700ビットのMAC PDUフィールドが含まれる。一方、APでは目的に応じて複数種類の物理層フレームが使用される。MACデータ伝送には、20ビットのFSフィールドと700ビットのMAC PDUフィールドからなるフレームが使用される。アップリンク伝送の制御には、20ビットの制御開始(CS)フィールドと20ビットの制御データフィールドからなるフレームが使用される。それ以外のケース、すなわちAPが何も送出しないときはPAストリームが連続的にブロードキャストされる。

DLC処理ユニットには二つの機能がある。一つはエンハンスドRS-ISMAに基づくアクセス制御であり、もう一つはIPデータグラムからMAC PDUへの分割及びMAC PDUからIPデータグラムの組立である。分割処理では、内部PCIバス・インタフェースからIPデータグラムを受信

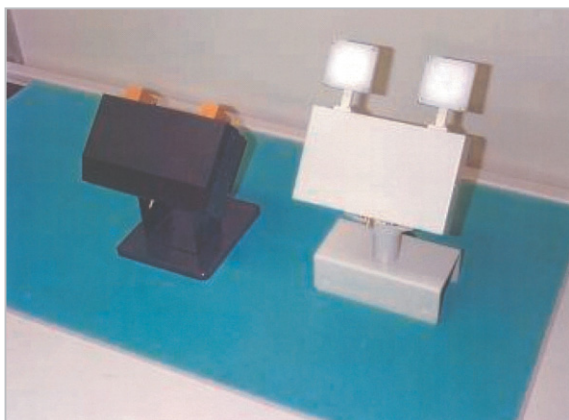


図4 送受信機の外観(左が STA 用、右が AP 用)

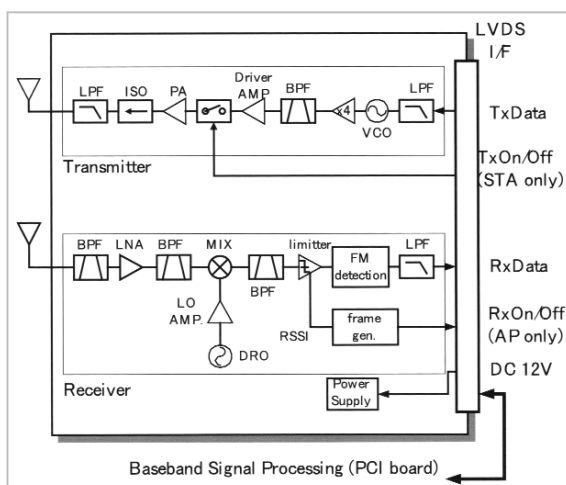


図5 送受信機のブロック図

すると、これにトレーラを付加して LLC PDU を作成する。トレーラには、発信元及び宛先の LLC アドレス、CRC コード、パディングビットが含まれる。次にこの LLC PDU を 64、128、256 バイトのセグメントに分割する。それぞれに 4 バイトのヘッダ(フレーム種別と発信元及び宛先の MAC アドレスを含む)、シーケンス番号及びトレーラとして 2 バイトの CRC コードを付けると、MAC PDU ができあがる。

LLC 副層における接続制御の目的は、アプリケーションの packets 流に対してアイソクロナス又は非同期のポーリングモードを対応付けることにある。接続要求がなされると、IP パケットのヘッダにある TOS フィールドの値に応じて適切なポーリングモードが選択され、ヘッダ情報が接続テーブルに記録される。以後、後続の IP パケット流はそのテーブルに従ってルーティングされる。



図6 DLC ボードの外観

3.4 ハンドオフ制御

今回の試作システムではハンドオフ制御の機能が盛り込まれた。STA が BSS₀ から BSS₁ に移動するときのハンドオフ処理の様子を図 8 に示す。また、そのシーケンスを図 9 にまとめた。STA₀ がある AP (例えば AP₀) に対して登録を行う場合、はじめにダウンリンク・チャンネルの IDLE ブロードキャストに含まれる AP アドレス(図では 01h)をチェックする(ステップ a)。次に STA₀ は AP₀ に対して「登録要求」を送出する(ステップ b)。要求が認められると AP₀ は STA₀ のアドレスをプロキシ ARP のテーブルに登録し、「登録応答」を返送する(ステップ c)。このとき STA₀ は、自分の AP_Reg レジスタに AP₀ のアドレスを書き込む。

