

NTTドコモ様向けLTE無線基地局装置

Evolved Node B on LTE System for NTT DOCOMO

● 渡辺裕明 ● 平沢 哲 ● 鈴木恭助 ● 狩野竜一

あらまし

富士通は、NTTドコモ様向けLTE無線基地局装置(eNodeB)の開発を行った。

LTE(Long Term Evolution)は3.9世代移動通信システムに位置付けられ、ユーザあたり100 Mbps以上の伝送スループットを目指して標準化が行われた方式である。

開発に当たっては、小型化と保守性の向上、既存設備の有効活用、将来的な機能エンハンスへの柔軟な対応を開発目標に掲げて設計を行い、機能部の最適化と集約化による装置の大幅な小型化、第3世代移動通信システムとの共用構成機能、ソフトウェア変更による機能エンハンスを実現するeNodeBを完成した。

本稿では、eNodeBの概要、ハードウェア、ソフトウェア技術の特徴について紹介する。

Abstract

Fujitsu has developed an evolved Node B (eNodeB) for the Long Term Evolution (LTE) mobile communication system of NTT DOCOMO. LTE provides at least 100 Mbps of transmission throughput per piece of user equipment, which is a protocol for 3.9G mobile communication. The eNodeB was developed while taking into consideration its miniaturization, improved maintainability, and easily functional extension in addition to the effective utilization of existing facilities. As a result, Fujitsu has miniaturized the eNodeB by aggregating and optimizing functions, given it a configuration that can be shared with 3G systems, and enhanced it by conducting only a software upgrade. This paper outlines the functions of this eNodeB, and the features of the installed hardware and software technologies.

ま え が き

富士通は、NTTドコモ様が2010年12月より開始したLTE (Long Term Evolution) サービス「Xi」(クロッシィ)^(注)の主要なインフラ設備となる無線基地局装置 (eNodeB: evolved Node B) を開発した。^{(1)~(3)}

開発に当たっては、実装される機能部の集約による装置小型化と保守性向上、既存設備 (第3世代基地局設備) の有効活用、機能拡張へのフレキシビリティを開発コンセプトに掲げて設計を行った。

本稿では、LTE無線方式の概要と上記コンセプトに基づくeNodeBの構成および特徴について紹介する。

LTE無線方式の概要

LTEは、周波数利用効率の向上や高スループットの実現のため、以下の無線方式を採用している。

● マルチパス環境に強い無線アクセス方式

一般に移動通信システムでは無線伝送路での障害物などによる伝送信号の反射、回折により、信号到達時間の異なる複数の信号パスが存在し、直接波との間での相互干渉により、通信品質の劣化を引き起こすことが知られている。このような複数の無線信号パスが存在する状態をマルチパス環境と呼んでいる。

LTEでは、無線アクセス方式としてeNodeBからUE (User Equipment) 方向の下りリンクに、OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)、UEからeNodeB方向の上りリンクに、SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) を用いる。OFDMAはサブキャリアと呼ばれる狭帯域キャリアを複数並列に伝送することにより周波数選択性フェージングの影響を軽減し、CP (Cyclic Prefix) と呼ばれるガードインターバルを信号シンボル先頭に付与することにより、シンボル間干渉を効率良く抑えることが可能なアクセス方式である。このためシングルキャリア方式に比べ、マルチパス環境下での伝送に強いという特徴を持つ。

また上りリンクにおいては、OFDMAの課題である高いピーク対平均電力比 (PAPR: Peak to

Average Power Ratio) を低く抑え、UEの低消費電力化に効果的であることからSC-FDMAが採用されている。

● 適応変調・符号化方式の採用

LTEは、変調方式にQPSK (Quadrature Phase Shift Keying)、16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation)、および64QAM (64 Quadrature Amplitude Modulation) の3方式を採用している。また、eNodeBとUE間の通信品質に応じてこれら変調方式を動的に切り替えるAMC (Adaptive Modulation and Coding) 技術を採用している。本技術により、各UEがそのときの物理的な位置や移動状態、周囲環境に応じて最適な伝送容量/通信品質のサービスを楽しむことが可能となる。

