

3 Beyond 5G に向けた概念実証 (Proof of Concept)

3 *Proof of Concept towards Beyond 5G*

3-1 Open RAN 無線基地局の電力マネジメント技術

3-1 *Power Management Technology for Open RAN Base Stations*

宮澤 高也

MIYAZAWA Takaya

地上系の無線アクセスネットワーク (RAN) では、基地局の消費電力が年々増加しており、Beyond 5G 時代ではその問題がより一層顕著となる。本報告では、Open RAN を対象とし、人流情報分析と非地上系ネットワークを活用した基地局省電力制御技術に関する研究の取組について報告する。

Power consumption of base stations in terrestrial radio access networks (RANs) is a serious problem that needs to be addressed, and it will become more notable in Beyond 5G / 6G era. We focus on Open RAN (O-RAN), and report our research and development on energy saving technologies for O-RAN base stations utilizing pedestrian flow analytics and non-terrestrial networks.

1 まえがき

現在、年率 2 ～ 3 割増で増え続けている移動通信トラフィック [1] を、将来の Beyond 5G / 6G 時代においても効率よく収容する必要がある、さらに、超高速大容量・超低遅延・多数同時接続など多種多様化する通信ネットワークサービスを、迅速かつ安定的に提供することが求められる [2]。そのため、無線アクセスネットワークでは、モバイル端末とモバイルコア (基地局とインターネットの間にある交換機等で構成されたネットワーク) の間の通信を中継するためのコンポーネントの柔軟性向上や制御機構の自動化等が必須である。

そこで近年、次世代の無線アクセスネットワーク規格として、O-RAN (Open - Radio Access Network) が注目されており、O-RAN Alliance で仕様が議論及び策定されている [3]-[5]。O-RAN は、迅速なサービス提供や複数のベンダ装置の組込等を可能にする「オープン性」と、ネットワーク運用の自動化及び高度化を可能とする「インテリジェンス」を特長とする。

既存の 4G-LTE や 5G、ローカル 5G など、様々な周波数帯の様々なカバーエリア規模に対応したサービス提供の増加に伴い、無線基地局の数と種類は増加し続けており、地上系 RAN の消費電力の増加が、世界的に問題となっている。そのため、地上系 RAN の省電力技術に関する議論や研究開発が盛んに行われている

[6]-[10]。将来、6G サービスが商用化された場合においても、当面は移行期間として既存サービスのシステムを残す必要がある一方で、新たに 6G 用の無線基地局の整備が必要となるので、地上系 RAN の消費電力問題がより一層顕著となる。しかしながら、従来の RAN では、全ての基地局が常時稼働しており、モバイル端末数及びトラフィックが少ないカバレッジエリアにおいても稼働しているため、電力の無駄が生じている。O-RAN の標準仕様では、将来の RAN における電力効率向上の重要性は記述されているものの、具体的なモデルやプロトコルなどの十分な議論がまだなされていない。

一方、近年、通信衛星・成層圏通信プラットフォーム (HAPS: High Altitude Platform Station)・気球といった非地上系ネットワーク (NTN: Non-Terrestrial Networks) 回線と地上系ネットワークを統合し、カバレッジエリアの拡大や耐障害性の向上などを図る研究や標準化議論が盛んに行われている [11]-[13]。当該技術によって、様々な地理的エリアや状況においても通信が可能となる。さらに、NTN・TN 統合ネットワーク環境において、NTN を活用することによって地上系 RAN の基地局省電力化につながる事が期待できるが、従来の研究や O-RAN 標準仕様において、まだ議論されていない。

そこで、我々は、O-RAN 準拠のモバイルシステムを

3 Beyond 5G に向けた概念実証 (Proof of Concept)

対象に、人流データ分析及びNTN回線を活用した省電力マネジメント技術の研究開発を行っている。本研究開発は、モバイルユーザの通信継続性及びビットレート等の性能を維持しながら地上系RANにおける無線基地局の消費電力を低減することを目的としている。当該技術では、以下の3つの処理が連動する。

- 人流予測：基地局カバレッジエリアごとのモバイル端末数の時間変動（以下、人流と呼ぶ）の実データを、AI/機械学習で分析し、将来期間における変動を予測する。
- 基地局の電力制御スケジューリング：全カバレッジエリアにおける上記の人流予測結果や、対象とするエリアに割り当て可能な NTN 回線容量等に基づき、地上系 RAN での無線基地局の一定時間ごとの電源 ON・OFF を、カバレッジエリアごとに事前にスケジューリングする。その際、基地局電源 OFF のエリア内のモバイル端末からは、NTN 回線に自動切替可能とすることで、通信の継続性や通信性能等を維持する。
- 基地局の電源 ON/OFF 制御：上記のスケジューリング結果に基づき、基地局電源 ON・OFF の動的切り替えの制御を実行する。

