

令和3年度研究開発成果概要書

採択番号 02601

研究開発課題名 次世代の5次元モバイルインフラ技術の研究開発研究

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、NTN(非地上系ネットワーク)と地上ネットワークの連携による超高速のモバイル通信技術を獲得するため、多次元の無線状況把握および干渉推定による無線周波数の更なる活用の研究、地上よりも厳しい環境が求められる人工衛星や成層圏に滞空する無人航空機(HAPS)に搭載可能な、超高速・カバレッジ拡大を両立させる通信機器技術の革新に挑む。

(2) 研究開発期間

令和3年度から令和6年度(4年間)

(3) 受託者

日本電気株式会社<代表研究者>
国立大学法人電気通信大学
国立大学法人信州大学
NECスペーステクノロジー株式会社

(4) 研究開発予算(契約額)

令和3年度から令和4年度までの総額494百万円(令和3年度120百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目1 5次元(周波数、時間、3D空間(X,Y,Z))の無線状況把握
及び干渉推定技術

- 1-a. 5次元のリアルタイム無線状況把握技術(国立大学法人電気通信大学)
- 1-b. 高精度無線干渉推定技術(国立大学法人信州大学)

研究開発項目2 動的アクセス回線構成技術

- 2-a. アクセス回線構成技術(日本電気株式会社)
- 2-b. 衛星利用回線高性能化技術(NECスペーステクノロジー株式会社)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計(件)	当該年度(件)
特許出願	国内出願	9	9
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	7	7
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1：5 次元（周波数、時間、3D 空間 (X,Y,Z)）の無線状況把握及び干渉推定技術

1-a. 5 次元のリアルタイム無線状況把握技術

令和 3 年度は 5 次元の無線状態把握のうち地上平面と高さ方向の 3 次元の無線空間を扱うデータベースを設計し、3 次元メッシュにより統計値を保管・提供する機能の実装を完了した。このデータベースに対して、無線空間観測手法として、携帯電話端末で得られる観測情報を整理し、その誤差がどのように構築したデータベースの性能に影響を与えるかを検証した。加えて、非地上系ネットワークの無線空間をデータベースで表現するため、上空のメッシュ化を行うための座標系を調査した。また、データベースを活用した無線空間の把握で課題となる欠損メッシュの内挿や、直接観測信号が得られない遠方や高さ方向の外挿を行う手法を考案し、実際の地域 BWA 信号および携帯電話基地局信号により実験的な検証を行った。内挿はクリギング補間を用いることで、全体の 4% 程度のメッシュ値で間を補間することで残り 96% のメッシュで RMSE（平均平方二乗誤差）7dB 以内を達成できることを確認した。外挿については、基地局周囲の観測情報で学習し、3 次元地図を活用して基地局遠方の平均受信電力を補外推定する手法を検討し、RMSE 7dB の精度で平均受信電力を推定できることを確認した。これらより令和 3 年度の目標であった地上において、6GHz 以下の帯域で RMSE 7dB の精度で受信電力推定を行う目標が達成できたことを確認した。

1-b. 高精度無線干渉推定技術

送信アンテナビームフォーミングの電波放射の抑制効果により、空間的な周波数再利用が可能な空き周波数スペースを予測するための干渉推定法の確立を進めた。トラフィック群流によるユーザ予測に基づき、ユーザ数が少ない小エリアに対して積極的にアンテナ指向性利得を抑制することで、空き周波数スペースの確保とサービス外となるユーザの発生を両立した。電波伝搬をモデル化するレイトレーシングシミュレーションによる評価を進め、一定の時間区間においては、目標とする空き周波数資源を 20% 拡大する効果を確認した。

空き周波数スペースにおける他システムによる周波数資源の二次利用を想定し、既存システムから発生する同一周波数干渉に対する干渉耐性能力の評価を進めた。そして、同一周波数干渉の耐性能力の観点から、周波数共用の可否を判断する検知システムの構築を進めた。基本検討として、複数の自律した無線 LAN システムによる周波数共用時に同一周波数干渉が発生する環境を実機で構築し、無線の品質制御と同一周波数干渉の関係を明らかにした。次に、5G システムを簡易的に模擬したネットワークシミュレータを構築し、二つのセルラシステムにおける同一周波数干渉の発生による無線品質への影響を評価し、5G システムに対する同一周波数干渉を検知する基本法を確立した。ネットワークシミュレータにおいて、電力の高い同一周波数干渉が発生する環境では、誤りなく干渉発生への識別が可能であることを確認した。

研究開発項目 2：動的アクセス回線構成技術

2-a. アクセス回線構成技術

NTN 基地局と端末を繋ぐアクセス回線技術として、NTN 基地局と無線アクセス回線の実現要素を抽出し、要素毎の特性および課題を抽出した。さらに、NTN の軌道(高度)、帯域、送信電力、空中線利得の要素から実現案を絞り込み、複数方式を選定した。具体的には、はじめに現状の NTN (LEO コンステレーションおよび HAPS) における回線計算により、回線速度を導出した。次に、現状の NTN において、地上端末をスマートフォン相当のアンテナとした場合の回線速度を導出した。B5G の目標である 5G の 10 倍以上ということで、導出した現状の速度の 20 倍と設定し、B5G における NTN の回線速度の目標値として設定した。次に、回線速度目標の達成に要求される NTN の軌道(高度)、帯域、送信電力、空中線利得の方式を導出し、現状技術の性能とのギャップを明らかにし、将来実現可能な方式として、実用化動向を踏まえた増幅器の出力限界から方式を絞り込み、目標としていた 3 つ以上の方式を選定した。

