革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業

電波有効利用研究開発プログラム

研究計画書

課題 093

AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御による Massive MIMO 基地局高度化技術の研究開発

2025年９月

国立研究開発法人
情報通信研究機構

１．研究開発課題

『AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御による Massive MIMO 基地局高度化技術の研究開発』

２．目的

増大を続けるモバイルトラヒックに対応するため、周波数利用効率に優れたマルチバンド/マルチビーム対応の Massive MIMO が注目されており、現在、Sub6 帯の周波数で最大 64TRX（送受信機）の Massive MIMO 基地局の実用化が進められている。Massive MIMO 基地局では、TRX 数と同じかそれ以上のアンテナ素子で構成されるアレーアンテナを用いて、ビームフォーミングによるカバレッジ拡大と MIMO 多重によるスループット増大を狙うことができる。

一方、モバイル通信では、基地局装置などのインフラ設備の消費電力増大が大きな課題となっており、SDGs や CO2 排出量削減の観点から、基地局装置の省電力化の要求が高まっている。

Massive MIMO 基地局では、単位周波数あたりのスループットを向上するために MIMO 多重数を増やすと消費電力が増大することから、周波数利用効率の向上と基地局装置の消費電力削減を両立することが必要となっている。

単位周波数あたりのスループット向上には、Massive MIMO 多重数増加による TRX の増加や使用するバンド数を増やし、多くのユーザに対して同時送受信する方法が有効であり、また、消費電力の削減には、使用するバンドや TRX を減らして少ないユーザに対して同時送受信を行い、使用しないバンドや TRX の電源を落とすことで、消費電力を削減する方法が有効である。先行研究では、これらのスループット向上技術と消費電力削減技術はそれぞれ別々に行われており、２つの技術を組み合わせることで、スループットを低下させずに消費電力を低減すると言った研究は行われていなかった。本研究開発では、Sub6 帯の Massive MIMO 基地局において、AI/ML を活用し、ビーム制御技術及び省電力制御技術を最適な組み合わせで適用することにより、単位周波数あたりのスループット向上と消費電力の削減を図ることを目的とする。ビーム制御技術及び省電力制御技術を最適な組み合わせで適用するためには、動作中の基地局の内部状態をリアルタイムにモニタリングし、MIMO 多重数、TRX 数、ユーザ分布、トラヒック状態等を学習することで、トラヒックが変動する条件下においても、AI/ML を利用することで、十分に短時間で最適解を導出できる可能性がある。

本研究開発では、ユーザ分布やトラヒック状態に応じて、使用するバンドや TRX を制限した上でマルチユーザへの同時送受信の動的制御を行うことにより、消費電力とスループットの最適化を行う Massive MIMO 基地局の高度化技術を開発することにより周波数利用効率の向上を図る。

なお、本課題は、「革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業 基金運用方針」（令和６年７月４日改定・公表 総務省）における「３．本基金による事業内容」の「③電波有効利用研究開発プログラム」（p.６）として実施する。

３．内容

本委託研究では、以下の２つの研究開発項目に対し、研究開発を推進するものとする。

・研究開発項目１　AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を行う vRAN 高度化技術の開発

AI/ML を用いてビーム制御及び省電力制御を行うための機能を有する vRAN（CU/DU）の研究開発を行う。64TRX 以上の Massive MIMO のマルチバンド対応 RU を想定した場合において、ユーザ分布やトラヒック状態に応じて、良好なスループット特性（平均スループット及びセル端スループットを考慮）が得られるように、使用するバンドや TRX を制限して、少ないバンドや TRX を用いても、良好なスループット特性が得られる機能を実現するための AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を実現するアルゴリズムに関する研究開発を行う。

a）より少ない消費電力で良好なスループットを得るためのビーム制御及び省電力制御のアルゴリズムに関する研究開発

- セル内の複数ユーザに対して、ユーザ分布とトラヒック状態に応じて、使用するバンドや TRX を制限した上で、ビーム選択とユーザ選択を行うアルゴリズムの研究開発を行う。
- 本アルゴリズムにより、使用するバンドや TRX を制限しない従来の場合と比較して、スループットを低下させずに RU を含めた基地局全体の消費電力を削減できることを検証する。
- 以上の２項目について、シミュレーション及び試作した vRAN の組み込み検証を行う。

ｂ）基地局内部状態のモニタリング及び AI/ML 用データベース化技術に関する研究開発

- 動作中の基地局の内部状態をリアルタイムにモニタリングし、ビーム制御及び省電力制御のために必要な AI/ML に用いる学習用のデータベースを構築する技術についての研究開発を行い、シミュレーション及び RIC/SMO の組み込み検証を行う。
- また、モニタリング結果に関しては、基地局保守運用自動化への活用可能性について検証を行う。