● MIMO技術

MIMO (Multiple Input Multiple Output) は、送受信の双方にアレイアンテナを用いて情報伝送を行う多入力・多出力システムである。今回開発したeNodeBは、下り方向に2×2MIMO技術を採用することにより、多値変調技術を併用し20 MHz帯域で、ユーザあたり100 Mbps以上の下り伝送スループットを達成している。

eNodeBの構成と特徴

今回開発したeNodeBの構成と特徴について説明する。

● 装置構成

eNodeBは、制御・監視制御を行う装置制御カード (CNT)、ベースバンド処理を行うベースバンドカード (BB)、CPRI (Common Public Radio Interface) の多重分離を行うCPRI多重分離カード (CMUX) で構成されるBDE部 (Base station Digital processing Equipment)、およびRE部 (Radio processing Equipment) で構成される。

従来の富士通製装置に比べ、機能集約によって搭載カードの種類を大幅に削減することで、装置の小型化と保守の容易さを実現するシンプルなアーキテクチャを採用した。

なおBDEとRE間は、CPRIと呼ばれる基地局標準の光インタフェースで接続される。⁽⁴⁾

eNodeBの構成を図-1に、外観を図-2に、諸元を表-1に示す。

(注) 「Xi」、「Xi/クロッシィ」は、株式会社NTTドコモの商標または登録商標です。

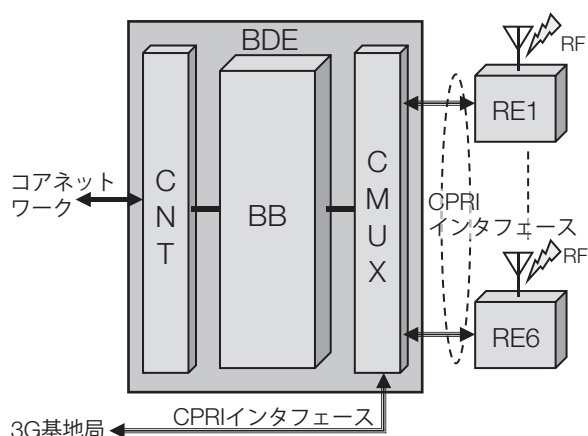


図-1 eNodeBの構成
Fig.1-Block diagram of eNodeB.

表-1 eNodeBの諸元

項 目	諸 元
セクタ・キャリア数	1キャリア×6セクタ
システム帯域幅	5, 10, 15, 20 MHz/キャリア
変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM
RRC connected UE数	840ユーザ/セクタ
最大伝送スループット	送信：150 Mbps (2×2MIMO) 受信：50 Mbps
装置サイズ	600×600×1135 mm

● 第3世代サービスとの共用構成

図-1に示すとおり、CMUXカードは第3世代(3G)無線基地局装置(BTS: Base Transceiver Station)とCPRIインタフェースにより接続され、3G側のIQ信号(W-CDMA信号)とeNodeB側のIQ信号(OFDMA/SC-FDMA信号)を、CMUXカード内で多重分離してRE側へ伝送する。RE側では受信した3G/LTE信号の歪補償、A/D変換、増幅処理を一括して行う。3G/LTE信号をRE上で共用処理することで、同一アンテナを用いた3G/LTEの同一セルエリアでのオーバレイサービスを最少の設備変更で実現可能である。

なお、RE部の特徴については本誌掲載の「LTE/W-CDMA共用高効率電力増幅器」を参照されたい。

次章以降では、BDEの主要機能部の特徴について紹介する。

ベースバンド処理機能 (BB)