2-b. 衛星利用回線高性能化技術

地上系と NTN の周波数共有を支える高度なビームフォーミングを実現するために衛星通信機として必要となる機能及び地上系との接続の前提条件の明確化を行った。

それらの機能、条件を元に衛星通信機をどの様に実現するかについてアンテナの方式、ビームフォーミングの方式あるいは通信機の各構成要素の物理的な組合せ(形状)等の検討を行い、複数の実現方法間で性能面、経済面、実現性面などの観点からトレードオフを実施した。

また、衛星通信機の構成要素への分解と各構成要素を実現するに当たっての技術課題を現状の技術レベルから将来の技術動向を推察しつつ明確化した。

衛星搭載においては重要ポイントである通信性能あたりの電力についても今回選択した方式及び技術動向の進歩を踏まえて初期的な見積もりを実施し目標とする現行比 1/2 以下を達成できる見通しを得た。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1：5 次元（周波数、時間、3D 空間 (X,Y,Z)）の無線状況把握及び干渉推定技術

1-a. 5 次元のリアルタイム無線状況把握技術

本研究開発項目では5次元無線空間観測手法と状況把握手法の研究開発として、3次元空間、時間、周波数の合計 5 次元の無線空間を観測する手法とその無線環境の状況を把握する手法を確立する。令和 3 年度に達成する予定の 6GHz 以下の帯域に対して、令和 4 年度では、個人端末が存在する地上で平均平方二乗誤差 7dB の精度での受信電力の推定性能に加えて、ビルなどの建物内において、6GHz 以下の帯域で、平均平方二乗誤差 7dB の精度で受信電力推定を実現する。また、上空空間において、6GHz 以下の帯域で、受信電力推定精度を平均平方二乗誤差 10dB の精度で推定できる技術を確立する。

1-b. 高精度無線干渉推定技術

現実の電波伝搬の影響を明らかにするため、屋内外測定実験を実施する。まず、運用中の 5G 基地局から制御信号等で状態分析を進め、アンテナ指向性と受信電解強度の関係を明らかにする。また、実験試験局免許制度を利用した電波放射実験を実施する。ここでは、アンテナ指向性が異なる二種類のアンテナによる電波放射実験を実施し、アンテナ指向性の違いによる電波伝搬の違いを明らかにする。そして、レイトレーシングシミュレーション上において実電波伝搬に近づけた無線環境を再現する。干渉予測法では、低演算で伝搬状況を予測する方法を確立する。また、干渉予測に利用するトラヒック群流の推定精度の改善を進める。トラヒック群流予測に基づく干渉予測の結果、空き周波数資源の確保を従来法に比べて 20%改善できる効果について、実電波伝搬をより正確に再現したシミュレータ上で実現する。

次に、干渉状態の検知システムの高度化を進める。観測対象のセルラシステムにおいて端末の移動による品質変動が生じる環境下で、干渉発生が高感度に識別できる方法を確立する。特に、通信品質の時間的な品質変動を検知可能な機械学習の適用を進める。時間的な変動環境をモデル化するため、実運用中の 5G 基地局からパケット解析を進め品質分析を進める。測定した品質結果をネットワークシミュレータで再現し、自律する無線システムから与干渉の発生による品質劣化が生じる状況と平時の通信品質の変動との識別精度を明らかにする。そして、干渉状態推定に基づき、従来共用不可となっていた時間帯の短縮効果を定量的に明らかにする。

研究開発項目 2：動的アクセス回線構成技術

2-a. アクセス回線構成技術

20 倍のダウンリンク通信速度に対する地上系と NTN の実現方式の妥当性を解析的に検証するため、R3 年度に回線計算により選定した方式から、シミュレータ上に通信可能速度、通信可能時間、必要なビームの指向性を算出可能なモデルを構築し、無線周波数毎のエリア範囲、通信速度、エラー率を検証することで、B5G のアクセス回線の候補となる 3 方式を選定する。評価する無線周波数の間隔については、特性が変わる周波数を選定していくが、周波数の間隔が周波数の 2 倍以下を基準として設定し、既存のモバイル通信が利用している周波数帯に加え、ミリ波、テラヘルツ波帯までを解析的に評価する。また、既存のモバイル通信が利用

している周波数は、様々な伝搬試験等の評価結果が存在するが、評価結果が不足している周波数を用いる方式については、ステージゲート評価後に屋外実証評価を予定しており、そのための無線実験局申請を実施する。

2-b. 衛星利用回線高性能化技術

衛星通信機として R3 年度の検討で明らかとなった通信機の機能及び地上系との接続の前提条件の検討結果及び実現性に関するトレードオフ結果を元に衛星通信機の性能及び方式を明らかにする。

通信は衛星系のみではクローズせず、地上局や相手端末も含めた通信系全体からの要求事項・制約事項もあることから、2-a)の検討と連携し、初期捕捉に関する検討を行い、衛星通信機として備えるべき、機能・性能に関するフィードバックを得る。

通信機の機能を実現するための構成要素への分解と構成要素間の I/F を定義。また方式設計結果の解析的設計妥当性検証を、シミュレーションや要素部分試作を通して実施する。

また、実現に向けクリティカルな構成要素・技術を抽出し、新たに開発・評価すべき項目があるかの視点で分類及びリスクアセスメントを実施する。