ｃ）AI/ML を用いた Massive MIMO 基地局のビーム制御及び省電力制御を実現するアルゴリズムに関する研究開発

- RIC/SMO 等の指示に基づき、ユーザ分布やトラヒック状態に応じて、ａ）及びｂ）の研究開発内容も含め、バンドや TRX を制限した場合のスループットと消費電力の関係を学習し、AI/ML を用いて最適なビーム制御と省電力制御の組み合わせを適用するアルゴリズムの研究開発を行い、シミュレーション及び試作した vRAN の組み込み検証を行う。
- 試作した vRAN を用いて、消費電力の検証を行う。ユーザ分布やトラヒック状態に応じて、バンドや TRX を制限した場合に、vRAN 部分の消費電力が削減される効果を検証する。（研究開発項目１では、RU 部分の消費電力は簡易計算などで代用することで、vRAN 部分の実測値と合わせて基地局全体の消費電力削減効果を検証する。）

・研究開発項目２　ビーム制御及び省電力制御を適用する Massive MIMO 基地局高度化技術の開発並びに実証

現在、Sub6 帯の周波数で最大 64TRX の Massive MIMO 基地局の実用化が進められている。

Massive MIMO では、TRX 数と同じかそれ以上のアンテナ素子で構成されるアレーアンテナを用いて、ビームフォーミングによるカバレッジ拡大と MIMO 多重によるスループット増大を狙うこ

とができる。ビーム制御の方法としては、基地局から複数のビームパターンでリファレンス信号を送信して、端末側でベストなビームを選択しフィードバックする方法と、基地局が上りリンクのリファレンス信号を受信して、ビーム間干渉を低減可能なビームウェイトを生成する方法がある。

Massive MIMO で単位周波数あたりのスループットを向上するには、多重数を増大させる必要があるが、TRX の出力を固定にした場合は、多重数を増やすことで１多重あたりの出力が低下してカバレッジが狭くなる。逆に、１多重あたりの出力を固定にする場合は、多重数を増やすことで TRX の出力が上がり消費電力が増大してしまう。現在、SDGs や CO2 排出量削減の観点から、基地局装置の省電力化の要求が高まっており、標準化においては、NES（Network Energy Saving）や ASM（Advanced Sleep Mode）などの消費電力制御（スリープ制御）技術の検討が進められている。スリープ制御には、送受信信号のない区間において装置やデバイスの電源を落として消費電力を削減する方法と、使用するバンドや TRX を制限して通信を行い、その間使用しないバンドや TRX の電源を落として消費電力を削減する方法がある。

研究開発項目２では、64TRX 以上を想定したマルチバンド／マルチビーム対応の RU において、ビーム制御及び省電力制御を適用する Massive MIMO 基地局高度化技術の開発並びに実証を行う。

a）64TRX 以上を想定したビーム制御及びスリープ制御等が可能なマルチバンド RU に関する研究開発

- 64TRX 以上を想定し、マルチバンド／マルチビーム対応のマルチユーザ MIMO 機能を実装した Massive MIMO 基地局の RU の技術開発を行う。
- 当該 Massive MIMO 基地局には、以下の機能を具備すること。
  - 使用するバンドや TRX を制限して、一部のバンドや TRX を用いてビームフォーミングを行う機能。
  - 使用しないバンドや TRX を制限すること等で消費電力を抑える機能。
  - バンドや TRX の制限時に RU が安定に動作する機能。

b）AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を適用する Massive MIMO 基地局高度化技術の実証

- ａ）で開発した Massive MIMO 基地局において、研究開発項目１で開発したアルゴリズムを適用し、ビーム制御及び省電力制御を適用する Massive MIMO 基地局高度化技術について実機による実証を行う。
- 実証にあたっては、ａ）で開発した Massive MIMO 基地局（RU）に対して、AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を模擬する vRAN エミュレータ等を用いて、RU 部分の消費電力の実測を行う。これにより、ユーザ分布やトラヒック状態に応じて、バンドや TRX を制限した場合の消費電力削減効果を検証する。

