

グリーン社会の実現に向けたNECにおける5G/Beyond 5G 基地局のエネルギー効率化技術開発

伊達 克紀 渡辺 吉則 馬場 翔平 池田 仁 角田 正人 芦田 順也 ウン チャンホク 桶谷 賢吾 川口 研次 濱辺 孝二郎 金子 友哉

要旨

NECは、ネットワークと無線通信の技術開発と製品供給において123年の実績を持ち、常に業界をリードしてきました。そして現在、O-RANベースのモバイルアクセスインフラ装置とネットワークのベンダーとして世界的な役目を担う企業の一社です。本稿では、データ量需要の爆発的な拡大に対応しつつも、利用者のQoSを維持しながらエネルギー消費とCO₂排出を削減し、携帯電話事業者や社会にその利益を提供するO-RANシステムの省エネルギー技術開発の取り組みを紹介します。また、日本の大都市圏をカバーすることを想定した標準的なシステム構成に提案した技術を適用することで、期待できる年間エネルギー消費の低減や運営コストの削減、そして炭素ガス排出低減などの例を紹介します。



5G/エネルギー効率化/省エネルギー/基地局/RAN(無線アクセスネットワーク)/RU(無線ユニット)/DU(分散ユニット)/CU(中央ユニット)/OSS(運用支援システム)/RIC(RANインテリジェントコントローラ)/CN(コアネットワーク)

1. はじめに

急速に増大する移動体アクセスのデータ量に対応するため、第5世代(5G)モバイルアクセスネットワークの分野では多数の革新的な技術が開発され、その商業化が進んできました。モバイルアクセス技術は、声や視覚といった人間のさまざまな感覚、そして現在では運動や予測なども遠隔で実現することができます。しかし、この利便性は、膨大なエネルギーの消費が前提となっていることに注意しなければなりません。

最近、移動通信の標準化団体である3GPP(The 3rd Generation Partnership Project)のRAN(無線アクセスネットワーク)は、5G Advancedの最初となるリリース18のワークパッケージを承認しました。そこでは、ネットワークのエネルギー効率を改善するさまざまな技術の研究と確認が行われようとしており、時間や周波数、空間、電力の領域でのネットワークの動的・準静的な省エネルギー化が含まれています¹⁾。現在、NECは、これらの研究に大きく貢献しています。

従来のTDD(時間分割多重)や符号分割多重、直交周波数分割多重に加え、5GにおいてはMassive MIMO(大規模マルチプルインプット、マルチプルアウトプット)技

術が開発導入され、空間多重による多元接続によって更なる大容量化が図られています。NECでは、RIC(RANインテリジェントコントローラ)と連携したビームフォーミング技術により必要とされる場所と時間に無線電波を供給することで、Massive MIMOがエネルギーを節約する能力も備えていることに注目しています。

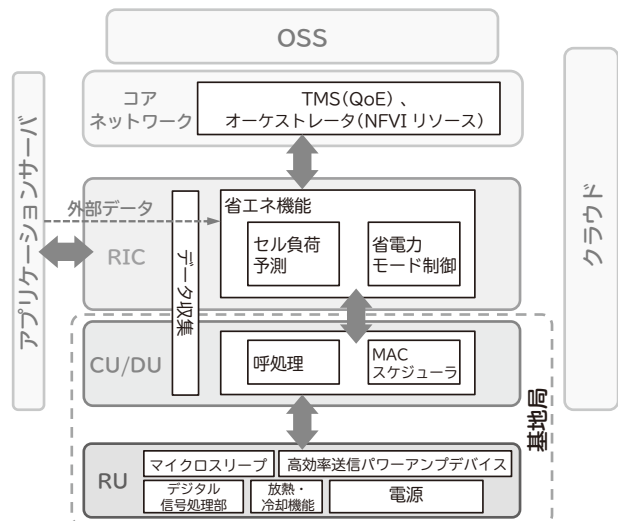


図1 5Gシステムのブロック図

地球環境を保全し後世に有益な資産として引き渡すために、NECはシステムの性能向上と併せて省エネ技術の研究開発にも取り組んでいます。図1では、本稿で論じているRIC、CN（コアネットワーク）、OSS（運用支援システム）、CU（中央ユニット）、DU（分散ユニット）、RU（無線ユニット）で構成される5Gシステムの標準的なブロック図を示しています。

