

# ミリ波を活用するヘテロジニアスセルラネットワークの研究開発 (13801905)

Millimetre-Wave Evolution for Backhaul and Access

## 研究代表者

阪口啓 大阪大学 (現職: 東京工業大学 / Fraunhofer HHI)  
Kei Sakaguchi Tokyo Institute of Technology / Fraunhofer HHI

## 研究分担者

三瓶政一<sup>†</sup> 衣斐信介<sup>†</sup> 荒木純道<sup>††</sup> タンザカン<sup>††</sup> 山口明<sup>†††</sup> 難波忍<sup>†††</sup> 林高弘<sup>†††</sup>  
縣亮<sup>†††</sup> 末柄宏宏<sup>†††</sup> 大関武雄<sup>†††</sup> 森脇和也<sup>†††</sup> 彭海蘭<sup>†††</sup> 外山隆行<sup>††††</sup> 櫻井利昭<sup>††††</sup>  
岡坂昌蔵<sup>††††</sup> 牟田竜二<sup>††††</sup> 齋藤昭裕<sup>††††</sup> 湯田泰明<sup>††††</sup> 安達尚季<sup>††††</sup>  
Seiichi Sampei<sup>†</sup> Shinsuke Ibi<sup>†</sup> Kiyomichi Araki<sup>††</sup> Gia Khanh Tran<sup>††</sup> Akira Yamaguchi<sup>†††</sup>  
Shinobu Nanba<sup>†††</sup> Takahiro Hayashi<sup>†††</sup> Akira Agata<sup>†††</sup> Suegara Yasuhiro<sup>†††</sup> Takeo Ohseki<sup>†††</sup>  
Kazuya Moriwaki<sup>†††</sup> Hailan Peng<sup>†††</sup> Takayuki Sotoyama<sup>††††</sup> Toshiaki Sakurai<sup>††††</sup>  
Shozo Okasaka<sup>†††</sup> Ryuji Muta<sup>†††</sup> Akihiro Saito<sup>††††</sup> Yasuaki Yuda<sup>††††</sup> Naoki Adachi<sup>††††</sup>

<sup>†</sup>大阪大学 <sup>††</sup>東京工業大学 <sup>†††</sup>(株)KDDI 研究所 <sup>††††</sup>パナソニック(株)

<sup>†</sup>Osaka University <sup>††</sup>Tokyo Institute of Technology

<sup>†††</sup>KDDI R&D Laboratories, Inc. <sup>††††</sup>Panasonic Corporation

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

## 概要

本研究開発では、セルラネットワークのシステム容量を拡大することを目的として、近年技術革新が進んでいるミリ波デバイスを用いたミリ波超ブロードバンド基地局を従来のセルラネットワークに融合するミリ波ヘテロジニアスネットワーク (HetNet) の研究開発を行った。このミリ波 HetNet のシステム設計、国際標準化を実施するとともに、システムシミュレーションによる性能評価および試作装置による概念実証を実施して提案技術の有効性を示した。

### 1. まえがき

スマートフォンに代表されるモバイル機器、および、ネットワークを利用するサービスの急増に伴い、モバイルデータトラフィック量は指数関数的に増加を続けており、セルラネットワークにおけるシステム容量の大幅な拡大が求められている。本研究開発では、近年技術革新が進んでいるミリ波デバイスを用いたミリ波超ブロードバンド基地局を従来のセルラネットワークに融合するミリ波ヘテロジニアスネットワーク (HetNet) によって、実用的なコストでかつ利便性を失うことなくセルラネットワークのシステム容量を大幅拡大することを目指した。具体的には、ミリ波 HetNet を構成する①システムアーキテクチャ、②バックホール/フロントホール回線、③アクセス回線、④動的リソース制御についてそれぞれ検討を行い、前記の検討を取り入れた実証システムを開発した。また、提案技術の国際標準化を実施した。本研究開発は戦略的国際連携型研究開発推進事業のもと、我が国のみならず欧州の研究機関や通信事業者・ベンダーとも連携して推進した。

### 2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、以下の研究開発を推進した。

#### ①システムアーキテクチャ構築

ミリ波による超高速通信技術を、小セル基地局と端末とを結ぶアクセス回線に用いるシナリオに加え、小セル基地局と収容局とを結ぶバックホール/フロントホール回線に用いるシナリオも想定したうえで、図 1 に示すアーキテクチャを構築した。従来のマクロ基地局のカバレッジにミリ波を含む小セル基地局をオーバーレイし、それらがバックホール/フロントホールを介して頭脳であるクラウド RAN(C-RAN)に接続されている。バックホール/フロントホールをワイヤレスで構成することで、敷設コストを削減できる。アクセス回線においては、接続性が重要な制御

