

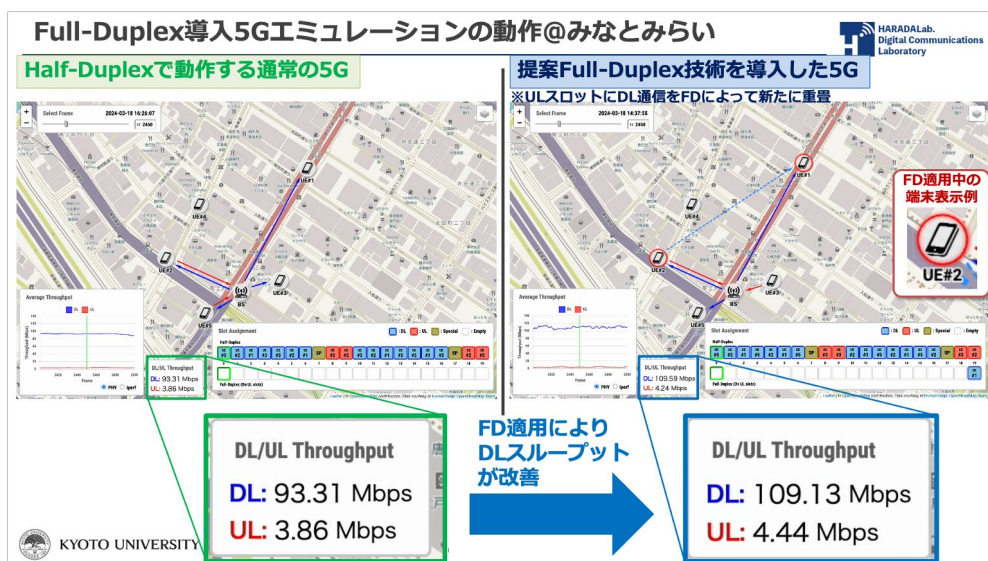
5G システムおよび Full-Duplex を導入した Beyond 5G システムを 仮想空間で評価するデジタルツイン・ワイヤレスエミュレータを開発

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、水谷圭一准教授の研究グループ（以下 京都大学）と国立研究開発法人情報通信研究機構（以下 ^{エヌアイシーティー} NICT）の総合テストベッド研究開発推進センターは、第5世代移動通信システム（5G）システムおよび5Gシステムの通信容量を向上する「全二重複信（Full-Duplex: FD）技術¹」を導入した次世代5Gシステム（Beyond 5G）を仮想空間で評価するデジタルツイン²・ワイヤレスエミュレータ³を開発し、都市空間3Dデータと基地局及び端末の配置並びに端末移動パターンを入力することにより、端末移動時の場合のエミュレーションを実施し、5GへのFD導入効果の評価・可視化に成功しました。今回の成果により、実空間に無線機を設置して試験を行わなくてもエミュレータを用いて現実空間を模擬した検証をすることが可能になり、システム導入によるスループット改善特性の評価を容易にすることが期待できます。

■ポイント

- ・ワイヤレスエミュレータ上に、実デバイスに搭載可能な5G New-Radio (NR)⁴に対応した基地局と端末の機能をもつ仮想無線機と各種シナリオに応じてエミュレーションを実施するオーケストレータを開発
- ・ワイヤレスエミュレータがもつ仮想無線機の位置に応じた電波伝搬特性生成機能と連携し、仮想無線機間で物理層レベルでフェージングおよび干渉を生成・付加する仮想無線リンクエミュレータ機能を開発
- ・通常の5GおよびFD動作に対応した場合のエミュレーションを行うオーケストレータ用シナリオを開発、データの伝送経路、伝送品質を評価し、可視化するビューワー機能を開発



仮想空間上での5GおよびFull-Duplex対応B5Gシステムのワイヤレスエミュレーション動作例
(地図はOpenStreetMapを利用)