４．アウトプット目標・アウトカム目標

・研究開発項目１　AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を行う vRAN 高度化技術の開発

2027 年度末におけるアウトプット目標 （最終目標）

a）より少ない消費電力で良好なスループットを得るためのビーム制御及び省電力制御のアルゴリズムに関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO RU に対して、ビーム制御及び省電力制御を行う vRAN の試作と動作検証を完了する。

b）基地局内部状態のモニタリング及び AI/ML 用データベース化技術に関する研究開発

- 動作中の基地局の内部状態をリアルタイムにモニタリングし、ビーム制御及び省電力制御のために必要な AI/ML に用いる学習用のデータベースを構築し、RIC/SMO 等へ実装して実機検証を完了する。
- モニタリング結果を用いて、基地局の異常を検知し、問題事象を解析する保守運用自動化検証ツールを開発し、異常検出等の精度を評価する。

c）AI/ML を用いた Massive MIMO 基地局のビーム制御及び省電力制御を実現するアルゴリズムに関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO RU に対して、ユーザ分布やトラヒック状態に応じて、AI/ML を用いてビーム制御と消費電力制御を最適な組み合わせで適用する機能を実装した vRAN の試作及び動作検証を完了する。
- セル内にユーザがランダムに分布し、トラヒックロードが変動する条件下において、提案技術を適用することによる基地局消費電力の削減等の適切かつ、できるだけ高い性能目標を設定し、性能評価を行う。
- 目標性能としては、使用するバンドや TRX を制限しない従来の場合と比較して、スループットを低下させずに基地局全体の消費電力を 20%程度またそれ以上削減する。

2025 年度末におけるアウトプット目標

a）より少ない消費電力で良好なスループットを得るためのビーム制御及び省電力制御のアルゴリズムに関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO RU に対して、ビーム制御及びマルチユーザ送受信のためのスケジューリング、さらにはスリープ制御を行う vRAN のアーキテクチャ検討と実装検討を完了する。

b）基地局内部状態のモニタリング及び AI/ML 用データベース化技術に関する研究開発

- 動作中の基地局の内部状態をリアルタイムにモニタリングし、ビーム制御及び省電力制御のために必要な AI/ML に用いる学習用のデータベースの構成及び実装方法の検討を完了する。

c）AI/ML を用いた Massive MIMO 基地局のビーム制御及び省電力制御を実現するアルゴリズムに関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO RU に対して、ユーザ分布やトラヒック状態に応じて、

AI/ML を用いてビーム制御と省電力制御を最適な組み合わせで適用する vRAN の実装検討を完了する。

2026 年度末におけるアウトプット目標

a）より少ない消費電力で良好なスループットを得るためのビーム制御及び省電力制御のアルゴリズムに関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO RU に対して、ビーム制御及びマルチユーザ送受信のためのスケジューリング、さらにはスリープ制御を行う vRAN の試作と vRAN 単体での動作検証を完了する。

b）基地局内部状態のモニタリング及び AI/ML 用データベース化技術に関する研究開発

- 動作中の基地局の内部状態をリアルタイムにモニタリングし、ビーム制御及び省電力制御のために必要な AI/ML に用いる学習用のデータベースを構築し、RIC/SMO 等へ実装して単体での動作検証を完了する。
- モニタリング結果を用いて、基地局の異常を検知し、問題事象を解析する保守運用自動化検証ツールの基本設計を完了する。

c）AI/ML を用いた Massive MIMO 基地局のビーム制御及び省電力制御を実現するアルゴリズムに関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO RU に対して、ユーザ分布やトラヒック状態に応じて、AI/ML を用いてビーム制御と省電力制御を最適な組み合わせで適用する vRAN の試作と vRAN 単体での動作検証を完了する。

アウトカム目標

2027 年　ビーム制御及び省電力制御を行う vRAN の製品化による市場投入

2028 年　AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を行う vRAN の製品化による市場投入

・研究開発項目２　ビーム制御及び省電力制御を適用する Massive MIMO 基地局高度化技術の開発並びに実証

2027 年度末におけるアウトプット目標 （最終目標）

a）64TRX 以上を想定したビーム制御及びスリープ制御等が可能なマルチバンド RU に関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO において、vRAN からの指示に従い、ビーム制御並びにマルチユーザ送受信を行うマルチバンド RU の試作及び動作検証を完了する。

b）AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を適用する Massive MIMO 基地局高度化技術の実証

- 64TRX 以上の Massive MIMO において、使用するバンドや TRX を制限した上で、ビーム制御及びマルチユーザ送受信を行うとともに、消費電力を削減する機能を持つマルチバンド RU の試作と動作検証を完了する。
- 消費電力の削減目標としては、使用するバンドや TRX を制限しない従来の場合と比較して、スループットを低下させずに基地局全体の消費電力を 20%程度またそれ以上削減する。

2025 年度末におけるアウトプット目標

a）64TRX 以上を想定したビーム制御及びスリープ制御等が可能なマルチバンド RU に関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO において、ビーム制御及びマルチユーザ送受信を行うマルチバンド RU のアーキテクチャ検討と実装検討を完了する。
- TRX 及びアレーアンテナに必要な性能（出力、効率、帯域特性など）を検証するための部分試作と動作検証を完了する。

b）AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を適用する Massive MIMO 基地局高度化技術の実証

