

개별 노드의 유형 및 접속확률을 고려한 UAV 기지국 배치

최형욱*, 임재성°, 천혜림*, 노홍준**, 허진**, 박형원**

UAV Base Station Placement Considering Type and Access Probability of Individual Nodes

Hyoungwook Choi*, Jaesung Lim°, Hye Rm Cheon*,
 Hongjun Noh**, Jin Heo**, Hyungwon Park**

요약

Unmanned Aerial Vehicle(UAV)는 높은 기동성과 빠른 배치가 가능하기에 무선 셀룰러 네트워크 지원을 목적으로 UAV-Base Station(BS) 통신과 자원할당 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존 UAV-BS 기반 네트워크 자원 할당은 각 지상 노드의 동등한 우선순위를 가정하였기에 우선순위가 높은 노드를 커버하지 못할 수 있다. 이에 본 논문에서는 우선순위가 높은 노드의 자원할당 보장을 위하여 지상 노드의 유형과 채널 접속확률을 고려한 UAV-BS 배치 기법을 제안한다. UAV-BS는 백홀 링크의 서비스 가용 자원이 보장되고 지상 노드는 UAV-BS의 커버리지 영역 내에서 존재해야 한다. 본 논문에서는 백홀 링크와 지상 노드의 Quality of Service(QoS) 요건을 제약조건으로 고려하고 노드의 우선순위와 채널 접속확률에 따른 목적함수를 제안하여 최적화 문제로 공식화한다. 시뮬레이션을 통해 본 논문이 기존에 제안된 지상 노드 위치 정보 기반 알고리즘보다 우선순위가 높은 노드의 커버율과 합산율이 뛰어난 것을 확인하였다.

Key Words : Base station, Unmanned aerial vehicle(UAV) placement, Priority, Access probability, Optimization problem

ABSTRACT

Because UAV has high mobility and quick deployment, research on UAV-BS communication and resource allocation is being actively conducted for the purpose of supporting wireless cellular networks. When each ground node has the same priority in resource allocation, a node having a high priority may not be covered. Thus, this paper proposed an UAV-BS placement algorithm that considers the type of and the channel access probability of ground node to ensure resource allocation of high priority node. UAV-BS has limited available resources by backhaul links, and ground nodes must locate within the coverage area of UAV-BS to be provided resources. In this paper, We formulate an optimization problem having a QoS requirements of backhaul links and ground nodes are considered as constraints, and object functions according to the priority of nodes and the channel access probability. We evaluated the performance through simulation and the results showed that the proposed scheme provides better coverage rate of high priority nodes and sum rate than the previously proposed algorithm based on ground node location information.

* 본 연구는 LIG넥스원의 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Ajou University Department of Military Digital Convergence, always00@ajou.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Ajou University Department of Military Digital Convergence, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원

* Advanced Research Dept., VC INC., hrcheon@vcinc.co.kr, 정회원

** LIG NEX1, Korea, hongjun.noh@lignex1.com 정회원; heojin77@lignex1.com, 정회원; hyungwon.park@lignex1.com, 정회원

논문번호 : 202205-069-A-RE, Received May 2, 2022; Revised June 7, 2022; Accepted June 7, 2022

1. 서 론

갑작스러운 자연재해 및 일시적인 커버리지 문제로 지상 무선 인프라의 손상이 발생하여 서비스가 중단될 수 있다. 또한 네트워크의 수요가 많은 지역의 경우, 추가적인 통신 서비스를 제공해줄 필요가 있다. 예를 들어, 행사같이 일시적으로 혼잡한 셀에서의 트래픽 지원 등이 있다. 이러한 목적을 고려하여 최근 Unmanned Aerial Vehicle(UAV)를 기지국으로 사용하는 방안들이 연구되고 있다^[1].

지상과 달리 UAV-Base Station(BS)는 공중에서 기동과 배치를 빠르게 수행할 수 있기에 긴급상황에 신속하게 투입될 수 있다는 장점이 있고, 공중에서는 가시선 확보에 매우 유리하기 때문에 무선 네트워크 서비스를 제공하는 효과적인 방법이 되고 있다. 또한 지상 기지국에서 네트워크 지원이 어려운 지역이나 인구가 희박한 지역에서도 쉽게 통신 커버리지를 제공하는 방법으로 활용될 수 있다^[2].