信号はマクロ基地局が担当し、通信レートが重要なユーザデータは可能な限り小セル基地局が担当するデータ/制御分離方式を採用する。データ/制御分離方式と C-RAN 連携によってシステム全体を統合運用することで、端末および基地局の消費電力を削減しつつシステム全体の性能を最大限に引き出すことが可能となる。

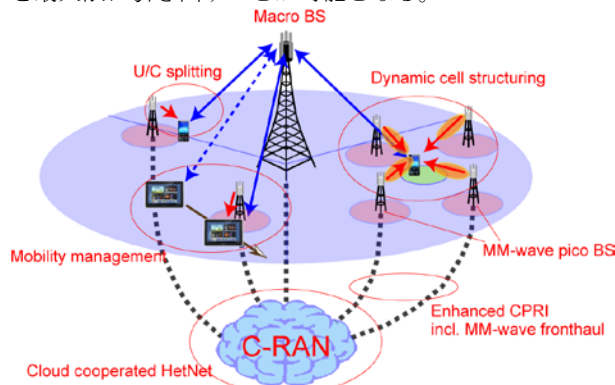


図 1 ミリ波 HetNet 全体アーキテクチャ

#### ②バックホール/フロントホール回線

複数のセルを密に連携するため、複数セルのベースバンド信号処理機能を C-RAN に設ける BBU に集約し、無線送受信機能を持つ RRH を各セルに設置する光張り出し方式を想定した。BBU と RRH を結ぶフロントホールではベースバンド信号 (CPRI データ) が伝送されるが、ミリ波回線では無線帯域幅の制限があるため CPRI データの圧縮が不可欠である。そこで、ダウンサンプリング処理と非線形量子化処理を組み合わせ、圧縮率 1/2 の CPRI データ圧縮法を考案した。この圧縮法を ETSI 標準化に提案し、ETSI ORI Rel-4 において標準仕様に採用された。

#### ③アクセス回線

ミリ波を用いる基地局では、ミリ波帯の伝搬特性により従来のマクロ基地局と比較してカバレッジが狭くなり、端末のモビリティ性能の確保が課題となる。そこで基地局と端末間の通信を制御信号とユーザデータとに分離するデータ/制御分離方式を検討した。制御信号をカバレッジが広いマクロ基地局を介して提供しつつ、ユーザデータはミリ波を用いた小セル基地局を介して提供することで超高速データ通信を実現できる。3GPP LTE で構築したマクロ基地局のカバレッジに、60GHz 帯ミリ波を用いる WLAN 規格である IEEE802.11ad (WiGig) による小セル基地局をオーバーレイすることを想定した詳細検討を行い、3GPP の Rel.13 において LTE と WLAN を連携するためのデータ/制御分離方式の標準化に貢献した。また、ミリ波小セル基地局が密に配置された環境におけるミリ波小セル基地局選択手法およびハンドオーバー法を考案し、シミュレーション評価により有効性を確認した。

#### ④クラウド連携動的リソース制御

実測に基づくミリ波チャンネルモデル、動的トラフィックモデル、および基地局電力消費モデルを導入して、LTE マクロ基地局と WiGig 小セル基地局から成るシステムレベルシミュレータを開発した。また、システムレートを最大化するセルの選択方法や、QoE と電力消費を考慮するセルの動的 On/Off 制御方法についてアルゴリズムおよびプロトコルを考案し、前述のシステムレベルシミュレータを用いて性能評価した。提案するセル選択技術を用いることで、目標とする 1000 倍のシステムレートを達成できることを明らかにした (図 2)。

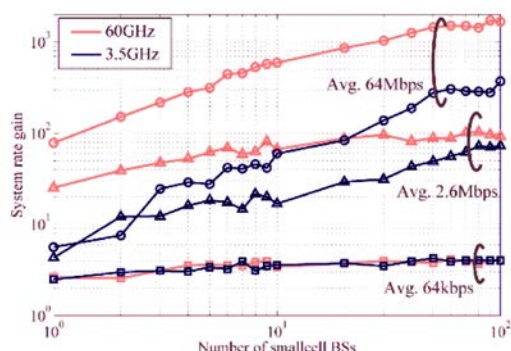


図 2 小セル基地局数に対するシステムレート向上

#### ⑤ハードウェア試作と実証実験

②で開発した CPRI データ圧縮方式や、③で開発した LTE と WiGig とのデータ/制御分離方式をハードウェア実装し、その有効性を実証した。さらに、日欧のパートナーと連携して①で定めたミリ波 HetNet アーキテクチャ全体を概念実証(PoC)するテストベッドを構築し(図3)、デモンストレーションを行った。

