

HSDPAの概要

Outline of HSDPA

あらまし

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) は、第3世代移動通信システムに採用されている方式の一つであるW-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 方式に導入されたパケット通信に特化した下りアクセス方式であり、3GPP (3rd Generation Partnership Project) において技術仕様が策定された。この方式の導入により、最大384 kbpsだった従来の下り伝送速度が、最大で14.4 Mbps、平均でも2～3 Mbpsまで向上し、多種多様なマルチメディアサービスへの適用が期待されている。

HSDPAでは、複数ユーザで一つの無線チャネルを時分割で使用する共有チャネルを用い、さらに、適応変調方式、HARQ (Hybrid-ARQ) といった技術を新たに導入することで、ピーク伝送速度の高速化、低遅延、高スループットを達成した。本稿では、これらの新技術の概要説明を行うとともに、端末における受信性能改善技術の一例を示す。また、今後の標準化動向にも言及する。

Abstract

High speed downlink packet access (HSDPA) was specifically developed to increase the data transmission rates of packetized downlink channels. The 3rd Generation Partnership Project (3GPP) prescribed this system, which provides a maximum data transmission rate of 14.4 Mbps and an average transmission rate of 2 to 3 Mbps, depending on the radio propagation conditions. The conventional system can guarantee a maximum fixed data transmission rate of 384 kbps. Therefore, HSDPA is about 10 times faster than the conventional system. This high level of performance enables the provision of various types of multimedia services. The main features of HSDPA are its high data transmission rate, low latency, and high throughput, for which an adaptive modulation scheme and hybrid-ARQ (HARQ) have been introduced. This paper briefly explains these new techniques and describes the trend toward standardization.



川端和生 (かわばた かずお)
ネットワークシステム研究所セルラ
ノード研究部 所属
現在、次世代セルラシステムおよび
無線基地局装置の研究開発に従事。



古川秀人 (ふるかわ ひでと)
ネットワークシステム研究所ワイヤ
レス方式研究部 所属
現在、次世代セルラシステムおよび
移動端末装置の研究開発に従事。



杉山勝正 (すぎやま かつまさ)
標準化推進部 所属
現在、次世代セルラシステムの無線
インタフェースに関する国際標準化
活動に従事。

ま え が き

移動体通信におけるサービスの多様化に伴い、移動体システムに対する要求条件も高度化してきた。セルラ方式は、1980年代のアナログ方式である第1世代、1990年代のデジタル方式である第2世代、そして、2000年代のマルチメディア通信に対応した第3世代と約10年ごとに進化してきた。この進化に伴い、データ伝送速度が向上すると同時に音声通話以外のTV電話、音楽配信、Webブラウジングといった多種多様なマルチメディアサービスにも対応可能となってきた。しかし、新しいサービスや高速伝送への要求に対応するため、さらなるシステムの高度化が必要となってきた。

本稿で紹介するHSDPA (High Speed Downlink Packet Access) は、第3世代移動通信システムに採用されている方式の一つであるW-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) に適用された下りパケット伝送方式で3.5世代と呼ばれ、ピーク伝送速度を従来の最大384 kbpsから最大14.4 Mbps、平均2～3 Mbpsへと向上させる新技術である。この技術は3GPP (3rd Generation Partnership Project) において議論され、リリース5として2002年3月に最初の仕様が策定された。そして、HSDPAの導入により、音楽配信などの高速ダウンロードを必要とするサービスの開始が期待されている。また、従来の端末タイプ以外にHSDPA通信機能を内蔵したPDAやパーソナルコンピュータ (図-1、2006年発表、伝送速度1.8 Mbps、約1 kg) など、様々な装置展開が期待されている。

本稿では、ピーク伝送速度の高速化、低遅延、高スループットを実現するHSDPAの基本原理を説明した後、標準化状況を今後の動向も含めて整理する。最後に、HSDPAの端末における受信性能向上技術の一例を紹介する。

HSDPAの概要

HSDPAの最大の特徴は電波の状況やユーザトラフィックの混雑度により通信速度が変化するベストエフォート型の通信形態を持つことにある。そして、電波の受信状況が良いときに大量のパケットデータを送信できるように通信パラメータを調整し、最大14.4 Mbpsの通信速度を得ることができる。以下に



図-1 HSDPA通信機能を内蔵したパーソナルコンピュータ (LIFEBOOK Q2010)

Fig.1-Personal computer with HSDPA communication function.