本稿では、当該技術の研究開発の取組について記述する。

2 O-RAN アーキテクチャ

図1は、O-RAN Alliance で定義されている O-RAN 標準アーキテクチャの概要図である。O-RAN アーキテクチャは、オープン仕様にに基づき、無線基地局を機能ごとに分離して相互接続する構成をとっている [3][4]。各機能を提供するコンポーネントには、CU (Central Unit)、DU (Distributed Unit)、RU (Radio Unit) 及び RIC (RAN Intelligent Controller) がある。CU はデータ処理部、DU は無線信号処理部、RU はアンテナ部である。RIC は O-RAN 全体の制御部であり、リソース

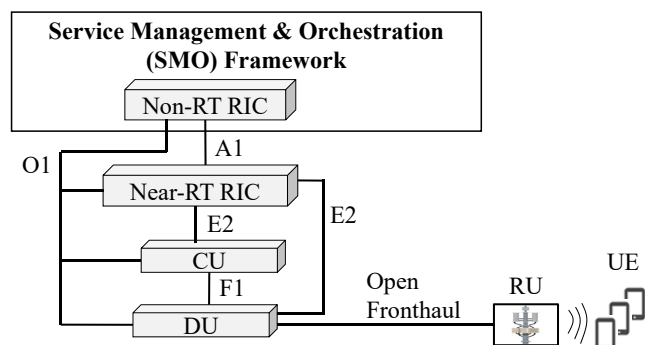


図1 O-RAN 標準アーキテクチャの概要図

制御やサービス品質制御、トラフィック制御等を行う。RIC は、さらに、制御処理時間が 10 ミリ秒以上 1 秒以下の Near-Realtime (Near-RT) RIC と、1 秒超の Non-Realtime (Non-RT) RIC に分けられる。各コンポーネント間の主なインターフェースとしては、Non-RT RIC と Near-RT RIC の間の A1、Non-RT RIC と Near-RT RIC・CU・DU の 3 つをつなぐ O1、Near-RT RIC と CU/DU の間の E2、CU と DU の間の F1、DU と RU の間の Open Fronthaul が規定されている。UE (User Element) は、モバイル端末であり、RU に接続し、O-RAN を介して、モバイルコア及びデータネットワーク (インターネット) へと接続される。

我々は、この O-RAN アーキテクチャをベースとして、NTN 回線も活用しつつ、基地局の電力制御管理用に拡張したアーキテクチャを提案している [14]–[17]。

3 提案する O-RAN 無線基地局電力 マネジメント技術

3.1 アーキテクチャ

図2は、NICTが取り組んでいるO-RAN省電力制御アーキテクチャの概略図である。図1に示したO-RAN標準アーキテクチャに準拠しつつ、制御管理機能やインターフェースを拡張した構成となっている。主な拡張箇所は、基地局カバーエリアごとの移動滞在人口(人流値)をモニタリングしてNon-RT RICに送信する機能(人流モニタリングシステム)、通信性能(ビットレート等)をモニタリングしてNon-RT RICに送信する機能(性能モニタリングシステム)、Non-RT RICにおいて基地局カバレッジエリアごとに配備さ

