

HSDPA の概要および 無線ネットワーク装置開発

2006年8月よりサービスを開始したHSDPAは、W-CDMAのさらなる高速化、低コスト化、低遅延化を目的に開発した。HSDPAの技術的特徴および無線ネットワーク装置における機能開発について解説する。

ごとう よしかず	まつたに ひでゆき
後藤 喜和	松谷 英之
おおやね ひでひこ	ふかざわ けんじ
大矢根 秀彦	深澤 賢司

1. まえがき

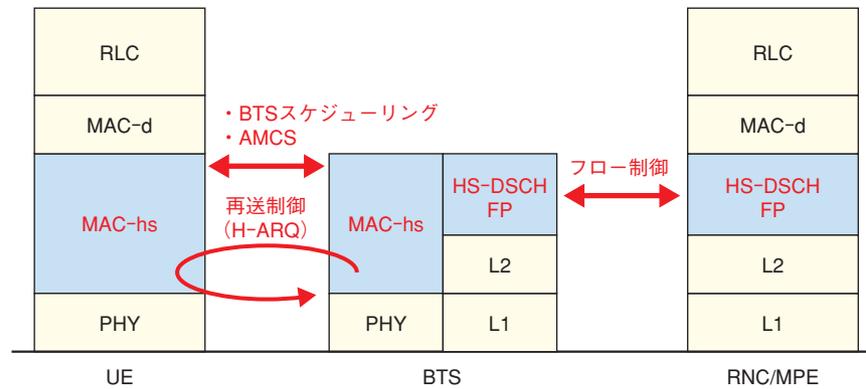
2001年10月よりW-CDMAによるFOMAサービスが開始されて以来、日本におけるFOMAサービスの加入者は2006年6月にPDCの加入者数を上回り、2006年8月には2800万を越え、今後もさらに増大することが予想されており、第3世代への移行が順調に進んでいる。一方、インターネットなどのIP技術の普及により、さまざまな通信サービスにおいてパケット伝送の需要が急増しており、同時に通信料金の低廉化も求められている。

このような状況の中、低コスト化・高速化・低遅延化を要求条件にしたHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）が3GPP（3rd Generation Partnership Project）[1]において標準化され[2]、ドコモではHSDPAの商用サービスを2006年8月より開始した。HSDPA導入の目的は、無線基地局（BTS：Base Transceiver Station）におけるセルスループットの向上（セル当りの収容加入者数の増大および情報1bit当りの設備の低コスト化）、ユーザスループットの向上（データ伝送速度の高速化）および低遅延化である。

本稿では、無線ネットワーク装置群において新規に開発されたHSDPAの技術的特徴、およびBTS、無線ネットワーク制御装置（RNC：Radio Network Controller）^{*1}、マルチメディア信号処理装置（MPE：Multimedia signal Processing Equipment）^{*2}における機能の実現方法について解説する。

*1 無線ネットワーク制御装置：FOMAネットワークにおいて3GPP上規定されている無線回線制御や移動制御を行う装置。

*2 マルチメディア信号処理装置：FOMAネットワークにおけるパケットの再送制御や音声符号化を行う装置。3GPP上はRNCで行う機能として規定されている機能の一部が集約され、RNCとは物理的に別の装置となっている。



HS-DSCH FP (Frame Protocol) : HS-DSCHにマッピングされるユーザデータのRNCとBTSとの間における伝送プロトコル。

図1 プロトコルスタックおよび技術的特徴

2. HSDPAの特徴

HSDPAにおける各装置間のプロトコルスタックおよび技術的特徴を図1に示す。HSDPAでは、BTSと移動端末(UE: User Equipment)間の無線区間において、MAC-hs (Medium Access Control-HSDPA)^{*3}再送制御、BTSスケジューリング、適応変調符号化技術 (AMCS: Adaptive Modulation and Coding Scheme) を適用することにより、伝送遅延の低減、無線利用効率の向上、伝送速度の高速化を実現する[3]。さらにHSDPAでは、無線区間において伝送速度が変動するため、その変動に応じたデータをMPEからBTSの有線区間において適切に送信するために、同区間にてフロー制御を行う。これにより、HSDPAで用いられる移動制御に対しても適切な動作が可能となる。以下に、各技術について概要を説明する。