2. エネルギー効率化技術

2.1 RU（無線ユニット）、RF（無線周波数）ユニット

RU、特にRFパワーアンプ（PA）は、基地局におけるエネルギー消費の大部分を占めます。

今日では、これまでのモバイルアクセスシステムで普及していたSi（シリコン）ベースのMOS FET（LDMOS）の後継として、GaN HEMT（窒化ガリウムトランジスタ）がPA用RFデバイスの主流になってきています。GaN HEMTは、バリガ性能指数（バリガFOM）が大きく高電力効率を発揮する能力がありますが、電荷トラップに起因する不安定要素もあり、特にTDDの過渡動作における信号品質に注意・対策が必要です。NECは、GaN HEMTが無線性能に及ぼす影響とその対策^{2) 3)}、及び高効率ドハティ増幅器への適用⁴⁾に関する研究活動を行い、学術的な評価も得ています。

ドハティ方式とは、B級アンプを拡張し、平均的な信号用の主増幅器とピーク信号用の補助増幅器の並列構成により、高いピーク電力対平均電力比（PAPR）の変調信号に対応した高効率アンプ方式です。B級アンプの消費電流対出力電力特性は、出力電力の平方根に比例します。これは、より大きなバックオフや無信号の状態でも、PAがまだ余剰な電流を消費していることを意味します。マイクロスリープ技術は、トラフィックの大小に応じて、トラフィックが少ない時のPAが消費する待機電流を削減します。

スリープ管理の詳細については、第2章2節以降で解説します。

2.2 QoSを考慮したスリープモードの制御

RUのスリープモードは、セルのトラフィック負荷が時間的及び空間的に変動する環境でQoSに及ぼす影響を考慮しながら、ユーザーの体感品質を保証できるように動作しなければなりません。NECのソリューションは、ユー

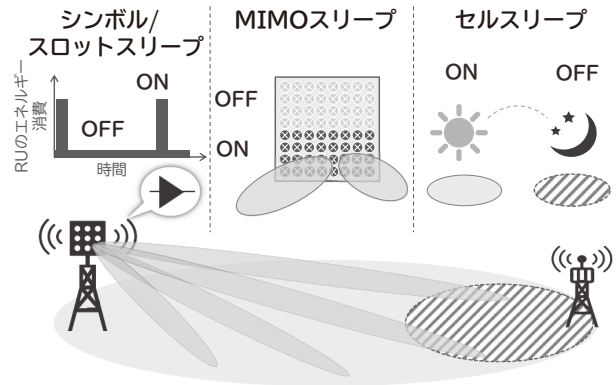


図2 RUのスリープ制御機能

ザーの体感品質を維持しながら、機器の省電力効果を最大限に引き出します。その際に、RICは各セルのトラフィック負荷の変動とQoSを踏まえ、3種類のスリープモードの中からセルごとに最適なものを動的に適用します。図2に、RUの3種類のスリープモードの機能を示します。

マイクロ（シンボル/スロット）スリープ機能は、送信する制御信号やユーザーデータがないシンボル/スロットの時間区間において、PAをオフ状態に切り替えて静止電流を停止させます。このようなマイクロスリープは、余剰なエネルギー消費を抑える有効な手段の1つです。

MIMOスリープ機能は、MIMOやMassive MIMOに対応して多数のRFチャネルを用いるRU内の一部の送信器を停止します。この機能は、停止する送信器の数を調整することにより、QoSの維持に必要なセルのカバレッジや通信容量と、RUのエネルギー消費との間のバランスを最適に保つことができます。

セルスリープ機能は、深夜などの低トラフィックの時間帯に、RU内のPAとデジタル回路を停止します。通常この機能は、カバレッジセルの上にオーバーレイされたキャパシティセルに適用されます。QoSを保つため、この機能はセルスリープを起動する前に、キャパシティセル内のトラフィックを隣接するカバレッジセルへ移します。

2.3 仮想化RANとインテリジェントコントローラ

ネットワーク運用者は、AI技術を導入することにより、省エネ関連のきめ細かい最適化作業を自動的に行うことが可能になります。その際に、RICは、AI技術と無線制御を基地局で統合できるようにする機能を提供します。図3に