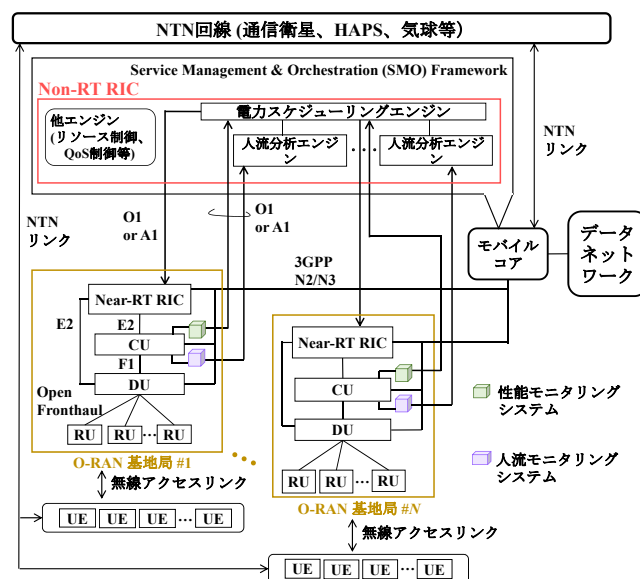


図 2 提案する O-RAN 省電力制御アーキテクチャの概略図

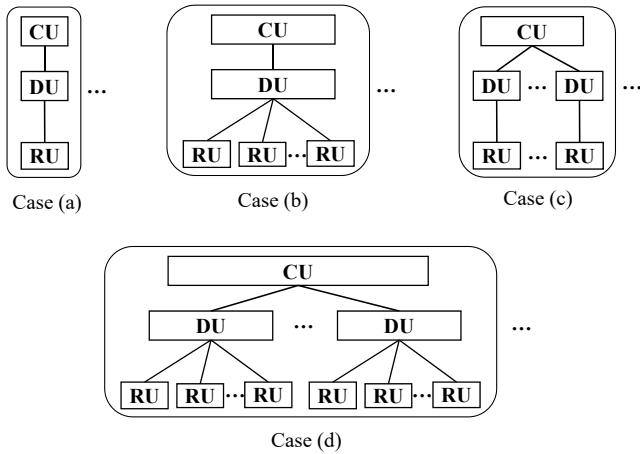


図3 CU・DU・RUの4種類の接続構成

れた人流分析エンジンや複数のカバレッジエリアをまたぐ電力制御スケジューリングを行う電力スケジューリングエンジンの配備、NTNと地上系をつなぐインターフェース等である。Non-RT RICは、モバイルコアへの配備を想定しており、サイバー空間として省電力制御及びその電力低減効果が仮想的に評価される。

人流分析エンジンにて将来期間の人流値の変動が予測された後、その予測結果に基づいて電力制御スケジューリング実行される。さらに、そのスケジューリング結果に基づいて、フィジカル空間において、各無線基地局の電源ON/OFFの動的制御が実行される。基地局OFFとなっているエリアにいるUEからは、カバレッジエリアが非常に広いNTN回線にアクセス可能とする。結果として、通信の継続性や品質等を維持しながら、NTN回線の通信設備の消費電力を考慮しても、無線ネットワークの低消費電力化が可能である。なお、将来的にNTNにおいても地上系と同じO-RAN標準準拠の基地局が搭載される可能性について、コミュニティ会合等で議論されている。

もし、基地局OFFとなっているエリアにいるUEが高い通信品質を要求する場合、NTNによって品質が維持可能であればNTNにアクセスし、維持困難であればWiFiや5G、ローカル5Gといった他のアクセスポイントにアクセスする必要がある。また、悪天候や障害等によってNTNにアクセス不可となった場合においても、同様である。

一般的に、CU・DU・RUの接続構成については、図3に示すとおり、4種類が考えられる。(a)のケースでは、各CUに1台のDUが接続されており、各DUに1台のRUが接続されている。(b)のケースでは、各CUに1台のDUが接続されており、各DUに複数台のRUが接続されている。(c)のケースでは、各CUに複数台のDUが接続されており、各DUに1台のRUが接続されている。(d)のケースでは、各CUに複数台のDU

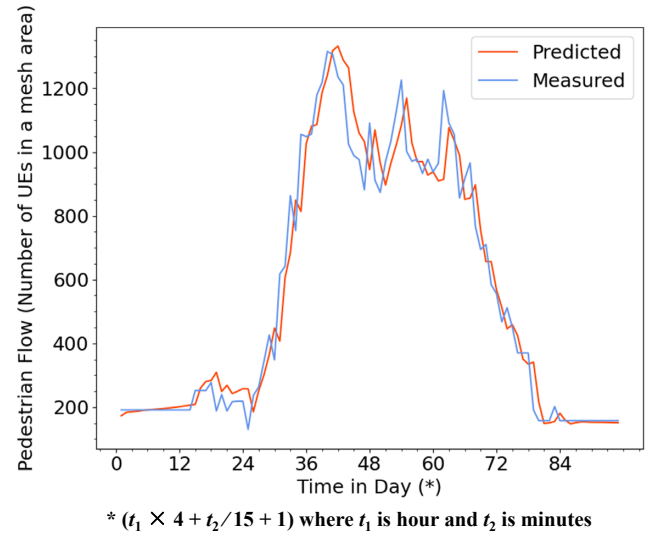


図4 LSTMによる人流予測の1例(東京都小金井市の1メッシュエリア)

が接続されており、各DUに複数台のRUが接続されている。モバイルネットワークオペレーターは、人流や地理的な制約、RICに対する性能要件等に応じて、地域ごとに、この4種類の構成から、柔軟に選択することができる。

3.2 人流分析技術

人流は、基地局カバレッジごとの、モバイル端末数の時間変動である。我々は、その分析及び予測にAI/機械学習を活用している。文献[14]–[17]では、予測モデルとして、ディープラーニングの一種であり、かつ時系列データ分析処理に適したLong Short-Term Memory (LSTM) [18][19]を適用している。過去の特定期間における一定時間ごとの人流のデータセットを訓練データセットとし、連続的な時系列データとして扱い、これらから翌日の一定時間ごとの人流データを、LSTMにより予測する。