2.1 MAC-hs 再送制御

W-CDMAで用いられるMPEとUE間のRLC (Radio Link Control)^{*4}再送制御に加え、BTSとUE間にMAC-hs再送制御を新たに行うことで、伝送遅延の低減を実現する。さらに、ハイブリッド自動再送要求 (H-ARQ: Hybrid Automatic Repeat reQuest)^{*5}を用いてBTSより再送されたデータと過去に受信されて復号できなかったデータを合成することにより、RLC再送制御で用いられるARQよりも少ない再送回数で復号することが可能となり、受信品質の向上と効率の良い伝送を実現する。

*3 MAC-hs: HSDPAのためのメディアアクセス制御 (MAC) のサブレイヤプロトコル。フロー制御、送信優先順位付け、順序保証制御、データの再送制御などを行う。
*4 RLC: W-CDMAのためのデータリンクレイヤプロトコル。データの再送制御などを行う。

2.2 BTSスケジューリング・AMCS

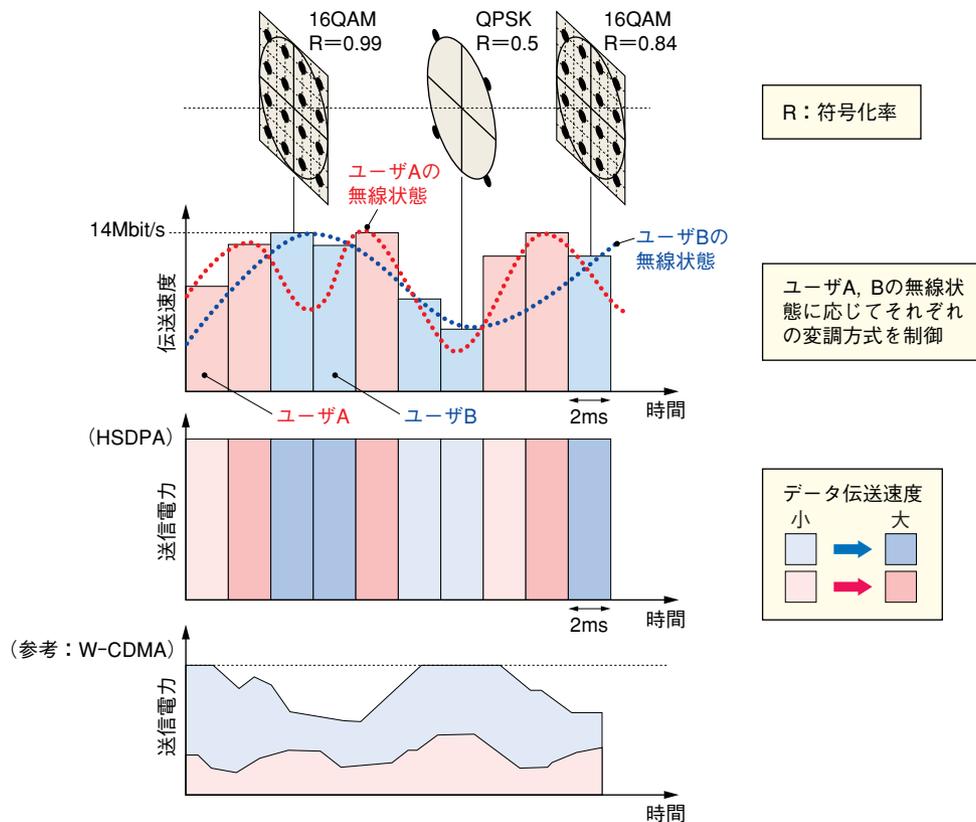
BTSスケジューリングおよびAMCSの概要を図2に示す。W-CDMAでは各ユーザに個別物理チャネル^{*6} (DPCH: Dedicated Physical CHannel) を割り当てるのに対し、HSDPAでは複数のユーザが共有物理チャネル (HS-PDSCH: High Speed-Physical Downlink Shared CHannel) を共有し、各ユーザの無線状況に応じて2msごとに割り当てるユーザを選定するBTSスケジューリングを行っている。その際に、無線環境の比較的良好なユーザを選ぶことにより比較的高速な伝送速度でデータを送信する機会が増え、無線環境にかかわらずランダムにユーザを割り当てる場合よりもセルスループットが向上し、その結果、無線利用効率が向上する。

また、W-CDMAでは無線環境の変動に対して送信電力制御を行うことにより、伝送レートを一定に保ちつつ所定の受信品質を達成しているのに対し、HSDPAでは送信電力を一定とし、無線環境の変動に応じて送信データの変調方式・誤り訂正符号化率・使用コード数を適応的に変化させて伝送するAMCSを行っている。AMCSを高速 (最短2ms周期) に行うことにより無線環境に応じた伝送速度が達成でき、無線利用効率の向上、伝送速度の高速化を実現する。