ここで STA₀ が BSS₁ に移動すると、IDLE ブロードキャストは AP₁ から受信することになる。STA₀ は IDLE 中の AP アドレスを AP_Reg に記録したアドレスと比較する(ステップ d)。AP アドレスが変わっているので、STA₀ は AP₁ に対して「登録要求」を送出する(ステップ e)。新しい要求中に入っているのは AP₀ のアドレスなので、AP₁ はプロキシ ARP テーブルの更新要求をイーサネット経由で AP₀ に送付する(ステップ f)。AP₀ は自分の ARP テーブルに書かれたアドレスを削除し、AP₁ に応答を返す(ステップ g)。AP₁ は STA₀ のアドレスを自分の ARP のテーブルに登録し、STA₀ に「登録応答」を返送する(ステップ h)。STA₀ が AP_Reg レジスタの中身を 01h から 02h に書き換えるとハンドオフ処理は完了である。ハンドオフ処理はレイヤ 2 で行われるため、

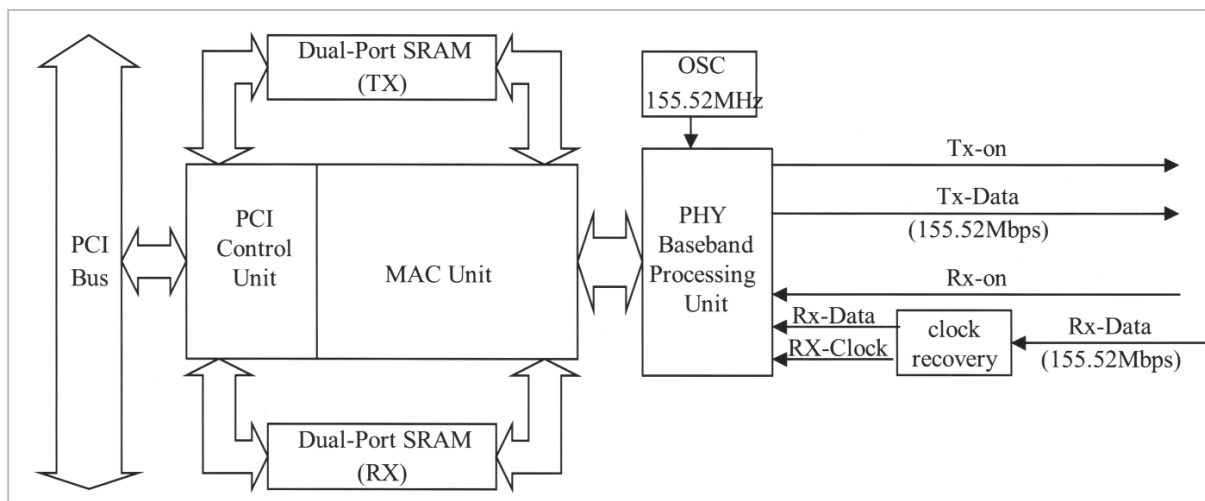


図7 DLCボードのブロック図

ハンドオフの最中も上位層のコネクションは切れることがない。

3.5 QoS制御

MPEG 2による動画転送は、この試作システムにおいて超高速伝送の意義を示すための主要アプリケーションの一つである。QoSを保証するため、IPクラスと二つのポーリングモードとの対応付けが盛り込まれた。RS-ISMAでは、アプリケーションのQoS要求に応じてアイソクロナス又は非同期のいずれかのポーリングモードで情報

転送を行うことができる。IPダイアグラム流を適切なポーリングモードに対応づける手段として、IPヘッダのTOSフィールドが使用される。例えば非リアルタイム・アプリケーションが生成するIPダイアグラムの場合、TOSフィールドには優先度の低い値が設定され、IPダイアグラムは非同期モードで送出される。逆にリアルタイム・アプリケーションでは高い優先度が設定され、IPダイアグラムの転送にはアイソクロナスモードが使用される。

