

# 進化した無線通信技術に柔軟かつ効率的に対応できる光・無線融合基地局ネットワーク 基盤技術の研究開発 (135003118)

## Radio Over Fiber Access Network Concept Employing Analog RoF and Optical Power Feed Techniques for Enhanced Mobile Communication Systems

### 研究代表者

山尾泰 電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター  
Yasushi Yamao Advanced Wireless & Communication Research Center,  
University of Electro-Communications

### 研究分担者

來住直人<sup>†</sup> 大木英司<sup>†</sup> 松浦基晴<sup>†</sup>  
Naoto Kishi<sup>†</sup> Eiji Oki<sup>†</sup> Motoharu Matsuura<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>電気通信大学 情報理工学研究科 情報・通信工学専攻

<sup>†</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, Department of Communication Engineering and Informatics, University of Electro-Communications

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

### 概要

光ファイバ無線による無線信号伝送の超広帯域性を活かして複数周波数帯域の一括直接伝送を可能とし、既存無線セル基地局からフェムトセル基地局までを収容できる光・無線融合基地局ネットワークを実現するための要素技術の研究開発を行った。さらに今後、フェムトセル基地局の比率が高くなることから、光給電による無電源化が重要課題であり、同一光ファイバによる無線信号伝送と同時光給電を可能とする伝送技術の研究開発を行った。

### 1. まえがき

携帯無線通信のブロードバンド化が世界的規模で進んでおり、急速に増え続けるトラフィックを収容するために周波数資源利用の飛躍的な向上が必須となっている。このために新たな周波数帯域の追加、より効率的な MIMO 伝送を可能とする分散アンテナシステム (DAS)、既存無線セルと極小 (フェムト) セルの共存を可能にするヘテロジニアスネットワーク、複数周波数帯域を束ねて周波数の効率的利用を図るキャリアアグリゲーション等の進化した無線技術の導入が必要となる。これらの技術を既存の基地局ネットワークで収容することは非効率かつ困難であり、これらの進化した無線技術に柔軟かつ効率的に対応できる光・無線融合基地局ネットワークの基盤技術を実現する。

本研究開発では光ファイバの超広帯域伝送能力を活かした光ファイバ無線 (RoF) による複数周波数帯域無線信号の一括直接伝送の可能性に着目し、さらに波長多重光パッシブネットワーク (WDM-PON) によるネットワーク構築の柔軟性を併せ持ち、既存無線セルの基地局から、分散アンテナシステム用アンテナサイトおよびフェムトセル基地局までを収容できる光・無線融合基地局ネットワークを実現するための RoF 信号伝送・分配・ネットワーク化・光給電技術を確立することを目的とする。

想定するシステム構成を図 1 に示す。RoF ネットワークの形態としては、親局から複数の子局へそれぞれ独立にファイバ展開するものと、ビル内や地下街など廊下にそって複数の子局 (フェムト基地局、分散アンテナ基地局) が設置され、これらが縦続接続されるようファイバ展開するものとで構成される。このとき基地局から端末方向への下り信号は、地域で使用中の全ての帯域の RF 信号を光ネットワークで子局へ分配するとともに、各基地局で使用すべき周波数帯域およびキャリアを親局側から指定するための制御信号も別の波長を用いて伝送する WDM-PON 方式を使用する。また 1 つの子局に複数のアンテナが設置されて送信する MIMO 方式の場合、各アンテナの信号は波長分割多重により多重化して送信する。

RoF 複数周波数帯一括伝送に関する研究開発では、複数帯域複数波一括伝送における非線形補償法として、新たにスペクトル折畳みフィードバックプリディスタータ (SFFB-DPD) を提案した。この歪補償能力を実証するため、RF 周波数が 1.75GHz および 2.75GHz の 1 GHz 離れた 2 帯域の複数信号を同時に歪補償する実験系を構築し、測定を行った。図 2 に非線形補償の実験結果を示す。SFFB-DPD で得られた合計 5 キャリアの RF 信号は、個別帯域フィードバックで得られた RF 信号と同等の歪抑圧性能を有し、複数帯域同時送信時の複雑な歪を十分補償可能であることが明らかになり、複数帯域複数波一括伝送時の非線形補償の技術的見通しを得ることに成功した。

