

2 無線アクセス技術

2 Wireless Access Technologies

2-1 新世代移動通信用ブロードバンドワイヤレスアクセスシステム

2-1 Broadband Wireless Access System for Next Generation Seamless Mobile Communication

原田博司 船田龍平

HARADA Hiroshi and FUNADA Ryuhei

要旨

本稿では高速移動時においても 100 Mbps 以上の伝送レートを実現でき、かつ IP ネットワークとの接続性に優れた高機能な OFDM をベースとした新世代移動通信システム Dynamic Parameter Controlled Orthogonal Frequency and Time Division Multiple Access (DPC-OF/TDMA) を提案する。提案システムにおいては、OFDM 伝送を行うことを基本とし、周波数軸、時間軸を所定の長さによって分割したスロットを複数の移動局間で共用する。そして、このスロットへのアクセス方法は予約型ダイナミックスロット割当てをベースとした Packet Reservation Dynamic time-Slotted Multiple Access (PR-DSMA) プロトコルを用いる。また、他セルからの干渉回避には干渉推定 + 適応変調を用い、伝送容量の増大化と周波数利用効率の増大化を図る。本稿では特に提案システムの概要及び基本的な伝送特性について示す。

In this paper, we propose a new generation mobile communication system that can realize over 100 Mbps carrier bit rate under high mobility environment and can access IP network easily. The new system is based on dynamic parameter controlled orthogonal frequency and time division multiple access (DPC-OF/TDMA) in which users share “slots” that use certain number of subcarriers and certain time. To access the slots, mobile stations use a packet-reservation-based protocol: packet reservation dynamic time-slotted multiple access (PR-DSMA). In addition, to avoid co-channel interference from adjacent cells and increase frequency utilization efficiency, we use an adaptive modulation scheme that is based on an interference detection algorithm. In this paper, we mention the concept and the basic transmission performance of the proposed system.

[キーワード]

新世代移動通信システム, OFDMA, TDMA, Beyond 3G システム, 1セル繰り返し

New generation mobile communication system, OFDMA, TDMA, Beyond 3G system, 1 cell reuse

1 まえがき

e-Japan 重点計画にも明記されているように、今後は超高速でインターネットに代表される IP

ネットワークに無線接続可能で、かつ他の既存の無線ネットワークともシームレスに接続可能な、新世代モバイル通信システム [1] の実現が急務となっている。そして、将来的には IP ネットワー

クに 100 Mbps を超える超高速無線接続可能なアクセスポイント (Access Point: AP) が多数接続され、この AP が複数の移動局 (Mobile Station: MS) を収容し、MS が移動した場合においても AP 間を接続するスイッチと協調して高速ハンドオーバー制御、さらには異システムとの接続等を行うことになる。このとき無線伝送方式は、その AP が存在する環境に適応しソフトウェア無線技術^[1]等を利用して適宜周波数、帯域幅、通信方式等の無線伝送に関するパラメータが選択されることになる。

この新世代モバイル通信システムにおいて最も必要となる技術の一つとして、高速移動時において 100 Mbps を超えるキャリアビットレートを持ち、かつ準静止時においては数 100 Mbps から 1 Gbps 程度まで伝送が期待でき、かつできるだけ多くのユーザが一つの AP で収容可能な高速移動/大容量/広域無線アクセス方式を検討する必要がある。

この高速移動/大容量/広域無線アクセス方式に関しては以下のことが期待される。(1) 使用する周波数帯においてできるだけ大きなセル半径、ひいてはできるだけ多くのユーザ数を確保することができること、(2) 通信エリアの面的展開等を行う場合に必要以上に周波数帯域を増加することがないようできるだけ周波数利用効率が高いこと、(3) 高速移動時においても低いパケット誤り率で伝送ができること、(4) インターネットに代表される IP ネットワークに容易に接続ができること、(5) PDA のユーザから車載のユーザまで、ユーザが所有する機器の環境、金銭的な状況、必要とする帯域等を勘案して必要な帯域を供給できること、(6) OSI の 7 層等に代表される各種レイヤがきちんと区別、分類でき、下位層へのコントロールが上位層からきちんとコントロールできること。

特に、(1) においては、必要とされる伝送レートが高速移動時においても最低数 10 MHz、最大 100 Mbps 以上であるため、100 MHz 程度の周波数帯域の確保が期待される。できるだけ大きなセル半径を確保することも勘案すると、用いる周波数帯は主に 3~10 GHz のマイクロ波帯が主となる。しかし、当該周波数帯は現在ひっ迫しており、通信エリアをセルラ化し面的に広げる場合、隣接

するセルであっても同一周波数を用いる必要がある。この場合、セルの境界領域等において複数のセルから干渉を受け、これに対する対策を立てる必要がある。干渉対策の一つとしては符号分割多重伝送方式 (CDM) を用いる方策が考えられる。また、CDM に加えてできるだけ使用する周波数を少なくでき、かつ高速移動時においても十分な伝送品質が期待できる符号化直交周波数多重無線伝送方式 (Coded OFDM) を併用した、OFCDM 伝送もその干渉対策として挙げられる^[2]。

しかし、新世代モバイル通信システムで期待されるマイクロ波帯 (4.9 GHz 帯) における受信レベル、遅延プロファイル特性、建物浸透特性の測定例では^{[3]~[5]}、送信出力 40 dBm、送信アンテナ利得 9.7 dBi (水平面内無指向性)、送信アンテナ高 40 m の場合、受信アンテナ利得 4.7 dBi (水平面内無指向性)、利得で受信点において -80 dBm 程度の受信レベルを得ることができるのは高々半径 500 m であり、そのエリア内の遅延プロファイル特性は中央値が 300 ns、90 % 値が 450 ns、そして最大値は 3000 から 4000 ns となる。また、建物内への浸透特性も 40~45 dB 程度となり、屋外セルでの隣接セル間の干渉及び屋外セル・屋内セル間の干渉されるエリアは、第 2 世代・第 3 世代移動通信システムに比べ大きいとはいえず、CDM と OFDM を組み合わせる方式のみではなく、OFDM 伝送と干渉推定、回避方式を加えるのみで十分隣接セルにおいても同一周波数を用いることができると考えられる。

本稿では高速移動時においても 100 Mbps 以上の伝送レートを実現でき、かつ IP ネットワークとの接続性に優れた高機能な OFDM をベースとした新世代移動通信システム Dynamic Parameter Controlled Orthogonal Frequency and Time Division Multiple Access (DPC-OF/TDMA) を提案する^{[6]~[7]}。提案システムにおいては、OFDM 伝送を行うことを基本とし、周波数軸、時間軸を所定の長さによって分割したスロットを複数の MS 間で共用して利用する。そして、このスロットへのアクセス方法は予約型ダイナミックスロット割当てをベースとした packet reservation dynamic time-slotted multiple access (PR-DSMA) プロトコルを用いる。また、他セルからの干渉回避には干渉推定+適応変調を用い、伝送容量の増

