

令和 4 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 4 年度までの総額 1,000 百万円 (令和 4 年度 907 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 の統合構成 (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	4	3
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	31	21
	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 : 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” のシミュレーションによる実現性評価及び評価用装置の試作。
- ・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” のシミュレーションによる実現性評価及び評価用装置の試作。

(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) を用いてマクロセル、スモールセルで伝搬路応答推定を

可能とする新たなシステム構成を提案し、実現性を検証した。試作装置により、SRSにより伝搬路応答が推定できることを確認した。

- HetNet 構成を拡張し、マクロセル間の干渉も同時に抑圧する「2段階干渉抑圧技術」を提案し、計算機シミュレーションによりマクロセルの通信品質を大幅に改善できることを示した。

(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シミュレーション及び評価用装置の試作。
- 基地局アンテナ MU-MIMO 干渉キャンセラの設計、シミュレーション及び評価用装置の試作。

(成果)

- 基地局アンテナのビームフォーミングに加えて、地上セルと上空セル間の干渉を相互に抑圧する基地局アンテナ MU-MIMO 干渉キャンセラの検討を実施し、計算機シミュレーションにより評価した。地上セルと上空セルを共に 2×2 MIMO 伝送とし、基地局アンテナのビームフォーミングと MU-MIMO 干渉キャンセラの適用により通信容量を 2 倍以上に向上できることを明らかにした。
- 基地局アンテナのビームフォーミングを評価する評価用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 干渉キャンセラの設計、シミュレーション及び評価用装置の試作。

(成果)

- 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、各基地局で各セルの端末の伝搬路応答を推定する技術が不可欠である。5G 標準である SRS を用いてセル間で伝搬路応答推定を可能とする新たなシステム構成を提案し、実現性を検証した。試作装置により、複数のセル間で伝搬路応答が推定できることを確認した。
- LTE/5GNR を対象として、伝送方式が(i) SIMO 単独、(ii) MIMO 単独、(iii) SIMO と MIMO が混在、の三通りについて上り回線の基地局連携基地局アンテナ分散 MU-MIMO 干渉キャンセラの検討を実施し、計算機シミュレーションにより評価した。特に、(iii) の SIMO と MIMO が混在の場合の新たな MU-MIMO 干渉キャンセラの制御方式を提案した。計算機シミュレーションによりセル境界における干渉抑圧効果及び通信品質を評価し、どの伝送方式においてもセル境界での通信容量（シャノン容量）を 4 倍以上に向上できることを示した。

(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 の推定法の実測定による評価。

(成果)

- 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）の試作装置を開発し、伝搬シミュレータを用いて測定装置が正常に動作することを確認した。伝搬シミュレータに設定した K-Factor 値を、試作した測定装置により精度よく測定できることを確認した。
- 電波の到来方向が既知の場合は、それを利用して推定精度を向上させる K-Factor の測定法を前年度提案した。しかし、実測定では一般には電波の到来方向は未知である。そこで、電波の到来方向に依存しない新たな「K-Factor 三次元空間測定法（方向に依存しない周回測定）」を提案し、その推定精度を計算機シミュレーションで明らかにした。電波の到来方向に依存しない提案法は様々な測定環境で K-Factor を精度良く推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シミュレーションによる実現性評価及び評価用装置の試作。

(成果)

- 提案する与干渉キャンセラは、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 干渉を、干渉キャンセル装置では時間軸上でデジタル的にサンプリングして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。
- 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評価用試作装置を開発した。半導体不足で極めて困難な開発であった。試作装置により、帯域幅 100MHz の与干渉をキャンセルできることを確認した。

○ 研究開発項目3：研究開発項目1と2の統合構成

本年は特になし。

(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

- SRS で測定した伝搬路応答行列を用いた“スモールセル基地局送信干渉キャンセラ”を試作し、性能を評価する。
- SRS で測定した伝搬路応答行列を用いた“マクロセル基地局受信干渉キャンセラ”を試作し、性能を評価する。
- スモールセル数が多くなった場合に、干渉抑圧量を維持しつつ、干渉キャンセル処理量を大幅に削減できる技術の検討を行う。

(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

- SRS で測定した伝搬路応答行列を用いて、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を行い、性能を評価する。
- SRS で測定した伝搬路応答行列を用いた基地局アンテナ MU-MIMO 干渉キャンセラの試作を行い、性能を評価する。

(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

SRS で測定した伝搬路応答行列を用いた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を行い、性能を評価する。

(d) 三次元空間電波伝搬モデル化

提案する電波の到来方向に依存しない「K-Factor 三次元空間測定法」を用いて、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 を様々な実環境において測定し、環境ごとの K-Factor 値のモデル化を行う。

○ 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、5G 携帯システム(4GHz 帯、100MHz 帯域幅) とのシステム間連携干渉キャンセラの試作装置の性能向上(キャンセル 5G 基地局数の増大等)を行う。

○研究開発項目3 研究開発項目1と2の統合構成

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。