文献[14]–[17]では、人流データとして、移動滞在人口の実データ[20]を活用した分析及び予測誤差等の評価を実施している。評価結果については、4にて記述する。当該データは、カバーエリアサイズを500 m四方(以下、メッシュエリアと呼ぶ)とし、同エリア内で留まっている時間が15分未満の場合を「移動」、15分以上の場合を「滞在」とし、スマートフォンから得られる情報を基に推計された、15分ごとに変動する過去の統計人口データである。図4は、東京都小金井市の1メッシュエリアの実データを対象とした、LSTMによる人流予測の1例である。LSTMによって、高い精度で人流値の予測ができていることが示されている。他の多数のメッシュエリアにおいても、同様の傾向が見られた。1メッシュエリアあたりの学習及び予測に要する時間は、約3分半である。人流分析の機能は

メッシュエリアごとに配備されるので、対象市区(例：東京都小金井市)内の人流分析に要する時間はメッシュエリア数には依存しない。

3.3 電力制御スケジューリング

電力制御のスケジューリングにおいては、上記の人流分析の結果及びNTN回線を活用する。文献 [14]–[17] では、CU・DU・RU の接続構成として図 3 の (a) のケースを想定し、メッシュエリアごと (基地局ごと) に RU が 1 台配置されるものとしたケースにおける定式化及び定量評価を行っている。その上で、各 O-RAN 基地局において、RU は制御回路や光増幅器等の安定性維持のために常時稼働中とし、CU 及び DU の電源 ON・OFF を一定時間ごとに切り替える。電源 OFF となっている基地局エリア内の UE からは NTN 回線にアクセス可能とすることによって、結果的に、通信の継続性やビットレート等を維持しながら、無線ネットワークの消費電力を低減できる。電力制御スケジューリングの数式モデルやパラメータ等については、文献 [14]–[17] を参照されたい。また、電力低減効果の評価結果については、4 にて記述する。

図 5 は、東京都小金井市 42 メッシュエリアのための電力スケジューリング結果の 1 例である [15]。横軸がメッシュエリア番号であり、縦軸がスケジューリング結果である。プロット上側 (“1”) が電源 ON、プロット下側 (“0”) が電源 OFF である。図 5 の例では、人流値が低いエリアが電源 OFF となっている。さらに、文献 [15] では、日常系の電力制御に加え、特定エリアにおいて豪雨が発生して NTN 回線にアクセス不可能となるケースなどの非日常事象発生時の電力制御についても実装して検証している。

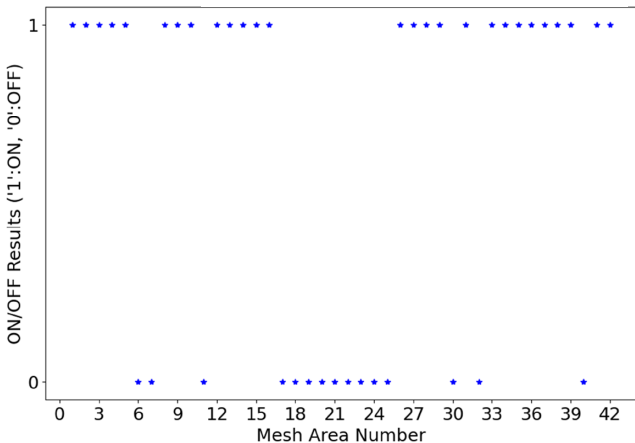


図 5 電力スケジューリング結果の 1 例 (東京都小金井市 42 メッシュエリア)

4 提案技術の評価及びフィールド実験

4.1 人流分析の予測精度の評価

文献 [14]–[17] では、東京都の小金井市 (42 メッシュエリア) 及び新宿区 (69 メッシュエリア) を対象としたデータ分析及び評価を実施している。2022 年 7 月 8 日～2022 年 9 月 29 日の平日の 56 日間のデータを訓練データセットとして、2022 年 9 月 30 日の人流値を予測している。表 1 に、小金井市及び新宿区の各々における、AVS (Average Value Selection) 方式、LS-SVR (Least-Squares Support Vector Regression) 及び LSTM の二乗平均平方根誤差 (RMSE : Root Mean Squared Error) を示す。AVS 方式は、機械学習を使わず、過去のデータセットの平均値を予測値とする方式である。LS-SVR は、非線形回帰手法の 1 つであり、時系列データ分析において、短時間 (例えばミリ秒単位) で予測曲線を得られる手法である [21][22]。各数値は、全メッシュエリアの RMSE の平均値である。