2.3 フロー制御

HSDPAはAMCSにより無線環境に応じて無線伝送速度が変動し、さらに、HS-PDSCHを用いているため同時接続数に応じて各ユーザ当りの無線伝送速度が変動する。そこ

*5 ハイブリッド自動再送要求: 自動再送要求 (ARQ) と誤り訂正符号を組み合わせることで、再送時に誤り訂正能力を向上させ再送回数を低減させる技術。
*6 物理チャネル: 無線インタフェースにおいて周波数などの物理リソースによって分けられるチャネル。



QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) : 4位相偏位変調。4値の情報を4つの位相状態に対応させたデジタル変調方式。

図2 BTSスケジューリングおよびAMCSの概要

で、MPEとBTS間の有線区間のデータ伝送において、無線区間の伝送速度の変動に追従させるフロー制御を行っている。フロー制御を適切に行わないと、MPEとBTS間の伝送速度が無線伝送速度より速い場合、BTSのMAC-hs機能部に無線伝送能力以上の信号が流入し、BTSでの信号滞留時間が増大する。BTSにおいて信号が過剰に滞留すると、Serving HS-DSCH (High Speed-Downlink Shared CHannel) Cell Changeの際にServing HS-DSCH Radio Linkの切替元セルにおいてデータを送信しきれないためデータ廃棄が発生する。詳細は後述の3.3節で述べる。一方、BTSのMAC-hs機能部への信号の流入量が無線伝送能力に満たない場合、BTSにおける送信データが枯渇し、無線利用効率が低下する。

さらにHSDPAは伝送レートが高速であるため、有線伝送路の帯域が十分に確保できない場合、信号廃棄が発生する可能性があることから、伝送路帯域に合わせたフロー制御も行っている。

フロー制御の概要を図3に示す。フロー制御を実現する制御信号として、受信側 (BTS) が送信側 (MPE) に伝送速度を指定するCapacity Allocation信号、および送信側が受信側にCapacity Allocation信号を要求するCapacity Request信号を新たに追加した。受信側のBTSバッファにおいてデータの滞留時間が短い場合、データ枯渇を防ぐためにCapacity Allocation信号において高速な伝送速度を要求する。一方、長時間滞留している場合、Capacity Allocation信号において低速な伝送速度を要求する。送信側ではCapacity Allocation信号で指定された伝送速度によりデータを送信する。

3. HSDPAにおける移動制御

チャネル構成、ハンドオーバー処理およびServing HS-DSCH Cell Changeについて解説する。

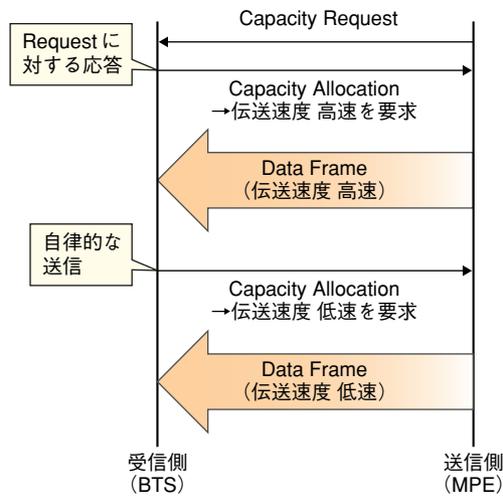


図3 フロー制御の概要

3.1 チャンネル構成

1UEがHSDPAでパケット通信を行う際に無線インタフェースで用いるチャンネル構成を図4に示す。

上りリンク (UEからネットワーク方向) はW-CDMAのパケット通信時と同じチャンネル構成であり、制御情報の伝送は論理チャンネル^{*7}である個別制御チャンネル (DCCH: Dedicated Control CHannel), ユーザデータ (パケットデータ, 音声, 画像など) の伝送は個別通信チャンネル (DTCH: Dedicated Traffic CHannel) が用いられる。これらはそれぞれトランスポートチャンネル^{*8}の個別チャンネル (DCH: Dedicated CHannel) に別々にマッピングされ、さ