### 2. 研究開発内容及び成果

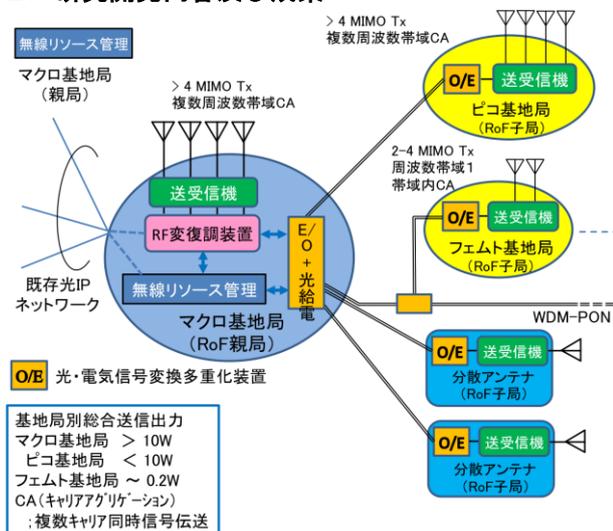
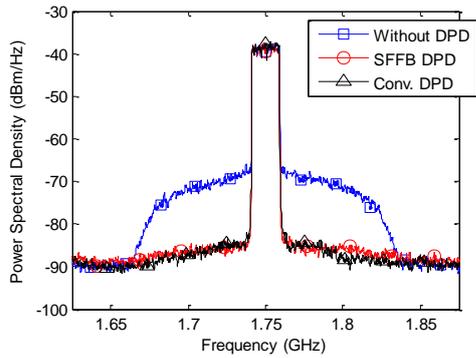
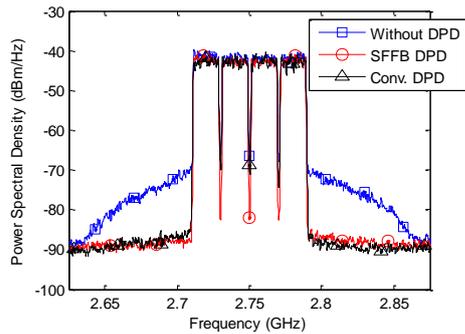


図 1 光・無線融合基地局ネットワーク基盤の構成



1.75 GHz 帯 (LTE 20 MHz 信号 1 キャリア)



2.75 GHz 帯 (LTE 20 MHz 信号 4 キャリア)

図 2 帯域複数波同時伝送時の一括歪補償の実験結果

また、携帯無線通信の小局を稼働する際には、通常、外部電源を使用しているが、極小セル化が進み、小局の数が増大すると、電源設備の簡易化も敷設費用や運用管理の面で重要な技術課題になってくる。また、東日本大震災のような災害による停電時においても、子局の電源を確保する技術が必要となる。そこで、ダブルクラッド光ファイバを新たに伝送路として応用した光給電型 RoF 伝送システムを提案・構築し、その伝送特性の評価を行った。

