

令和 3 年度研究開発成果概要書

採択番号 03401

研究開発課題名 Intelligent Reflecting Surface によるプロアクティブな無線空間制御と耐干渉型空間多重伝送技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、基地局や端末から発せられる電波の伝搬路を制御する IRS (Intelligent Reflecting Surface) を用いたシステムの最適化によるプロアクティブな無線空間制御技術の確立及び干渉波の到来時間や伝搬路行列の確率的予測結果を用いて周波数利用効率を最大化する干渉抑圧・空間多重伝送技術を確立する。これにより B5G 時代の情報通信技術として要求される性能要件を満たしつつ、無線空間そのものを制御するという新たなアプローチによる対象空間における周波数利用効率の大幅な改善の実現を目的とする。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 5 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人東北大学<代表研究者>
株式会社国際電気通信基礎技術研究所

(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 100 百万円 (令和 3 年度 29 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 IRS によるプロアクティブな無線空間制御システム最適化技術
研究開発項目 1-a) 低オーバーヘッドなプロアクティブ無線空間制御手法 (東北大学)
研究開発項目 1-b) IRS による無線空間制御のためのシステム設計最適化方式 (東北大学)

研究開発項目 2 確率的干渉到来予測を用いた干渉抑圧技術の研究開発
(株式会社国際電気通信基礎技術研究所)

(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	2	2
	外国出願	1	1
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	5	5
	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	1	1

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1 :

研究開発項目 1-a)

- 低オーバーヘッドなプロアクティブ無線空間制御技術の基本設計を行った。考案した手法について数値解析やシミュレーション実験を行い、オーバーヘッド低減や面的周波数利用効率の向上が実現可能である見通しを立てた。具体的には、Codebook を利用し、あらかじめ用意した位相パターンを順次試行することでオーバーヘッドを削減する方法を検討した。コードブックを構築し、位相パターンを量子化することで、反射位相の計算量の削減や情報量の圧縮を行うことができる。通常、通信の都度、連続値である CSI(Channel State Information)から位相ウェイトの算出を行う必要があるが、リアルタイム性が要求される通信では計算量の問題から非現実的である。そこで CSI をベクトル量子化(Vector Quantization: VQ) 法により代表値へ量子化することで、あらかじめ算出した反射位相に紐づけ、コードブックを構築した。通信の際には得られた CSI を量子化し、すでに用意された位相ウェイトで通信を行うことができる。シミュレーション評価を行い、提案手法は IRS の位相ウェイトパターンを離散化し、制御オーバーヘッドを削減しつつ、SNR を従来手法と比較して 50%程度向上させることができることがわかり、提案手法の有用性を確認した。このように、IRS を用いた通信システムにおけるオーバーヘッドを削減しつつ面的周波数利用効率を向上させるのに有効な手法の検討を行い、次年度以降における研究開発実施に有用な知見を得た。本検討に関して国際特許出願 1 件、一般口頭発表 1 件 (受賞 1 件) を実施した。

研究開発項目 1-b)

- システム設計最適化技術の基本設計を行った。考案した手法について数値解析やシミュレーション実験を行い、面的周波数利用効率の向上が実現可能な見通しを立てた。具体的には、電波伝搬シミュレータ Wireless Insite を用いてレイトレースシミュレーションを行い、IRS の有無、配置場所による受信電力の差異を検証した。シミュレーションの結果、IRS が存在する場合、ない場合と比較して無線のカバレッジエリアを拡大することができることを確認した。また、IRS を異なる位置に配置した際のエリアの受信電力を検証し、配置位置によって受信電力分布が変化することを確認した。これにより、IRS の配置位置を適切に定めることで面的周波数利用効率を向上させることができることを確認した。本検討に関して収録論文発表 1 件、一般口頭発表 1 件を実施した。

研究開発項目 2 :

- 観測帯域幅 100 MHz、観測可能周波数 9 kHz ~ 6 GHz で、4 ポートでの同時観測が可能で干渉モニタリング装置の構築を完了した。また、当該装置を用いて無線 LAN 信号を干渉源に見立てた干渉測定実験を電波暗室内で行い、干渉到来情報や伝搬路情報を抽出するためのデータを取得した。
- 複数の干渉波の到来予測を行うための手法として、受信信号に対して特異値分解などの独立成分抽出手法を適用して各到来波成分を分離し、各到来波成分の ON/OFF パターンに対して確率的ニューラルネットワーク (PNN) を適用して将来の到来確率予測を行う手法の基本設計を完了した。また、IRS が存在し、かつ動的な環境において高精度な干渉抑圧を行うために、不定期間隔で取得された干渉波の伝搬路値を補間してから将来時点の予測を行う手法の基本設計を完了した。本検討に関して国内特許出願 1 件、収録論文発表 1 件を実施した。
- 確率的干渉到来情報を用いた送受信重み制御手法として、周辺の干渉 (他ユーザ) による複数の IRS の利用状況予測結果、ならびに利用可能な IRS の個々の組み合わせに対する達成可能レートの予測結果から、各種重みを算出する手法の基本設計を完了した。本検討に関して国内特許出願 1 件、収録論文発表 1 件を実施した。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1 :