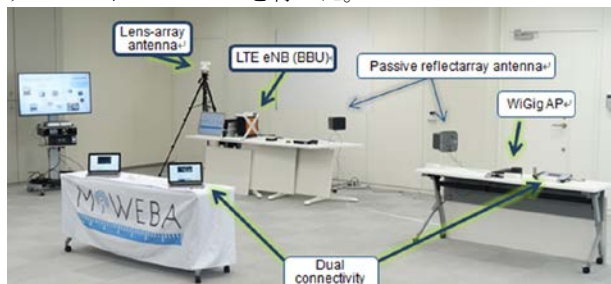


図 3 日欧共同テストベッド

### 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

今後は IEEE802.11ad の拡張仕様である

IEEE802.11ay の標準化、および、3GPP における Rel.14 以降の第 5 世代セルラネットワーク (5G) の標準化に貢献してゆく。本研究開発は、5G にミリ波帯を活用することを提唱した先駆的プロジェクトであり既に他の多くの研究開発に影響を与えている。例えば EU のプロジェクトである MiWaveS や mmMAGIC においては、本研究開発の成果が活用され伝搬モデルの構築や通信プロトコルの開発が行われている。また 2016 年度から始まる日欧連携プロジェクト (5G-MiEdge) では、2020 年の導入を目指して研究成果の拡張が行われる予定である。本研究開発では、日欧のパートナーとその関連機関が連携した活動を行うことで、ミリ波を活用したセルラネットワークの地盤を構築し、ミリ波技術の未来の創出を行ってきた。今後はこれまでミリ波技術を培ってきた我が国の研究者やメーカを後押しし、またオペレータや国の協力を経て我が国のミリ波技術の実用化を支える予定である。

#### 4. むすび

本研究開発の主題であるミリ波を活用するセルラネットワークを実現することにより、現状の 100 倍以上の通信速度と現状の 1000 倍以上のシステム容量を実現することが可能となり、スマートフォンやタブレット端末を日常的に使用している国民生活や社会経済は引き続き発展するものと思われる。しかしミリ波を活用するセルラネットワークの真の実力は、それを活用した新しいアプリケーションの創出にある。この新しいアプリケーションの一つとして期待されている自動車やドローンの自動運転は国民生活や社会経済を飛躍的に向上させると予測される。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] R.E. Rezagah, et al., "Large scale cooperation in cellular networks with non-uniform user distribution", IEICE Trans. Commun. vol.E97-B No.11 pp2512-2523 (2014 年 11 月)
- [2] K. Sakaguchi, et al., "Millimeter-wave evolution for 5G cellular networks", IEICE Trans. Commun. Vol.E98-B No.3 pp388-402 (2015 年 3 月)
- [3] H. Peng, et al., "LTE/WiGig RAN-level Interworking Architecture for 5G Millimeter-wave Heterogeneous Networks", IEICE Trans. Commun. Vol.E98-B No.10 pp1957-1968 (2015 年 10 月)

#### 【申請特許リスト】

- [1] 山本俊明 他、「通信システムおよび通信方法」、日本、2014 年 3 月 18 日
- [2] 林高弘 他、「通信制御装置、制御方法、及びプログラム」、日本、2014 年 5 月 23 日
- [3] 櫻井利昭 他、「基地局、端末、及び、通信制御方法」、日本、2015 年 1 月 5 日

#### 【国際標準提案リスト】

- [1] ETSI ORI, ORI(13)M18013, Summary of the IQ data compression scheme, 2013 年 12 月提案
- [2] 3GPP, R2-152515, Dealing with LTE backhaul and WLAN overloading for LTE/WLAN aggregation, 2015 年 5 月提案
- [3] ITU-R SG5 WP5D, Contribution 984, Technical feasibility of IMT in the bands above 6 GHz, 2015 年 6 月提案 2015 年 7 月発行

#### 【受賞リスト】

- [1] 下平英和 他、2015 年スマート無線研究会論文賞、「5G のためのミリ波帯に関する検討」、2016 年 7 月

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.miweba.eu/>