大化と周波数利用効率の増大化を図る。本稿では特に提案システムのご概念及び基本的な伝送特性について示す。

2 システムの概要

DPC-OF/TDMA においては図1に示すようにOFDM 伝送を行うことを基本としている。そしてOFDM 伝送するためのサブキャリアを所定の長さによってブロック化する。この各ブロックを本稿ではサブチャネルと呼ぶ。そして、同様に時間軸も所定の長さによってブロック化する。そし

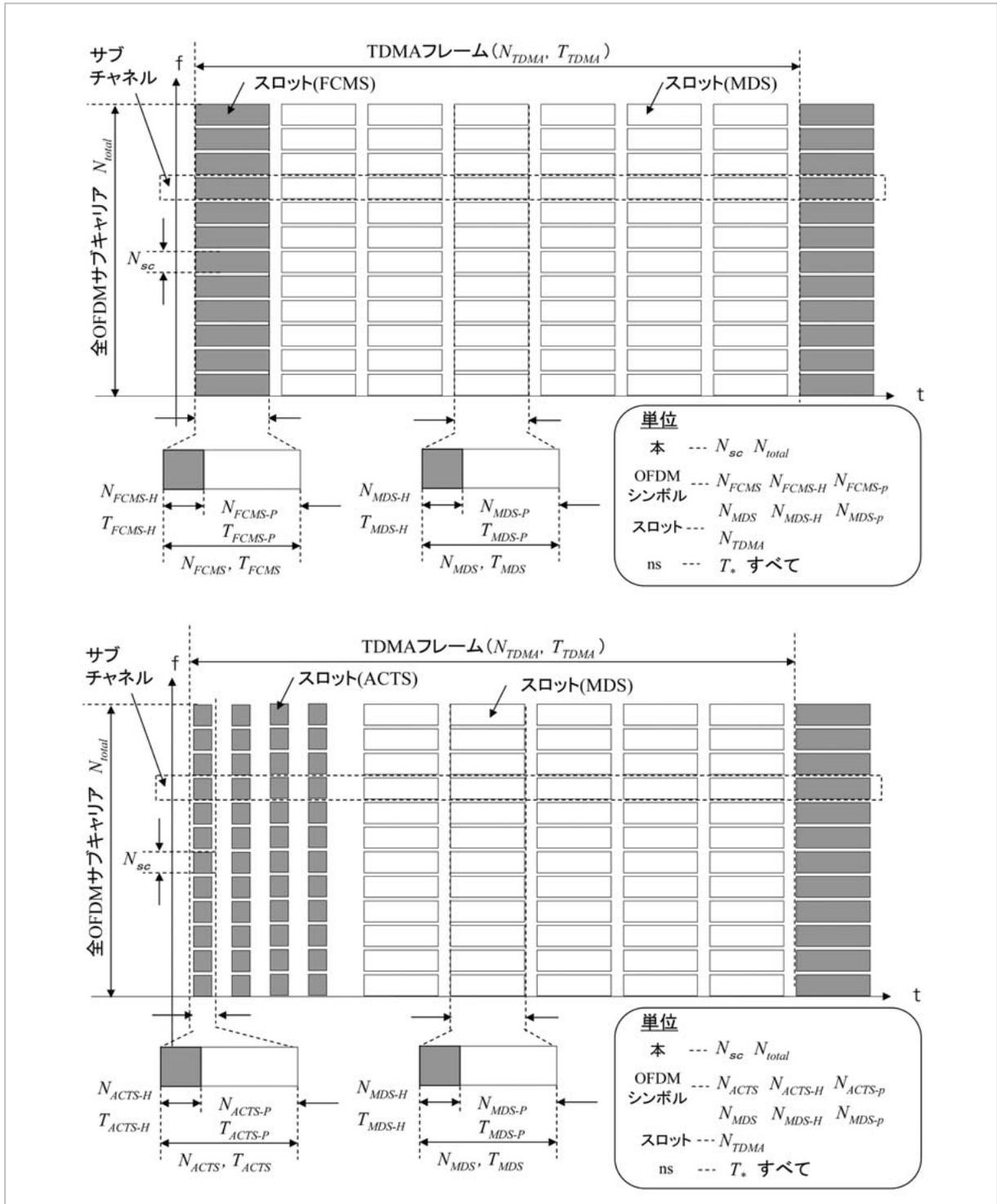


図1 DPC-OF/TDMA のフレーム構成((上)Downlink、(下)Uplink)

て、このブロック化されたサブチャネルを“スロット”と呼び、このスロットを複数の MS 間で共用する。MS が AP と通信を行う場合、基本的にはサブチャネルに対して自局の登録を行い、AP のスロット割当て制御によってサブチャネル内の時間スロットの割当てが行われる。各サブチャネルのスロット割当て情報は、Frame Control Message Slot (FCMS) として時間軸上に図 1 に示すように周期的に挿入され、この FCMS 間は TDMA のフレームと呼ぶ。

本方式の各 MS においては、すべてのサブチャネルにアクセスする機能を有する必要性は必ずしもなく、図 2 に示すように MS の機器の規模、消費電力、使用可能な料金等に合わせてアクセスするサブチャネル数を決定することができる。また、すべてのサブチャネルにアクセスできる場合においても、MS の機器の消費電力、使用可能な料金等で使用するサブチャネル数をパラメータにより可変することができる。さらに、各スロットの変調方式もパラメータにより可変することができる。しかし、各 MS の受信側は、スロットが空いているサブチャネルを全サブチャネルの中から効率的に見つけるために全サブチャネルが受信できることが望ましい。

3 物理層の構成

図 3 に AP 及び MS の物理層送受信機構成を示す。以下、AP から MS への通信回線を下り回線 (Downlink)、MS から AP への通信回線を上り回線 (Uplink) と呼ぶ。

Downlink において AP は、MAC 層部から各サブチャネルの TDMA フレームを受けそれをそのままサブチャネルに割り振り、その後この情報信号以外に、電波伝搬路特性推定用パイロット信号、変調方式を示すプリアンブル信号が挿入される。基本的なパケットフォーマットを図 1 に示す。そして各サブキャリアに MAC 部からの指令により BPSK、QPSK 等の変調 (マッピング) が行われ、その後 IFFT を行うことによって OFDM の変調信号が作られる。そしてガードインターバルが挿入され、アナログ信号にアップコンバート (UC) され、伝送周波数帯に変換されて各 MS に伝送される。

各 MS においては、ベースバンド帯にダウンコンバート (D/C) し、デジタル化した後、同期がとられ、FFT が行われる。そして、サブチャネルごとの信号に分離される。その後プリアンブル内のパイロットチャネルを用いて電波伝搬路特性