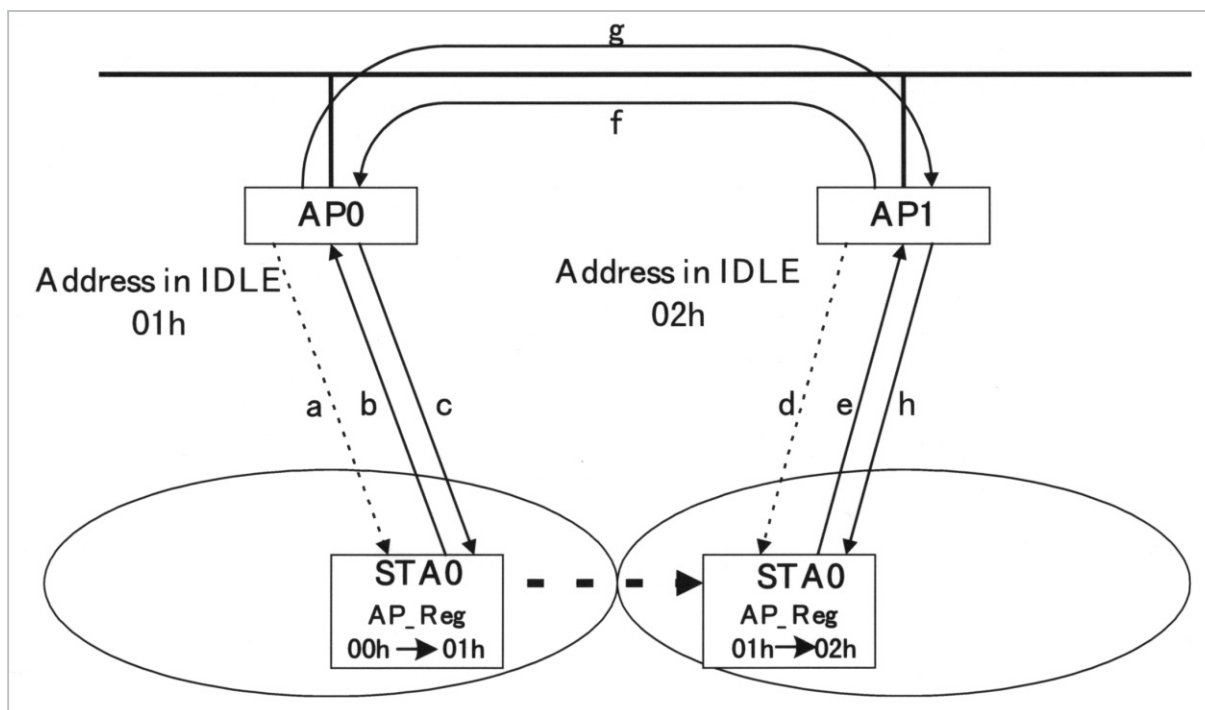


図8 ハンドオフ処理

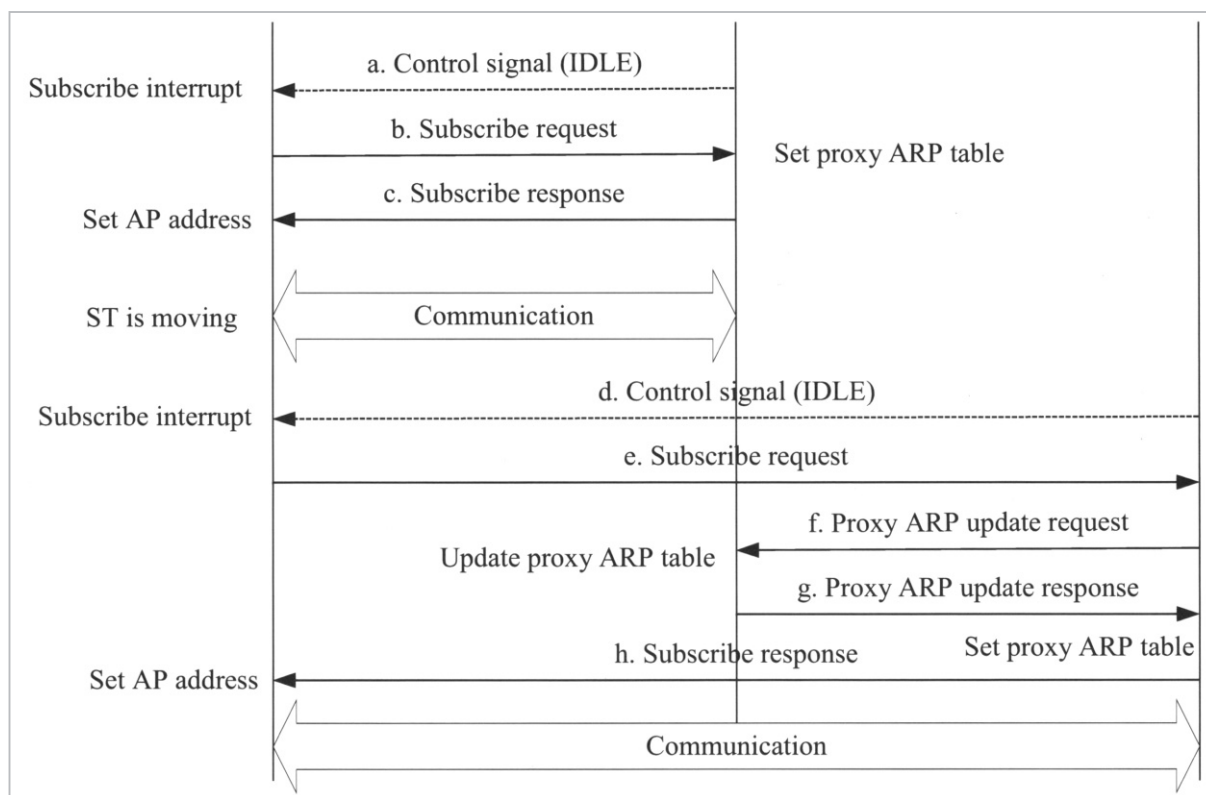


図9 ハンドオフ処理のシーケンス図

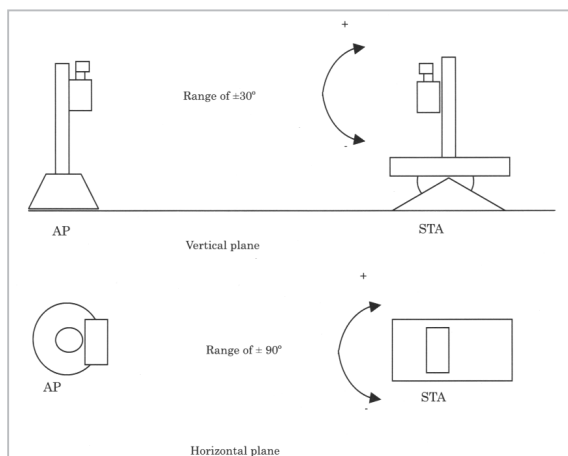
4 実験結果

今回の試作システムについて様々な実験を行った。ここでは次に示す二つの実験について結果を示す。一つめの実験では、(マルチパスの影響を受けない)実験室においてシステムのBER値を測定した。実験室ではAPとSTAを図10(a)のように5m離して置く。APを固定した状態でSTAの角度を垂直・水平の両方向に変化させた。このときBERの値はアンテナの位置を反映する。

