

# 백홀 용량이 제한된 네트워크에서 무인항공기 배치 및 자원 할당에 관한 연구

원종현, 김도엽, 이장원 (연세대학교)

{wonjonghyeon, danny.doyup.kim, jangwon}@yonsei.ac.kr

## UAV Placement and Resource Allocation in Backhaul-Limited Networks

Jonghyeon Won, Do-Yup Kim, Jang-Won Lee (Yonsei Univ.)

### 요약

본 논문은 기지국(BS) 역할을 하는 무인항공기(UAV)가 지상기지국(GBS)으로부터 데이터를 받아서 다수의 지상 사용자들에게 전송하는 네트워크에서 백홀 링크의 용량 제한을 고려하여 최적의 UAV 위치와 자원 할당을 결정하는 문제를 세우고 최적해를 구하는 알고리즘을 제시한다.

### I. 서론

일반적으로 위치가 고정된 지상 기지국(GBS: Ground Base Station)과 달리 상공에서 자유롭게 이동할 수 있는 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle) 탑재형 기지국(BS: Base Station)으로 통신 시스템에서 채널 이득을 개선할 수 있다<sup>[1]</sup>. 높은 채널 이득을 얻기 위해서는 백홀을 고려하여 UAV-BS의 위치와 자원 할당을 결정하는 것이 중요하다. 하지만 현재까지 백홀을 고려한 UAV-BS 관련 연구가 많지 않다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서는 백홀 링크를 고려하여 자원을 할당하고 UAV-BS를 배치하며, 제한된 자원을 효율적으로 사용하기 위해 에너지 효율성을 최대화하는 문제를 세운다. 이 문제를 해결하기 위해 메타휴리스틱 기법을 도입한다.

### II. 본론

본 논문에서는 UAV-BS가 GBS로부터 데이터를 받아  $N$ 개의 사용자들에게 데이터를 전송하는 상황에서 UAV-BS를 배치하고 자원을 할당한다. 본문에서 GBS를 노드 0으로, 사용자  $i$ 를 노드  $i$ 로 나타내며, UAV-BS와 노드  $i$ 의 위치를 각각  $\mathbf{x}=(x,y,h)$ ,  $\mathbf{x}_i=(x_i,y_i,0)$ 으로 표기한다. UAV-BS의 높이  $h$ 는  $[H_{\min}, H_{\max}]$  범위의 제약을 갖는다. GBS는 UAV-BS에게  $p_0$ 의 전력으로, UAV-BS는 사용자  $i$ 에게  $p_i$ 의 전력으로 신호를 송신한다. 이때 GBS와 UAV-BS가 사용할 수 있는 총 전력은 각각  $P_{0,\max}$ ,  $P_{\max}$ 이다. GBS와 UAV-BS 사이의 링크를 백홀 링크, UAV-BS와 사용자 사이의 링크를 액세스 링크라고 부른다. 백홀 링크는  $b_0$ 의 대역폭을, 각각의 액세스 링크는 모두 서로 같은 너비의 대역폭  $b$ 를 점유한다. 이때 백홀 링크와 액세스 링크가 점유할 수 있는 총 대역폭은  $B_{\max}$ 이다. 상공에 위치하는 UAV-BS 덕분에 백홀 링크와 액세스 링크는 모두 LoS(Line of Sight)를 보장받다고 가정한다. 따라서 UAV-BS와 임의의 노드  $i$  간 채널 이득을 경로 손실 모델에 따라 다음과 같이 나타낸다.

$$g_i(\mathbf{x}) = \eta / \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_i\|^\alpha. \quad (1)$$

위 식에서  $\eta$ 는 단위 거리에서의 채널 이득,  $\alpha$ 는 경로 손실 지수이다. 식 (1)에 기반해 해당 링크의 전송률은 다음과 같이 주어진다.

$$R_i(\mathbf{x}, p_i, b_i) = b_i \log_2 [1 + (g_i(\mathbf{x}) p_i) / (b_i N_0)] \quad (2)$$