挙げる三つの技術が、これらの実現に貢献している。

- (1) 適応変調方式 (AMC: Adaptive Modulation and Coding scheme)
- (2) HARQ (Hybrid-ARQ)
- (3) スケジューリング

以下に詳細を説明する。

(1) AMC

AMCとは、基地局から端末までの電波伝搬状況に応じて、変調方式と誤り訂正符号の符号化率を適応的に調整する方法である。^(注) 従来のW-CDMAでは変調方式はQPSK (Quadrature Phase Shift Keying)、符号化率は1/3と固定されており常に一定の伝送速度であったが、HSDPAでは変動する電波の状態を総合的に判断し、自動的に最適な変調方式と符号化率を選択している。変調方式は、QPSKと16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) が切り替えられ使用される。電波の受信状態が悪いときには、比較的雑音に強いQPSKが選択され、単位シンボルあたり2ビットのデータを送信する。一方、電波の受信状態が良い場合には、伝送速度が速い16QAMが選択され、単位シンボルあたり4ビットのデータを送信する。誤り訂正符号は、電波の受信状態が良いときは訂正能力が小さい符号化率で冗長度を小さくし、受信状態が悪いときは訂正能力の高い符号化率で冗長度を大きくする。これら二つを最適に選択し組み合わせることで、全体的に伝送速度を向上させることができる。これら通信パラメタ

(注) 厳密には拡散コードにより識別される信号の多重数も調整される。

の選択は携帯端末が電波状態を測定した結果を基地局に通知することによって行われる。電波状態を表すパラメタは、一般的にはSIR { Signal-to-Interference Ratio : 受信したい信号の電力 (S) とそれ以外の不要な干渉電力 (I) の比 } の推定値が用いられている。

(2) HARQ

受信したパケットデータに誤りが生じた場合、従来はARQを用いていた。これは誤りのあった受信パケットを破棄し、同一パケットの再送を要求する方法 { 図-2 (a) } である。これに対しHARQは誤りのあったパケットデータを保持しておき、再送されたパケットデータと合成することによって誤り回復を行う技術である。HARQにはChase合成 { 図-2 (b) } とIR (Incremental Redundancy) 合成 { 図-2 (c) } がある。Chase合成は、誤りのあったパケットデータと再送されたパケットデータとを合成することによって時間ダイバーシチ効果を得て、訂正能力を向上させる方式である。一方、IR合成は、今までパンクチャ (情報の間引き送信) により送信されなかった誤り訂正用の冗長ビットを再送時に送信し、以前受信したパケットデータと合成することで訂正能力を向上させる方式である。

(3) スケジューリング

W-CDMA方式を採用したシステムでは、通話

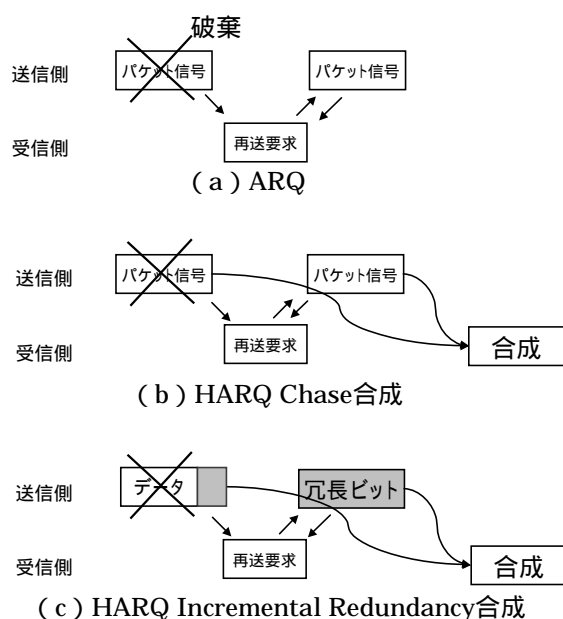


図-2 Hybrid-ARQの原理
Fig.2-Principles of Hybrid-ARQ.