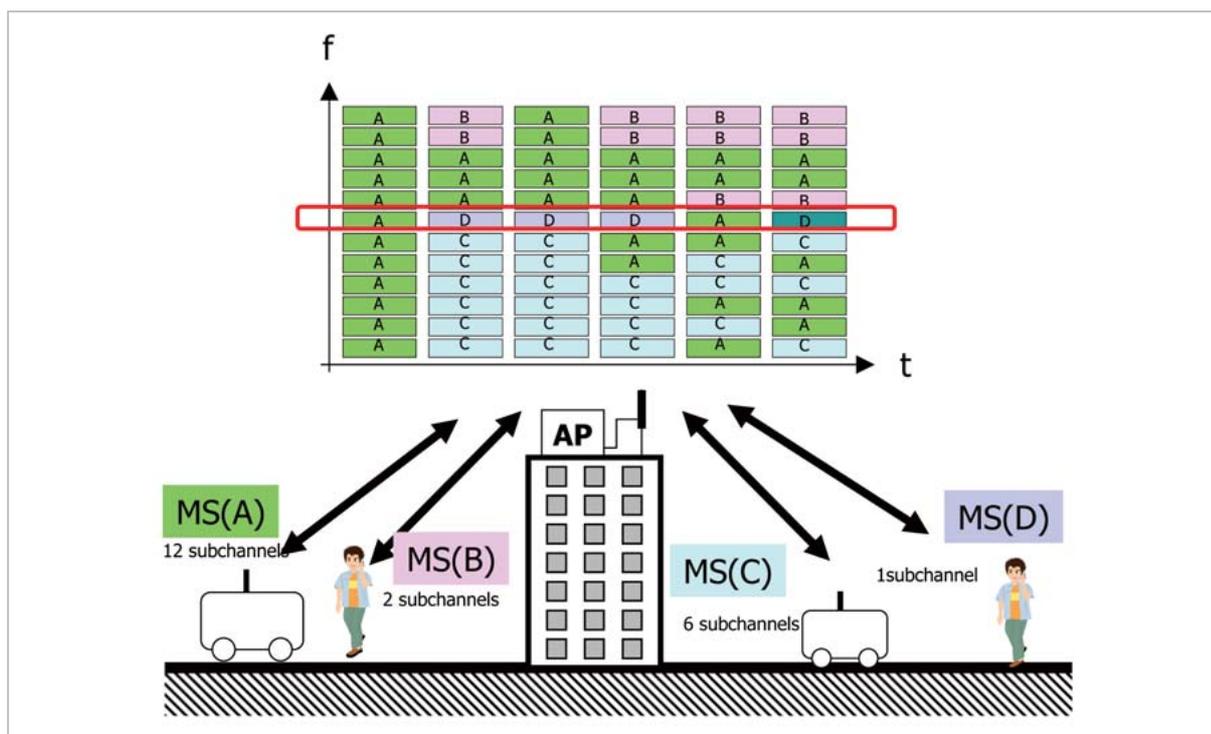


図2 提案システムの利用イメージ

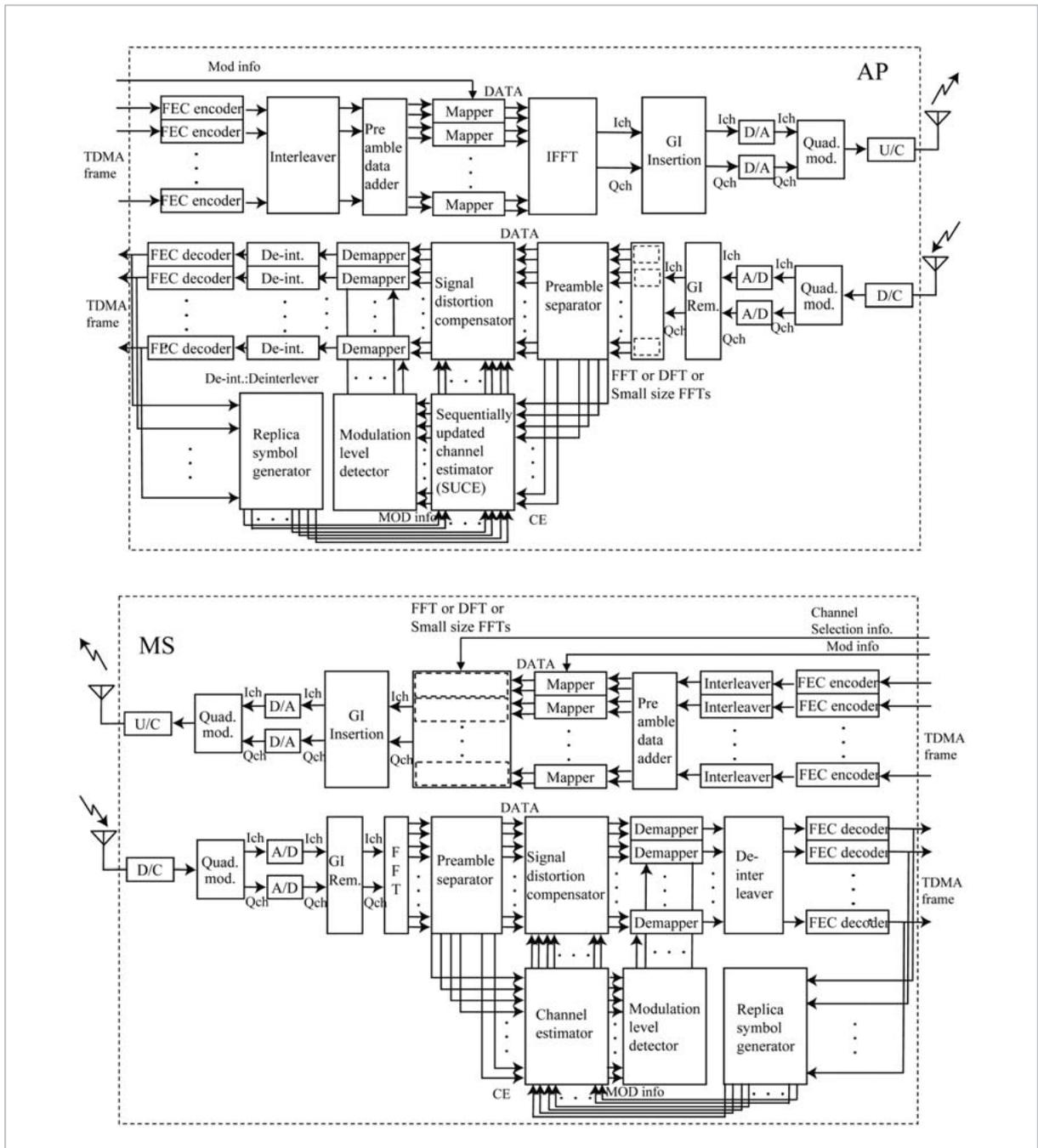


図3 物理層送受信機構成((上)AP、(下)MS)

の推定を行い、その推定した結果を基に伝送信号の補正を行う。その後各サブチャネルの信号はサブチャネルごとに MAC 部に渡される。MAC 部は後述する MAC プロトコルにより各サブチャネルのスロット情報を受信し、必要なスロット内の情報は受信し、さらに上位層に伝送を行う。

一方、Uplink においては、下り回線の各サブチャネルのスロット割当方法に基づいて各 MS が所定の時間以内に TDMA 伝送を行う。各 MS に

おいては、MAC 部から各サブチャネルの TDMA フレームを受け、それをそのままサブチャネルに割り振り、この情報にパイロット信号、変調情報からなるプリアンプル信号を付加したのちにサブキャリアごとに MAC 部からの指令により変調が行われ、その後 IFFT を行うことによって OFDM の変調信号が作られる。このとき各 MS が用いるサブチャネル数、IFFT 数は MS の機器の規模、消費電力、使用可能な料金等に合せて