● ベースバンド機能

ベースバンド機能を実現するBBカードでは、以

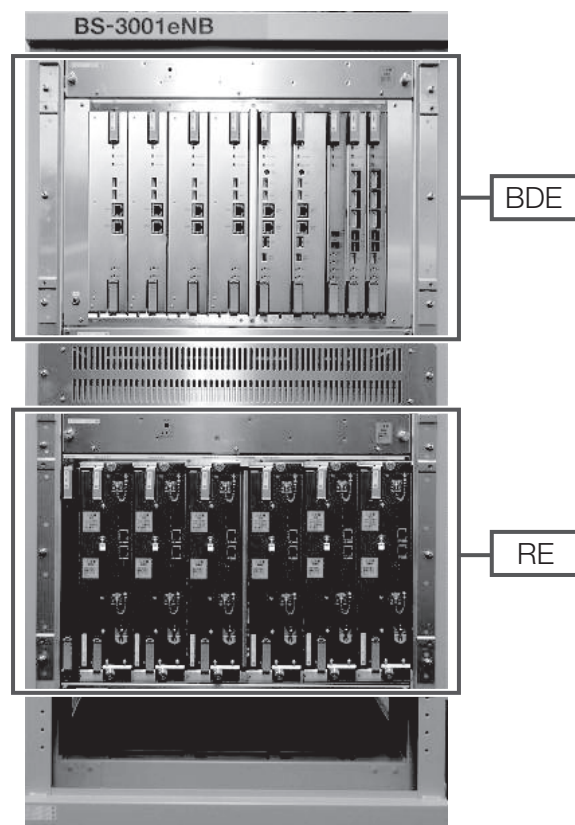


図-2 eNodeBの外観
Fig.2-Appearance of eNodeB.

下の四つのレイヤ処理の機能を具備している。

(1) 物理レイヤ (AMC, 多値変調, MIMOなど)

物理レイヤでは、MAC (Media Access Control) レイヤからのスケジューリング指示により、最適な変調方式や符号化方式、アンテナ多重処理を行う。送受信方式としてシングルアンテナ送信、ダイバシティ送信、ダイバシティ受信、Closed-Loop, およびOpen-loop MIMO送信をサポートする。

(2) MACレイヤ

MACレイヤでは、送受信する情報の内容によって種類が分けられている論理チャネルと、無線インタフェース上の伝送方式によって種類が分けられているトランスポートチャネル間のマッピング処理を行う。また回線の受信品質や接続されているユーザ数などの情報から、無線リソースへのユーザ割当て、および優先度を決定し、最適なりソース割当てを実現する。無線状況が悪い環境に対しては、HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest) による再送・受信合成処理を行うことで、品質を確保した送受信を行う。

(3) RLC (Radio Link Control) レイヤ

RLCレイヤは、UEとeNodeB間でサービスに応じた最適なフォーマットに変換したデータ転送を行う。ARQによる再送機能を持つAM (Acknowledged Mode)、再送機能を持たず遅延が小さいUM (Unacknowledged Mode)、オーバヘッドを持たないTM (Transparent Mode) の3種が使用される。

(4) PDCP (Packet Data Convergence Protocol) レイヤ

PDCPレイヤでは、IPパケットヘッダの圧縮・解凍を行うことで無線リソースを効率的に使用する。またデータの暗号化・復号による秘匿処理を行うことで無線区間のセキュリティを確保する。

● DSP (Digital Signal Processor) の適用

一般的にベースバンド処理には、信号処理を得意とするDSPが採用されているが、物理レイヤについて従来は専用LSIなどが使用されていた。このため標準化動向による仕様変更や機能追加を行うためには、ハードウェアの変更を伴う場合がある。

今回の開発では標準化動向へ柔軟に対応するため、ベースバンドの全機能に対して最新のマルチコア構成のDSPを採用することで、SDR (Software Defined Radio) を実現している。

高性能なマルチコアのDSPを用いるメリットを以下に示す。

- (1) 機能ごと、あるいは処理ごとに実行するコアを分散させることが容易にできる。
- (2) 収容する帯域やセクタ数の変更による処理分割に対応できる。
- (3) 特定のセクタにリソースが集中するような状況において、余力のあるセクタのリソースを振り分けることでトータルの収容数を向上できる。
- (4) リソースシェアリングも実現可能な構成とすることができるため、ベースバンド処理の中でも特に負荷によって処理量変動が大きいスケジューリングの処理に最適である。

