

大阪大学 1

電波環境センシングを用いた 小型5G移動基地局の移動制御手法

大阪大学大学院 情報科学研究科
狭間 敦久 荒川 伸一 村田 正幸

ネットワークシステム研究会 2023.10.4

1

研究背景 2

- **5G 技術を用いた移動通信システム**
 - 法令上、基地局は固定であることが原則
- **移動型の基地局による様々な活用形態**
 - 情報および情報交換が必要な時・場所が限定される場合
 - 例：山間地や離島などの非生活圏で、商用系セルラーネットワークが展開されていない場所
 - 例：トンネルや高層ビルでの建設土木工事現場
 - 固定型の基地局が設計時に前提としていた環境条件が変わって通信ができない場合
 - 例：地震などの災害時に 固定基地局が使用不能になった場合
 - 例：花火大会や野外フェスなどで多くの人が密集し通信環境が劣化している場合
- **小型の移動基地局の重要性**
 - 人の密集や障害物の発生により通信品質が劣化する場合、大型の移動基地局では対応が困難
 - 複数の端末が電波環境をセンシングし、最適な位置へ移動基地局を移動させることが必要
 - 現在の基地局設備は 20 kg 以上の機材で動作するため、市販の移動体へ搭載するためには軽量化が必要

2

研究目的・研究手順 3

- **研究目的**
 - 5G通信技術を用いた移動基地局の小型化
 - 複数の端末が信号品質を損なうことなく通信可能となる移動基地局の移動制御手法の考案
- **研究手順**
 - 5G通信技術を用いた小型5G移動基地局の製作
 - 5G基地局の構築・移動体への搭載
 - 移動制御のための移動制御APIの作成
 - 移動基地局を利用した電波環境センシングに基づく移動制御実験及び評価
 - 電波環境センシングによる電波マップの作成
 - 電波マップに基づいた移動基地局の移動制御により通信品質が改善されるかを評価

3

移動基地局の製作 4

- **移動体への基地局・アンテナ・電源の搭載**
 - 基地局：RU, gNB, 5GC から構成
 - 基地局用電源：モバイルバッテリー
 - 容量：87.04 Wh
 - 100V AC 出力端子 → gNB (小型PC) へ接続
 - USB-C 出力端子 → Raspberry Pi へ接続
 - 基地局・モバイルバッテリーの総重量：約 3 Kg 程度
- **移動基地局諸元**
 - 使用する電波の中心周波数：3.4505 GHz
 - 使用帯域：20 MHz (RB51)
 - 変調方式および符号化率：MCS0
 - 上記の条件で通信を行った結果、約 80 分動作することを確認
 - 5 cm の精度で移動制御可能であることを確認




完成後の移動基地局

4

信号品質の測定 5

- **Measurement Report 機能を使用**
 - 5G 通信における基地局 - 端末間のハンドオーバー時に用いられる RRC 層の情報
 - 各端末の RSRP、RSRQ、SINR を 240ms 間隔で取得
 - チャネル状態 (CSI) 情報もしくは OFDM 信号処理時の情報を使用することも可能であるが、処理が複雑化し消費電力・重量が増加するため、Measurement Report を使用
- **測定データの管理**
 - RRC 層で得られたデータを、gNB である小型 PC のアプリケーション層で管理
 - 通信を行う端末の ID、及び取得した RSRP、RSRQ、SINR をログファイルとしてリアルタイムに更新・保存

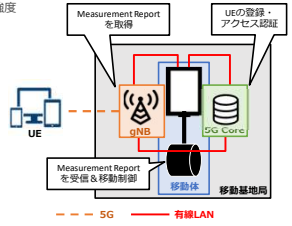


信号品質測定実験の様子

5

移動制御API 6

- **移動制御APIによる移動制御手順**
 1. 移動基地局を一定の距離間隔で移動させながら端末の電波品質の計測を行い、gNB は各地点・各端末の受信電波強度を取得
 2. 移動体は gNB から受信電波強度を受信し、各地点における電波品質を表した電波マップを作成
 3. 移動体は作成した電波マップに基づいて、複数の端末が電波品質を損なうことなく通信可能となる位置を決定
 4. 決定した地点へ移動制御