1. 背景

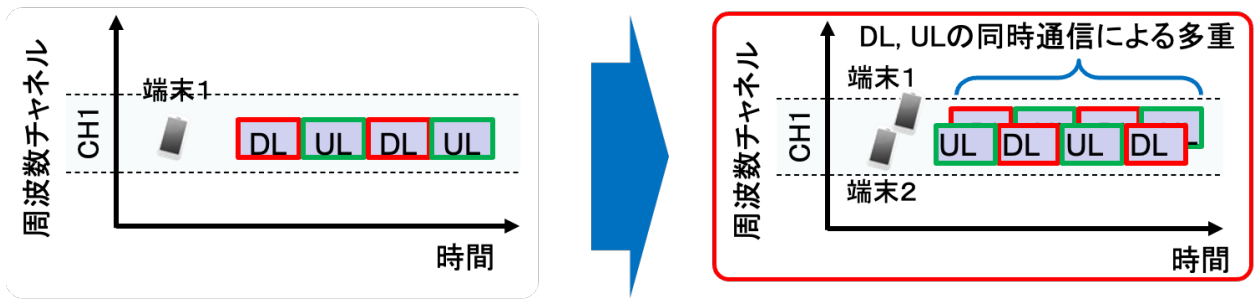
現在、端末数の激増や要求通信速度の高速化等に対応するために次世代 5G システム (Beyond 5G) の研究開発が国際的に進められています。しかし Beyond 5G 時代は、これまで以上に多くの機器が通信を行い、扱う周波数もマイクロ波帯からミリ波帯まで多岐に渡り、設置コストの観点からも実無線機のみで実フィールドで行う評価の限界がありました。また Beyond 5G 時代においては移動通信に適した周波数はさらに逼迫するため、限りある周波数資源を有効利用する方策の研究開発が進められています。現行の 5G では、上りリンク (Uplink: UL) 通信と下りリンク (Downlink: DL) 通信は、異なる時間リソースもしくは異なる周波数リソースに割り当てることで UL 通信と DL 通信の干渉を回避するシステム (半二重複信方式、Half-Duplex: HD)¹ が採用されています (図 1(a)参照)。この HD セルラー方式における周波数利用効率の向上のために、複数アンテナを用いた Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 技術等が研究開発・実用化されましたが、MIMO 技術は成熟期に達しており、さらに周波数利用効率を向上するためには、複信方式の見直し等抜本的な対策が必要となります。このような背景の下、Beyond 5G 向けの新しい通信システムとしてダイナミック全二重セルラー (Dynamic Full-Duplex Cellular: DDC) システム⁵ (図 1(b)、図 2 参照) と呼ばれる FD 技術を導入したシステム (以下 提案 FD) が注目を集めており、理論解析やシミュレーション解析によってスループット拡大効果が示され、実無線機開発並びに実用化に向けた実証実験を行ってきました。しかしながら、実際のフィールドにおいて、基地局の設置、移動端末の配置、並びに全く同じ条件で現行の HD と提案 FD の比較評価を実施することは困難でした。これらの問題を解決するため、京都大学と NICT では、総務省「仮想空間における電波模擬システム技術の高度化に向けた研究開発」を受託し、実フィールドで実験を行うのではなく、仮想空間上で大規模な電波利用システムを模擬・評価するワイヤレスエミュレータの研究開発を進めてまいりました。このワイヤレスエミュレータは、各種電波利用システムを無線機の通信機能をもった仮想無線機と呼ばれるソフトウェアとして搭載し、都市空間データと無線機の配置データを入力することにより仮想空間で電波伝搬特性、伝送特性をデジタルツインで動作させて、屋外実験することなく仮想空間で通信試験をするものです。

2. 研究手法・成果

5G NR システムおよび提案 FD を導入した Beyond 5G システムを仮想空間上でデジタルツインの形でワイヤレスエミュレーションを実現するため、主に下記の 3 点について研究開発しました。

- (1) 5G NR に対応した基地局、端末の機能をもつ仮想無線機と通常の 5G および提案 FD 動作に対応したシナリオに応じてエミュレーションを実施するオーケストレータ (図 3 参照)
- (2) ワイヤレスエミュレータにおける仮想無線機の位置に応じた電波伝搬特性生成機能と連携し、仮想無線機間で物理層レベルでフェージングおよび干渉を生成・付加する仮想無線リンクエミュレータ機能 (図 3 参照)
- (3) 5G および提案 FD 動作に対応したエミュレーション結果のビューワー機能 (図 4、5 参照)

なお 5G-NR の仮想無線機の開発には OAI (OpenAirInterface) software Alliance が供給するオープンソースを利用し、京都大学がワイヤレスエミュレータにおける HD、提案 FD 動作に対応するさまざまな追加機能をオリジナルで開発し、搭載しています。これらの成果を用いて神奈川県横浜市 (みなとみらい地区) を想定した環境に基地局 1 台、端末 5 台の仮想無線機を配置し (図 5 参照)、HD に基づく現行の 5G システムと、提案 FD に基づく B5G システムを動作させました。5 台の端末のうち、1 台の端末は大通り上を移動し、端末の位置に併せて、FD の適用状況を含む端末スケジューリングがダイナミックに変化しさらに FD によるスループットの拡大効果の評価実証に成功しました (図 6 参照)。