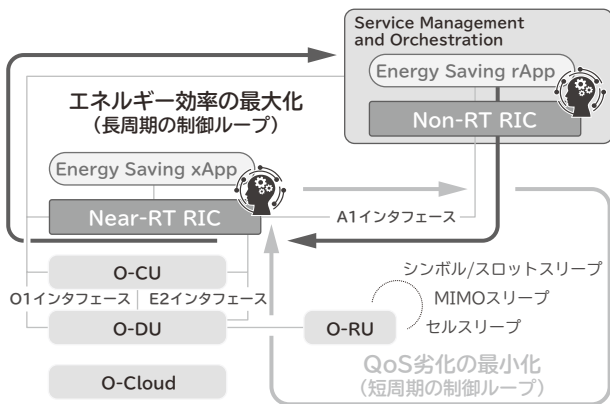


図3 AIによるRICの省エネ最適化

示すように、RICはNon-RT RICとNear-RT RICを介して、AIを用いた制御機能をRANノードに提供します。例えば、Non-RT RICは、長周期（1秒以上）の制御ループにおいて、CU/DUからO1インタフェース経由で過去のトラフィックデータを収集します。Non-RT RIC上で動作するrAppは、AIを用いて過去データからトラフィック負荷を予測し、最適なスリープモードを決定します。この制御命令はO1インタフェース経由でCU/DUに送信され、続いてRUに転送されます。強化学習により、基地局の無線制御の設定とセル内のKPIの達成状況の関係がモデル化されます。最適化機能は、このモデルを用いて、許容可能なエネルギー消費の上限といったKPI要件を満たす最適な無線制御の設定を自動的に決めることができます。

基地局は、E2インタフェース経由でNear-RT RICと協調しながら、短周期（10ミリ秒～1秒）の制御ループにおいて、最適なスリープモードを適用することができます。これにより、スリープ制御に起因するQoSの劣化から迅速に回復することが可能になります。例えば、Near-RT RIC上で動作するxAppは、QoSに関連するKPIデータをCU/DUから収集します。Non-RT RICからA1インタフェース経由で受信したQoS要求を参照しながら、xAppはQoSの劣化を検出し、必要に応じて他のスリープモードに切り替えて劣化に対処します。RICを用いることで、基地局は、よりエネルギー効率が高いスリープ制御をより長期間にわたって自動的に適用できるようになります。また、AIを備えたNear-RT RICの短周期の制御ループにより、予期しないトラフィック需要や無線品質の一時的な劣化によって生じる深刻なQoS劣化のリスクを最小限に抑えるこ

とができます。これらのソリューションを導入することで、ネットワーク運用者は、運用経験から得られるデータに基づいて、rApp/xAppのAIアルゴリズムを改善しながら、基地局のエネルギー効率を継続的に引き上げることが可能になります。

2.4 コアネットワーク

NECは、RANのネットワーク装置だけではなくコアネットワークのネットワーク装置についても、省エネルギー化の取り組みを積極的に推進しています。NECの5GCは、vEPC (virtualized Evolved Packet Core) で仮想化したソフトウェアを更に発展させ、クラウドに最適化されたソフトウェアアーキテクチャを採用しています。オンプレミス環境の仮想化基盤とパブリッククラウドの両環境でシームレスに動作します。ネットワーク装置を仮想化することにより、ハードウェアとソフトウェアを分離することでハードウェアリソースを効率的に利用でき、更には最適なハードウェアを選択することで処理性能の向上と低消費電力化が期待できます。

2.5 システムレベルの最適化

NECは、通信ネットワーク全体の最適化に向けた研究開発を継続して推進しています。

NECは、ネットワーク運用の自動化・最適化機能を持つEnd-to-End、各RAN/TN (Transport Network) / CNドメインのオーケストレータを提供しています。

これにより、運用者の人件費と消費電力の最適化をすることができます。

仮想化ネットワークのシステムにおいては、最新のCPUアーキテクチャやさまざまなベンダーのCPUデバイス上で電力性能比を評価しながら、ソフトウェア製品の開発を推進しています。特にUPF、CU-UP、DUのようなU-Plane系のネットワーク装置については、高性能と低消費電力化を両立させるため、NECはハードウェアデバイス (FPGA、スマートNICなどのハードウェアアクセラレータを含む) をはじめ、COTSサーバ、仮想化プラットフォーム、ハイパースケーラークラウドサービスなどの分野の主要ベンダーと共同し^{5) 6)}、エコシステム全体として製品化を促進しています。

表 想定したトラフィック、スリープ深度、時間

	想定したトラフィック 負荷と削減量	スリープ深度*		スリープ時間率
		マクロセル	スモールセル	
マイクロ スリープ	20~100 %、 平均 40 %	20%	5%	80%
MIMO スリープ	20~80 %、 平均 50 %	40%	40%	41%
セル スリープ	0~20 %、 平均 90 %	50%	50%	20%