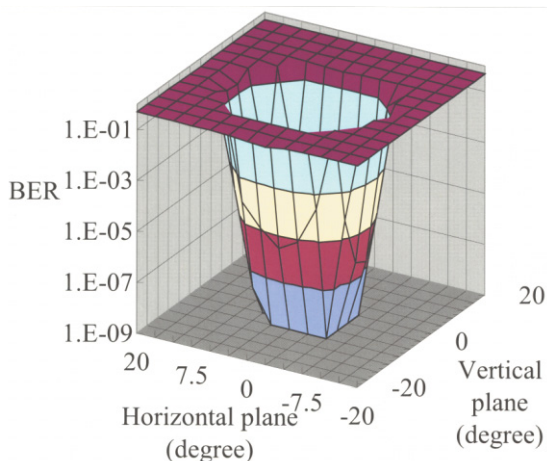
図11は、オフィス環境における一般的な実験風景である。二つめの実験もこのオフィスで行った。APを2m高のパーティションの頂部に、また、STAを1m高の机にそれぞれ設置した。その様子を図12(a)に示す。APを固定し、STAを4×11mの領域内で移動させた。1000個のパケットを送出したときの受信パケット数を計数することでPER(パケット誤り率)を測定した。その結果を図12(b)と(c)に示す。このグラフを見ると、(a)アップリンク・チャンネルではバースト伝送が必要だったためにダウンリンクのほうがPERがいいこと、また、(b)マルチパスの影響があったことが分かる。

5 まとめ

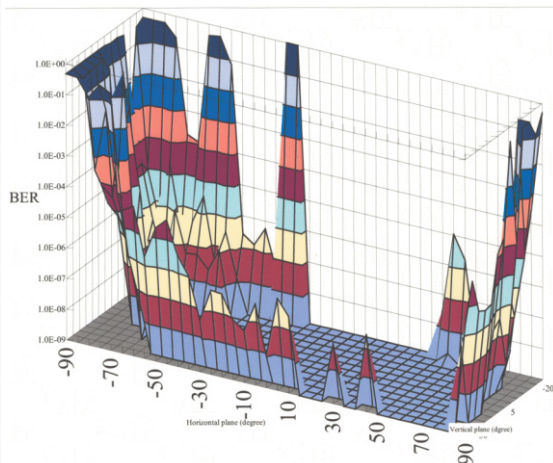
本稿では、38GHz帯を用いる新しい156Mbps超高速無線LANシステムについて紹介した。この無線LANシステムは、通信総合研究所が1998年より開発を進めてきた3代目の試作システムである。2代目と同様、インターネットアクセスを完全にサポートする目的で製造されているが、2代目よりも高速、小型、多機能となっている。このシステムは、60GHz帯で動作する超高速無線LANの我が国における業界標準(電波産業会STD-T74)に貢献している。物理層の性能評価を目的とする実験が完了した現在は、上位層の性能が正確に測定できる実験環境を研究しているところである。無線LAN技術の商用化は、そう遠い先の話ではない。