위 식에서  $N_0$ 는 잡음 스펙트럼 밀도이고,  $1 \leq i \leq N$ 에 대해  $b_i = b$ 이다. 각각의 사용자  $i$ 는  $R_{i,\min}$ 의 최소 전송률을 요구한다. 위 시스템 모델에 따라 에너지 효율성을 최대화하는 다음의 최적화 문제를 세운다.

$$\underset{\mathbf{x}, \mathbf{p}, \mathbf{b}}{\text{maximize}} \quad \left( \sum_{i=1}^N R_i(\mathbf{x}, p_i, b) \right) / \left( \sum_{i=0}^N p_i \right) \quad (3a)$$

$$\text{subject to} \quad H_{\min} \leq h \leq H_{\max} \quad (3b)$$

$$b_0, b, p_i \geq 0, \quad i = 0, \dots, N \quad (3c)$$

$$p_0 \leq P_{0,\max}, \quad \sum_{i=1}^N p_i \leq P_{\max} \quad (3d)$$

$$b_0 + Nb \leq B_{\max} \quad (3e)$$

$$R_i(\mathbf{x}, p_i, b) \geq R_{i,\min}, \quad i = 1, \dots, N \quad (3f)$$

$$\sum_{i=1}^N R_i(\mathbf{x}, p_i, b) \leq R_0(\mathbf{x}, p_0, b_0) \quad (3g)$$

위 문제에서  $\mathbf{b}=(b_0, b)$ ,  $\mathbf{p}=(p_0, p_1, \dots, p_N)$ 이다. 제약식 (3b) ~ (3e)는 UAV-BS의 높이, 전력 및 대역폭 할당의 제한 조건을 의미한다. 제약식 (3f)는 각 사용자의 최소 전송률 조건을, 제약식 (3g)는 액세스 링크의 전송률 합이 백홀 링크의 전송률을 넘을 수 없음을 나타낸다.

한편 각 링크의 전송률은 링크 길이에 따라 단조 감소하므로 최적의 높이  $h^*$ 는  $H_{\min}$ 으로 주어진다. 또한, 전송률은 대역폭에 따라 단조 증가하므로 최적해는  $b = (B_{\max} - b_0)/N$ 를 만족한다. 목적 함수는  $p_0$ 에 따라 단조 감소하고 백홀 링크의 전송률은  $p_0$ 에 따라 단조 증가하므로  $p_0^*$ 는  $\sum_{i=1}^N R_i(\mathbf{x}, p_i, b) = R_0(\mathbf{x}, p_0^*, b_0)$ 를 만족한다.  $h, b, p_0$ 는 결정되므로 나머지 변수에 대해 메타휴리스틱 기법인 constrained particle swarm optimization (PSO) 알고리즘을 적용하여 최적해를 구한다<sup>[3][4]</sup>.

### III. 결론

본 논문에서는 백홀을 고려하여 UAV-BS의 에너지 효율성을 최대화하도록 UAV-BS를 배치하고 전력과 대역폭을 할당하는 문제를 세웠고, constrained PSO 알고리즘으로 최적해를 구하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단, 무인이동체 원천기술개발사업단의 지원을 받아 무인이동체원천기술개발사업을 통해 수행되었음.(NRF-2020M3C1C1A02086427)

### 참고문헌

- [1] Y. Zeng, Q. Wu, and R. Zhang, "Accessing from the sky: A tutorial on UAV communications for 5G and beyond," *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 12, pp. 2327-2375, Dec. 2019.
- [2] C. Qiu *et al.*, "Joint resource allocation, placement and user association of multiple UAV-mounted base stations with in-band wireless backhaul," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 8, no. 6, pp. 1575-1578, Dec. 2019.
- [3] D.-Y. Kim and J.-W. Lee, "Integrated topology management in flying ad hoc networks: Topology construction and adjustment," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 61196-61211, Oct. 2018.
- [4] D.-Y. Kim and J.-W. Lee, "Joint mission assignment and topology management in the mission-critical FANET," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 3, pp. 2368-2385, Mar. 2020.