アクセスするサブチャネル数に合ったものを用いることが前提となるが、APの送信側と同じサイズのIFFTも用いることができる。

APにおいては、複数のMSからの信号を受信する。Uplinkの信号はDownlinkのスロット情報が受信された後一定時間内で伝送されるが、各MSの信号の送出時間はそれぞれ異なる。このような複数の信号に対してFFTをかけるために同期をとる必要がある。そこでどのサイズのFFTを用いるのかが懸案事項となる。方法としては、たとえば、一番早く到着した信号、もしくは一番大きい受信信号に合わせて同期をとり、全サブキャリアをFFTできるサイズのFFTで各サブチャネルに対して一括してFFTをかける方法^[8]、もしくはサブチャネルごとでサブチャネル数に合わせたFFTを用意し、FFTをかける方法が考えられる。各スロットの構成は図1に示すようにパラメータが少し違うものUplinkの場合と同じである。

APにおいては高速移動しているMSからの情報を高品質に受信するために、また、MSにおいては高速移動していてもAPからの情報を受信する必要がある。DPC-OF/TDMAはチャネル推定のシンボルが伝送するパケットの先頭にのみあるため、このチャネル推定用シンボルに時間的に近い情報は誤りが少ないが、パケットが長くなればなるほど、また、移動速度が速くなればなるほどチャネル推定用シンボルより遠くなる情報の誤りが大きくなる。これに対応するために、DPC-OF/TDMAは逐次型チャネル推定方式^{[9][10]}を受信側に採用している。同方式は、図3に示すように受信側で復号された信号を用いて受信信号(FFT後の)レプリカを作成する。そしてこのレプリカとFFT後受信信号とを比較し、パケットの先頭で推定したチャネル特性の構成を行う。

4 MAC層の構成

4.1 基本構成

MAC層の構成は図1に示すように、各サブチャネルにおいては同一のプロトコルを用いる。このプロトコルとして、現在予約型ダイナミックスロット割当てをベースとしたPR-DSMAプロトコル^[11]を導入している。本プロトコルでは

DownlinkとUplinkで別の周波数帯を用いるFDD(Frequency Division Duplex)方式を用いる。また、多重アクセス方式はTDMA方式をベースとし、その時間スロットの各移動局に対する割当てをトラヒックの状況に合わせてAPが行う。

4.2 フレームフォーマット

図1に示すように、Downlinkフレームは1個のFCMS(Frame Control Message Slot)とn個のMDS(Message Data Slot)より構成される。また、Uplinkフレームは、1個のACTS(ACTivation Slot)と複数個のMDS(ACTSの個数+MDSの個数=n個)より構成される。ここでDownlinkとUplinkのフレーム周期は等しい。各スロットの概要を以下に示す。

(1) FCMS(Frame Control Message Slot)

Downlink専用スロットであり、1フレームには必ず1個のスロットがあり、通常先頭に配置される。スロットの構成要素としては、slot type、mode、version、slot count、sub slot count、source MAC address、destination MAC address、channel count、slot assignment term、propagation delay、transmit control、access point identification、header CRCからなるヘッダ部と、slot assignment information for downlink、slot assignment information for uplink、ACK information for uplink、payload CRCからなるペイロード部がある^[11]。

(2) MDS(Message Data Slot)

Downlink及びUplinkフレームに、それぞれ1個以上のスロットが割り当てられる。DownlinkではAPが多重化を行い、Uplinkでは複数のMSが多重化を行う。通常のデータ通信に使用される以外に、DownlinkではAPからの登録/削除要求、コネクション設定/解放要求にも使用される。UplinkではDownlinkデータに対するACKの送信にも使用されるスロットである。スロットの構成要素としては、slot type、packet type、control、buffer count、source MAC address、destination MAC address、data length、data sequence number、ACK sequence number、header CRCからなるヘッダ部と、payload、payload CRCからなるペイロード部がある^[11]。本方式はMAC層上位からのPDU(Packet Data Unit)がそのまま

MDS で伝送されるのではなく、PDU が一定のサイズのセグメントに分割され、そのセグメントが MDS によって伝送される。

(3) ACTS (ACTivation Slot)

主に Uplink フレームに割り当てられ、MS からの登録/削除要求、コネクション設定/解放要求の送信に使用されるランダムアクセス可能なスロットである。図 1 に示すように主に複数のミニスロットからなり、MS は AP に対して要求を行う場合、このミニスロットの中からランダムに選

択し、その選択された時間の中で要求パケットを送信する。スロットの構成要素としては、slot type、packet type、control、data length、source MAC address、destination MAC address、header CRC からなるヘッダ部と、payload、payload CRC からなるペイロード部がある [11]。

4.3 基本的な通信プロトコル [11]