* RU総消費量のうちスリープ中に削減できた割合

3. 運用上の利点

第2章で述べたRUスリープ技術とサーバレベルの電力最適化を用い、仮にEIRP 70dBm、セル半径1kmのSub6GHz 64T64R Massive MIMO RUを36,000台使用して110,000km²の面積をエリア化した場合、6.8MWのエネルギーを削減できるという計算になります。この面積は、日本の居住地域部の広さに相当します。この計算において想定したトラフィック条件とスリープの深度・時間を表に示します。これらは実際のトラフィックデータをもとにした概算の数値です。

更に、電力量料金を0.2\$/kWhと仮定すると、年間の運用コスト削減量は約1,200万\$になります。

また、標準的なCO₂排出係数である0.000453tCO₂/kWh⁷⁾を使用すると、前述したシナリオによる年間のCO₂排出削減量は27,000tとなります。

4. まとめ

NECは、地球環境の緑を保全し次世代に継承できるように、省エネ技術の研究開発を続けています。

高周波⁸⁾と新しい分散MIMO技術^{9) 10)}を使ってネットワーク容量を拡大させるためのRF技術開発も行っており、更に5GシステムでEnd-to-Endなインテリジェント制御技術の探求も行っています。特にAIサービスの利用において、NECが研究中のオンライン強化学習技術は、設定ポリシーを5Gシステムに適用し、電力消費とサービス性能のバランスの最適化を自動的に実行できる技術として期待されています^{11) 12)}。

参考文献

- 3GPP RAN: RP-221443 Study on network energy savings, [Online]. Available: https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_96/Docs/RP-221443.zip
- Y. Muraio, M. Hayakawa, K. Ohgami and T. Kaneko: A Study of GaN HEMTs Current Collapse Impacts on Doherty Multistage PA Linearity, 2015 IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium (CSICS), 2015 <https://ieeexplore.ieee.org/document/7314483>
- Y. Muraio and T. Kaneko: An investigation on current collapse induced memory effects of GaN power amplifier for LTE base station applications, 2017 12th European Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC), 2017 <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8230740>
- N. Tawa, P. Enrico de Falco, K. Ohgami, T. W. Barton and T. Kaneko: A 3.5-GHz 350-W Black-Box Doherty Amplifier Design Method Without Using Transistor Models, 2021 IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS), 2021 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9682459>
- NEC プレスリリース：ドコモとNECがアマゾン ウェブ サービスを活用しハイブリッドクラウド上で動作する5Gネットワーク装置の技術検証に着手, 2022.3 https://jpn.nec.com/press/202203/20220301_03.html
- NEC プレスリリース：楽天モバイル、NEC、インテル、コンテナ化した5Gコアネットワークの性能試験において業界最高水準のスループットを達成, 2021.6 https://jpn.nec.com/press/202106/20210625_03.html
- 環境省：電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用）, 2021 https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r03_coefficient_rev.pdf
- T. Kuwabara, N. Tawa, Y. Maruta, S. Hori and T. Kaneko: A 39 GHz MU-MIMO using 256 Element Hybrid AAS with Coherent Beam-Forming for 5G and Beyond IAB Applications, 2021 51st European Microwave Conference (EuMC), 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9784205>
- NEC プレスリリース：NEC、ミリ波周波数帯に分散MIMOを適用し、実際のオフィス環境下で3倍の同時接続数・伝送容量を実現, 2021.1 https://jpn.nec.com/press/202101/20210125_01.html
- N. Tawa, T. Kuwabara, Y. Maruta and T. Kaneko: 28 GHz Distributed-MIMO Comprehensive Antenna Calibration for 5G Indoor Spatial Division Multiplex, 2021 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 2021 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9574898>

- 11) J. A. Ayala-Romero, A. Garcia-Saavedra, M. Gramaglia, X. Costa-Perez, A. Banchs and J. J. Alcaraz: vrAIIn: Deep Learning Based Orchestration for Computing and Radio Resources in vRANs, IEEE Transactions on Mobile Computing, Volume: 21, Issue: 7, 2020.12
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9286741>
- 12) J. A. Ayala-Romero, A. Garcia-Saavedra, X. Costa-Perez and G. Iosifidis: Orchestrating Energy-Efficient vRANs: Bayesian Learning and Experimental Results, IEEE Transactions on Mobile Computing, 2021.10

