

令和 5 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 02001  
研究開発課題名 移動通信三次元空間セル構成

(1) 研究開発の目的

第 5.5 世代、及び第 6 世代移動通信システムに向けた同一周波数共用三次元空間セル構成、及び他システムへの干渉を抑圧し周波数共用を実現する“ネットワーク連携による同一周波数共用三次元空間セル構成”の研究開発を世界に先駆けて行う。これにより、「周波数の一次利用、二次利用の壁」を取り除くことを目指す。

(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

ソフトバンク株式会社<代表研究者>

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 5 年度までの総額 1,400 百万円 (令和 5 年度 400 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: 同一周波数共用三次元空間セル構成(ソフトバンク株式会社)  
研究開発項目 2: 他システムへの与干渉抑圧技術による同一周波数共用(ソフトバンク株式会社)  
研究開発項目 3: 研究開発項目 1 と 2 のシステム統合 (ソフトバンク株式会社)

(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	6	2
	外国出願	2	2
外部発表等	研究論文	1	0
	その他研究発表	54	23
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	1	1
	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 : 同一周波数共用三次元空間セル構成

(a) HetNet 構成による基地局間連携三次元空間セル構成

- 下り回線干渉抑圧技術である “スモールセル基地局送信干渉キャンセラ” の試作及び性能評価。
- 上り回線干渉抑圧技術である “マクロセル基地局受信干渉キャンセラ” の試作及び性能評価。

(成果)

- HetNet 構成による干渉キャンセラの実現技術として不可欠な「伝搬路応答推定技術」がある。5G 標準である SRS(Sound Reference Signal) を用いて他セル端末からの伝搬路応答推定法を提案し、5G 標準伝送方式である OFDMA を用いてその推定精度を明らかにした。他セル端末の SRS 測定の試作装置を作成し、SRS により伝搬路応答を推定できることを確認した。推定精度に関しては次年度の検討とする。

(b) 地上端末と上空端末を同一周波数利用する三次元空間セル構成

- 地上端末と上空端末を空間分離する基地局アンテナのビームフォーミングの試作及び性能評価。
- 基地局アンテナ MU-MIMO 干渉キャンセラの試作及び性能評価。

(成果)

- 上空端末は基地局と見通しとなり、基地局に従来の V 偏波アンテナを用いた MIMO 受信するとアンテナ間相関が非常に高くなり、上空端末の通信容量が大幅に低下する。そこで、昨年度提案した MU-MIMO キャンセラに対して、基地局に直交偏波アンテナ、上空端末に直交偏波アンテナ、地上端末に V 偏波アンテナを用いた MIMO 受信する“直交偏波 MU-MIMO キャンセラ”を提案し、計算機シミュレーションにより評価した。提案法により、上空端末の通信容量を上空端末に V 偏波アンテナを用いた場合と比較して、2 倍以上に向上できることを明らかにした。
- 基地局アンテナ、上空端末として、直交偏波アンテナを開発し、“直交偏波 MU-MIMO キャンセラ”の評価試作装置を開発した。

(c) セル境界の通信品質を改善する基地局間連携三次元空間セル構成

基地局連携基地局アンテナ分散 MU-MIMO 干渉キャンセラの試作及び性能評価。

(成果)

- 下り回線で基地局連携基地局アンテナ分散 MU-MIMO 干渉キャンセラを実現するためには、下り回線（端末受信）で伝搬路応答を推定する必要がある。そこで、TDD 伝送を前提として、5G 標準である SRS を用いた上り回線での伝搬路応答により、下り回線の伝搬路応答を推定する新たな伝搬路応答の推定法を提案し、それを用いた基地局アンテナ分散 MU-MIMO 干渉キャンセラを提案し計算機シミュレーションにより検証した。従来、下り回線の伝搬路応答が理想的に得られると仮定した（理想的な）通信品質と比較して、提案する TDD による伝搬路応答を用いた場合の通信品質（通信容量）がほぼ同じ値となることを明らかにした。
- TDD 伝送を前提として上り回線の伝搬路応答推定を用いた下り回線の伝搬路応答の推定法を検証する試作装置（ハード）を開発した。推定精度に関しては次年度の検討とする。

(d) 三次元空間電波伝搬モデル化

電波伝搬変動特性のモデル化として、仲上-Rice 伝搬変動を特徴付ける「見通し電力とマルチパス電力の比」である K-Factor の推定法を用いた様々な環境での測定及び評価。

(成果)