らに同一の物理チャンネルであるDPCHに多重化されたうえで伝送される[4]。

これに対して, 下りリンク (ネットワークからUE方向) は, HSDPA特有のチャンネル構成となっている。下りリンクのユーザデータを伝送するDTCHは, UE個別のトランスポートチャンネルのHS-DSCHにマッピングされて, 物理チャンネル上には複数のHS-DSCH間で共有されるHS-PDSCHにマッピングされる。下りリンクの制御情報はユーザ個別の物理チャンネルであるDPCHにて伝送されるため, ユーザデータと制御情報がそれぞれ別の物理チャンネルで伝送されることとなる。なお, HSDPAで用いられるDPCHはA-DPCH (Associated-Dedicated Physical CHannel) と呼ばれる。

3.2 ハンドオーバー処理

HSDPAでパケット通信を行っている最中のハンドオーバー状態を図5に示す。A-DPCHは複数の無線リンク (RL: Radio Link)^{*9}で伝送され, それらのA-DPCHは基地局内ハンドオーバー (SHO: Soft HandOver) や基地局間ハンドオーバー (DHO: Diversity HandOver) が行われる。これらのA-DPCHとHS-PDSCHが伝送されるRL群はアクティブセットと呼ばれる。HS-DSCHで伝送される信号は, アクティブセットの中のいずれか1つのRL上のHS-PDSCHで伝送される。このようにアクティブセット内でA-DPCHはSHOやDHOが行われるのに対し, HS-PDSCHはSHOや

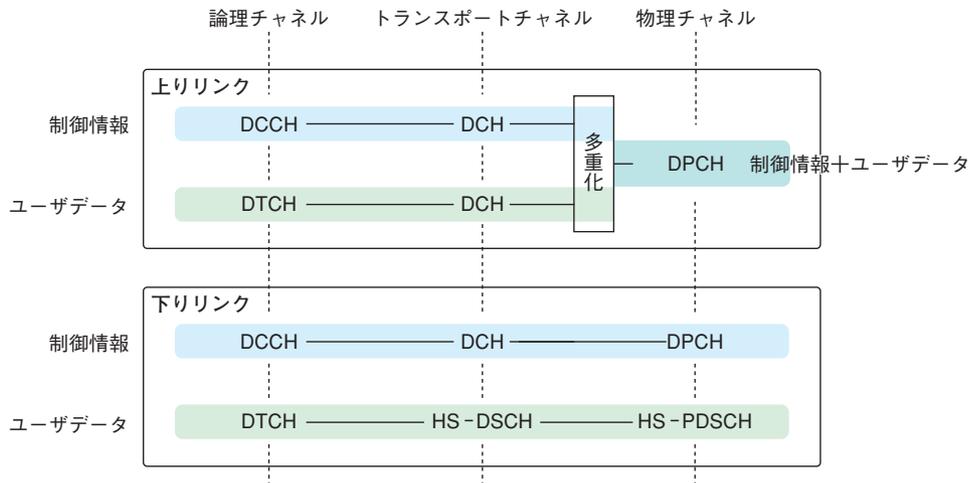


図4 HSDPAで用いられるチャンネル構成

*7 論理チャンネル: 無線インタフェースにおいてどのような情報 (ユーザデータ, 制御情報など) を伝送させるかによって分けられるチャンネル。
*8 トランスポートチャンネル: 無線インタフェースにおいてどのような特性 (伝送速度, 誤り訂正の強度など) で伝送させるかによって分けられるチャンネル。

*9 無線リンク: 移動端末と無線アクセスネットワークのアクセスポイントであるセル間の論理的なつながり。

DHOが行われない。なお、該当UEに割り当てられたHS-PDSCHが伝送されるRLはServing HS-DSCH Radio Linkと呼ばれる。

3.3 Serving HS-DSCH Cell Change

3.2節で述べたように、Serving HS-DSCH Radio Linkは、アクティブセットの中のいずれか1つのRLとなる。RNCは、ユーザスループットの向上を目的としてアクティブセットの中でUEでの受信品質が最良となるRLがServing HS-DSCH Radio Linkになるように制御している。したがって、UEの移動に伴い、最良品質となるRLがアクティブセットの中で変更された際には、それに追従してServing HS-DSCH Radio Linkを最良品質となるRLに切り替える必要がある。この移動制御をServing HS-DSCH Cell Changeと呼ぶ[2]。

Serving HS-DSCH Cell Changeシーケンスを図6に示す。ここでは、Serving HS-DSCH Radio Linkを異なるBTS間で切り替える例を示している。

アクティブセットにおける各RLの品質が変動し最良品質となるRLが入れ替わり、どのRLが最良品質になったかをUEから報告されると(図6①)、RNCは最良品質になった

