

## VHF 帯におけるソフトウェア無線技術を用いた 超広域小型自営系（プライベート）5G システムの開発に成功

### 概要

国立大学法人 京都大学大学院情報学研究科の原田博司教授の研究グループ（以下 京都大学）は、VHF 帯における移動体対応高周波技術およびオープンソースを用いたソフトウェア無線技術を利用し、10km を超える通信エリアを実現する VHF 帯を用いた超広域小型自営系（プライベート）5G システム（基地局、端末）開発に成功しました。今回の成果により、数 km から 10km 程度の限定された範囲内においてセンサー、メーター、モニターが必要なさまざまなアプリケーションや災害時の仮設的な情報伝達、映像伝送手段として、簡易に 5G システムを提供することが可能になります。



図1 開発した VHF 帯自営系（プライベート）5G システム（基地局）  
（端末も同じ構成（ベースバンド信号処理部に搭載するソフトウェアのみが異なる））

## 1. 背景

現在、携帯電話として運用が行われている 5G システムの次世代の通信システムとして Beyond 5G および 6G システムという呼称で研究開発が行われています。この Beyond 5G および 6G システムで要求される項目として、できるだけ広いエリアを確保する超カバレッジ無線通信技術の研究開発が行われています。例えば、衛星通信等の非地上ネットワーク (NTN: Non-Terrestrial Network) が挙げられますが、NTN では、広域な通信が期待できますが、比較的高い周波数 (10GHz 以上) が用いられているため、山間部等においては、樹木の影響により通信が遮断される可能性があります。このような課題に解決するために、京都大学においては、通常の 5G が用いられている周波数帯 (3, 4GHz 帯) よりも 10 倍以上波長が長く、長距離伝送が期待できる VHF 帯 (200MHz 帯) を用いたブロードバンド移動通信システムの研究・開発・標準化・商用化を行ってきました。特に、直交周波数分割多元接続方式 (OFDMA) を用い、1 チャンネルあたり 5MHz を用いて、最大 9Mbps 程度を伝送する移動体通信にも利用可能な広域系無線地域ネットワーク (Wireless Regional Area Network: Wi-RAN) の無線機を開発し、2017 年 10 月には最大伝送距離 27km、2018 年 6 月には森林による見越し外環境、2019 年 4 月には 100km 超の環境における無線による映像伝送に成功しています。そしてこの Wi-RAN は現在、VHF 帯において公共ブロードバンドシステムとして国際標準化、商用化され、災害現場における映像伝送、情報伝達の手段として利活用されています。しかし、Wi-RAN と 5G システムは同じ OFDMA 方式を使って伝送を行っているため、VHF 帯においても 5G システムの利用したい要望がありました。

## 2. 研究成果

VHF 帯における Wi-RAN で培われた移動体対応高周波技術および 5G を実現するオープンソースを用いたソフトウェア無線技術を利用し、10km を超える通信エリアを実現することを想定した VHF 帯を用いた超広域小型自営系 (プライベート) 5G システム (基地局、端末) 開発に成功しました。主に下記の 3 点について研究開発しました。

- (1) 5G NR を実現するオープンソースを利用し、13cm x 13cm x 5.6cm 程度の大きさの小型 PC 内にそれぞれ 5G NR の基地局 (5G では gNB と呼ぶ) のベースバンド処理機能 (5G では CU、DU 機能と呼ぶ) と端末機能 (5G では UE 機能と呼ぶ) をソフトウェアで搭載。(基本仕様は表 1 に、基地局の構成は図 1 に示す。)
- (2) 5G NR の基地局機能および端末機能が搭載された小型 PC それぞれにソフトウェア無線機を接続することにより VHF 帯において 5G NR 変調、復調が可能となり、さらに Wi-RAN で培われた小型の VHF 帯高周波部に接続 (図 1) し、送信出力 5 W を実現し、受信側においては 2 ブランチのダイバーシチを実現。
- (3) 移動通信に必要な送信側の自動送信電力制御機能 (Automatic Power Control: APC) 機能、および受信側において移動において受信電力が変動した場合においても自動で追尾し、一定の受信電力を受信側に提供する自動利得制御 (Automatic Gain Control: AGC) 機能を新規に開発し、ソフトウェア無線機に搭載し、この機能をもとに VHF 帯高周波部を制御することにより端末が高速に移動しても高品質な送受信を達成。

なお 5G-NR の仮想無線機の開発には京都大学が国内の大学として最初に正式加入している OAI (OpenAirInterface) software Alliance が供給するオープンソースを利用し、VHF 帯に適した無線パラメータで 5G-NR を運用しています。そして、この基地局、端末を用いて、移動通信環境における電波伝搬環境を模擬するフェージングエミュレータを介して、研究室内で伝送特性試験を行い、BLER (Block Error Rate) を