執筆者プロフィール

伊達 克紀

テレコムキャリアソフトウェア開発
統括部

渡辺 吉則

モバイルRAN統括部
プロフェッショナル

馬場 翔平

BSS/OSS 統括部
主任

池田 仁

BSS/OSS 統括部
主任

角田 正人

モバイルコア統括部
ディレクター

芦田 順也

ワイヤレスアクセス開発統括部
ディレクター

ウン チャンホク

海外モバイルソリューション統括部
上席プロフェッショナル

桶谷 賢吾

海外モバイルソリューション統括部
プロフェッショナル

川口 研次

テレコムキャリアソフトウェア開発
統括部
ディレクター

濱辺 孝二郎

テレコムキャリアソフトウェア開発
統括部
シニアプロフェッショナル

金子 友哉

ワイヤレスアクセス開発統括部
シニアプロフェッショナル

NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧いただきありがとうございます。
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報 (日本語)

NEC Technical Journal (英語)

Vol.75 No.1 オープンネットワーク技術特集

～オープンかつグリーンな社会を支えるネットワーク技術と先進ソリューション～

オープンネットワーク技術特集よせて
NECのオープンネットワークに向けた技術開発と提供ソリューション

◆ 特集論文

Open RANとそれを支える仮想化技術

Open RANがもたらすイノベーション
モバイルネットワークにおける消費エネルギー削減
自己構成型スマートサーフェス
Nuberu: 共有プラットフォームによる高信頼性のRAN仮想化
vrAln: vRANにおけるコンピューティングリソースと無線リソースのためのディープラーニングベースのオーケストレーション

5G/Beyond 5Gに向けた無線技術

グリーン社会の実現に向けたNECにおける5G/Beyond 5G基地局のエネルギー効率化技術開発
双方向トランシーバアーキテクチャを備えたミリ波ビームフォーミングICとアンテナモジュール技術
5G/6G屋内ワイヤレス通信向け1ビットアウトフェーシング変調による光ファイバ無線システム
空間分割多重を用いた28GHz帯マルチユーザー分散Massive MIMO
28GHz帯マルチユーザー分散MIMOシステムを用いたOTFS変調信号のOTA測定
Sub6GHz帯アクティブアンテナシステムにおける空間多重性能の改善
トランジスタ非線形モデルを使用しないブラックボックスドハティ増幅器の設計手法
最大8マルチユーザー多重化を実現する39GHz帯256素子ハイブリッドビームフォーミングMassive MIMO

オープンAPN (オープン光・オール光)の実現への取り組み

APN実現に向けたNECの取り組み～Openな光ネットワーク実現に向けて～
APN実現に向けたNECの取り組み～APN製品(WXシリーズ)の特長～
APN実現に向けたNECの取り組み～フィールドトライアル～
オールフォトニクスネットワークを支えるシリコンフォトニクス光源による波長変換技術
NEC Open Networksを支える光デバイス技術～800G超の光伝送技術～

コア&パリアーネットワークへの取り組み

カーボンニュートラルな社会の実現に向けたデータプレーン制御を支える技術
5G時代の人々の暮らしを支えるNECのネットワークスライシング技術
Beyond 5G、IoT、AIを活用したDX推進を支えるアプリケーションアウェアICT制御技術
通信事業者向け5Gコアネットワークにおけるパブリッククラウド活用

高度なネットワークサービスを提供する自動化・セキュア化への取り組み

OSSにおける運用完全自動化へのNECの取り組み
利用者の要件に基づくネットワークの自律運用技術とセキュリティ対応の取り組み
情報通信ネットワークの安全性を向上するセキュリティトランスペアレンシー確保技術
ネットワーク機器のサプライチェーン管理強化に向けた取り組み

ネットワーク活用ソリューションとそれを支える技術

通信事業者向け測位ソリューション
5Gのポテンシャルを最大限に引き出すトラフィック制御ソリューション(TMS)
ローカル5G向け小型一体型基地局「UNIVERGE RV1200」及びマネージドサービス
産業DXを支えるローカル5G活用によるパーティカルサービス
ローカル5G、LAN/RAN融合ソリューション

グローバル5G xHaulトランスポートソリューション

トランスポートネットワークの高度化を実現するxHaulソリューション・スイート
xHaulトランスフォーメーションサービス
xHaulトランスポート自動化ソリューション
5G/Beyond 5Gにおける固定無線トランスポート技術
Beyond 5Gに向けたSDN/自動化
高効率・大容量無線伝送を実現するOAMモード多重伝送方式

Beyond 5G/6Gに向けて

Beyond 5G時代に向けた取り組み

◆ NEC Information

2022年度C&C賞表彰式典開催



Vol.75 No.1
(2023年6月)

特集TOP