(令和 4 年度)

研究開発項目 1-a)

- B5G において要求される通信性能を満足しつつ IRS を制御する際に発生するオーバーヘッドを削減するための無線空間制御手法確立を最終年度に達成するため、シミュレーション評価による実証と一部実機実験による実証により、技術確立の見通しを立てることを目標とする。具体的な数値目標としては、開発技術を利用しない場合と比べてオーバーヘッドを 1/5 以下に低減することを確認する。
- 通信性能を満足する点においては、研究開発項目 1-b) と連係動作することを前提としていることから、オーバーヘッド削減目標を達成しつつ 1-b) で掲げる数値目標を達成する。
- 査読付き国際学術論文 1 件、査読付き国際学会発表論文 1 件、口頭発表論文 1 件を実施する。

研究開発項目 1-b)

- IRS をシステム内で利用する際の配置や個数、制御回線の有無によるシステム設計に着目し、システムの最適設計方式確立を最終年度に達成するため、シミュレーション評価による実証と一部実機実験による実証により、技術確立の見通しを立てることを目標とする。具体的な数値目標としては、研究開発項目 1-a) における開発技術との連係動作を達成しつつ、面的周波数利用効率を 1.5 倍以上に改善することを確認する。なおここで面的周波数利用効率 1.5 倍以上とは占有する周波数帯域幅が同一な場合において一定カバレッジ内におけるシステムとしての総スループットが 1.5 倍以上となることを指すものとする。
- 査読付き国際学術論文 1 件、査読付き国際学会発表論文 1 件を行う。なお特許出願に関しては最終年度の出願の準備を整える。

(令和 5 年度・ステージゲート後)

研究開発項目 1-a)

- B5G において要求される通信性能を満足しつつ IRS を制御する際に発生するオーバーヘッドを削減するための無線空間制御手法を確立し、開発技術を利用しない場合と比べてオーバーヘッドを 1/10 以下に低減可能であることを確認する。
- 通信性能を満足する点においては研究開発項目 1-b) と連係動作することを前提としていることから、オーバーヘッド削減目標を達成しつつ研究開発項目 1-b) で掲げる数値目標を達成する。
- 査読付き国際学術論文 1 件、査読付き国際学会発表論文 1 件、口頭発表論文 1 件を行う。

研究開発項目 1-b)

- IRS をシステム内で利用する際の配置や個数、制御回線の有無によるシステム設計についてシステムの最適設計方式を確立し、研究開発項目 1-a) における開発技術との連係動作を達成しつつ、面的周波数利用効率を 2 倍以上に改善することを確認する。なおここで面的周波数利用効率 2 倍以上とは占有する周波数帯域幅が同一な場合において一定カバレッジ内におけるシステムとしての総スループットが 2 倍以上となることを指すものとする。
- 特許出願 1 件、査読付き国際学術論文 1 件、査読付き国際学会発表論文 1 件、口頭発表論文 1 件を行う。なお、特許出願に関しては機関間で連携して実施する。

研究開発項目 2 :

(令和 4 年度)

- 確率的干渉到来予測手法について、IRS 制御と連動するためのインタフェース設計を完了する。
- 確率的干渉到来予測手法について実環境あるいはその模擬環境にて取得した干渉到来データを用いたシミュレーション評価を行い、干渉波到来確率の平均予測誤差 20%以内、干渉波ベクトルの振幅レベルでの平均予測誤差 30%以内を達成できることを確認する。
- 干渉波の到来およびその伝搬路行列を理想的に検出できる場合に達成可能な周波数利用効率に対して 60%以上の周波数利用効率を達成できることを確認する。
- 特許出願 3 件、査読付き国際学術論文 2 件、査読付き国際学会発表論文 2 件、口頭発表論文 3 件、国際標準化寄書提案 1 件を行う。なお、特許出願に関しては機関間で連携して実施する。

(令和 5 年度・ステージゲート後)

- 確率的干渉到来予測手法について実環境あるいはその模擬環境にて取得した干渉到来データを用いたシミュレーション評価を行い、干渉波到来確率の平均予測誤差 10%以内、干渉波ベクトルの振幅レベルでの平均予測誤差 10%以内を達成できることを確認する。
- 干渉波の到来およびその伝搬路行列を理想的に検出できる場合に達成可能な周波数利用効率に対して 80%以上の周波数利用効率を達成できることを確認する。
- 研究開発項目 1 にて開発する IRS 制御技術と連係動作した際に面的周波数利用効率 2 倍以上を実現できることをシステムレベルシミュレーションにより確認する。
- 研究開発項目 1 で検討する IRS 制御技術と連携動作する POC (Proof of Concept) 検証系を構築し、伝送実験を通じて考案技術の有効性を検証する。
- 特許出願 3 件、査読付き国際学術論文 2 件、査読付き国際学会発表論文 2 件、口頭発表論文 3 件、国際標準化寄書提案 1 件を行う。なお、特許出願に関しては機関間で連携して実施する。