チャンネルとして、ユーザごとに個別チャンネルを割り当てている。これに対しHSDPAでは、セル内のすべてのHSDPA移動機で共有しているシェアドチャンネル (Shared channel) を使用する。このため基地局は、各ユーザにシェアドチャンネル上の無線リソースの割当て制御を行う必要があり、この割当てスキームをスケジューリングと呼ぶ。スケジューラは、各移動局やネットワークから通知されるパラメタを基にして、送信するデータのタイミングと量を決め、リソース割当て管理を行う。

2ユーザの場合のスケジューリング例を図-3に示す。このスケジューラは、電波状態のみをパラメタとして採用している。すなわち、ユーザA、Bはスケジューラにより電波状態が良い時間にデータ送信のためのリソースが割り当てられている。

なお、スケジューリング方法としては、各ユーザを順番に割り当てるラウンドロビン (Round robin) 法や、最も状態が良いユーザを優先的に割り当てるMAX CIR (Carrier to Interference Ratio) 法、各ユーザの伝送レートをほぼ均一とするプロポーションアルファネス (Proportional fairness) 法がよく知られている。しかし、効率の良いスケジューリングのためには、例えば、チャンネル品質やそのばらつき具合を示す値、送信電力制御情報、パケットエラー率、1個のパケットで送信するデータ量、QoS情報、送信データの優先度といった多種のパラメタが必要になり、実際の運用に合わせて、各種スケジューリングアルゴリズムが選択される。

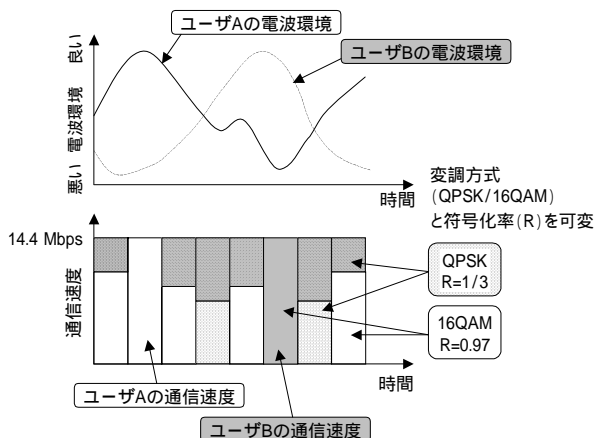


図-3 HSDPAにおけるスケジューリング例
Fig.3-Example of scheduling for HSDPA transmission.

HSDPAの標準化動向

3GPPにおいてW-CDMAの標準化作業が進められており、1999年にリリース99として初めて仕様化された。さらに、2002年に策定されたリリース5においてHSDPA機能が追加され、さらなるエンハンスがリリース6において行われた。

リリース5のHSDPAでは、ピーク伝送速度の高速化や高いスループットを実現するため、前章で述べたAMC機能、HARQ機能、スケジューリング機能などを新規に採用した。そして、これらの機能を有するMACレイヤの終端点を上位ノードである無線ネットワーク制御装置から、より端末に近い無線基地局に移した。こうすることで、無線基地局と端末間的高速フィードバックループが可能になり、無線状況に応じた最適な変調方式と符号化率が選択できる。そして、これら選択アルゴリズムとスケジューリング機能とが連携することで、基地局の感応性を高めることができる。

しかし、リリース5のHSDPAでは、呼設定時の制御信号のやり取りに個別チャンネルを利用していることや、シェアドチャンネルに附随する個別チャンネルでモビリティ制御を行っていることなど、レイヤ3制御情報は、リリース99で定義された個別チャンネルを利用したままであった。このため、伝送路遅延の改善は、ユーザデータについてのみ実現されているだけである。また、HARQのACK/NACK信号の誤検出によるデータのスループットの低下も意識され始めた。そこで、リリース6では、2点の修正が盛り込まれた。1点目は、HSDPAを適用するデータを制御データ（DCCHにマッピングされるデータ）にまで拡張することである。これによって、制御データの高速送信も可能になり、伝送路遅延を抑えることができた。さらに、同じくリリース6で仕様化されたHSUPA（High Speed Uplink Packet Access：上りデータの高速化技術）を併用することで、呼設定時の制御コネクション確立時間や端末の移動に伴うセルチェンジ制御に要する時間の大幅な短縮も実現できるようになった。2点目は、HARQのACK/NACK信号の前後にPreambleおよびPostambleを付加することである。これによって、ACK/NACK信号の認識度が高まり、信号の誤検出によるデータのスループット低下を防げるように

