

令和 4 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 5G 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 4 年度 72 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	5	3
	外国出願	1	1
外部発表等	研究論文	2	2
	その他研究発表	19	14
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	1	1
	受賞・表彰	2	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設計を行った。昨年度検討した手法と併せ考案手法によって、最終年度における目標達成の見通しを立てた。具体的には、位置情報と IRS 制御とを紐づけた Codebook を利用し、IRS 制御決定に CSI の収集を不要とすることでオーバーヘッドを削減する方法を検討した。通常、通信の都度、連続値である CSI 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。そこで位置情報をベクトル量子化 (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位置情報を量子化し、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、提案手法を利用しない場合と比べてオーバーヘッドを 1/5 以下に低減するとともに、SNR を 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 4 件を実施した。なお特許出願に関しては最終年度の出願の準備を整えた。

#### 研究開発項目 1-b)

- システム設計最適化技術の設計を行った。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、Wireless Insite を用いて複数の IRS を集中配置した場合と分散配置した場合の受信電力の差異を検証した。シミュレーションの結果、IRS を集中配置した場合カバレッジは縮小するがカバレッジ内における通信性能の最大値が向上し、IRS を分散配置した場合、通信品質の底上げによりカバレッジが拡大するが、カバレッジ内の通信性能の最大値が減少することを確認した。これにより、環境に適した IRS 配置を行うことで通信品質の向上が可能であることを確認した。昨年度検証した、IRS 配置位置による通信性能改善の結果と併せ、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した。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。また、実機を用いた基礎特性の評価を行い、最終年度での実機を用いた検証実験のための準備を整えた。本検討に関して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 3 件を実施した。なお特許出願に関しては最終年度の出願の準備を整えた。

### 研究開発項目2：

- 昨年度の検討結果を踏まえて受信信号の統計相関特性による複数の干渉波の到来検出と予測手法の検討を進めた。具体的には、
  - 受信信号の自己相関信号のスペクトルによる干渉波検出手法の設計
  - 干渉発生時、干渉源の位置推定手法の設計
  - 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構築等を行い、96%以上の確率で干渉の発生検出を行えること、約50%の確率で干渉源の横・縦位置の推定誤差を 1 m 以内に抑えられること、ならびに将来時刻における干渉発生予測が可能であることを確認した。  
本検討に関して国内特許出願 1 件、査読付き収録論文発表 1 件を実施した。
- 昨年度の検討結果を踏まえてガウス過程回帰による伝搬路予測手法の検討を進めた。具体的には、
  - 伝搬路予測に適したカーネル関数の設計

- ハイパーパラメータの最適化
- IRS を考慮した伝搬路モデルに基づくシミュレーション評価
- 60GHz 帯での伝搬路測定値による予測精度の評価

等を行い、将来時刻における伝搬路値について、直接伝搬路推定した場合に対して 21% 程度の誤差で予測できることを確認した。

本検討に関して国内特許出願 1 件、収録論文発表 1 件、一般口頭発表 1 件、受賞 1 件の成果があった。また、小論文 1 件を投稿中である。

- 確率的干渉到来情報を用いた MIMO 送受信重み制御手法について、各干渉到来状況に対するチャンネル容量を事前に計算し期待値が最大となるストリーム数を選択するランクアダプテーション手法を新たに考案した。仲上-ライスフェージング伝搬路を仮定したシミュレーションにより、提案手法の有効性を確認した。また、提案手法において、ある干渉波到来確率が 20% 以内の予測誤差を持つ場合であっても、理想的に検出できる場合に対して 92% の周波数利用効率が達成できることを確認した。

本検討に関して国内特許出願 1 件、査読付き収録論文発表 1 件、収録論文発表 1 件を実施した。

- 干渉抑圧手法の性能検証を行うための「ミリ波帯干渉モニタリング系」の構築と測定を行った。端末移動を想定して以下の 4 通りのシナリオで測定を行った。
  - シナリオ 0：送・受信アンテナ共に静止状態
  - シナリオ 1：受信アンテナから見て送信アンテナを左右に 2 m 移動  
(開き角 ±45 度)
  - シナリオ 2：受信アンテナから見て送信アンテナを前後に 1 ~ 2.5 m 移動
  - シナリオ 3：送信アンテナをその場で 180 度回転

取得した伝搬路データは、上記伝搬路予測手法の性能評価に供した。

- IRS の適用シナリオ、ならびに研究開発項目 1 において検討されている 2 種類の IRS 運用形態（インフラ型 IRS および自律分散制御型 IRS）について、必要となる制御インターフェースの基本設計を行った。
- IEEE 802 標準化会合に参加し、本研究開発課題の有力な適用先である次世代ミリ波帯無線 LAN 規格を議論する新規標準化グループの設立に向けたサポート活動を実施した。その結果、IEEE 802.11WG 傘下にて Integrated mmWave Study Group (IMW SG) の設立が決定した。当該グループは 2023 年 11 月から活動が開始される予定である。

## (8) 今後の研究開発計画

### 研究開発項目 1：

#### 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ー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 :

- 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 制御技術と連携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 3 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 2 件の投稿等を行う。なお、特許出願に関しては機関間で連携して実施する。