

光無線協調型フロントホールにおける機能分割基地局の配置設計

Placement of Functional Split Base Station in Optical and Wireless Fronthaul

久野 大介¹
Daisuke Hisano中山 悠²
Yu Nakayama丸田 一輝³
Kazuki Maruta丸田 章博¹
Akihiro Maruta大阪大学 大学院工学研究科¹
Graduate School of Engineering,
Osaka Universityneko 9 Laboratories²千葉大学大学院 工学研究院³
Graduate School of Engineering,
Chiba University

1 はじめに

モバイル基地局 (Mobile base station: MBS) を、経済的かつ柔軟に配備するために、C-RAN (Centralized radio access network) アーキテクチャの検討がなされている [1]. 第五世代モバイル通信システム (5G) 及びそれ以降の C-RAN 構成では、MBS を CU (Central unit), DU (Distributed unit), 及び RU (Remote unit) と呼ばれる 3 つの機能ブロックに分割することが検討されている [2]. CU-DU 間及び DU-RU 間は光ファイバにより結ばれ、それら区間の光リンクはモバイルミッドホール (Mobile midhaul: MMH) 及びモバイルフロントホール (Mobile fronthaul: MFH) とそれぞれ呼ばれる. また、MFH を無線リンクで構成する検討もなされている [3]. 本稿では、MFH を光リンク及び無線リンクで構成した際の DU 配置アルゴリズムを提案する.

2 C-RAN 構成

各ユニットが具備する機能について概説する. RU は、物理層の機能を備え、アンテナサイトに配置される. MAC (Media access control) 層及び物理層の一部の機能は、DU が具備する. RLC (Radio link control) 層及び PDCP (Packet data convergence protocol) 層の機能は、CU に配備される. DU は複数の RU と接続され、CU もまた複数の DU と接続される. このように、上位層の機能を集約し、アンテナサイトに配置する機能を軽量化することで、RAN 全体の低コスト化及び低消費電力化が見込める.

各ユニットの設置場所に関して、CU はモバイルオペレータが所有する集約ビル等に集約・配置される. MFH は遅延に関する要求条件が $100 \mu\text{s}$ [4] と非常に厳しいため、DU は RU の近傍に配置する必要がある. RU は、無線端末と RU 間の無線伝搬特性が良好となる場所に配置される. すなわち、CU 及び RU の設置場所は限定的であるが、DU は MFH の遅延要求条件を満たす範囲で、任意の位置に配備することが可能である.

5G 及びそれ以降の時代では、RU の高密度配置が検討されている. RU のセル径を縮小し、高密度に配置することで、単位面積あたりの収容無線端末数を増加させることが可能となる. RU が高密度に配置されると、MFH リンクを形成する光ファイバコストも急激に増加する. このため、著者らは無線 MFH リンクの適用による敷設光ファイバコストの削減を検討している.

アンテナ素子を含む RU の配置方法については、盛ん

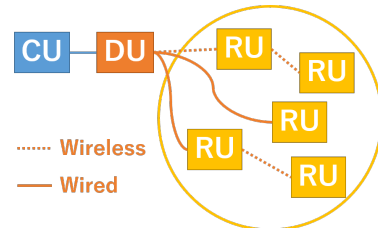


図 1: Optical/wireless fronthaul.

に議論がなされている. しかしながら、光リンク及び無線リンクによって MFH を構築した際の DU の配置方法に関しては、未だ提案されていない. 本稿では、図 1 に示すように、光リンク及び無線リンクを用いて、光ファイバコストを低減しつつ、DU の設置場所を決定するアルゴリズムを提案する.

3 MFH の光リンク敷設コスト

光ファイバを用いて、MFH リンクを構成した際の敷設コストをモデル化する. 1 台の DU が、複数台の RU を管理するとき、1DU あたりの光リンクの合計コスト C_{total} は、

$$C_{total} = C_{laid} N_{RU} + \sum_r^{N_{RU}} C_{fiber} L_{fiber}(r), \quad (1)$$

となる. C_{laid} は、光ファイバあたりの固定コスト、 N_{RU} は 1DU あたりに収容する RU 数を表す. C_{fiber} は、ファイバ長あたりの光ファイバコスト、 $L_{fiber}(r)$ は光ファイバ長を表す. r は、RU 識別子 ($r \in R$) であり、 R は RU の集合を表す.

本稿では、図 1 に示すように、無線リンクのマルチホップ接続も可能とする. 無線リンクを用いて DU へ収容可能な RU は、全て無線リンク接続し、式 (1) の敷設コストを低減することを目的とする.

4 DU の配置アルゴリズム

前提条件として、RU の配置場所は事前に計算されていると仮定する. RU は、無線端末と良好な通信が可能かつ、所望のカバレッジを得るために、配置場所が決められるからである. 本稿で対象とする DU は、無線端末と通信を行わないことを前提としているため、MFH リンクにのみ焦点を当て配置場所を計算する.