図 4 に各サブチャネルの MAC 層部のブロック図を示す。AP においては送信すべき IP データを

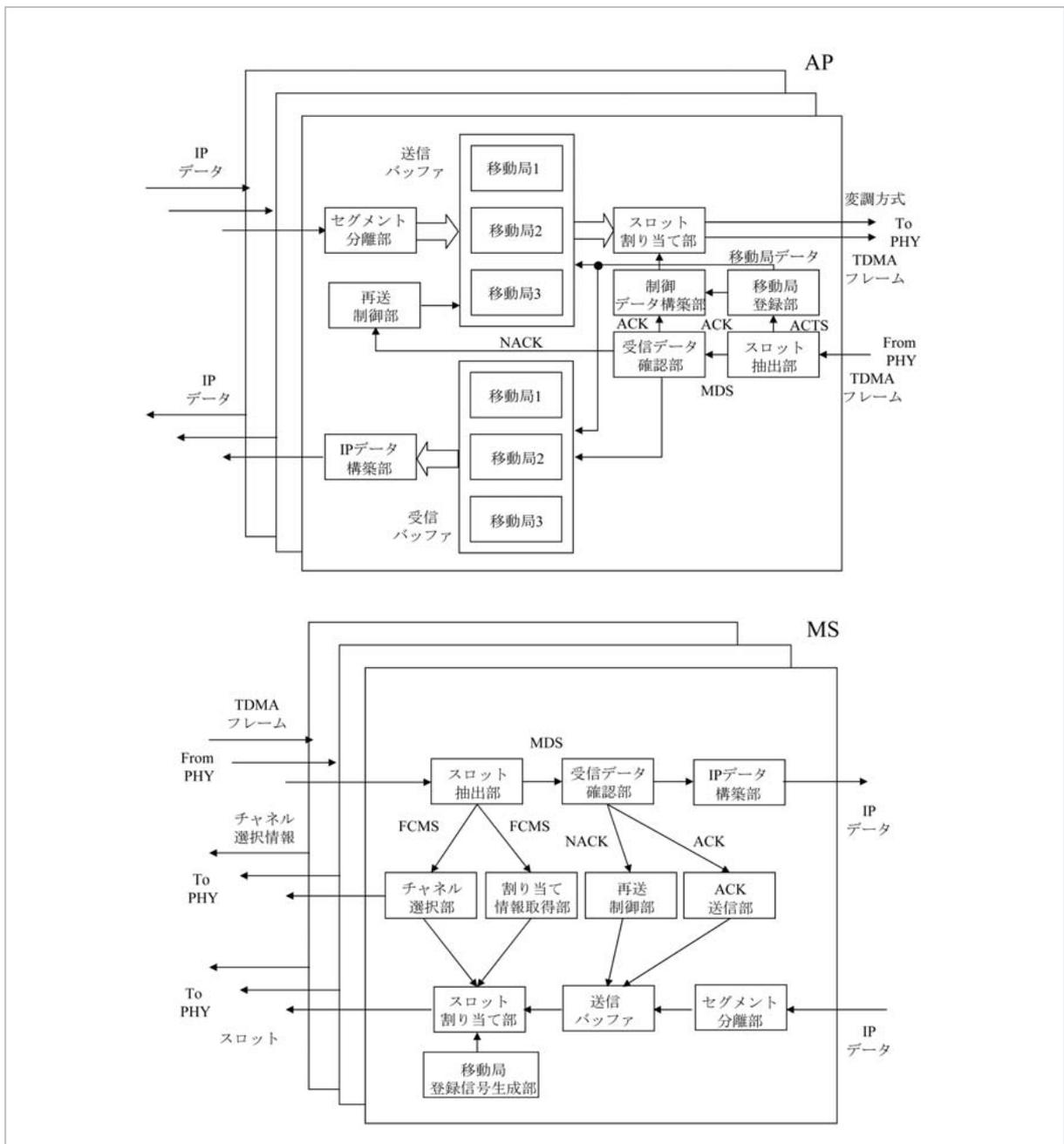


図4 MAC層送受信機構成((上)AP、(下)MS)

すべてスロットの長さに準じた所定の長さにセグメント化し、送信バッファに AP に登録済みの MS ごとに格納している。そして、スロット割当て部において、所定のスロット割当て方式において、MDS データが構築され、制御データ構築部から生成された FCMS データも用い、TDMA フレームを構築する。そして、MS に送信される。

一方、MS においては、AP から送信された TDMA フレームのうち、FCMS がスロット抽出部で抽出され、各サブチャネルの Down/Uplink の割当て状況を見る。そして、混み具合を検出する。もし、Down/Uplink を使用する場合は、チャンネル選択部から物理層に対して、当該サブチャネルを使用する旨を伝え、かつ、ACTS を用いて MS 登録信号生成部からの信号を基地局に伝える。ここで MS 登録信号としては、その MS の MAC アドレス等が挙げられる。

MS からのサブチャネル使用要求を受けた AP は、ACTS の情報を受けることができた場合、下り回線の MDS を用いてすべての MS に使用を許可した MS 名とそのテンポラリアドレスを通知する。当該 MS は、そのアドレスを用いて AP との間で通信を開始する。

この通信の方法は、まず、Uplink 送信バッファの有無にかかわらず登録設定が行われている MS

に対してラウンドロビンのように 1 個の MDS スロットを割り当てるようにする。ここで、Uplink 送信バッファ状態が 0 で、かつスロットを割り当てたにもかかわらず有効データが送信されない MS に対しては、ある設定されたフレーム時間の後はスロットを割り当てない。MS はこの割り振られた Uplink MDS スロットを用いて情報の要求、自身からの情報の発信等を行う。

4.4 スロット割当て方式

4.4.1 Downlink

図 5 に Downlink のスロット割当て方式を示す。Downlink で用いる TDMA フレーム内には、FCMS と MDS のスロットがあり、FCMS は、必ずフレームの先頭に 1 スロット割り当てられる。MDS は、MS のデータ伝送用 MDS と、呼制御に必要な情報を伝送する子制御データ伝送用 MDS があり、送信すべき呼制御データがある場合は、MS データよりも優先的にフレームの先頭からスロットを割り当てる。

ある AP の通信ゾーンに入った MS は、まず AP への登録を ACTS を用いて行う。AP においてその登録要求が受け付けられるとその旨 FCMS によって伝えられ、同時に MDS を用いて通信に対するリクエストがブロードキャストされる。そ

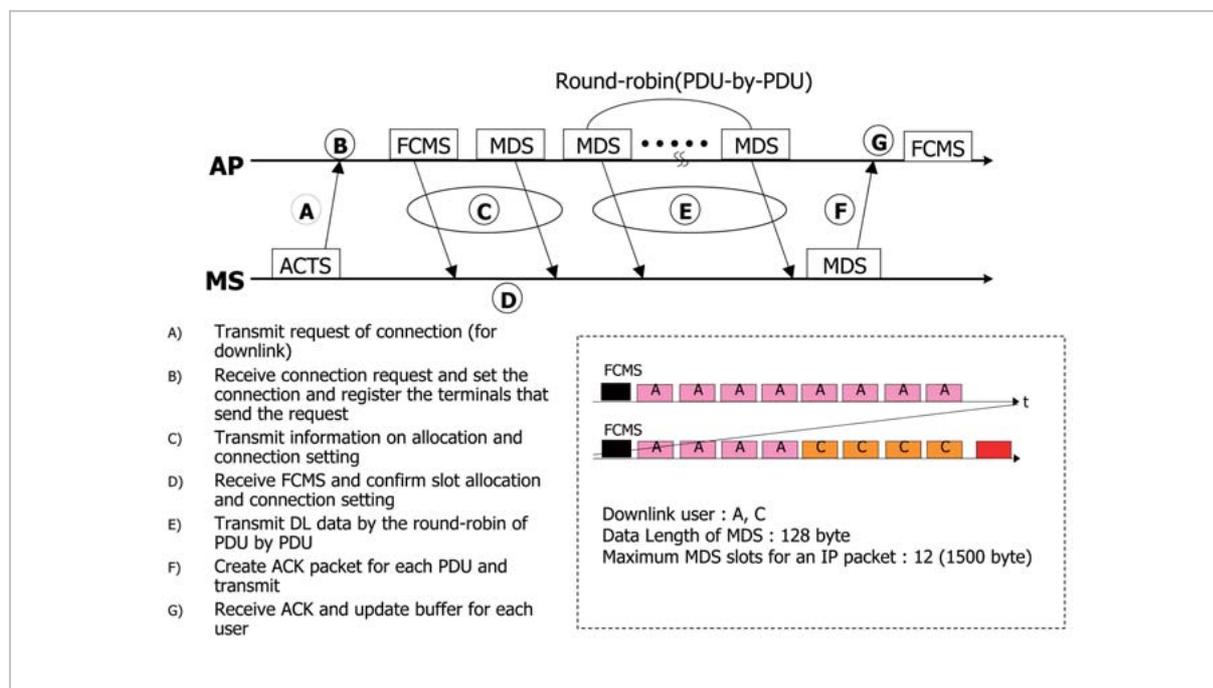


図5 Downlink のスロット割当て方式

の後、MS のデータ伝送用 MDS のスロット割当ては、送信バッファに書き込まれた順に上位層 PDU (Packet Data Unit) ごとに上位層 PDU 長に応じて行う。送信バッファに未送信データがない場合はスロットを割り当てない。そして一つの PDU が伝送されると同時に Uplink の MDS が一つ割り当てられ、その MDS を用いて Downlink 情報伝送に対する ACK が伝送される。同図においては、A、C という二つの MS に対する 1500 バイトの PDU が伝送されている場合の Downlink に対する割当ての様子を示している。このとき一つの MDS で伝送する情報量は 128 バイトであると仮定している。

