

令和元年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 : 20701
 研究開発課題名 : Beyond 5G に向けたモバイル収容大容量光アクセスインフラの研究開発
 副 題 : Radio-over-Fiber 型伝送技術をベースとする Beyond 5G モバイルフロントホールの研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究では Beyond 5G 時代のモバイルサービスを収容するために、RoF・IFoF 伝送方式をベースとした光アクセスインフラの研究開発を実施する。具体的な目標性能として、eMBB のピークスループット 100 Gbps と URLLC の遅延量 100 μ sec を両立可能であり、かつ経済的に優れた MFH を構築可能な技術確立する。また、究極的な RoF 型伝送システムを構築可能であるフルコヒーレント伝送方式について、その実現時期を見極めることで、今後の関連研究開発の戦略策定の一助とする。

(2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 3 年度 (4 年間)

(3) 実施機関

株式会社 KDDI 総合研究所<代表研究者>
 三菱電機株式会社
 国立大学法人東北大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 300 百万円 (令和元年度 100 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 : 光・無線融合デバイス・サブシステム

1. 100 Gbps 級広帯域光・電子融合周波数分離デバイス技術 (三菱電機株式会社)
2. 上り無線信号の高密度多重処理技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)
3. 無線・光信号変換デバイス技術 (三菱電機株式会社)
4. 光・無線融合アンテナ技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)

研究開発項目 2 : RoF・IFoF 伝送システム

1. 双方向光・無線伝送システム技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)
2. 適応的空間電波周波数割り当て技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)

研究開発項目 3 : フルコヒーレント光・無線融合伝送基盤技術

1. フルコヒーレント RoF 伝送方式の開発 (国立大学法人東北大学)
2. フルコヒーレント周波数変換および光・無線融合伝送の実証 (国立大学法人東北大学)

(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	3	2
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	12	12
	標準化提案	0	0
	プレスリリース・報道	0	0

	展示会	2	2
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発課題全体：

課題間連携会議を開催し、各社の進捗状況の共有、課題間連携の方向性等について議論した。具体的な連携については令和2年度以降議論予定である。

研究開発項目1：光・無線融合デバイス・サブシステム

研究開発項目1-1 100 Gbps 級広帯域光・電子融合周波数分離デバイス技術（三菱電機株式会社）

本研究開発項目では、28Gsp/s 広帯域 A/D 変換から出力される膨大なデータをデジタル領域で高速デシメーション処理する新たなデジタルダウンコンバージョン方式の開発において、デジタル回路を設計した。本デジタル回路は、14GHz の帯域を有する高周波電気信号をサンプリングレート28Gsp/s、量子化ビット数8bitのA/D変換器(ADC)を用いて、デジタル信号として取り込み、入力信号をデジタル領域でダウンコンバージョンして4ユーザ以上の信号に分割する機能を有する。ユーザ毎の帯域分割を行うため、周波数シフト部、FIR(Finite Impulse Response)フィルタ部、デシメーション部の多段構成によるデジタル回路を設計し、大規模FPGA1石に実装した。また、20Gsp/s以上の広帯域ADCで課題となるダイナミックレンジを改善するため、マルチチャンネルADC方式を考案し、デジタル回路の設計を行った。

研究開発項目1-2 上り無線信号の高密度多重処理技術（株式会社KDDI総合研究所）

市販のADC/DAC、FPGAを用いて、中心周波数500MHz、帯域幅800MHzのOFDM信号を最大10チャンネル多重可能な周波数多重化機器の試作開発した。デジタル処理で周波数の異なるIFを5チャンネル生成し、ダイプレクサでそれらの信号を周波数多重する構造とし、さらに、LO、ミキサを用いたアップコンバージョン、ダイプレクサを用いた周波数多重化で、最大10チャンネルの周波数多重信号を生成可能とした。試作機器単体の性能評価試験により、機器の処理遅延を10μsec以下にできることを確認した。