AVS と LS-SVR は学習時間も含め予測曲線を 1 秒以下で得られる特長がある一方、一般的に LS-SVR の方がノイズデータ (異常値) に強く汎用性の高い予測モデルを生成できるが、両方式の予測精度はあまり変わらない結果が得られた。この理由としては、本稿で活用した人流実データ [20] では、AVS の予測誤差や適合性を大幅に劣化させるようなノイズデータが少なかったことが考えられる。一方、LSTM 適用により、その予測精度の高さから、AVS 及び LS-SVR と比較して 39.6～48.9 %、RMSE を低減できている。LSTM は、AVS 及び LS-SVR と比較して、学習に時間がかかる一方、それら 2 方式では捉えにくい人流データ変動の特徴を自動抽出することで、ノイズデータに強いだけでなく、予測誤差を低減できる。

4.2 電力制御スケジューリングによる電力低減効果の評価

文献 [14]–[17] では、NTN 回線として、通信衛星 (電波)、HAPS、及び気球を対象とし、東京都小金井市及び新宿区の各メッシュエリアに対する 1 時間ごとの電力スケジューリングの電力低減効果等の評価を実施し

表 1 3 方式の RMSE の評価結果 (全メッシュエリアの平均値)

予測モデル	小金井市 (42 メッシュ エリア)	新宿区 (69 メッシュ エリア)
AVS	366.30	1249.87
LS-SVR	366.01	1129.78
LSTM	221.18	639.26

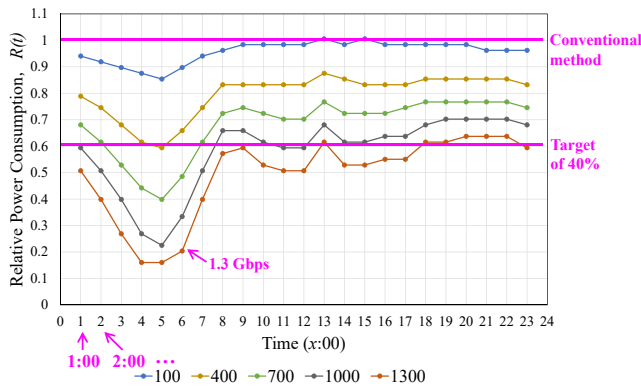


図6 東京都小金井市のケースでの、各時刻における提案方式による相対電力消費 (NTN 回線容量 = 100 Mbps, 400 Mbps, 700 Mbps, 1.0 Gbps, 1.3 Gbps)

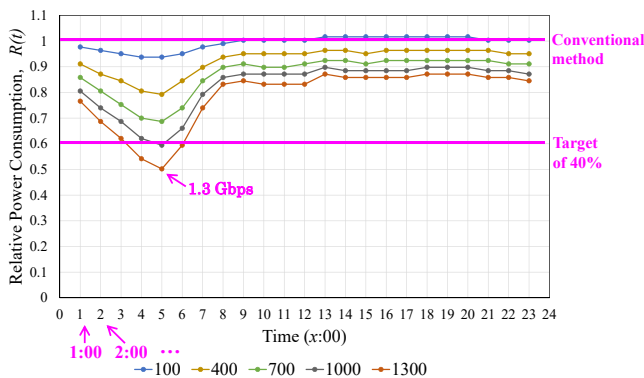


図7 東京都新宿区のケースでの、各時刻における提案方式による相対電力消費 (NTN 回線容量 = 100 Mbps, 400 Mbps, 700 Mbps, 1.0 Gbps, 1.3 Gbps)

ている。図6に東京都小金井市のケース、図7に新宿区のケースにおける、提案方式の相対電力消費を示す。NTN回線を使わず地上系O-RAN基地局を全てONにする従来方式の相対電力消費が1である。提案方式によって、従来方式と比較して、小金井市ではNTN回線容量が400 Mbps程度あれば、新宿区ではNTN回線容量が1 Gbps程度あれば、O-RAN基地局の消費電力を最大40%低減できることが示されている。新宿区では、小金井市と比較して、人流値が大きい傾向にあることから、限られたNTN回線容量のもとでOFFとできる基地局数が減るため、消費電力を最大40%低減するためにより多くのNTN回線容量を必要とする。

4.3 フィールド実験の構成及び結果

図8は、電力制御スケジューリングの結果に基づく基地局電力制御をフィールド実験するための実験構成である[14]–[17]。当該実験環境では、NICTのBeyond 5G モバイルテストベッド[23][24]のうち、「モバイルネットワーク開発環境」を用いている。モバイルコア