● ハードウェア構成

ハードウェア構成の特徴として、すべてのDSPをスイッチングデバイス経由による10 Gbpsの高速インタフェースで接続している。この構成を採用したことで、すべてのDSPが互いに通信することができるため、要求されるシステムの大小に合わ

せたDSPの増設・削減、およびそれに伴う機能配置の変更への対応も可能である。

装置制御処理機能 (CNT)

CNTカードでは、主に以下の機能を備えている。

- ・呼接続機能
- ・装置監視制御機能
- ・伝送路インタフェース機能

呼接続機能は、eNodeBとUEとの発着信接続制御と終話制御を行う機能であり、装置監視制御機能は、装置状態の異常監視や状態制御を行う機能である。また、伝送路インタフェース機能では、局間伝送路におけるIPプロトコル終端処理や通信秘匿のためのセキュリティ処理を行っている。

従来装置において、上記機能は5枚のカードに分割実装される構成となっていた。今回開発したCNTカードでは、装置の小型化と保守性の向上を実現するため、上記機能を1枚のカードに集約している。

CNTカードへの機能集約を実現するためには、ソフトウェア処理が要求性能を満足すること、さらに実装部品数を削減する必要がある。これらの要求に対応するため、CNTカードでは、高性能マルチコアプロセッサを採用している。これにより、ソフトウェア各機能の並列実行が可能となり、高い処理性能を実現している。さらに、従来のハードウェア処理をソフトウェアで実施可能となり、実装部品数を最小限に抑えることに成功している。

また、主信号には、高速シリアル伝送方式を採用している。機能集約を実施すると、信号数の増加という結果をもたらすことになるが、この方式により、信号線数を従来比で約1/4にまで削減が可能となり、カード内の高密度実装とカード間の複数インタフェースを1枚のカードに収容した構成を実現している。

ソフトウェア構成

CNTカードに搭載するソフトウェアは、eNodeBとして呼処理・監視制御処理を行うため、各種ハードウェア制御機能、プロトコル制御機能の各プログラムがリアルタイムで動作できる実行環境を備えている。

ソフトウェア構成としては、eNodeBとしての主

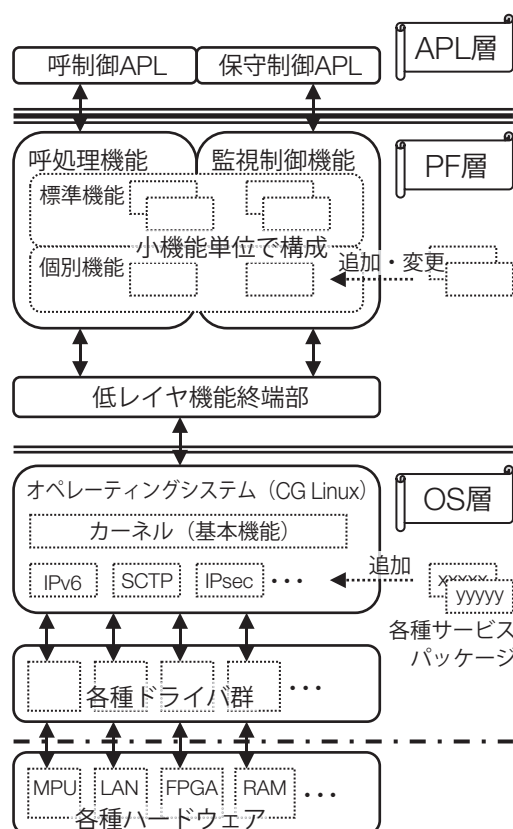


図-3 eNodeB主制御部のソフトウェア構成
Fig.3-eNodeB software structure.