한편 UAV 기반 지원 통신은 많은 과제에 직면하고 있다. 지상 채널은 기지국의 위치가 고정되어 있어 경로 손실이 사용자의 위치에만 따라 달라지지만, 공대지(ATG: Air-to-Ground) 채널의 경우 사용자의 위치뿐만 아니라 UAV-BS의 위치에 대한 함수이다. 따라서 UAV 기반 지원 통신의 경우, 지상 기지국처럼 2차원 배치 문제가 아닌 3차원 배치 문제로 접근해야 하므로 추가로 고도를 설정해 줄 필요가 있다. 또한 운용하는 UAV의 수에 따라 단일과 다중 UAV로 나뉘며 커버리지 범위에 따라서 부분과 완전 커버리지로 구분된다^[3].

참고문헌 [4], [5]에서 저자들은 다수의 UAV-BS를 활용하여 모든 사용자를 커버하기 위하여 최소로 운용 가능한 UAV 배치 알고리즘을 제안하였다. 다수의 UAV-BS를 이용할 때는 공중 자원의 제약 및 간섭 효과가 존재하여 운용에 문제가 될 수 있다. UAV는 배터리를 사용하여 전원을 공급하며 에너지는 탑재된 기지국과 무인기 플랫폼에 소비되어 가용한 에너지는 제한적이다. 한편 단일 UAV-BS의 운용은 서비스 영역에서 완전한 커버리지를 제공할 수 없기에 효율적으로 부분적인 커버리지를 제공해야 한다. 따라서 UAV-BS의 통신 활용도를 높이기 위하여 다양한 시나리오에 대한 최적의 배치 관련 연구가 이루어지고 있다^[4-12].

[6]의 저자는 단일 UAV-BS의 서비스 커버리지를 기반으로 최적의 UAV-BS 고도를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 UAV로부터 전파 경로 손실 모

델을 제안하고 환경에 따라 달라지는 LOS 확률을 고려하여 LOS 통신을 위한 최적의 고도각을 찾았다. [7]에서 저자는 지상 사용자의 위치 정보를 기반으로 주어진 커버리지 영역에서 사용자를 최대한 커버할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 커버리지 면적을 최소화하여 최소의 송신 전력을 통한 최대 커버리지 알고리즘을 제안했다.

[8]에서 저자는 백홀링크를 제약조건으로 두고 사용자마다 다른 통신 서비스 속도를 제공할 때, 합산율을 극대화시키는 UAV-BS 배치 기법을 제안하였다. [9]의 저자는 지상 노드마다 다른 QoS 요건을 고려했을 때 최대 커버리지를 만족하는 알고리즘을 제안하였다. [10]의 저자는 UAV-BS에서 노드까지 네트워크 트래픽이 달라 각 노드의 채널 접속확률을 고려하여 전력 효율적인 UAV-BS의 배치 기법을 제안하였다. [11]에서 저자는 강화학습을 적용하여 사용자의 요구량과 지상 기지국 위치를 고려하여 최적의 서비스 처리량을 가질 수 있는 위치를 찾는 기법을 제안하였다.

위의 논문들은 모두 통신 서비스 제공에 있어서 동일한 단말 유형 및 우선순위를 갖는다고 가정하고 있다. 따라서 UAV-BS의 위치 결정에 있어서 지상 노드의 위치 정보만을 고려하였다. 하지만 비상시 재난이나 군 작전 환경에서는 각 지상 노드에게 할당되는 자원의 양도 다르며, 수행해야 하는 임무의 중요도가 다르기 때문에 우선순위를 고려하여 지상 노드의 자원을 할당하고 또한 이를 고려하여 UAV-BS를 배치해야 한다.

본 논문에서는 지상 노드의 유형과 채널 접속확률을 고려하여 노드의 우선순위를 정하고, 이를 기반으로 통신 합산율을 극대화하는 UAV-BS 배치 기법을 제안한다. 이를 위하여 UAV-BS의 서비스 반경 내에 위치하는 지상 노드의 수뿐만 아니라 지상 노드의 유형과 각 노드의 채널 접속확률을 고려하여 우선순위를 설정하였다. 시뮬레이션 결과, 기존 지상 노드의 위치 기반 알고리즘과 비교할 때 제안하는 기법이 지상 노드의 우선순위가 요구되는 상황에서 훨씬 우수한 합산율을 보임을 확인하였다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. 2장에서 시스템 모델을 설명하고 3장에서 제안기법을 다루며 4장에서는 시뮬레이션 및 성능 분석, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 셀룰러 네트워크에서 단일 UAV-BS를 활용하기 위한 UAV 배치 기법을 제안한다. 대부분의 셀룰러 서비스 영역은 지상 기지국에 의해 커버리지가 보장되지만, 재난, 재해와 같은 통신 인프라 단절 상황, 지형적인 요인으로 인한 통신 서비스 제공 불가 환경, 일시적인 트래픽 증가 및 집중으로 인한 네트워크 붕괴 상황 등이 발생한 경우는 부분적으로 또는 일시적으로 UAV-BS를 활용하여 통신 서비스를 제공해야 한다.