- 上空端末への電波到来方向が未知の場合の K-Factor の高精度測定方法として、上空をらせん状に高さ方向を変えながら周回する“三次元空間周回測定法”を提案し、計算機シミュレーションで測定精度を明らかにした。
- 前年度開発した、ドローンに搭載して上空の K-Factor を測定する軽量の測定装置（アンテナを含む）を用いて、千葉県長生郡の郊外地（住宅街）において上空の K-Factor を測定した。周回半径を 20m、ドローンの飛行高度を地上 50m~150m として、提案する“三次元空間周回測定法”により K-Factor を複数回測定した。測定した複数回の K-Factor 値の標準偏差が非常に小さく、提案する“三次元空間周回測定法”により上空での K-Factor を高精度に測定できることを示した。

研究開発項目 2：他システムへの与干渉抑圧技術による同一周波数共用

他システムを衛星通信システムの下り回線と想定して、携帯システムとのシステム間連携干渉キャンセラの試作及び性能評価。

(成果)

- 提案する与干渉キャンセラ装置では、5G 基地局から分岐して干渉キャンセル装置に DAS（光ファイバ）で送信するレプリカ信号と空間を到来する 5G 干渉波を共に時間軸上でデジタル的にサンプリ

ングして、空間を到来する5G 干渉をキャンセルする。しかし、それらのサンプリングに時間誤差が生じた場合、干渉キャンセル効果が低減する。そこで、サンプリングの時間誤差を補償するアルゴリズムを提案し、時間誤差が0の場合と同等の干渉抑圧が得られることを計算機シミュレーション及び試作装置で確認した。

- 前年度開発した 5G(周波数帯：4GHz、帯域幅：100MHz) を対象としたシステム間連携干渉キャンセラの試作装置は基地局当たりマルチパス数が最大 3 であったが、実際の環境を考慮してマルチパス数が基地局当たり最大 8 までキャンセラ可能な試作装置を開発した。
- パス当たりの干渉キャンセル量を更に向上させるアルゴリズムを提案し、最大 8 までキャンセラ可能な試作装置に実装して評価した。
- 10月に本システムをプレスリリースするとともに、公開デモンストレーションを実施した。

### 研究開発項目3：研究開発項目1と2のシステム統合

同一周波数共用三次元空間セル構成と他システムへの与干渉抑圧技術の同一周波数共用の統合の計算機シミュレーションによる検証及び統合システムの試作を行う。

(成果)

研究開発項目1と研究開発項目2をネットワーク連携協調制御するため通信装置として、光ファイバで接続する DAS(Distribute Antenna System) (伝送帯域が 100MHz、伝送距離 10km) を試作した。これにより、研究開発項目1の基地局間の連携、研究開発項目2の他システム間の連携、が共に実現できる。連携による通信品質(通信速度)の改善効果に関しては次年度の検討とする。

(8) 今後の研究開発計画

#### ○ 研究開発項目1：同一周波数共用三次元空間セル構成

(a) HetNet 構成による基地局間連携三次元空間セル構成

“スモールセル基地局送信干渉キャンセラ”と“マクロセル基地局受信干渉キャンセラ”を統合した実証試験の実施、及び性能評価(周波数利用率2倍の達成)。

(b) 地上端末と上空端末を同一周波数利用する三次元空間セル構成

地上端末と上空端末を同一周波数利用する基地局アンテナのビームフォーミングと基地局アンテナ MU-MIMO 干渉キャンセラの統合実証試験の実施、及び性能評価(周波数利用率2倍の達成)。

(c) セル境界の通信品質を改善する基地局間連携三次元空間セル構成

基地局連携基地局アンテナ分散 MU-MIMO 干渉キャンセラの実証試験、及び性能評価。

(d) 三次元空間電波伝搬モデル化

電波伝搬変動特性のモデル化として、上空における仰上-Rice 伝搬変動を特徴付ける「見通し電力とマルチパス電力の比」である K-Factor の高精度測定法の確立及び推定式の検討。

#### ○ 研究開発項目2：他システムへの与干渉抑圧技術による同一周波数共用

他システムを衛星通信システムの下り回線と想定して、携帯システムとのシステム間連携干渉キャンセラの野外実証試験、及び性能評価を実施する(周波数利用率2倍の達成)。

#### ○ 研究開発項目3：研究開発項目1と2のシステム統合

同一周波数共用三次元空間セル構成と他システムへの与干渉抑圧技術の同一周波数共用を統合した同一周波数利用無線システムの総合実証試験、及び性能評価を実施する(周波数利用率8倍の達成)。