機能（通信処理・監視処理など）を制御するアプリケーションソフトウェア（APL）と、APLからの制御要求に基づいて各機能部を制御するプラットフォーム（PF）・オペレーティングシステム（OS）・ドライバから成っている（図-3）。

APLとPFは、アプリケーションインタフェース（API）で結ばれており、本APIを用いて、PFはAPLからの制御指示を受信・内部処理し、制御内容に応じてOSおよびドライバ群を通じて、ハードウェアの制御を行うことで、eNodeBとしての機能を実現している。開発したPF以下のソフトウェアは、安定動作の確保と、将来予想される機能拡充への耐力、また装置ラインナップ拡充にも適用できる流用性・汎用性を高める構成となっている。

OSは、サービス開発および提供の迅速化、将来的な機能拡張も含め各種機能プロトコルに対応が容易であること、また社会インフラを支える通信機器として、高信頼性が強く求められることから、Carrier Grade Linux (CG Linux)を採用している。

PF層は大きく呼処理機能と監視制御機能に分割

し、APLからの制御指示を並列処理可能な機能部構成とし、要求される呼処理能力と保守機能を、高いパフォーマンスで実現している。PFの各機能部は標準機能と個別機能に分かれており、さらに最小機能単位に分割することで、それぞれの機能部への追加・変更への柔軟な対応、および関連機能部への影響を最小化し、将来的なハードウェア実装条件の変更にも柔軟に対応可能なPF構造を実現している。またPF層とOS層との間に、低レイヤ機能終端部を設定し、OSやハードウェアの制御を担当するドライバ群とのアダプタレイヤを設けることで、ハードウェア・ドライバ変更や、OS変更があっても、上位のPF層およびAPL層への影響を与えない構成となっている。

む す び

本稿では、eNodeBの基本構成、技術的特徴を紹介した。

eNodeBは、高密度実装化、高性能DSPを用いたベースバンド機能のSDR化、装置制御部のマルチコアプロセッシング化などのトレンド技術を積極的に導入し、搭載カード種別・枚数削減による装置の大幅な小型化と保守性の向上、および今後機能拡張の可能性が高いベースバンド機能や通信プロトコル機能において、ソフトウェア変更だけでエンハンス対応可能な装置構成を実現している。

またCPRI多重分離機能を実装し、3Gシステムとの共用機能を具備することで、既存3G設備とeNodeBの併設時において3G/LTEの周波数キャリア配置をプログラマブルに変更できることから、3GサービスからLTEサービスへのシームレスな移行を可能としている。

富士通は、今回のeNodeB開発で培った各種実装技術を継承発展させ、フェムトセル（半径数十m程度の極めて小さな範囲の携帯電話の通話エリア）からマルチバンド対応大容量装置まで、用途に応じた幅広いラインナップのタイムリな提供を推進し、今後のLTEシステムの普及・発展に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- (1) 安部田貞行ほか：さらなるビットコストの低減に向けたSuper3Gの開発。NTT DOCOMO テクニカル・

ジャーナル, Vol.16, No.2, p.8-17 (2008).

- (2) 島津義嗣ほか：W-CDMA/LTEシステム共用の光張出し無線装置の開発. NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.18, No.1, p.33-37 (2010).

- (3) 島津義嗣ほか：W-CDMAシステムと共用可能

なLTEシステム用無線基地局装置の開発. NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.19, No.1, p.20-25 (2010).

- (4) CPRI specification Ver4.2. Common Public Radio Interface, 2010.

著者紹介



渡辺裕明 (わたなべ ひろあき)

アクセスネットワーク事業本部移動システム事業部 所属
現在, NTTドコモ様向けLTE無線基地局装置の開発に従事。



鈴木恭助 (すずき きょうすけ)

アクセスネットワーク事業本部モバイル開発センター 所属
現在, NTTドコモ様向けLTE無線基地局装置の開発に従事。



平沢 哲 (ひらさわ さとる)

共通開発本部第一ソフトウェア開発統括部 所属
現在, NTTドコモ様向けLTE無線基地局装置のソフトウェア開発に従事。



狩野竜一 (かりの りゅういち)

共通開発本部第一ハードウェア開発統括部 所属
現在, NTTドコモ様向けLTE無線基地局装置の開発に従事。