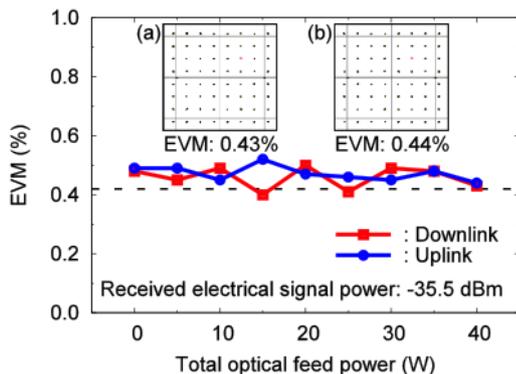


図 3 給電光パワーを変化させた際の EVM 特性

入力給電光強度を変化させた際のエラー・ベクター・マグニチュード (EVM) を図 3 に示す。挿入図には給電光 40 W 入力時の下り伝送 (a) と上り伝送 (b) 信号のコンスタレーションと EVM 値を示している。また、図内の点線は下り方向 Back to Back 伝送時の EVM 値である。下り伝送・上り伝送共に入力給電光強度が増大しても、EVM にほとんど変化は見られないことから、無線信号を同時伝送させた際にも高い伝送特性が得られることを世界で初めて実証することに成功した。

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発では進化した無線通信技術に柔軟かつ効率的に対応できる光・無線融合基地局ネットワーク基盤技術の確立をめざした。ここで開発した技術は周波数利用の柔軟性がより求められる第 5 世代のワイヤレス通信ネットワークに応用展開できると考えられる。また、個別技術としてみると、ここで開発された複数帯域超広帯域非線形補償のための信号処理技術や、光給電による無電源化のための光ファイバ電力・RoF 信号同時伝送技術は、基地局ネットワークのみならず、多チャンネル放送、ケーブル放送網、地域情報ネットワーク、無線送信機の高度化の技術として大きなインパクトを有し、従来の常識では不可能であったシステムの成立を可能にする基盤技術として捉えることができる。これからの社会で、これらの技術が大きな波及効果を及ぼす適用領域は極めて広いと考えられる。

### 4. むすび

今後の無線通信インフラに必要な不可欠となる RoF 伝送技術を用いて、広帯域な無線信号伝送の複数周波数帯域の一括直接伝送を可能とする光・無線融合基地局ネットワークの研究開発を行った。RoF 複数周波数帯一括伝送においては、新たに提案した SFFB-DPD によって、複数帯域複数波一括伝送における広帯域複数帯域一括補償の有効性を示した。また、基地局の無電源化のための光給電型 RoF 伝送技術では、40 W 給電下においても信号劣化のない、高品質伝送が実現可能であることを明らかにし、提案する光・無線融合基地局ネットワークの有効性を統合的に実証することに成功した。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] Y. Ma, Y. Yamao, Y. Akaiwa, and K. Ishibashi, "Wideband digital predistortion using spectral extrapolation of band-limited feedback signal," *IEEE Transaction on Circuit and Systems-I*, Vol. 61, No. 7, pp. 2088-2097 (2014 年 7 月)
- [2] X. Yu, M. Matsuura, and Y. Yamao, "Composite effect of E/O nonlinearity and optical echo on EPWM-OFDM transmission in radio over fiber channel," *Springer Wireless Personal Commun.*, 10.1007/s11277-014-2219-8 (2014 年 12 月)
- [3] M. Matsuura and J. Sato, "Bidirectional radio-over-fiber systems using double-clad fibers for optically powered remote antenna units," *IEEE Photonics Journal*, Vol. 7, No. 1, pp.1-9 (2015 年 2 月)

#### 【申請特許リスト】

- [1] 大木英司、ワヤ ファデニ、通信処理装置、通信処理方法ならびにプログラム、日本、2014 年 6 月 18 日
- [2] 山尾泰、馬岳林、無線通信装置および動作方法、日本、2015 年 2 月 9 日

#### 【受賞リスト】

- [1] W. Fadini and E. Oki, HSPR 2014 Best Paper Finalist, First Runner-Up, "A subcarrier-slot partition scheme for wavelength assignment in elastic optical networks," 2014 年 7 月 2 日
- [2] Y. Ma, 2014 IEEE MTT-S Japan Young Engineer Award, 2014 年 12 月 11 日
- [3] 源大和、松浦基晴、電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会 学生奨励賞、「半導体光増幅器と可変分散媒質を用いた光制御フェーズドアレーアンテナの指向性制御」、2015 年 2 月 19 日