--- 5G --- 有線LAN

6

実験環境

7

- 場所：電波シールド室 (情報科学研究科 B棟706室)
- 端末：5G 対応スマートフォン × 2台
- 各端末の前方にパネルを設置
 - 地点 1・3
 - 1つの端末のみ電波が遮られる状態
 - 地点 2
 - どちらの端末も電波が遮られない状態

電波シールド室 (上面図)

実験環境の写真

7

電波環境センシングによる電波マップの作成

8

- Measurement Report の RSRP を利用
 - 端末の RSRP を受信電波強度を表す指標として利用
 - 端末と基地局の位置関係で決まる基準信号の受信電力値であり、基地局の設置条件やエリアの障害物などに影響
- 電波マップの作成手順
 1. gNB に対し移動体は接続を開始し、端末の ID と Measurement Report が記録されたログファイルを取得
 2. 5 秒間処理を待機
 3. 再度ログファイルを取得し、1.で取得したログファイルとの差分を抽出
 4. 得られた差分から、各端末の RSRP を取得し、5秒間の計測における RSRP の平均、位置座標を保存
 5. 移動方向へ基地局を約50cm移動
 - 1.～5.の処理を、計測時間の合計が35秒になるまで実行
 - 実験環境では、35秒の計測で約3m移動し、計測終了地点に到達

8

評価方法

9

- 電波環境センシングにより得られた電波マップを示す
 - 横軸：計測開始地点からの距離 [m]
 - 縦軸：2台の端末の RSRP (5秒間の平均値) [dBm]
- 電波マップにおいて 2 台の端末の RSRP の平均値が最大である地点と移動制御後の到達地点が概ね一致しているかどうかを確認
- 移動制御の前後で 2 台の端末の RSRP の値を比較

9

電波マップに基づく移動制御実験結果 - 電波マップ -

10

- 実験結果
 - Measurement Report 機能を用いた端末の受信電波強度の取得による移動基地局の移動制御が可能であることを確認
 - 計測時に RSRP が最大の地点と移動制御後の地点はいずれも計測開始地点からの距離が1.5mの地点 2 (どちらの端末も電波が遮られない状態) であり、概ね一致
 - 移動制御により2台の端末の通信品質が改善
 - 移動制御前の地点におけるRSRP : -116.9 dBm
 - 各地点における RSRP の平均値 : -116.5 dBm
 - 移動制御後の地点における RSRP : -112.5 dBm

作成された電波マップ

計測結果	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	平均
開始地点からの距離 [m]	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	平均
RSRP [dBm] (平均値)	-116.9	-119.6	-118.6	-110.5	-117.5	-118.5	-114.0	-116.5

10

移動制御実験の様子 (4倍速)

11

11

まとめと今後の課題

12

- 電波環境センシングを用いた電波マップの作成による小型5G移動基地局の移動制御手法実験の実施
 - Measurement Report 機能を用いた端末の受信電波強度の取得による移動基地局の移動制御の実現
 - 2 台の端末の受信信号強度の平均値が最大となる地点への移動制御を確認
 - 移動制御により 2 台の端末の通信品質が改善されることを確認
- 今後の課題
 - 受信信号強度の分散を考慮した移動制御手法の考案
 - 分散を考慮することにより、端末に対してより公平な電波環境を提供
 - 電波環境センシング及び移動制御を2次元に拡張
 - 周囲の物理的環境から電波品質を予測することで電波環境を捕捉
 - 将来的には移動体としてドローン等の飛行体を利用し、3次元的な移動制御を実現
 - 実験試験局免許を取得し、一般的な電波環境での検証を実施

12