4.4.2 Uplink

図 6 に Uplink のスロット割当て方式を示す。Uplink で用いる TDMA フレーム内には、ACTS と MDS のスロットがある。MDS は、MS データ伝送用 MDS と、Downlink データに対する ACK を送信するために使用される MDS (ACK データ用 MDS) とに分類される。ACK データ用 MDS に対するスロット割当ては、Downlink で送信する MDS 内のパケットが上位層 PDU の最後のセグメントである場合は必ず割当てを行われる。ACK データ用 MDS を割り当てるスロット位置

は、Downlink で上位層 PDU の最後のセグメントを送信するために割り当てたスロット以降のスロットとする。

ユーザデータ用 MDS に対するスロット割当ては、ACK データ用 MDS への割当てで使用した残りのスロットに関して行う。スロット割当ては、スロット割当て管理テーブルを参照し、コネクションを設定している MS に対して順番に割り振るラウンドロビン方式で行う。このときのラウンドロビンの方法は Downlink のときのように PDU ごとの割当てではなく、セグメントごとのラウンドロビンとなる。同図においては、B、D、E という三つの MS に対する 1500 バイトの PDU が伝送されている場合の Uplink に対する割当ての様子を示している。このとき一つの MDS で伝送する情報量は 128 バイトであると仮定している。

4.5 再送制御方式

PR-DSMA では、文献[11]で示したように、Go-back-N を用いた再送制御等が再送制御方式として利用することができる。なお、Downlink においては MDS で伝送を行うブロードキャストデータ、Uplink においては ACK/NACK 情報のみの MDP データに関して再送制御は行わない。

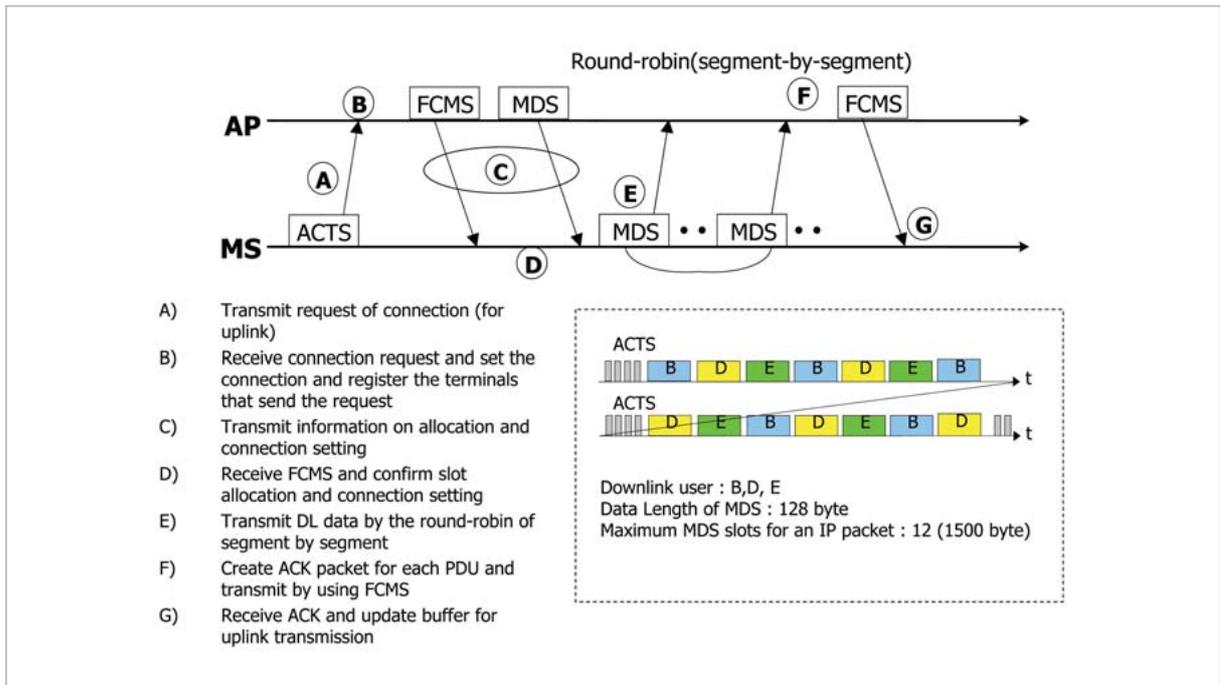


図6 Uplink のスロット割当て方式

5 コンピュータシミュレーション 及びプロトタイプによる評価

提案通信システムの伝送特性を評価するために、コンピュータシミュレーションによる評価及びプロトタイプを開発し、伝送特性の評価を行った。

5.1 フレーム構成例

提案する DPC-OF/TDMA において、図 1 の中のパラメータに値を与え、100 Mbps 以上の伝送を行うために基本となるフレーム構成について検討した。その結果の一例を表 1 に示す。この表 1 のパラメータにおいては、MDS と FCMS の時間的な長さは同じになり、そして、ACTS の時間的な長さは、MDS と FCMS の半分になっている。そして、Downlink において FCMS 1 個と MDS 8 個を送り、Uplink においては ACTS 4 個と MDS を 7 個伝送した場合、1 TDMA フレームの時間的な長さが Uplink 及び Downlink で等しくなる。

表 1 各スロットの設計例

FCMS		
FCMS ヘッダ部[7]	N_{FCMS-H}	16byte
ペイロード部[7]	N_{FCMS-P}	64 byte+2byte CRC
変調方式		BPSK
FEC		畳み込み符号 (符号化率 1/2 + Viterbi 復号)
OFDM データシンボル数		21
プリアンブル OFDM シンボル数		3 (Channel estimation 2)
FCMS 伝送時間(us)		240
FCMS 用スロットガード(us)		10
FCMS 伝送時間		250

MDS		
MDS ヘッダ部[7]	N_{MDS-H}	12 byte
ペイロード部[7]	N_{MDS-P}	128/256/384 +2byte CRC
変調方式		QPSK/16QAM/64QAM
FEC		畳み込み符号 (符号化率 1/2 or 3/4 + Viterbi 復号)
OFDM データシンボル数		19
プリアンブル OFDM シンボル数		5 (Channel estimation 2)
MDS 伝送時間(us)		240
MDS 用スロットガード(us)		10
MDS 伝送時間		250
MDS スロット数		8(上り),7(下り)

ACTS		
ACTS ヘッダ部[7]	N_{ACTS-H}	6 byte
ペイロード部[7]	N_{ACTS-P}	32 byte+2byte CRC
変調方式		BPSK
FEC		畳み込み符号 (符号化率 1/2 + Viterbi 復号)
OFDM データシンボル数		10
プリアンブル OFDM シンボル数		2 (Channel estimation 2)
ACTS 伝送時間(us)		120
ACTS 用スロットガード(us)		2.5
ACTS 伝送時間(us)		122.5
ACTS スロット数(us)		4
4ACTS 伝送時間(us)		490
4ACTS 用ガード時間(us)		10
総 ACTS 伝送時間(us)		500