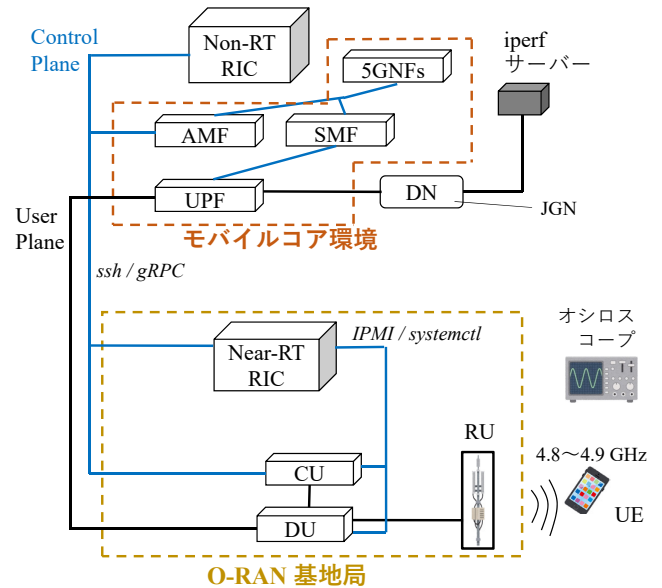


図8 基地局電力制御の実験構成

の環境は、AMF (Access and mobility management function)、SMF (Session management functions)、UPF (User plane functions) 及び 5G NFs (5G Network Functions) で構成されており、Free5GC [25] を用いて構築している。AMF は端末の接続や移動の管理を行う機能、SMF はユーザプレーンのセッション管理、UPF はユーザプレーン上で基地局とデータネットワーク (インターネット等) の間のデータ転送を行う機能である。5G NFs は、その他、モバイルコアにおいて実行すべきネットワーク機能群である。

Non-RT RIC には、人流分析及び電力制御スケジューリングの制御機構が実装されており、Near-RT RIC には、Non-RT RIC からの電力制御要求メッセージ受信をトリガとして、基地局電力制御を実行する制御機能が実装されている。Non-RT RIC と Near-RT RIC 間の通信のプロトコルには、ssh のセッションを設定した上で gRPC プロトコルを用いた [26]。また、Near-RT RIC と CU/DU 間の電源制御には、Intelligent Platform Management Interface (IPMI) [27] と呼ばれるサーバーの電源操作を行う機能を用いる手法と、ssh で systemctl コマンドにより CU 及び DU での電源操作をリモート実行する手法がある。

本実験環境を用いることで、LSTM を活用した人流分析に基づく電力制御スケジューリング結果と連動させた CU/DU 実機電源 ON/OFF、プロセス稼働/停止及び RU からの電波放射/停波について、フィールド実験が可能である。CU/DU の電源 ON・プロセス稼働の処理によって RU から自動で電波放射 (以下、「ON (放射) 処理」) が開始し、プロセス停止・電源 OFF の処理によって RU からの電波放射が自動停止 (以下、

「OFF(停波)処理」する。電波放射時、UE と受信サーバー (iperf サーバー) 間で、O-RAN 基地局とモバイルコア及びデータネットワーク (DN: Data Network) を経由したデータ伝送が可能である。DN としては、NICT が運用している JGN [26] を用いて環境構築した。RU からの電波放射が停止すると、UE 側ではそれを検知し通信が自動停止する。

図9に、制御シーケンスを示す。まず、Non-RT RICにおいて、人流分析及び電力スケジューリングが実行され、基地局ごとに、一定時間ごとの電源ON・OFFのスケジューリング結果が導出される。Non-RT RICでは、そのスケジューリング結果に基づき、指定時刻になったら、自動的に、各基地局のNear-RT RICあてに、電源ON・OFF制御要求メッセージが送信される。各基地局のNear-RT RICでは、当該要求メッセージを受信した直後に、自動的に、メッセージ内容に合わせた電源ON・OFF制御を、CU及びDUに対して実行する。OFFからONへの切り替えの場合(ON(放射)処理)は、電源をONにした後、CU及びDUのプロセスを起動する。ONからOFFへの切り替えの場合(OFF(停波)処理)は、逆に、CU及びDUのプロセスを停止した後に、電源をOFFにする。必要に応じて、Non-RT RIC(またはNear-RT RIC)から、IPMI等を