なった。

現在、開発が進められているリリース7のHSDPAでは、パケット非伝送状態の特性改善を図ることや、さらなるセルキャパシティの向上を予定している。これは、データ伝送が断続的なVoIPのようなサービスを意識したものである。具体的な検討課題として、通信データが一時的になくなるDRX/DTX状態におけるオペレーションを改善することや、共有チャンネル（HS-DPCH）上の自分あてデータの所在を示すシェアド制御チャンネル（HS-SCCH）をモニタリングしない動作モードを導入することなどが挙げられている。

HSDPA受信性能改善技術

本章ではHSDPAの端末における受信性能を改善する技術を紹介する。前々章では高速伝送を実現するための主要な技術としてAMCを示したが、このAMCを実現するためには、電波の受信状態を正確に推測する必要がある。しかし、実際はマルチパスフェージング（ビルなどの多重反射）や雑音によって正確な推定をすることは難しい。また、これらの影響により従来の受信技術では通信速度が低下するという課題があった。前者の課題ではSIR推定技術の高精度化が必要になり、後者に対してはイコライザの研究が多数行われている。

(1) SIR推定

SIR推定精度が悪い場合、最適な変調方式と符号化率を選択することができなくなる。一般にSIR推定には比較的長い測定時間が必要だが、高速移動の場合、測定時間内の電波の変動により誤差が生じてしまう。例えば図-4の点線で示すように移動速度が

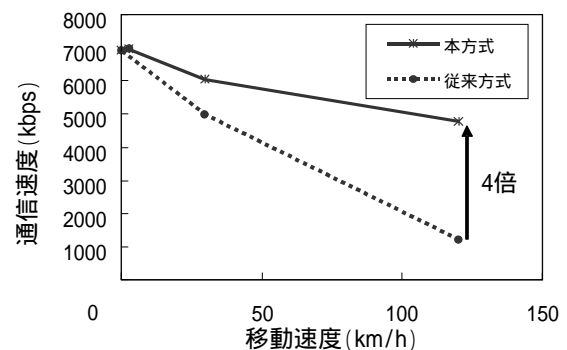


図-4 SIR推定に関する提案方式の効果
Fig.4-Effect of proposed SIR estimation method.

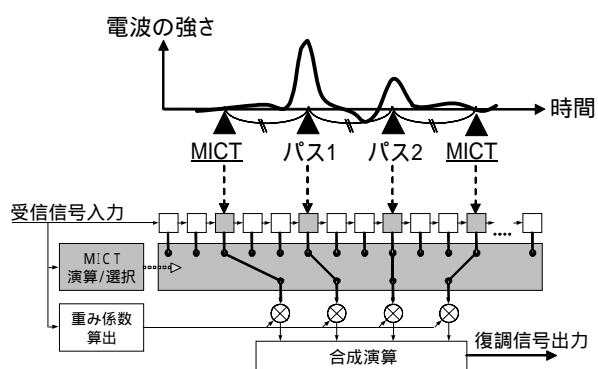


図-5 CCMRM (Chip Correlation MMSE Receiver with MICT) の構成

Fig.5-Block diagram of CCMRM (Chip Correlation MMSE Receiver with MICT).