(a) 現行システムにおける Half-Duplex

(b) 6G で導入を目指す Full-Duplex

図 1 : 現行の Half-Duplex に基づくシステムと 6G で導入を目指す Full-Duplex による DDC システム

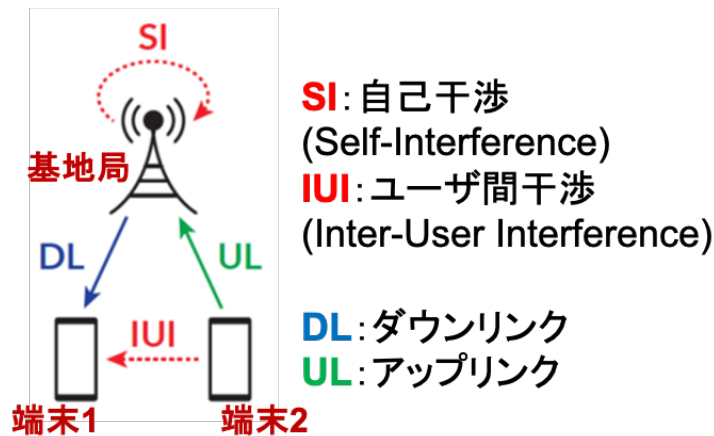


図 2 : Full-Duplex のトポロジ

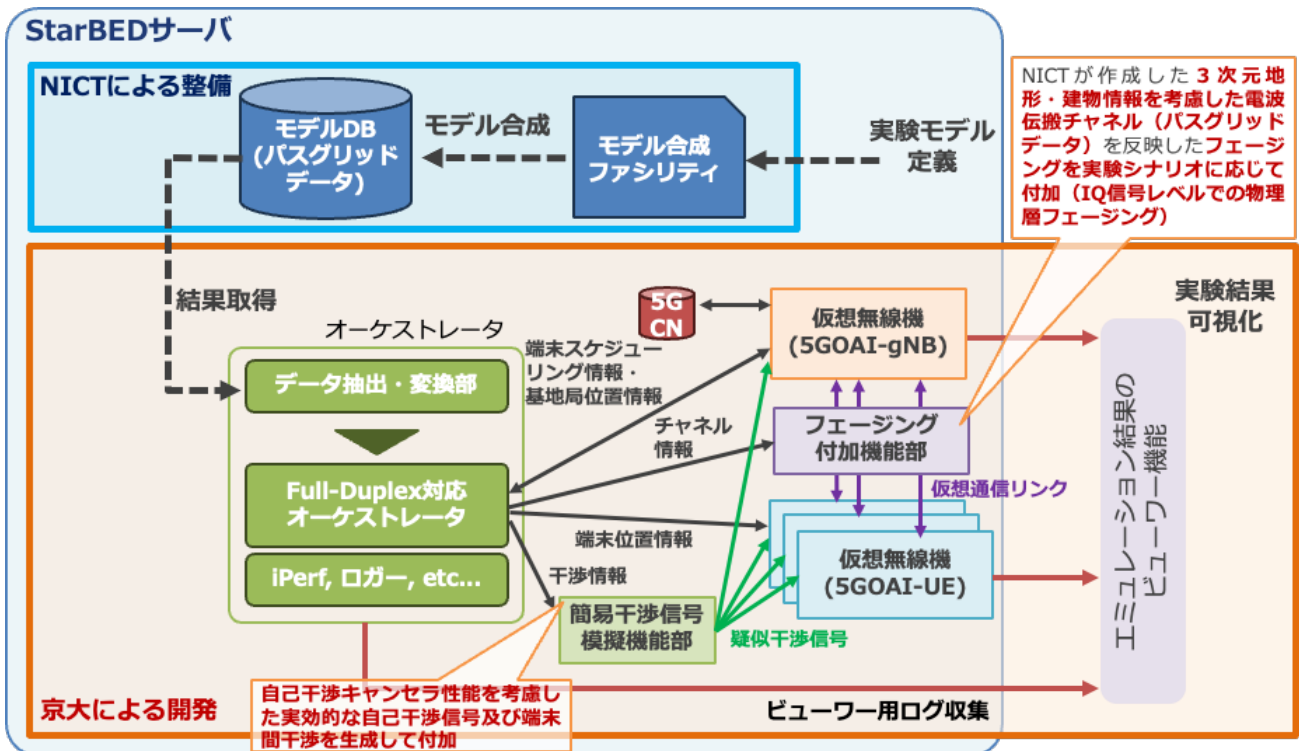


図 3 : 開発したワイヤレスエミュレータの概要

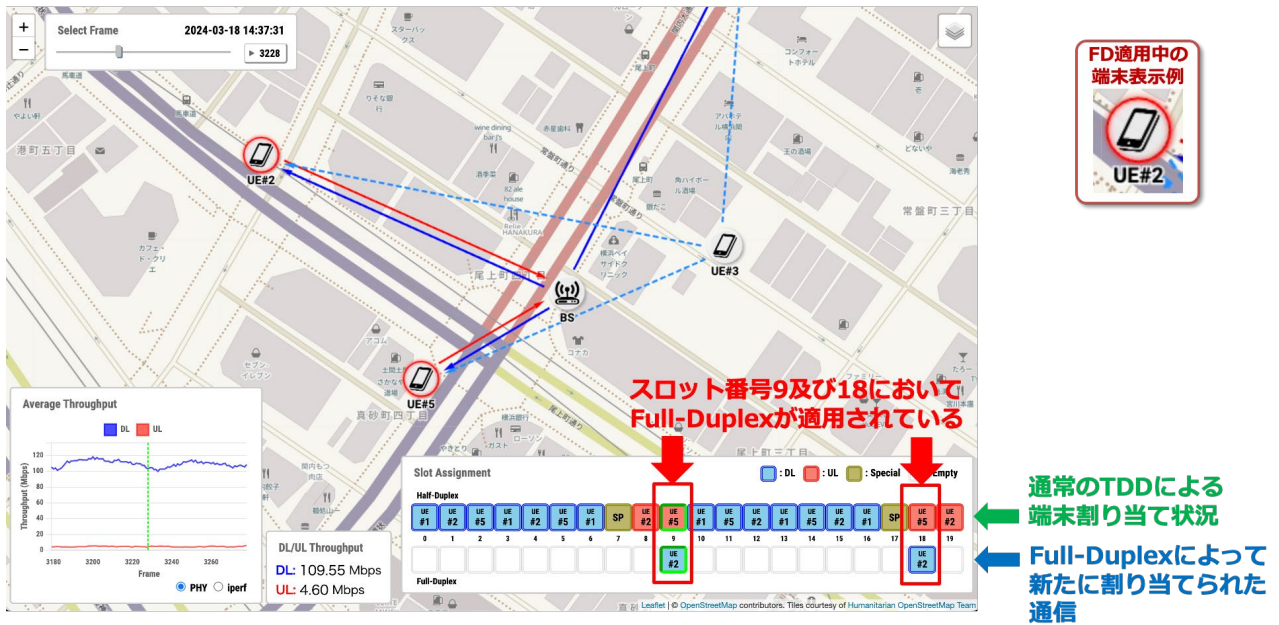


図 4：開発したエミュレーション・ビューワの概観（Full-Duplex 動作の例を示す）



図 5：神奈川県横浜市みなとみらい地区における評価実証（基地局及び端末の配置状況）

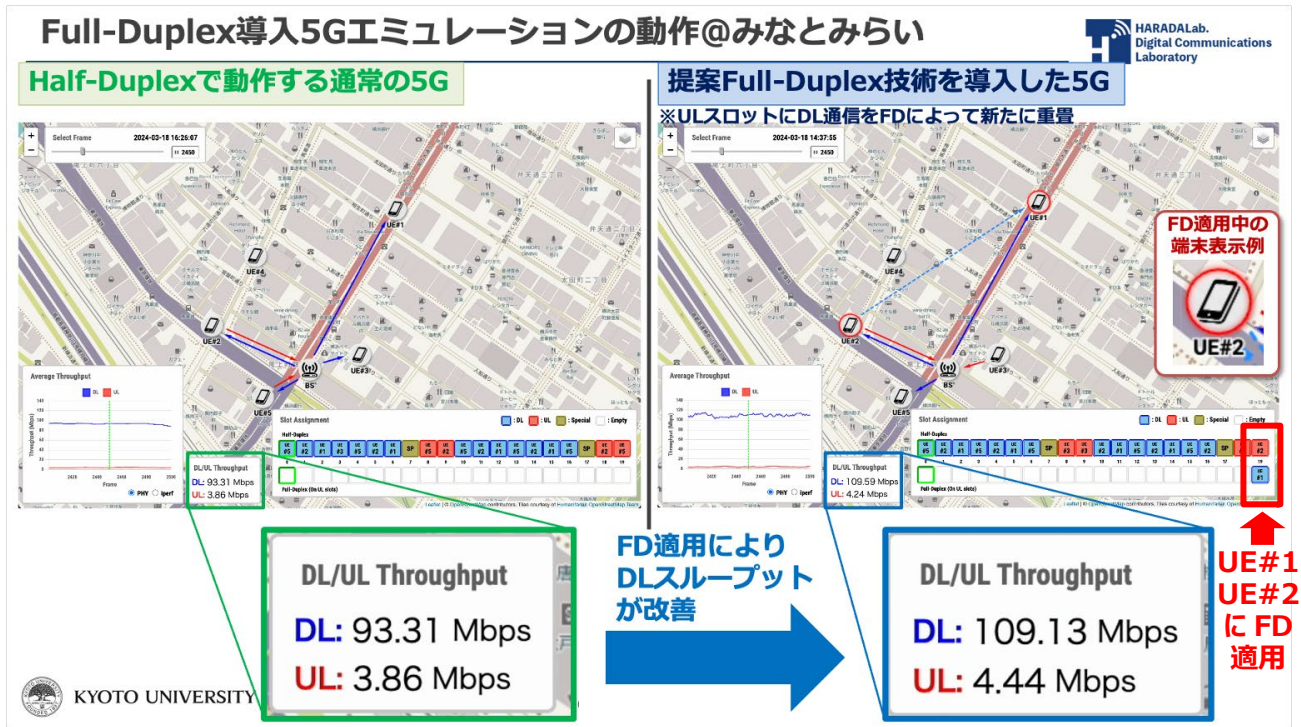


図 6：神奈川県横浜市みなとみらい地区における評価実証（デモンストレーションの様子）
（左：通常の5G-NRシステム、右：Full-Duplex(FD)を導入した場合）

3. 波及効果、今後の予定