5.2 MDS の基礎伝送特性例

表 1 のパラメータを用いて、すべてのサブチャネルを用いて MDS を伝送する場合の伝送特性、特にスロット誤り率について評価を行う。周波数帯は 5 GHz 帯、また、ドップラー周波数は、500 Hz (時速 100 km 相当) を想定している。チャネルモデルは、24 波の指数関数減衰型独立レイリーフェージングモデル (遅延スプレッド 350 ns) を用いている。MDS フレームの概要は図 7 に示す。また、結果を図 8 に示す。このパラメータにおいては 12 のサブチャネルに分割された OFDM 信号 (総キャリア数 768 キャリア、サブチャネルのキャリア数 64) をすべて用いて伝送することを基本とし、MAC データを送る以外に電波伝搬路推定用 OFDM シンボルを 2 シンボル用意し、そのシンボルで電波伝搬路特性を取得して、フェージング等によって変化した送信信号のゆがみの影響を緩和する。変調方式は QPSK を用いている。図 8 に示す MDS error rate の意味は、図 7 に示す MDS を用いて情報を伝送するとき、その中の

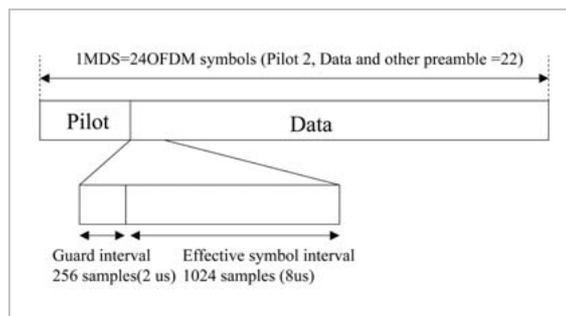


図 7 MDS フレームの概要

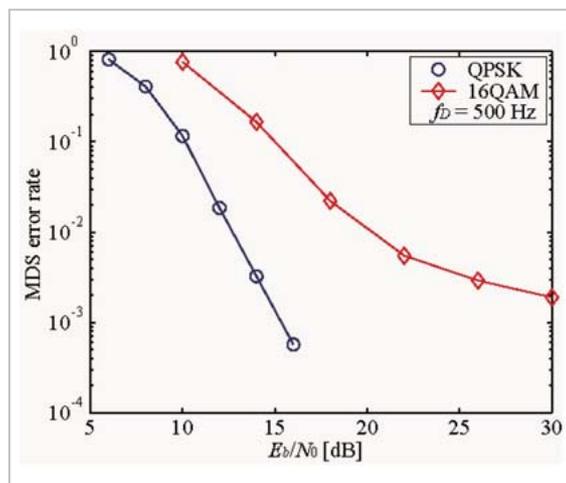


図 8 MDS error rate

情報が一つでも誤ると MDS エラーと定義している。同図より、提案方式は時速 100 km でも QPSK を一次変調で用いた場合で MDS error rate が $E_b/N_0=10$ dB 以上で 1% のオーダ程度を得られている。QPSK の場合 1 MDS で伝送できるのは 128 kbyte であるため 12 MDS で一つの最大長の IP パケットを伝送することができる。すなわち MDS error rate が 1% のオーダであると最大長 IP パケットの誤り率は高々 10% のオーダとなり、IP パケットで再送を行いながら情報伝送を行うことは可能になる。

5.3 プロトタイプによる評価

提案する DPC-OF/TDMA のハードウェアでの実現可能性を探るために表 1 のパラメータを使用し、図 9 に示すプロトタイプを開発した。プロトタイプのスペックを表 2 に示す。周波数としては基地局側 4 GHz 帯、移動局側 3 GHz 帯を用い、送信電力は基地局側 5.5 W、移動局側 5 W の出力を有する。このプロトタイプは 768 キャリアの OFDM 伝送を行い、99% 占有帯域幅は図 10 に示すように約 95 MHz である。このプロトタイプに対して、5.2 のコンピュータシミュレーションと

