

マルチホップ無線システムと PON システムを併用したフロントホールリンク設計 Low Cost C-RAN and Fronthaul Design with WDM-PON and Multi-hopping Wireless Link

久野 大介¹⁾ 中山 悠²⁾ 丸田 一輝³⁾
Daisuke Hisano Yu Nakayama Kazuki Maruta

1 はじめに

近年のモバイルネットワークでは、モバイル基地局間の協調動作を図るために、集約型無線アクセスネットワーク (C-RAN) 構成が導入されている。2020 年以降に導入が予定されている第 5 世代モバイル通信システム (5G) では、モバイル基地局を 3 分割した C-RAN 構成が検討されている。3 つに分割されたユニットは、集約ユニット (CU), 分散ユニット (DU), そしてリモートユニット (RU) と呼ばれる。CU はレイヤ 3 の機能を担い、DU は、帯域割当て制御等のレイヤ 2 機能と一部の物理層機能を担う。RU は、アンテナ機能や変調や復調等の一部の物理層機能を持つ。接続形態は、CU-DU-RU の順に接続され、CU-DU 間はミッドホール、DU-RU 間はフロントホール (FH) と呼ばれる。FH リンクは、従来は直接接続されていたが、RU 数が増加傾向にあることから、FH リンクのネットワーク化が注目を集めている [1]。

代表的なネットワーク化の方法として、波長分割多重型受動光ネットワーク (WDM-PON) の適用が有力視されている [2]。PON システムは、1 本の光ファイバを複数ユーザが共有して使用するシステムである。WDM-PON では、ユーザ毎に異なる波長を使用して通信を行うため、同じ光ファイバを利用しつつ、仮想的にユーザを分けることが可能となる。

ネットワークコストの更なる低減を達成するため、著者らは無線マルチホップ FH リンクの適用及び DU の配置設計方法について提案を行ってきた [3]。無線 FH を用いると、光リンクコストを低減することができる。しかしながら、大容量な通信を行うために高周波数帯をキャリアとして用いた無線 FH を適用しなければならず、伝搬距離制限や遮蔽物の影響を強く受けてしまう。よって、無線システムのみで FH リンクを構築することは現実的ではない。

本稿では、先行研究 [3] を発展させ、無線マルチホップリンクと WDM-PON を併用した FH リンクの構築方法及びそのときの DU 配置方法を提案する。提案手法により、光リンクコストが、従来よりも削減可能であることを示す。

2 提案方式

2.1 概要

先行研究 [3] では、無線 FH を適用した際に、光リンクコストが最小となる場所に DU を配置する手法を提案した。RU は、モバイル端末との通信を良好に行えるように最適化された場所に配備されるため、FH リンクコストを低減可能な場所に配置することはできない。DU に関しては、遅延要件を満たす範囲で任意の場所に配置することが可能であることから、DU の配置設計方法に

- 1) 大阪大学 大学院工学研究科
- 2) 東京農工大学 工学研究院
- 3) 千葉大学 大学院工学研究院

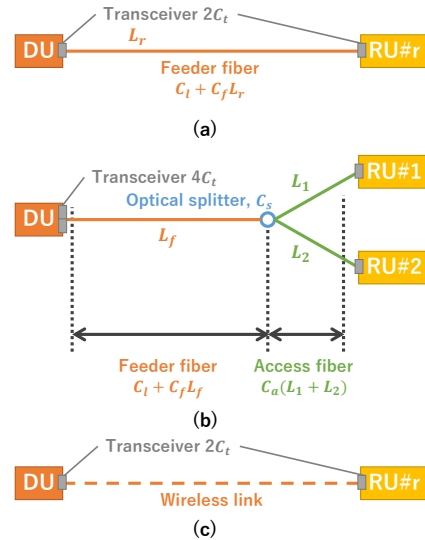


図 1 コストの内訳

着目している。

本稿では、先行研究 [3] に示したアルゴリズムに従って DU 配置及びマルチホップ無線リンク確立が完了した状態で、無線接続ができなかった FH リンクを WDM-PON システムを用いて取容する。取容方法として、光ファイバコストが最小となる組み合わせを選択するために、モンテカルロ法により最適化を行った。

2.2 コストモデル

光ファイバコストを最小化を行うために、本節において、対象となる FH リンクのコストモデルを示す。無線リンクと WDM-PON を適用したときの合計コスト C_{total} を以下に示す。

$$C_{total} = C_{ptp} + C_{pon} + C_w, \quad (1)$$

C_{ptp} , C_{pon} , C_w は、それぞれ光リンク直接 (PtP) 接続、WDM-PON 接続、無線接続した総コストを表す。図 1 にコストの内訳を示す。光リンクと無線リンクそれぞれにおいて、トランシーバコスト C_t を今回は同じとした。ここで、あるエリアにおける RU 群の集合を R としたときに、リンクごとの部分集合を R_{ptp} , R_{pon} , R_w ($R_{ptp}, R_{pon}, R_w \subset R, R_{ptp} \cap R_{pon} \cap R_w = \emptyset$) とする。また、Feeder fiber の集合を F_f , Access fiber の集合を F_a とする。