今回の検証にて、ワイヤレスエミュレータ上で都市空間の情報を反映した5Gシステムおよび提案FDを導入したB5Gシステムの模擬実験について、実無線機を用いずに実施できることが確認できました。今後は、今回検証を実施したフィールド以外の場所における評価の実施や、5G-NRの周波数として割り当てられたミリ波に代表される高周波数帯への応用展開を目指します。

4. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は総務省「仮想空間における電波模擬システム技術の高度化に向けた研究開発」(JPJ000254)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. 半二重復信（Half-Duplex）と全二重復信（Full-Duplex）

現行の5Gで採用されている複信方式は半二重復信（Half-Duplex）であり、UL通信の信号とDL通信の信号を別の周波数リソース、もしくは別の時間リソースに配置することで、UL通信とDL通信の干渉を回避しています。複数の周波数リソースを使ってUL/DL通信の干渉回避を実現する複信方式を周波数分割複信（Frequency-Division Duplex: FDD）方式、複数の時間リソースを使って実現する複信方式を時分割複信（Time-Division Duplex: TDD）方式と呼びます。全二重復信（Full-Duplex）は、Half-Duplex方式の周波数利用効率向上を目的とした複信方式であり、同じ周波数で同時に送信と受信を実施することで、理論的に最大2倍の周波数利用効率を実現できますが、セルラーシステムへの導入に際しては、自己干渉

(Self-Interference: SI)をはじめとする各種干渉回避・キャンセル技術の実現が実用化への鍵となります。

2. デジタルツイン

物理空間（現実世界）に存在する都市空間、人、モノの情報を仮想空間（サイバー空間）上に再現する技術です。

3. エミュレータ

実空間で動作するオリジナルのシステムと同等のシステムを仮想空間（コンピュータ）上で動作させる装置です。エミュレータ内に持つ時計（クロック）で動作し、実運用に近い形で評価可能になります。

4. 5G New-Radio

5G で採用された無線インターフェースであり、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。

5. Dynamic-Full-Duplex Cellular (DDC) システム

従来の Half-Duplex の一種である TDD に基づく UL 及び DL 通信の割当を実施し、これらの通信に与える影響が最小限となる場合にのみ、動的に新たな DL または UL 通信を Full-Duplex によって重畳するセルラーシステム。京都大学が開発し、B5G/6G における実用化を目指しています。