- 64TRX 以上の Massive MIMO において、使用するバンドや TRX を制限してビーム制御及びマルチユーザ送受信を行うとともに、消費電力を削減する機能を持つマルチバンド RU のアーキテクチャ検討と実装検討を完了する。
-

2026 年度末におけるアウトプット目標

a）64TRX 以上を想定したビーム制御及びスリープ制御等が可能なマルチバンド RU に関する研究開発

- 64TRX 以上の Massive MIMO において、ビーム制御及びマルチユーザ送受信を行うマルチバンド RU の試作と RU 単体での動作検証を完了する。

b）AI/ML を用いたビーム制御及び省電力制御を適用する Massive MIMO 基地局高度化技術の実証

- 64TRX 以上の Massive MIMO において、使用するバンドや TRX を制限してビーム制御及びマルチユーザ送受信を行うとともに、消費電力を削減する機能を持つマルチバンド RU の試作と RU 単体での動作検証を完了する。

アウトカム目標

2027 年　ビーム制御及び省電力制御機能をもつマルチバンド/マルチビーム対応 Massive MIMO RU の製品化による市場投入

2028 年　AI/ML によるビーム制御及び省電力制御に対応したマルチバンド/マルチビ

ーム対応 Massive MIMO RU の製品化による市場投入

5. 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数　：研究開発項目ごとに１件

研究開発期間：契約締結日から 2027 年度（2026 年度後半に実施するステージゲート評価を踏まえ、継続の必要性等が認められた場合には、2027 年度まで継続予定。認められなかった場合は 2026 年度末で終了。）

研究開発予算：研究開発項目 1 及び研究開発項目 2 を合わせて総額 3,000 百万円（税込）を上限とし、最初の２年間での累計額上限を 2,000 百万円（税込）とする。（提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。ステージゲート評価や革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業の後年度予算の状況等により、各年度の研究開発予算を変更する場合がある。）。

研究開発体制：単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

6. 提案に当たっての留意点

- 研究開発項目１又は研究開発項目２いずれか又は全ての研究開発項目に提案することができる。複数の研究開発項目に応募する場合、提案書は一つにまとめること。
- 提案書には、ステージゲート評価後 2027 年度まで実施することを仮定して、2027 年度までの計画を記載すること。
- 具体的目標に関しては、2026 年度後半のステージゲート評価を受ける際の中間目標と、当該評価で継続が認められた場合の 2027 年度の目標について、定量的に提案書に記載すること。
- 本委託研究で研究開発する技術について、具体的に Beyond 5G の実現に当たりいつ頃どのような分野のどのような知的財産の取得が期待できるのか、何件程度の特許出願を目指すのか、また、知的財産の取得とともに標準化活動の推進も重要であることから、いつ頃どのような分野のどのような標準の策定が期待できるのか、どのような標準化活動を推進するのか等について提案書に記載すること。
- 外国の民間企業や大学等との連携体制が構築できている又は計画している場合には、具体的な連携の方法について提案書に記載すること。
- 実施体制については、本研究開発の目的に則した実施体制を構築することとし、それぞれの役割を明記すること。
- 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言をいただくとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導をいただくため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催すること。
- 本研究開発成果の社会実装に向けて、到達目標の項目に記載されたマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、体制、評価方策等を記載すること。その際、本研究

開発が対象としている通信システムのデモンストレーションや、それら成果を用いたより高度な研究開発活動あるいは通信事業が、持続的に発展するためのライフサイクル計画等についても記載すること。

- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。

7. 運営管理

- 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間調整会議を定期的に開催すること。
- 国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）と受託者の連携を図るため、代表提案者は、機構の指示に基づき研究開発の進捗状況などについて報告すること。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、機構が研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

8. 評価

- 2026 年度後半に評価委員会による評価（ステージゲート評価）を実施し、継続の必要性等が認められた場合には、2027 年度まで研究開発を継続する。なお、ステージゲート評価の結果を踏まえ、委託研究の中止、縮小、実施体制の変更等を判断する場合がある。
- 機構は、研究開発終了時に終了評価を実施する。
- 機構は、本委託研究終了後に成果展開等状況調査を行い、追跡評価を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも本委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施することがある。

9. 成果の社会実装等に向けた取組

- Beyond 5G の実現を支える技術として、知的財産戦略及び標準化戦略、さらには社会実装と海外市場への展開戦略を記載すること。
- 社会実装・海外展開に向けた事業計画を明確とすること（委託研究後の事業化等に向けた取組を明確にする）。
- 上記の社会実装・海外展開を実現するため、提案に先立ち、事業計画を練り、その実現に向けた研究開発提案を検討すること。また、必要に応じて、成果発表やそれに留まらずコミュニティ先導のための国際ワークショップや国内セッション開催、展示、標準化等を行うこと。