速い場合はSIR推定精度の劣下により通信速度（スループット）が低下する。これを解決する手法として、従来は対象となる測定時間以外のチャネル推定値も用いていたが、それに対し測定時間内のすべての同一チャネル推定値を用いる方法がある。これにより実線で示すように通信速度を大幅に改善できる。

(2) イコライザ

W-CDMAではRAKE受信機の適用が一般的だが、マルチパスにより受信性能が劣化するという課題がある。その劣化を防ぐためにイコライザが検討されている⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾。イコライザはマルチパスによって生じた受信信号の歪^{ひずみ}を除去する技術で、SWCE (Sliding Window type Chip Equalizer), NLMS (Normalized Least Mean Square), RLS (Recursive Least Square) など様々なアルゴリズムが知られている。しかし、これらの方式はハードウェア実装規模が大きいうという難点があり、端末への実装には適さないことが多い。この課題を解決する手法としてCCMRM (Chip Correlation MMSE Receiver with MICT)⁽⁸⁾が提案されている。その構成を図-5に示す。CCMRMではマルチパス干渉の低減に有効な特定のタイミング (MIST: Multi-path Interference Correlative Timing) の信号のみを選択して信号処理することによりハードウェア実装規模の小型化を実現している。図の構成例では四つの信号の処理を行っている。これに対し従来のイコライザではすべての受信信号 (マルチパス) に対して信号処理を行うためハードウェア実装規模が非常に大きくなる。

スループット性能を図-6に示す。CCMRM方式を

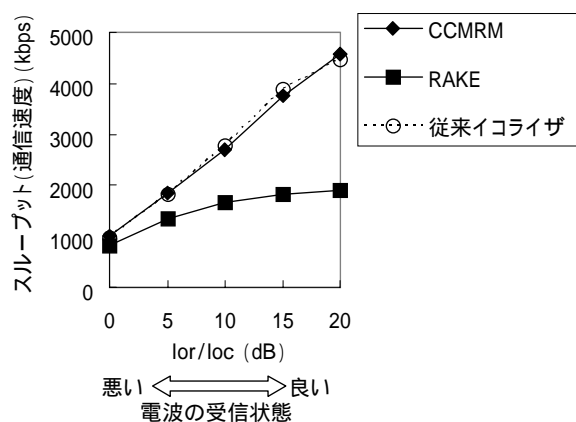


図-6 CCMRMのシミュレーション結果
Fig.6-Simulation results of CCMRM.

導入することにより、従来のRAKE受信機と比較して、電波の受信状態が良い場合には2倍以上の性能改善が可能となる。また、少ないハードウェア規模で従来のイコライザと同等の性能を得ることができる。

む す び

HSDPAの導入により、下りパケットの高速化が達成され、多種多様なマルチメディアサービスが現実のものになると考えられる。HSDPAの適用に当たり、電波状況の正確な把握やマルチパスによる歪除去といった技術を導入することにより、さらなる性能改善が見込める。今後さらに、上りパケットの高速化 (HSUPA: High Speed Uplink Packet Access) や、下りリンクの高速化が期待されており、これらの実現に向けた新たな研究開発に取り組んでいく予定である。

参 考 文 献

- (1) 川村輝雄ほか：HSDPAにおけるマルチパス干渉キャンセラとチップ等化器の特性比較．信学技報，RCS2001-237，p.89-96，2002．
- (2) 石井啓之ほか：W-CDMA下り回線パケット伝送方式における線形等化器の適用効果．電子情報通信学会総合大会，B-5-20，p.479，2003．
- (3) 中森武志ほか：WCDMA HSDPA屋外実験における線形等化器を適用した場合のスループット特性．電子情報通信学会ソサイエティ大会，B-5-27，p.361，2004．
- (4) G. Kutz, et al. : On the Performance of a Practical

Downlink CDMA Generalized RAKE Receiver .
VTC2002 , Fall .

- (5) 有吉正行ほか：W-CDMA上り回線における2アンテナ時空間G-RAKE受信機の特性評価．電子情報通信学会ソサイエティ大会，B-5-38，p.372，2004．
- (6) 松本眞理子ほか：HSDPAにおけるブラインド雑音推定を用いたMMSE制御型チップ等化器．電子情報通

信学会ソサイエティ大会，B-5-30，p.364，2004．

- (7) 松本眞理子ほか：HSDPA用端末用MMSEチップ等化器における高精度チャネル分離法の検討．電子情報通信学会総合大会，B-5-120，p.569，2005．
- (8) T. Hasegawa, et al. : A Chip Correlation MMSE Receiver with Multipath Interference Correlative Timing for DS-CDMA systems . VTC2005 , Spring .