測定評価しました（図2）。評価においては、実機実験だけでなく、技術計算言語 MATLAB を用いた計算機シミュレーションの結果も示しています。通信エリア 2km 程度の都市部を想定した電波の多重伝播環境（マルチパス環境）による反射波の遅延時間が少ない環境（図3、GSM Typical Urban Model）においては、計算機シミュレーションにと比較し数 dB の特性劣化はあるものの、QPSK、16QAM、64QAM を用いた場合において最大時速 80km で移動した場合においても、すべて所要値である 10% の BLER（Block Error Rate）を達成しました。一方、通信エリア 10km 程度の郊外を想定した電波のマルチパス環境による反射波の伝搬遅延時間が大きい環境（図4、IEEE 802.22 Profile A）においては、5G NR の通信方式である OFDMA 伝送方式が想定する伝搬遅延時間を大きく超える（ $20\mu\text{s}$  程度）を持つ反射波を受信するため、時速 40km、80km の移動時共に、計算機シミュレーションにと比較し BLER 特性の劣化（フロア）は見られますが、所要 BLER は達成しています。このことは通信エリア 10km 程度のエリアにおいても今回開発した機器が、所要伝送特性が得られることを示唆しています。また、最大データ伝送速度も測定し、電波の多重反射波による伝搬遅延時間が少ない環境では最大伝送速度 16.2 Mbps および、郊外を想定した伝搬遅延時間が大きい環境においては、8.5Mbps を達成しました。

表1 開発した超広域小型自営系（プライベート）5G システムの仕様

項目	値
周波数	195 MHz
帯域幅	5 MHz
通信方式	5G NR OFDMA
無線機の種類	基地局(gNB)、端末(UE)
送信電力	5W
OFDMのサブキャリア間隔	15 kHz
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
誤り訂正符号	LDPC
Antenna	送信側 1、受信側 2 最大比合成ダイバーシチ受信



図2 開発した超広域小型自営系（プライベート）5G システムの評価系

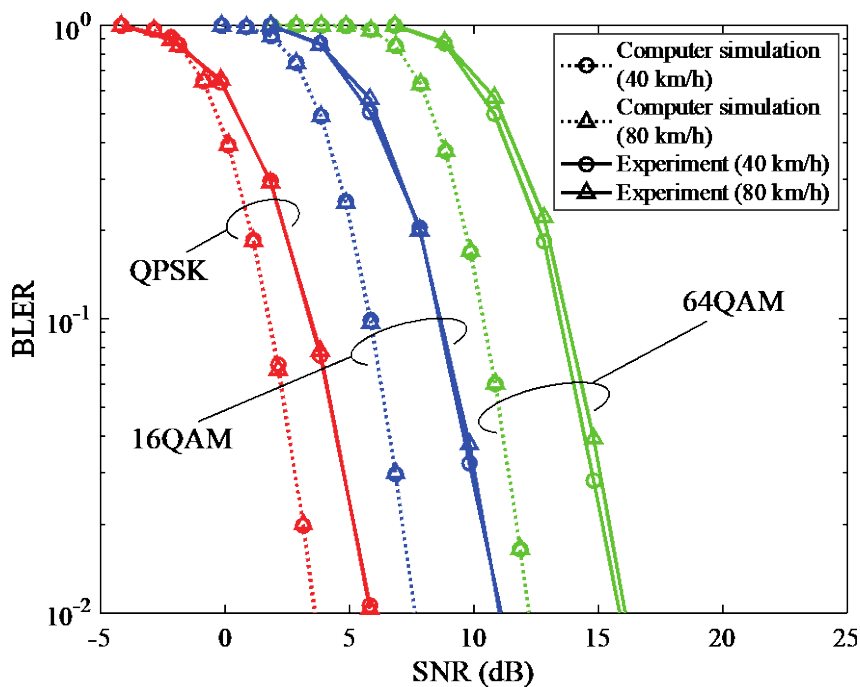


図3 通信エリア2km程度の都市部を想定したマルチパス環境における反射波の伝搬遅延時間が少ない環境 (GSM Typical Urban Model) における、5G-NR システムの伝送 (Block Error Rate: BLER) 特性 (実験と計算機シミュレーションによる評価結果)