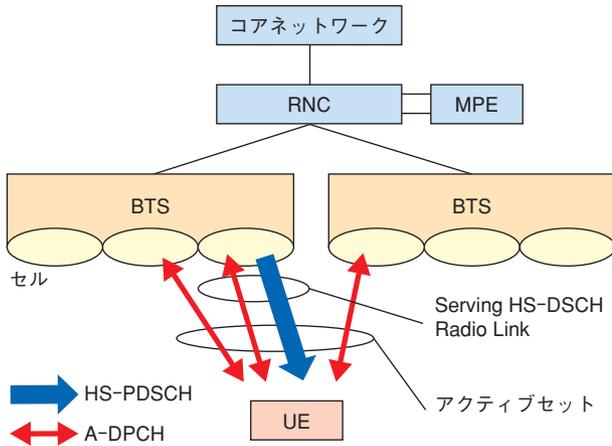


図5 HSDPAでのハンドオーバー状態

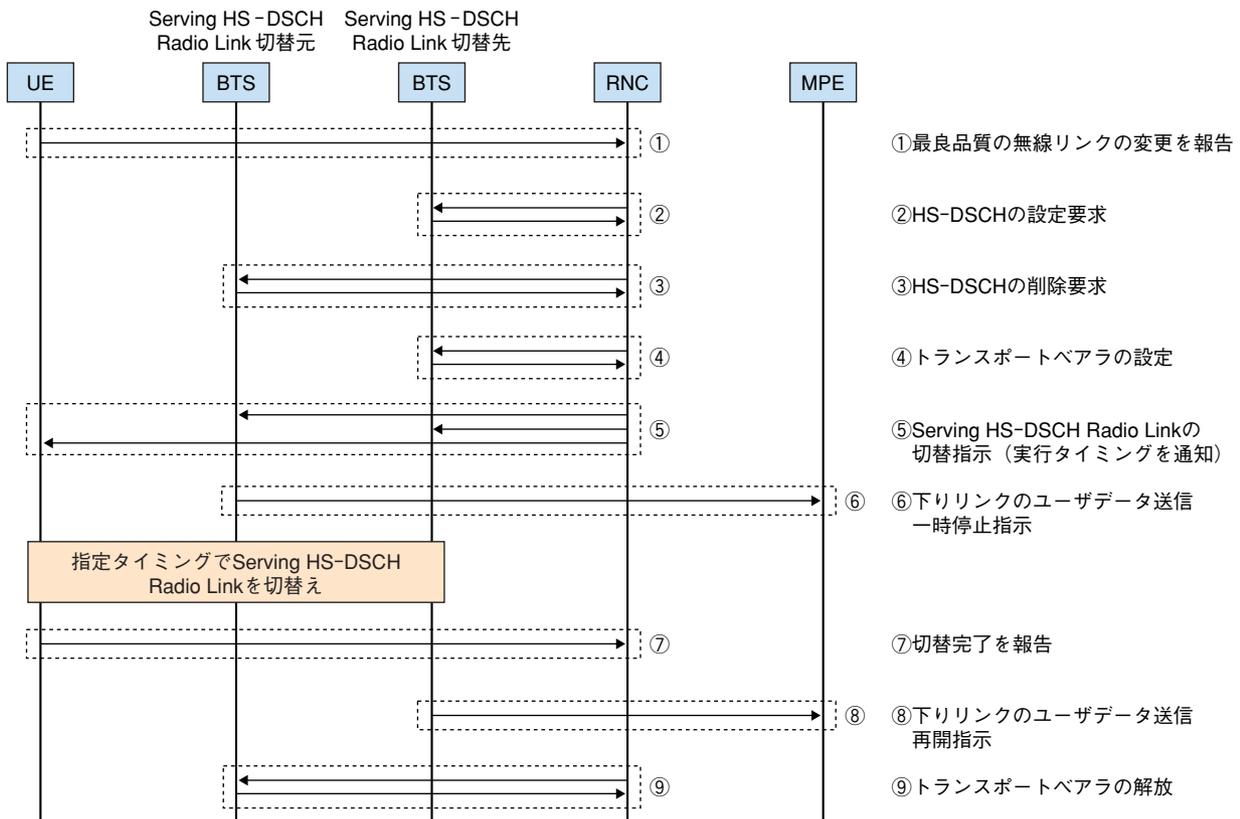


図6 BTS間Serving HS-DSCH Cell Changeシーケンス

RLを持つBTSに対してHS-DSCHの設定を要求し(図6②), 現在Serving HS-DSCH Radio Linkを持つBTSへHS-DSCHの削除を要求する(図6③). その後, RNCは新たにHS-DSCHを設定するBTSとRNC間のトランスポートベアラ^{*10}を設定する(図6④). 続いて, RNCはServing HS-DSCH Radio Linkの切替先と切替元のBTSおよびUEへServing HS-DSCH Radio Linkの切替指示を行う(図6⑤). なお, Serving HS-DSCH Radio Linkの切替は, 切替先と切替元のBTSおよびUEとでタイミングを合わせて行われるため, 当該切替指示で切替実行タイミングが通知される. また, 切替タイミングでユーザデータが欠落してスループットが低下することを防止するため, 当該切替指示を切替元BTSが受けると, 2.3節のフロー制御の機能により, MPEへ下りリンクのユーザデータの送信停止指示(Capacity Allocation信号)を送信し(図6⑥), 下りリンクのユーザデータの送信を一時停止させる. Serving HS-DSCH Radio Linkが切替先のBTSに移されたタイミングで, UEからRNCへ切替完了の信号が通知され(図6⑦), 