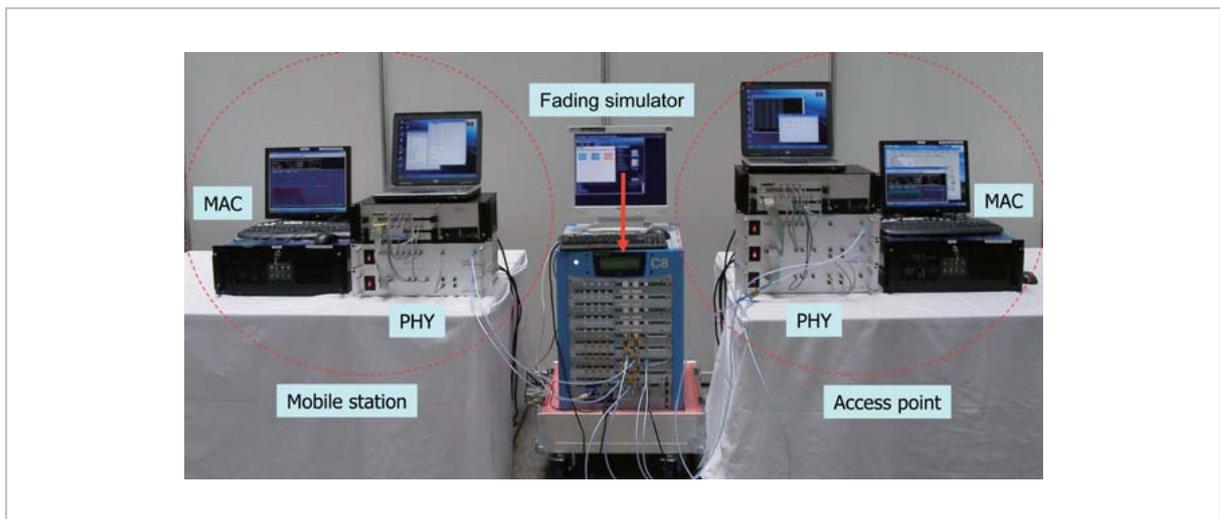


図9 プロトタイプの概要

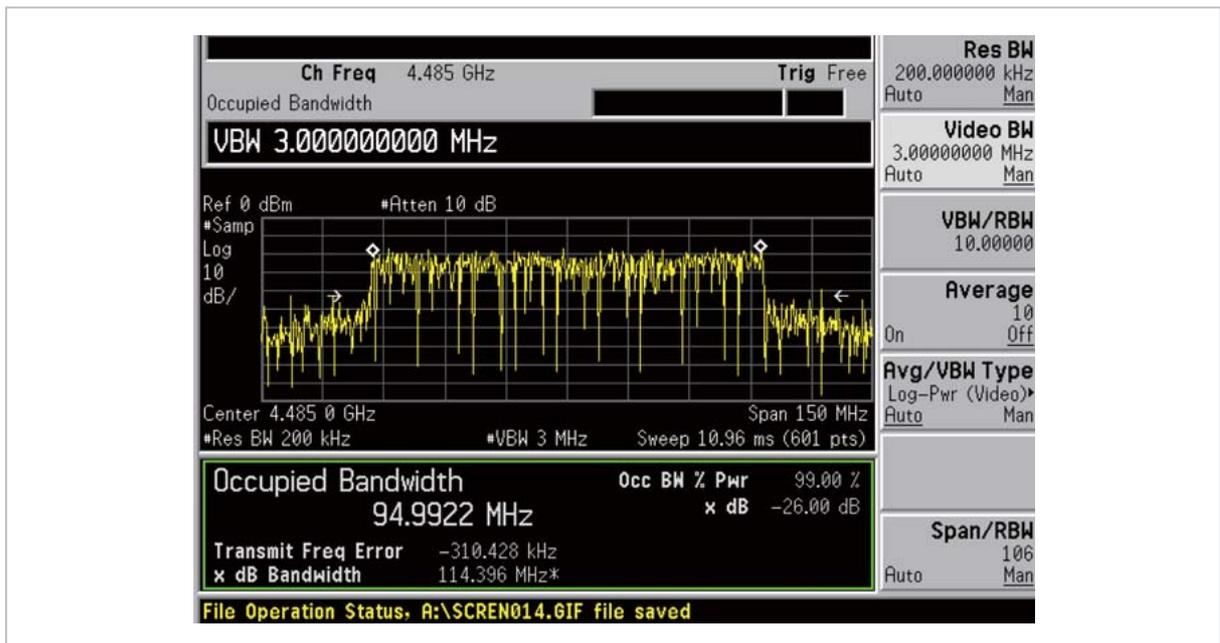


図10 占有帯域幅

表2 プロトタイプのスเปック

Common items	
Length of 1 OFDM symbol (us)	8
Length of guard interval (us)	2(FCMS/MDS),4(ACTS)
Length of 1 OFDM symbol (us)	10
FFT length (point)	1024
Guard interval (point)	256(FCMS/MDS),512(ACTS)
Sampling clock (MSPS)	128
Total number of subcarriers	768
Number of subcarriers in a subchannel	64
Number of subchannels	12
Downlink transmission time (us)	2250+250(inc. frame guard)
Uplink transmission time (us)	2250+250(inc. frame guard)
FEC	Convolutional code
Transmission rate	QPSK rate=1/2 76.8 Mbps QPSK rate=2/3 102.4 Mbps 16QAM rate=1/2 153.6 Mbps 16QAM rate=2/3 204.8Mbps

同様のフェージングをハードウェアで構成されたフェージングシミュレータで発生させ時速を増加させたときの伝送特性を取得した。一次変調方式として QPSK を用い、符号化長 1/2 の符号を用いた場合(最大伝送レート 76.8 Mbps)、IP データのスループットは、送信機と受信機を直接接続した場合、Downlink において 34.026 Mbps となり、24 波指数減衰マルチパスフェージングを加えた場合、その最大スループットは 21.467 Mbps となる。また、Uplink においても IP データのスループットは、送信機と受信機を直接接続した場合 30.02 Mbps となり、24 波指数減衰マルチパスフェージングを加えた場合、その最大スループッ

トは 16.59 Mbps となり、Downlink、Uplink かかわらずその最大 IP データスループットは時速 100 km で移動時においても最低数 10 Mbps 確保できることがわかる。

6 まとめ

本稿では OFDM をベースとした新世代移動通信システム DPC-OF/TDMA を提案し、その物理層と MAC 層の概要及びコンピュータシミュレーション、プロトタイプによる伝送特性の評価を行った。当該通信システムは、時速 100 km 以上のマルチパス環境においても物理層伝送速度 100 Mbps 以上、IP パケットのスループット特性を数 10 Mbps 以上の伝送特性を示し、来るべき第 4 世代移動通信システムに対する一つの方式として、100 MHz 以上程度を利用する OFDMA と TDMA を活用した移動通信システムとして世界で初めてそのプロトタイプの開発に成功しており、今後の研究者に対して一つの試金石となり得る。今後はこの研究成果で得た知見を各種標準化活動に展開するとともに、更に詳細な屋外伝送試験を行う予定である。

参考文献

- 1 H.Harada, M.Kuroda, H.Morikawa, H.Wakana, and F.Adachi, "The Overview of the New Generation Mobile Communication Systems and the Role of Software Defined Radio Technology", IEICE Trans. Commun., Vol.E86-B, No.12, pp.3374-3384, Dec.2003.
- 2 H.Atarashi, S.Abeta, and M.Sawahashi, "Variable Spreading Factor-Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing (VSF-OFCDM) for Broadband Packet Wireless Access", IEICE Trans. Commun, Vol.E86-B, No.1, pp.291-299, Jan.2003.
- 3 岩井, 米澤, 前山, 篠永, 原田, 藤瀬, "5 GHz 帯高基地局高アンテナシステムにおける伝搬損失の測定実験", 電子情報通信学会総合大会, B-1-46, Mar.2003.
- 4 米澤, 前山, 岩井, 原田, "5 GHz 帯マイクロセルシステムにおける遅延スプレッド分布特性", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-39, Sep.2003.
- 5 米澤, 前山, 岩井, 篠永, 原田, 藤瀬, "5 GHz 帯屋外-屋内システムにおける浸透特性", 電子情報通信学会総合大会, B-1-44, Mar.2003.
- 6 原田, 安, 高橋, 神尾, 三瓶, "Dynamic Parameter Controlled OF/TDMA による新世代移動通信システム", 電子情報通信学会無線通信システム研究会, RCS, 2004 年 1 月.
- 7 H.Harada, C-J Ahn, S.Takahashi, Y.Kamio, and S.Sampe, "Dynamic Parameter Controlled Orthogonal Frequency and Time Division Multiple Access", PIMRC 2004, Vol.4, pp.2648-2652, Sep.2004.

- 8 木村亮太, 船田龍平, 原田博司, 篠田庄司, “上りリンクDynamic Parameter Controlled OF/TDMA における送信タイミング制御法の計算量削減に関する一検討”, 電子情報通信学会無線通信システム研究会, RCS2004-439, pp.43-48, 2004年11月.
- 9 原田, 船田, 安, 高橋, 澤田, “逐次型伝搬路推定を用いた高速移動 OFDM パケット無線伝送システム: 概要と基礎伝送結果”, 電子情報通信学会無線通信システム研究会, RCS, 2005年1月.
- 10 R.Funada H.Harada, Y.Kamio, S.Shinoda, and M.Fujise, "A New Amplitude and Phase Compensation Scheme under Fast Fading Environment for OFDM Packet Transmission Systems", VTC 2001 Fall, pp.2093-2097, Oct.2001.
- 11 H.Harada, "100Mbps and beyond point-to-multipoint ultra high-speed radio access system: concept and fundamental experimental results", VTC2003-Fall, Vol.3, pp.1874-1879, Oct. 2003.

原田博司

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマバイルグループ研究マネージャー
博士(工学)
コグニティブ無線、ソフトウェア無線、
ブロードバンドワイヤレス通信技術

船田龍平

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマバイルグループ専攻研究員 博士(工学)
コグニティブ無線、ソフトウェア無線、
ブロードバンドワイヤレス通信技術