DU の配置アルゴリズムについて説明する. RU の配置場所が決定した後、収容する RU の近傍のランダムな位置に DU を設置する. このとき、ランダムに RU を選択し、無線マルチホップ接続で MFH を構成可能か計算を

行う。計算の結果、無線マルチホップ接続が可能な場合は、この状態を保持する。無線マルチホップ接続が不可の場合は、光リンクを用いて接続する。ここで、RU-RU間を無線接続を行うことは可能であるが、光リンク接続はDU-RU間に限定する。また、計算されるDU-RU間の経路は、最短路接続を行うことに注意されたい。次に、未選択のRUをランダムに抽出し、この計算を全RUが完了するまで行う。

全RUの経路設定が完了したとき、式(1)に基づいて光リンクコスト C_{total} の計算を行う。ここで、敷設光ファイバ削減率 α を定義する。

$$\alpha = 1 - C_{total,net}/C_{total,fiber}, \quad (2)$$

$C_{total,fiber}$ は、全MFHを光リンクで構成した際の合計コストを表し、 $C_{total,net}$ は、無線マルチホップ接続適用時の合計コストを表す。この削減率 α が、予め設定した所望の値 α を下回った場合に、DUの設置を完了する。 α を超えた場合は、DUをランダムな位置に再配置し、上記の計算をやり直す。

(a) 経路設計時における全RUの抽出順序及び(b) DU再配置時のランダム性により、削減率 α は異なる値となる。このため、(a) 及び(b) の計算は複数の試行回数だけ行う必要がある。試行途中で削減率 α が所望の値を得られた場合は計算を打ち切り、このときのDU配置を結果として出力する。

5 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションを行い、4章で提案したDU配置アルゴリズムの有効性を確認した。RUの配置方法に関して、RUは、無線端末が集まるエリアに集中して配備されることが考えられる。このため、RU群が局所的に点在することが予想される。本シミュレーションでは、4箇所にて点在するRU群を、2, 3, 4台のDUでそれぞれ収容した際の敷設光ファイバ削減率を評価した。また、RU群間距離は、2 km から 5 km に可変させた。

無線リンクの伝送容量は伝搬距離に依存し、図2の関係を示す。このとき、キャリア周波数を28 GHz、送信帯域幅を1 GHz、空間多重度を2、送信電力を46 dBm、受信雑音電力を-76.89 dBm、雑音指数を7 dB、伝搬環境をLine-of-sightとした。その他のシミュレーションパラメータを表1に示す。また、(a) 経路設計時における全RUの抽出を行う際の試行回数を100回、(b) DU再配置を行う際の試行回数を10000回とした。また、RUの配置場所をランダムに変更し、本シミュレーションを10000回行った。図3に、RU群間の距離を可変させたときの平均削減率を示す。全ての場合において、40%以上の削減効果が得られることがわかる。

6 結論

MBSが3つの機能ブロックに分割されるC-RAN構成において、DUの配置場所を決定するためのアルゴリズムを提案した。本アルゴリズムを適用することにより、RU群間距離が4 km及び2 DU時に、56%の敷設光ファイバの平均削減率を得た。また、全てのケースで40%以上の平均削減率を得た。今後の検討として、配置マップ

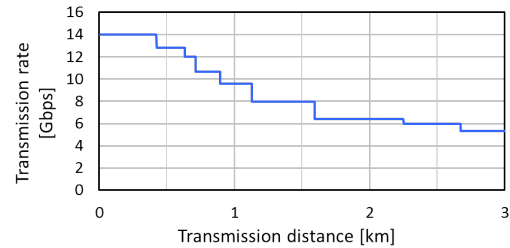


図2: Transmission rate vs. transmission distance.
表1: Simulation parameters.

Parameter	Value
Map size	10 km × 10 km
Number of dense area	4
Distance between dense areas	2, 3, 4, and 5 km
Number of RUs	50 RUs/Dense area
Number of DU sites	2, 3, and 4
Fronthaul data rate	5 Gbps
Minimum distance between RUs	10 m
Wireless propagation delay d_{prop}	3.3 μ s/km
Latency requirement d_{req}	100 μ s
Multihop latency d_{hop}	65 μ s
Wireless link distance	up to 3 km
Maximum number of hops	2
Radius r_{rad}	500 m
C_{laid}	1.1
C_{fiber}	1.0
Desired cost reduction rate α_d	0.4

の3次元化や現実に近い地図を用いた場合の検討が必要である。

参考文献

- [1] NGMN, "Suggestions on Potential Solutions to C-RAN by NGMN Alliance," The Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance, Technical Report, Jan. 2013. [2] P. Chanclou *et al.*, "How does passive optical network tackle radio access network evolution?," *IEEE/OSA J. Opt. Comm. Netw.*, vol. 9, no. 11, pp. 1030-1040, Nov. 2017. [3] M. Artuso, *et al.*, "Cloudification of mmwave-based and packet-based fronthaul for future heterogeneous mobile networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 22, no. 5, pp. 76-82, Oct. 2015. [4] CPRI, "eCPRI specification V1.0," Aug. 2017.

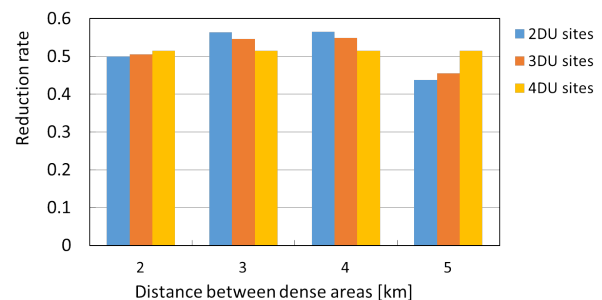


図3: Reduction rate vs. distance between dense areas with average value.