切替先BTSが下りリンクのユーザデータの送信再開を指示(Capacity Allocation信号)する(図6⑧). これにより切替先のServing HS-DSCH Radio Linkにて下りリンクのユーザデータが一時停止

中にMPEが受信した分も含めて伝送されるようになる. HS-DSCHを解放したBTSとRNC間のトランスポートベアラを解放し(図6⑨), 当該シーケンスは終了となる.

4. BTSにおけるHSDPA機能の実現

HSDPAサービスを実施するうえで重要なことは, HSDPAエリア展開を早期かつ経済的に進めるために, BTSの既設装置に対して, 最小限の変更でHSDPA機能(HSDPA関連のトランスポートチャンネル/物理チャンネル, H-ARQ, AMCS, フロー制御など)を実現することである.

本章では, BTSのHSDPA機能を実現する技術およびBTSのHSDPA機能について述べる.

4.1 BTSのHSDPA機能を実現する技術

既存の4キャリア6セクタBTS[5]のHSDPA機能を実現する技術について説明する. 4キャリア6セクタBTSの構成を図7に示す. 4キャリア6セクタBTSは, 変復調装置(MDE: Modulation and Demodulation Equipment), 送信増幅装置(AMP: AMplifier), 光張出しTRX装置(OF-TRX: Optical Feeder Transmitter and Receiver)^{*11}およびRF光伝送装置(MOF: Multi-drop Optical Feeder)^{*12}から構成