기존 지상 기지국 기반 모바일 네트워크와 UAV-BS 기반 네트워크를 통합 운영하는 환경을 가정한다. 이때, UAV-BS는 지상 노드의 중계를 통하여 통신을 연결해주는 역할을 한다. 사용자에게 어떻게 네트워크를 지원할지에 대한 접근방법으로 사용자 중심 관점에서 UAV-BS에 의해서 제공되는 데이터 전송률의 합산과 커버하는 노드의 수만 고려한다^[8]. 또한 사용자 노드에 할당되는 자원까지 고려하여 사용자의 우선순위를 설정하여 높은 합산율을 고려한다.

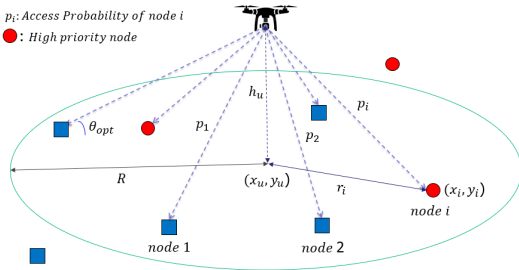


그림 1. UAV-BS 배치 시스템 모델
Fig. 1. System model of UAV-BS placement

2.1 지상노드 분포 모델

그림 1과 같이 지상 사용자가 무작위로 분포하는 영역에서 UAV-BS 다운링크만 존재하는 환경을 가정한다. R 은 UAV-BS의 커버리지 반경, (x_i, y_i) 는 각 사용자의 좌표가 되며, 여기서 색인 i 는 각 사용자 i 에 해당하며, (x_u, y_u, h_u) 는 UAV-BS의 좌표를 나타낸다.

재해 상황이나 커버리지 문제가 발생한 상황에서, 각 지상 노드의 통신 자원 사용은 네트워크 서비스를 제공받는 우선순위에 따라 달라질 수 있다. 모든 사용자의 채널 접속 능력을 동일하게 한다면 한정된 자원에서 효율성이 떨어지게 된다. 따라서 UAV-BS가 지상 노드에 다운링크를 지원할 때, 각 노드의 트래픽과

이벤트의 빈도는 모두 다르기에 사용자의 접속확률은 모두 다르다고 가정한다. 이때, 노드 i 의 접속확률을 p_i 라 정의한다.

또한, 노드마다 수행하는 서비스의 종류가 다르므로 서비스의 종류에 따라 우선순위를 두어 지원되어야 할 노드가 더 높은 우선순위를 가질 수 있도록 노드의 유형을 구분하고, 할당받은 자원의 양이 많은 노드를 포함하여 사용자들의 합산율을 증가시킬 수 있다. 사용자마다 네트워크 서비스를 받을 수 있는 확률은 노드의 유형과 접속확률에 따라 결정한다. 본 논문에서는 노드의 유형을 2가지로 높은 우선순위 노드, 일반 우선순위 노드로 구분하였으며, 노드 i 의 유형에 대한 변수 a_i 를 정의한다.

사용자들의 분포에 있어서 일반적인 상황을 가정하기 위하여 Matern Cluster Process(MCP)를 통한 클러스터링으로 사용자 분포 모델을 사용하였다. 이는 Poisson Point Process(PPP)를 2번 진행한 것으로, 클러스터의 중심에 해당하는 부모점(parent point)과 클러스터 반경, 클러스터 당 자식점(daughter point)의 수를 가지고 점들을 생성하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.^[14]

$$f(z) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2}, & \text{if } \|z\| \leq r \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $f(z)$ 는 밀도 함수이며, r 은 클러스터 반경으로 부모점을 중심으로 클러스터 반경을 반지름으로 하는 원 안의 점들을 균등하게 생성한다. 클러스터의 반경이 큰 경우 사용자들이 넓은 환경에서 분포하며, 작은 경우 사용자들이 밀집된 환경에서 분포한다.