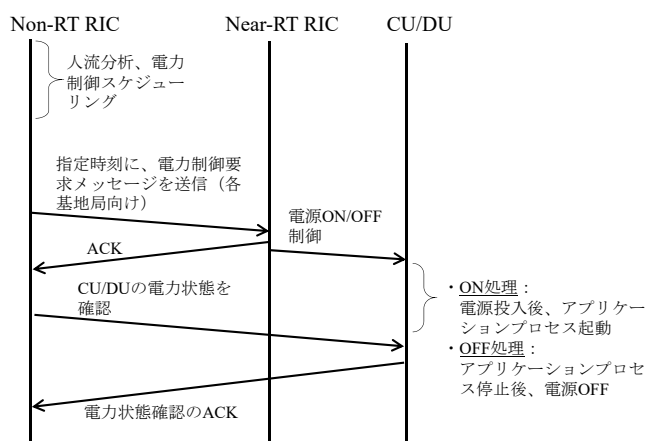


図9 制御フロー

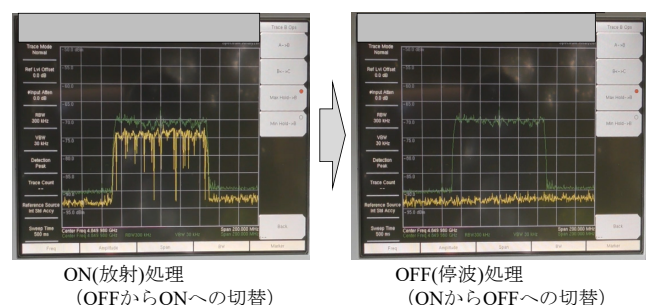


図10 周波数スペクトラムのオシロスコープ表示

用いて、各基地局のCU及びDUの電源状態を確認することも可能である。

図10に、上記のON(放射)処理及びOFF(停波)処理を実行した際の、4.85 GHz付近の周波数スペクトラムのオシロスコープ表示を撮影した画面を示す[17]。電波放射時、UEとiperfサーバー間で、O-RAN基地局とモバイルコアを経由したiperf UDP 1.0 Gbps伝送を行った。ON(放射)処理及びiperf UDP伝送により無線信号パワーが正常に上昇したことを確認した。無線信号周波数帯域幅100 MHzの下で、スループットは886 Mbpsであった。一方、OFF(停波)処理によりデータ伝送が停止し、無線信号パワーが正常に落ちたことを確認した。

以上により、人流分析及び電力制御スケジューリングの結果に基づく、時刻指定のCU/DU電源ON/OFF自動制御のフィージビリティを立証した。

5 まとめ

本研究報告では、人流分析及びNTN回線を活用したO-RAN基地局省電力制御技術に関するNICTの研究開発の取組について記述した。サイバー空間では、基地局カバーエリアごとに移動滞在人口の時間変動を分析及び予測し、その結果に基づいて基地局カバーエリアをまたぐ基地局電力制御スケジューリングを自動実行する。そのスケジューリング結果に基づいて、フィジカル空間では、各基地局の電源ON/OFFの動的制御を自動で実行する。基地局がOFFとなっているエリアにいるUEからはNTN回線にアクセス可能とすることによって、通信の継続性や通信品質等を維持しつつ、無線ネットワークの消費電力を低減できる。人流分析、電力制御スケジューリング及びNICT Beyond 5G モバイルテストベッドを用いたフィールド実験の各々について、我々の研究成果の一部について記述した。

今後、モバイルサービスの増加に伴い、基地局の種類と数が増え、消費電力問題が一層顕著となる。したがって、Beyond 5G / 6Gの実現に向けて、無線アクセスネットワークの更なる省エネ化を実現するための研究開発が重要である。

謝辞

本研究は、石津健太郎 Beyond5G デザインイニシアティブ長、朝枝仁 ネットワークアーキテクチャ研究室長、辻宏之 宇宙通信システム研究室長及び原井洋明 ネットワーク研究所長と実施した。また、

B5G テストベッドを使った実験にご協力いただいた、小針康永 研究技術員、中野連利 研究技術員及び中村一彦 研究技術員に感謝する。そのほか、豊嶋守生 ワイヤレスネットワーク研究センター長、Ved P. Kafle 研究マネージャーをはじめ、貴重なご助言等をいただきました関係各位に感謝する。