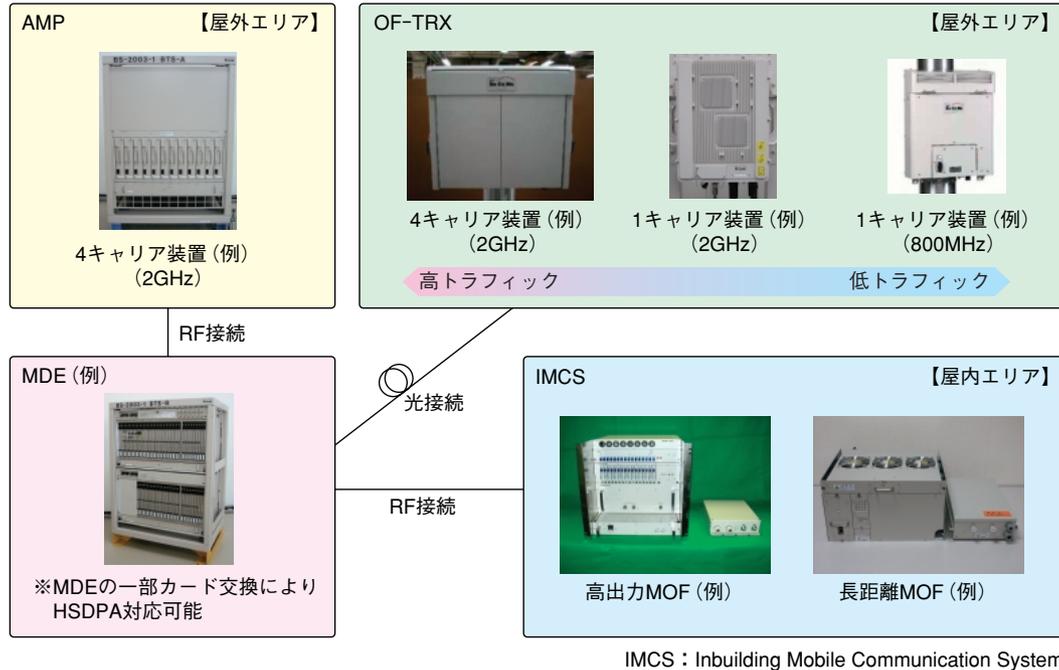


図7 4キャリア6セクタBTSの構成

*10 トランスポートベアラ: ノード間でユーザデータを転送するための回線。

*11 光張出しTRX装置: MDEと光ファイバで接続される装置であり, 最大20kmまで張り出して使用可能である。

*12 RF光伝送装置: 光ファイバを利用してBTSのRF信号を中継する装置であり, 親局装置と子局装置から構成される。

され、高トラフィックエリアから低トラフィックエリア、また屋外エリアから屋内エリアまで、さまざまな領域に柔軟に適用可能な装置である。

4キャリア6セクタBTSにてHSDPA機能を最小限の変更で実現するために、MDEに接続されるAMPやOF-TRXなどの各装置に改造を加えず、MDEだけを変更することでHSDPA機能を実現するよう開発を行った。その結果、MDEのベースバンド信号処理部（BB：Base Band signal processor）カード、呼処理制御部（CP-CNT：Call Processing Controller）カードなど、一部のカードを交換することでHSDPA機能を実現可能とした。

MDEの一部のカード交換のみでHSDPA機能を実現するためには、いくつかの課題をクリアする必要がある。その中でもTTI（Transmission Time Interval）^{*13}を2msにて、HSDPA送信電力を測定することへの対応が大きな課題であった。HSDPA送信電力測定に関しては、総送信電力だけでなくHSDPAで使用している送信電力のみ測定する機能と既存装置において100ms単位で測定していた電力測定を2ms単位で高速に測定する機能が必要であった。HSDPAで使用している送信電力のみ測定するためには、チャンネル多重前に測定する必要がある。既存の測定ポイントである送信電力端では困難なため、測定ポイントをBBカードに変更した。また、BBカード内に閉じて電力測定を実施することにより、2ms単位の高速度測定も可能となった。これにより、既設のAMP、OF-TRXおよびMOFを交換することなく、MDEの一部カード交換だけで、容易にHSDPA化が実現でき、早期エリア展開を可能とした。

また、HSDPA対応の新規開発カードについては、さらなる経済化も実現している。HSDPA用CP-CNTカードは、高性能CPUを搭載することにより処理能力が約2倍となり、1チャンネル処理能力での比較では、約40%程度の価格低減を実現している。また、HSDPA用BBカードは、新たなDSP（Digital Signal Processor）^{*14}を採用し、さらなる高集積化を実施することにより1カードで処理可能なチャンネル数を約2倍とすることに成功した。また、既存チャンネルとHSDPAチャンネルを1枚のカードの中で混在できるようにしており、BBリソースを有効利用可能としている。さらにチャンネル当りの消費電力としては約50%削減することに成功し、チャンネル当りの価格においても約30%の低減を実現している。

*13 TTI：トランスポートチャンネルで伝送される1データ当りの伝送時間。
 *14 DSP：デジタル信号処理に特化したプロセッサ。
 *15 16値直交振幅変調：デジタル変調方式の1つで、振幅と位相の異なる16通りの組合せに対して、それぞれ1つの値を割り当てることにより、同時に4bitの情報を送信可能。
 *16 変調精度：信号を復調したときに、理想の値とどれだけ乖離しているか

4.2 BTSのHSDPA基本仕様

BTSのHSDPA基本仕様について表1に示す。無線特性としては、HSDPA化に伴い新たに16値直交振幅変調（16QAM：16 Quadrature Amplitude Modulation）^{*15}に対応し、変調精度^{*16}は12.5%を満たしている。また、HS-PDSCHをキャリア・セクタ当たり、最大15コードまで対応可能であり、3GPPで規定されているすべてのHS-DSCH physical layer categories（Category1～12）に適用している。HSDPA収容ユーザとしては、キャリア・セクタ当たり最大96ユーザまで収容でき、伝送速度は約14Mbit/sまで可能である。さらに、新たなサービスにも対応可能なように、MAC-d Flow^{*17}数、MAC-hs priority queue^{*18}数は、ユーザ当たり最大8個まで割当て可能としている。