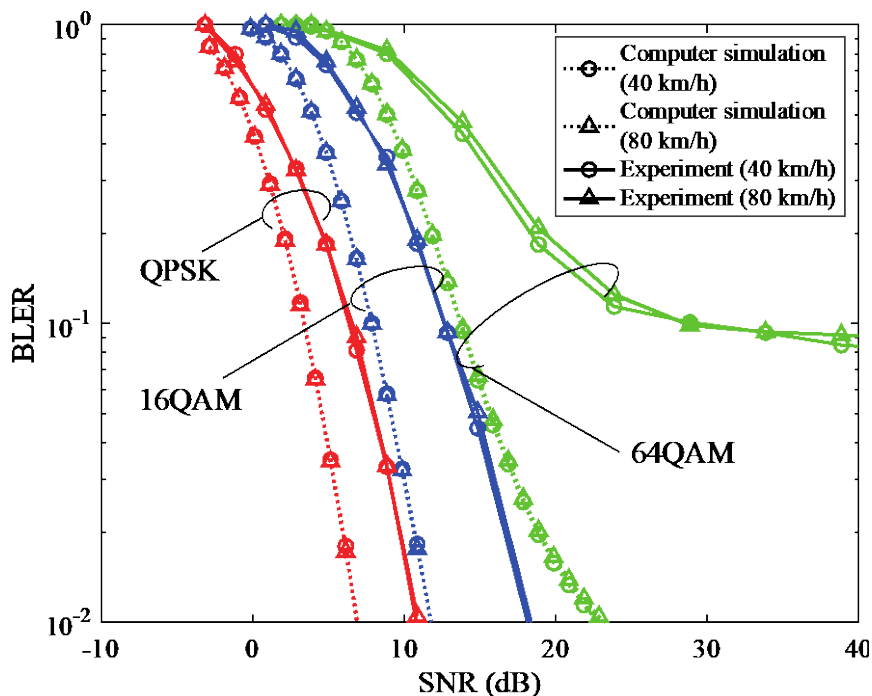


図4 通信エリア2km程度の都市部を想定したマルチパス環境における反射波の伝搬遅延時間が少ない環境 (IEEE 802.22 Profile A Model) における、5G-NR システムの伝送 (Block Error Rate: BLER) 特性 (実験と計算機シミュレーションによる評価結果)

### 3. 波及効果、今後の予定

今回の検証にて、今回の成果により、VHF 帯を用いた自営系（プライベート）5G システムが最大 10km 程度の超広域の通信エリアにおいても動画像伝送等が可能なデータ伝送速度で移動通信を行うことができることが実機により示されました。この成功により、数 km から 10km 程度の限定された範囲内においてセンサー、メーター、モニターが必要なさまざまなアプリケーションや災害時の仮設的な情報伝達、映像伝送手段として、容易に 5G システムを提供することが可能になります。今後は、当該無線機を用いて各種アプリケーションフィールドにおける伝送特性評価を行うとともに、VHF 帯における自営系（プライベート）の 5G 標準化、商用化を目指します。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究（05101）における受託研究の一環として実施されたものです。

#### <用語解説>

#### 1. VHF 帯

主に 30MHz-300MHz を指す。今回は対象として 200MHz 帯を用いることを想定している。通常の 5G が用いられている周波数帯（3、4GHz 帯）よりも 10 倍以上波長が長いいため、同じ送信電力で伝送した場合、長距離伝送が期待される。200MHz 帯は、元来アナログテレビジョン放送で用いられていた周波数であるが、デジタルテレビジョン放送への移行に伴い、現在は 1ch あたり 5MHz の帯域幅をもつ Wi-RAN を用いた公共用途のブロードバンド用の周波数として利活用がされている。

#### 2. 5G New-Radio(5G NR)

5G で採用された無線インターフェースであり、国際標準化団体 3GPP(3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) で標準化されています。様々なユースケースに応じた柔軟な信号生成を可能とします。

#### 3. OAI(OpenAirInterface) software Alliance

5G をオープンソースソフトウェアで構築することを目的としているコミュニティであり、2014 年に設立されています。OAI アライアンスが供給する 5G NR を実現するソフトウェアを PC 等にインストールすることで標準化団体 3GPP が制定する 5G システム（コアネットワーク、基地局、端末）の信号処理部分の機能を実現でき、ソフトウェアを変更、追加することによりさまざまな研究開発を実施することが可能になります。京都大学はこのアライアンスに国内の大学として初めて正式に加入しています。

#### 4. 電波の多重伝播（マルチパス）環境

送信機と受信機の上に様々な建物等が存在する場合、受信機には、送信機から伝送される直接波以外に、様々な反射物で反射され、直接波に比べて遅延して受信機に到来する遅延波が受信されます。これを電波の多重伝播（マルチパス）環境と呼びます。遅延波には反射に伴い様々な受信信号レベル、位相を持っており、この遅延波の遅延量が大きい場合は、一つの送信データが次に送られたデータに干渉を与える可能性があります。このマルチパス環境を模擬するため様々なモデルが提供されており、本発表における評価では都市部で 2km 程度の通信エリアを想定した GSM Typical Urban Model（遅延波の最大遅延時間 5  $\mu$ s 程度）と郊外で 10km 程度の通信エリアを想定した IEEE 802.22 Profile A(遅延波の最大遅延時間 21  $\mu$ s 程度)を用いています。