次に式 (1) 右辺 C_{ptp} , C_{pon} , C_w の内訳を以下に示す。

$$C_{ptp} = (C_t + 2C_t)|R_{ptp}| + 2C_f \sum_{f \in F_f} L_f, \quad (2)$$

$$C_{pon} = (C_t + 2C_t)|R_{pon}| + C_s|F_f| + C_f \sum_{f \in F_f} L_f + C_a \sum_{f \in F_a} L_f, \quad (3)$$

$$C_w = 2C_t|R_w|. \quad (4)$$

Algorithm 1 PON link connection.

```

CallDuPlacement( $D$ )
CallRuPlacement( $R$ )
 $R \leftarrow R \setminus R_w$ 
 $i \leftarrow 0, count \leftarrow 0$ 
while  $count < |R|$  do
   $r_t \leftarrow RuRandomSelect()$ 
   $d \leftarrow CallDuRuPair(r_t)$ 
   $p_i \leftarrow SetInPon(r_t)$ 
   $count \leftarrow count + 1$ 
  while SearchFlag = 0 do
     $r_n \leftarrow SearchNearestRu(r_t, d, radius)$ 
    if  $r_n = 0$  then
      SearchFlag  $\leftarrow 1$ 
    if NumOfOnu( $p_i$ ) = 1 then
       $d_i \leftarrow SetInPtP(r_t)$ 
       $p_i \leftarrow RemovePon(r_t)$ 
    else
       $i \leftarrow i + 1$ 
    end if
  else
     $p_i \leftarrow SetInPon(r_n)$ 
     $count \leftarrow count + 1$ 
    if NumOfOnu( $p_i$ ) = MaxOnu then
      SearchFlag  $\leftarrow 1, i \leftarrow i + 1$ 
    end if
  end if
end while
end while

```

C_l はファイバ敷設コスト, C_f は、長さ当たりの Feeder fiber のコストを表す。 C_s は、光スプリッタの配備コスト, C_a は、長さ当たりの Access fiber のコストである。

2.3 アルゴリズム

提案手法における DU 配置及び FH リンクの収容設計に関するアルゴリズムを示す。初めに、先行研究 [3] に従って、マルチホップ無線リンクを用いて RU を収容する。このときに、光ファイバリンクコストが最小となる位置に DU を配置する。無線接続が困難だった FH リンクの情報を保持し、WDM-PON 収容アルゴリズムへ渡す。WDM-PON 収容アルゴリズムを Algorithm 1 に示す。ランダムに 1 台の RU を選択し、その近隣にいる RU を探索する。そして、近隣に RU がいる場合は、同じ PON リンクに収容する。近隣に RU が存在しない場合は、PtP 接続を行う。全 RU の収容が完了したとき、光ファイバコストの情報と FH リンク接続の情報を保持しておく。これを予め決めた回数だけ繰り返す、最も光リンクコストが小さかった結果を採用する。

3 計算機シミュレーション

提案手法を用いたときのコスト削減効果を計算機シミュレーションにより示す。

3.1 シミュレーション要件

6 km × 6 km のマップ上に、4 つの RU 稠密地帯を生成した。各稠密地帯に 50 台ずつ RU を一様分布に従いランダムに配置した。このとき、RU 間の最小距離を 10 m とした。FH リンクに要求される伝送レートを 5 Gbps と

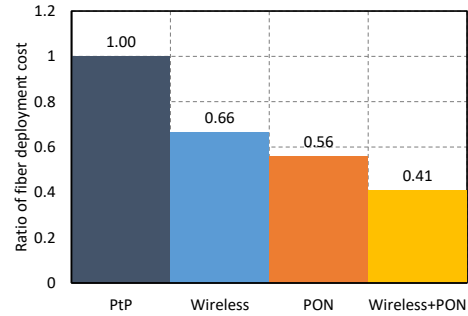


図2 平均コスト削減率

し、無線 FH リンクのパラメタ及は文献 [3] に従う。また、許容転送時間は 100 μ s である。無線マルチホップの中継器における処理遅延は 65 μ s に設定した。

ここで、前節で示したコスト値に関して、 C_l を 1.074, C_f を 1.0, C_a を 3.125, C_s を 1.24 とした。

WDM-PON による収容に関して、1 つの PON リンクあたりに収容可能な RU 数を 4 とし、Algorithm 1 の繰返し計算回数を 1 万回とした。

上記の条件を用いて、RU の配置位置を変更し、1 万回シミュレーションを行い、光リンクコストの平均値を算出した。

3.2 シミュレーション結果

図2にシミュレーション結果を示す。PtP 接続のみを行った時を基準に光リンクコストの正規化を行った。マルチホップ無線リンクのみで RU を収容した場合、無線リンクが確立できなかった場合は、PtP 接続を行うため、光ファイバコストは 0.66 程度となり、約 3 割の光リンクコスト削減となった。これは、RU が稠密に配置されているため、RU-DU 間に他の RU が存在し、電波を遮蔽してしまうことに起因している。次に WDM-PON のみを用いた場合、光ファイバコストは 0.56 となっており、約 4 割近い削減率となる。提案手法であるマルチホップ無線リンク接続を行った後に、残りの FH リンクを WDM-PON 接続した場合は、0.41 と最も低い値となり、コスト削減率も 6 割程度まで実現可能となる。

4 結論

マルチホップ無線リンクと WDM-PON を用いた FH リンクの収容方法を提案した。計算機シミュレーションにより、提案手法を用いることで、PtP 接続のみを利用した場合と比較して、41%程度の光リンクコストで FH リンクを確立可能なことを示した。

謝辞

本研究は、公益財団法人電気通信普及財団による助成により実施された。

参考文献

- [1] *Time-Sensitive Networking for Fronthaul*, IEEE Standard 802.1CM, Feb. 2017.
- [2] K. Honda, H. Nakamura, K. Sone, G. Nakagawa, Y. Hirose, T. Hoshida, and J. Terada, "Wavelength-shifted protection for WDM-PON with AMCC scheme for 5G mobile fronthaul," in *Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)*, W3J.6., Mar. 2019.
- [3] D. Hisano, Y. Nakayama, K. Maruta and A. Maruta, "Deployment Design of Functional Split Base Station in Fixed and Wireless Multihop Fronthaul," *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018, pp. 1-6.