また、基本仕様のほかにBTSでは以下の2つの補助機能も有している。

- ① HSDPA用カードへの交換後は、ソフトウェアを変更することなく、局データの変更のみでHSDPAサービスを開始可能とする機能
- ② 予備HSDPA用BBカードを極力設けるようなチャンネル割当制御を実施し、カード故障時は、既存チャンネルおよびHSDPAチャンネルを高速に予備HSDPA用BBカードへ切り替え、通信が切断することなく復旧可能な機能

5. RNC/MPEにおけるHSDPA機能の実現

RNCおよびMPEのHSDPA機能については、BTS同様にエリア展開の早期化および経済化を考慮して既存装置を可能な限り流用し、実現している。RNCは3章で述べた機能

表1 BTSのHSDPA基本仕様

変調方式	QPSK, 16QAM
変調精度	12.5%
情報転送速度	最大 約14Mbit/s
HS-PDSCHコード数	最大15コード/キャリア・セクタ
HS-SCCHコード数	最大4コード/キャリア・セクタ
MAC-d Flow数	最大8個/ユーザ
MAC-hs priority queue数	最大8個/ユーザ
H-ARQの同時起動プロセス数	最大8プロセス/ユーザ
HSDPAユーザ数	最大96ユーザ/キャリア・セクタ

HS-SCCH（High Speed-Shared Control Channel）：HS-PDSCHの各TTIでの送信先UEや変調方式の指定などを行う制御信号用チャンネル。

を示す指標。

*17 MAC-d Flow：HS-DSCH FPを用いて、RNCからBTSへユーザデータを送信制御する単位。
 *18 MAC-hs priority queue：MAC-hsレイヤにおける送信キュー。各送信キューには、優先度クラスが定義されている。

を主にソフトウェアで実現しており、MPEについても2.3節で述べたフロー制御機能をソフトウェアで実現している。本章では、RNC装置およびMPE装置のHSDPA機能と対応方法について述べる。

5.1 RNC

既存のRNCに、HSDPU (High Speed Data Processing Unit) 機能部を追加するだけで、HSDPA機能を実現可能とした。HSDPU機能部とは、HSDPUモジュールまたはHSDPUカードとなる。

HSDPU機能部は、主にMPEからのデータフレームを受信してHS-DSCHデータフレームに変換しBTSに転送する機能、およびBTS-MPE間のフロー制御の制御信号(Capacity Allocation信号/Capacity Request信号)の変換・中継を行う機能を有する。HSDPU機能部は、ユーザ当りの上りデータピークレートは384kbit/s、下りデータピークレートは将来の拡張のため、ハードウェアの改造なしで約14Mbit/sまで処理が可能となっている。

5.2 MPE

既存のMPEに、既存の信号処理カードのSPUVOD (Signal Processing Unit for VOice/Data) を高速化した新規信号処理カードのSPUHSP (Signal Processing Unit for High Speed Packet) を追加するだけで、HSDPA機能を実現可能とした。具体的には、主にBTSからのフロー制御の制御信号であるCapacity Allocationを受信して指定された伝送速度

にて下りデータ量を送信制御する機能、BTSに対するCapacity Request送信機能を有している。

SPUHSPの処理能力については、既存のSPUVODカードに比べて1カード当りの収容数および処理帯域の向上を図っており、処理帯域においては約10倍の能力を具備している。また、ユーザ当りの上りデータピークレートは384kbit/s、下りデータピークレートは将来の拡張のため、ハードウェアの改造なしで、約14Mbit/sまで可能である。

6. あとがき

HSDPAの無線ネットワーク装置開発に関する技術的特徴(MAC-hs再送制御機能、BTSスケジューリング機能、適応変調符号化機能、フロー制御機能、移動制御機能)、およびBTS、RNC、MPEにおけるHSDPA機能の実現方法について解説した。

文 献

- [1] <http://www.3gpp.org/>
- [2] 3GPP, TS 25.308 V5.7.0 (2004-12): "High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; stage 2."
- [3] H. Ishii, A. Hanaki, Y. Imamura, S. Tanaka, M. Usuda and T. Nakamura: "Effects of UE Capabilities on High Speed Downlink Packet Access in W-CDMA System," Proc. of IEEE VTC 2004 spring, Milan, Italy, May 2004.
- [4] 尾上, ほか: "無線アクセスネットワーク技術," 本誌, Vol. 9, No. 3, pp. 6-16, Oct. 2001.
- [5] 引馬, ほか: "FOMAエリアの経済的拡大に向けた無線基地局装置の開発," 本誌, Vol. 12, No. 1, pp. 50-56, Apr. 2004.