研究開発項目1-3 無線・光信号変換デバイス技術（三菱電機株式会社）

本研究開発項目では、電気・光相互変換デバイスにおける電気・光変換部の光学及び高周波設計を行い、周波数特性と光出力特性の評価を実施した。その結果、高速信号を電気・光変換速度で動作するために十分な3dB帯域として28GHz以上の周波数特性が得られることを確認した。また、光出力特性については変調速度20GBaud以上においてSSPRQ(Short Stress Pattern Random Quaternary)パターンを用いた電気波形を入力し、十分に受信可能なアイ開口率を有する光出力波形が得られることを確認した。

研究開発項目1-4 光・無線融合アンテナ技術（株式会社KDDI総合研究所）

光・無線融合アンテナのレベルダイヤグラム、及びアンテナ素子配置の仕様に関する検討を完了した。具体的には、フォトダイオードの出力パワーからアンテナ素子までの所望出力パワーを計算し、RFアンプを2段組する構成をベースとしたレベルダイヤグラムとした。またアンテナ素子の配置に関して、一つのPDの出力を8個以上のパッチアンテナ素子に供給することで、十分にシャープなビームパターンが得られることを確認した。従って、アンテナの最小単位を<1つのPD+1×8アンテナ素子>とし、これをユーザ数(ビーム数)に応じて増やしていく仕様とした。

ビームフォーミング(BF)制御を100μs以内で完了可能な構成・方式の確立を目標として、各種構成・方式を比較検討した。具体的には、BF信号の生成場所、BF制御情報の生成場所お

よび配信方法、BF 制御処理を光段または電気段のいずれで処理するか、また制御を行う(中間)周波数に関して、様々な組み合わせのメリット・デメリットを机上検討で整理し、アプリケーションやユースケースにより適する方式が異なることを確認した。

研究開発項目 2 : RoF・IFoF 伝送システム

研究開発項目 2-1 : 双方向光・無線伝送システム技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)

商用の 100GbE 用 TOSA モジュールを用いて、下りリンク向け 400MHz 帯域幅の 256QAM 信号を 40 チャンネル伝送することに成功した。物理層の伝送レートは 128Gbps であり、100Gbps 級の IFoF 伝送に成功した。また上りリンクも同様の構成で信号多重度を 16QAM に低減することで、50Gbps 級 IFoF を容易に達成できる見込みを得た。

中継局とアンテナサイト間の短距離伝送 (SMF 1km 以下) において、RoF、IFoF (周波数変換用の LO をアンテナサイトに設置、または IF 信号に周波数重畳して中継局側からアンテナサイトに伝送) 各方式の伝送特性を評価した。その結果、いずれの方式でも、64QAM、800MHz 帯域幅の OFDM 信号を EVM8% の信号品質で伝送できる見込みを得た。

研究開発項目 2-2 : 適応的空間電波周波数割り当て技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)

無線区間の品質情報を表すチャンネル品質信号 (Channel quality indicator: CQI) という指標と、IFoF/RoF 区間の光伝送路の品質モニターする手法を組み合わせ、適応的な無線リソース割り当て技術の検討を完了した。具体的には、上り信号からの CQI をセンター局で抽出し、光伝送区間で計測した品質情報と合わせて、総合的に最適なリソース配分を行うアルゴリズムを用いることで、無線システム全体の品質を向上させられる見込みを得た。

研究開発項目 3 : フルコヒーレント光・無線融合伝送基盤技術

研究開発項目 3-1 : フルコヒーレント RoF 伝送方式の開発 (国立大学法人東北大学)

本研究開発項目では、コヒーレント QAM 光信号を 60 GHz 帯へ周波数変換するためのキャリアコンバータの設計に取り組んだ。光注入同期回路により位相同期した LO 光と QAM データ信号を合波し、帯域 70 GHz の PD を用いたヘテロダイン検波により、60 GHz 帯へのフルコヒーレント変換の基本動作を実証した。

研究開発項目 3-2 : フルコヒーレント周波数変換および光・無線融合伝送の実証 (国立大学法人東北大学)

研究開発項目 3-1 のフルコヒーレント変換回路を用いて、シンボルレート 4 Gbaud、多値度 16~256 のコヒーレント QAM 光信号をヘテロダイン検波し、フルコヒーレント変換した IF 信号の復調を実現した。これにより、光周波数から 60 GHz 帯へのダウンコンバートによる光・無線融合フルコヒーレント伝送システム実現の見込みを得た。