(a) 実験室における配置



(b) ダウンリンク・チャネルの BER

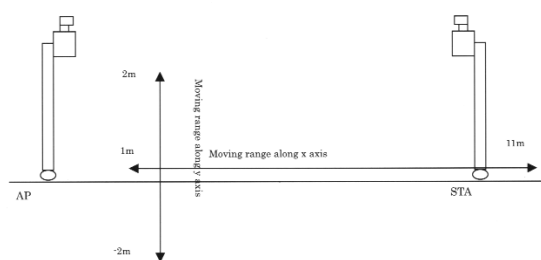


(c) アップリンク・チャネルの BER

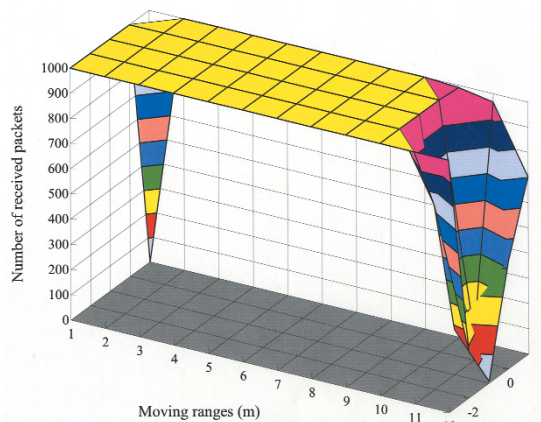
図 10 実験室での実験



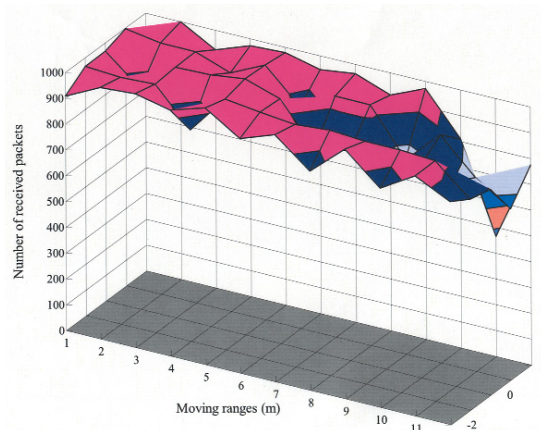
図 11 実験の様子



(a) オフィス環境での実験風景



(b) ダウンリンク・チャネルの PER



(c) アップリンク・チャネルの PER

図 12 オフィス環境での実験

参考文献

- 1 News released by Ministry of Posts & Telecommunications, Japan, <http://www.mpt.go.jp/pressrelease/japanese/denki/000228j601.html> Feb. 28, 2000.
- 2 T. Ihara, T. Manabe, M. Fujita, T. Matsui, and Y. Sugimoto, "Research activities on millimeter-wave indoor wireless communications systems at CRL," ICUPC '95, Japan, pp. 197-200, Nov. 1995.
- 3 Kato, T. Manabe, T. Ihara, and M. Fujise, "Development and Evaluation on the Millimeter-wave Indoor Wireless LAN Demonstrators," PIMRC '98, Boston, USA, Sept. 1998.
- 4 G. Wu, Y. Hase, and M. Inoue, "Broadband radio access integrated network (BRAIN) in mm-wave band: indoor wireless LAN prototype," PIMRC '98, pp. 23-27, Boston, USA, Sept. 1998.
- 5 G. Wu, Y. Hase, and M. Inoue, "An ATM-based indoor millimeter-wave wireless LAN for multimedia transmission," IEICE Trans. Commun., Vol. E83B, No. 8, Aug. 2000.
- 6 M. Inoue, G. Wu, and Y. Hase, "Development of a prototype of the broadband radio access integrated network (BRAIN)," Int. J. Commun. Sys., Vol. 13, No. 3, pp. 255-269, May 2000.
- 7 M. Inoue, G. Wu, and Y. Hase, "IP-based high-speed multimedia wireless LAN prototype for broadband radio access integrated network (BRAIN)," VTC '99 Autumn, Amsterdam, The Netherlands, pp. 357-361, Oct. 1999.
- 8 G. Wu, Y. Hase, K. Taira, and K. Iwasaki, "A wireless ATM oriented MAC protocol for high-speed wireless LAN," PIMRC '97, pp. 199-203, Helsinki, Finland, Sept. 1997.
- 9 M. Inoue, G. Wu, Y. Hase, T. Sugitani, E. Kawakami, S. Shimizu, and K. Tokkuda, "An IP-over-Ethernet-based ultrahigh-speed wireless LAN prototype operating in the 60-GHz band," IEICE Trans. Commun., Vol. E83B, No.8, Aug. 2000.
- 10 IEEE P802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," 1999.
- 11 Ultrahigh-speed wireless LAN in the 60 GHz band, ARIB STD-T74, Japan, May 2001.
- 12 G. Wu, K. Mukumoto, and A. Fukuda, "Performance evaluation of reserved idle signal multiple-access scheme for wireless communication networks," IEEE Trans. VT, vol.43, no.3, pp.653-8, Aug. 1994.
- 13 G. Wu, K. Mukumoto, and A. Fukuda, "Slotted idle signal multiple access scheme for two-way centralized wireless communication networks," IEEE Trans. VT, Vol.43, No.2, pp.345-352, May 1994.



鵜 剛

無線通信部門 横須賀無線通信研究センター 無線統合ネットワークグループ 主任研究員 工学博士
無線IP ネットワーク
g-wu@crl.go.jp



井上 真杉

無線通信部門 横須賀無線通信研究センター 無線統合ネットワークグループ 研究員 工学博士
無線IP ネットワーク
inoue@crl.go.jp



村上千景

無線通信部門 横須賀無線通信研究センター 無線統合ネットワークグループ 研究員
無線IP ネットワーク
homa@crl.go.jp



長谷 良裕

企画部 企画室長 工学博士
無線通信システム
hase@crl.go.jp