【参考文献】

- 1 情報通信統計データベース, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/>
- 2 NICT Beyond 5G / 6G ホワイトペーパー, <https://beyond5g.nict.go.jp/download/index.html>
- 3 O-RAN Alliance, <https://www.o-ran.org>
- 4 O-RAN Alliance Specifications, <https://www.o-ran.org/specifications>
- 5 Plugfest, <https://plugfestvirtualshowcase.o-ran.org/>
- 6 3GPP TS 28.310 v18.1.0 (March 2023), www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/28_series/28.310
- 7 3GPP TR 37.817 v17.0.0 (April 2022), www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/37_series/37.817/
- 8 X. Tan, K. Xiong, B. Gao, P. Fan, and K. B. Letaief, "Energy-Efficient Base Station Switching-off with Guaranteed Cooperative Profit Gain of Mobile Network Operators," *IEEE Trans. on Green Commun. and networking*, vol.7, no.3, pp.1250–1266, Sept. 2023.
- 9 Q. Wu, X. Chen, Z. Zhou, L. Chen, and J. Zhang, "Deep Reinforcement Learning with Spatio-Temporal Traffic Forecasting for Data-Driven Base Station Sleep Control," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol.29, no.2, pp.935–948, April 2021.
- 10 A. Giannopoulos, S. Stantideas, N. Kapsalis, P. Gkonis, L. Sarakis, C. Capsalis, M. Vecchio, and P. Trakadas, "Supporting Intelligence in Disaggregated Open Radio Access Networks: Architectural Principles, AI/ML Workflow, and Use Cases," *IEEE Access*, vol.10, pp.39580–39595, April 2022.
- 11 Ved P. Kafle, M. Sekiguchi, H. Asaeda, and H. Harai, "Integrated Network Control Architecture for Terrestrial and Non-Terrestrial Network Convergence in Beyond 5G Systems," *2022 ITU Kaleidoscope*, Dec. 2022.
- 12 ITU-T Y.3207 Recommendation: "Fixed, mobile and satellite convergence - Integrated network control architecture framework for IMT-2020 networks and beyond," March 2024.
- 13 電子情報通信学会誌, "特集:非地上系ネットワークの将来," vol.106, no.5, 2023年5月.
- 14 宮澤高也, 石津健太郎, 朝枝仁, 辻宏之, 原井洋明, "人流データ分析及びNTN回線を活用したO-RAN無線基地局の電力制御," *信学技報*, RCS2023-124, pp.113–118, 2023年8月.
- 15 宮澤高也, 石津健太郎, 朝枝仁, 辻宏之, 原井洋明, "人流分析及びNTN回線を活用したO-RAN基地局電力制御の実演及び実験結果," *信学技報*, SR2023-50, pp.16–21, 2023年11月.
- 16 T. Miyazawa, K. Ishizu, H. Asaeda, H. Tsuji, and H. Harai, "Power Management Architecture for Mobile-System Base Stations Utilizing Pedestrian Flow Analytics and Non-Terrestrial Networks," *Proc. of International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2023)*, no.P3-20, Dec. 2023.
- 17 T. Miyazawa, K. Ishizu, H. Asaeda, H. Tsuji, and H. Harai, "Energy-efficient power management for O-RAN base stations utilizing pedestrian flow analytics and non-terrestrial networks," *IEICE Trans. on Communications*, May 6th, 2024 (Early Access).
- 18 S. Hochreiter, et al., "Long Short-Term Memory," *Neural Computation*, vol.9, issue 8, pp.1735–1780, Nov. 1997.
- 19 N. Zhang, Y. Su, B. Wu, X. Tu, Y. Jin, and X. Bao, "Cloud Resource Prediction Model based on LSTM and RBF," *Proc. of International Conference on Big Data and Artificial Intelligence and Software Engineering (ICBASE 2021)*, pp.189–194, Zhuhai, China, Sept. 2021.
- 20 KDDI Location Data, <https://k-locationdata.kddi.com/>
- 21 H. Drucker, C. Burges, L. Kaufman, A. Smola, and V. Vapnik, "Support Vector Regression Machines," *Advances in Neural Information Processing Systems 9, NIPS 1996*, pp.155–161, MIT Press, Dec. 1996.
- 22 H. Wang and D. Hu, "Comparison of SVM and LS-SVM for Regression," *Proc. of International Conference on Neural Networks and Brain (ICNNB)*, Beijing, China, pp.279–283, Oct. 2005.
- 23 原井洋明, 中村一彦, 寺田健次郎, 流田理一郎, 加藤拓也, 永野秀尚, 児島史秀, "循環進化型 Beyond 5G モバイルテストベッドの構築," *信学技報*, NS2022-63, pp.17–22, 2022年9月.
- 24 高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッド (内, モバイルネットワーク開発環境), testbed.nict.go.jp/b5gm/
- 25 free5GC, free5gc.org
- 26 "JGN: 超高速研究開発ネットワークテストベッド," testbed.nict.go.jp/jgn
- 27 gRPC, grpc.io/
- 28 "Intelligent Platform Management Interface Specification Second Generation v2.0," Document Revision 1.1, April 21, 2025.



宮澤 高也 (みやざわ たかや)

ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室
研究マネージャー
博士(工学)
ネットワーク制御管理、モバイルシステム電力制御、時系列データ分析
【受賞歴】

2021年 電子情報通信学会 通信ソサイエティ活動功労賞
2010年 平成21年度 船井研究奨励賞
2007年 第20回 安藤博記念学術奨励賞