2.2 UAV-BS와 지상 노드 간 채널모델

UAV-BS와 지상 사용자 간 AtG(Air-to-Ground) 채널 모델은 다양한 모델이 제안되고 있다. 반면, 도심환경에서의 일반적인 AtG 모델은 블록함수가 아니기 때문에 모델의 단순성을 위하여 본 논문에서는 FSPL(Free Space Path Loss) 모델을 기반으로 한 모델을 사용한다^[1].

FSPL에서 도심 환경에서 라디오파는 새도잉과 스캐터링에 의해 경로 손실이 발생한다. 반면, 음영 효과와 스캐터링에 의한 경로 손실은 랜덤하게 나타나며 영향이 적다. 기지국 배치의 계획 단계는 채널의 장기적인 변동을 다루기 때문에 평균적인 경로 손실만을 다룬다고 가정한다. 이때, FSPL 모델에서 UAV

와 노드 i 사이 LOS 와 NLOS 링크에서 데시벨(dB) 단위에서 경로 손실 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L_{LOS} &= 20 \log \left(\frac{4\pi d_i f_c}{c} \right) + \eta_{LOS} \\ L_{NLOS} &= 20 \log \left(\frac{4\pi d_i f_c}{c} \right) + \eta_{NLOS} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 L_{LOS} 와 L_{NLOS} 는 각각 LOS 또는 NLOS 링크에서의 경로 손실 방정식, f_c 는 반송파 주파수, c 는 빛의 속도, d_i 는 $d_i = \sqrt{r_i^2 + h_u^2}$ 로 주어진 UAV-BS와 노드 i 사이의 거리다. r_i 는 UAV-BS의 지상 위치와 노드 i 사이의 수평 거리로 $r_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2}$ 로 나타낼 수 있다. η_{Los} , η_{NLos} 는 각각 LOS 및 NLOS 환경에서의 추가적인 경로 손실을 의미한다. 이때, LOS 환경과 NLOS 환경을 고려한 평균적인 경로 손실은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L(h_u, r_i) = L_{LOS} \times P_{LOS} + L_{NLOS} \times P_{NLOS} \quad (3)$$

UAV-BS는 경로 손실 임계값(L_{th}) 보다 작은 손실을 보이는 노드에 대해서만 통신을 지원해줄 수 있다. 따라서 다음 조건을 만족하는 노드 i 만 통신이 보장받을 수 있다.

$$L(h_u, r_i) < L_{th} \quad (4)$$

UAV-BS는 지상 노드와의 LOS 연결을 보장하기 위하여 충분한 고도각을 갖고 비행해야 한다. 이는 환경에 따라 달라지며 도심 환경에서 신뢰할 수 있는 통신을 위한 최적의 고도 각도를 그림 1에서 같이 θ_{opt} 라 표기한다³⁾. 또한 UAV-BS는 최적의 고도각을 가지는 고도에서 비행해야 지상 노드와의 LOS 연결을 보장할 수 있다. 고도에 따라서 높은 고도에서는 LOS 연결을 보장할 수 있으며, 반면 낮은 고도에서는 송신 전력을 절약할 수 있는 관계가 존재한다. 이에 커버리지 반경(R)과 최적의 고도 각에 따른 UAV-BS가 운용되어야 할 고도(h_u)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_u = R \tan(\theta_{opt}) \quad (5)$$

III. 제안 기법

본 장에서는 UAV-BS의 배치 기법을 제안한다. 지상 노드의 위치 및 접속확률과 유형까지 고려하여 우선순위를 고려한 배치를 위한 최적화 문제를 공식화한다. 최적화 문제를 정의하기 위하여 목적함수와 제약조건으로 나누어 설명한다.

목적함수는 지상 노드 유형과 지상 노드가 할당받은 데이터율(data rate)을 고려하여 합산율(sum rate)을 최대화하는 함수로 정의한다. 노드의 유형에 따른 우선순위는 할당받은 데이터 속도에 따른 우선순위와 동일한 가중치를 갖는다고 가정하여 다음과 같이 목적함수를 정의한다.

$$\sum_{i=1}^N \beta_i \cdot \mu_i, \beta_i = p_i \cdot r_i \cdot (1 + a_i) \quad (6)$$

여기서 N 은 서비스가 필요한 총사용자 수를 나타낸다. UAV-BS의 모든 사용자의 접속확률 p_i 는 랜덤하며, 상대적인 값으로 0~1 사이의 값을 갖는다고 가정한다. UAV-BS로부터 각 노드가 할당받는 데이터 속도를 r_i 라 표기하면, UAV-BS에서 노드로 평균적으로 할당하는 데이터 속도는 $p_i \cdot r_i$ 라 나타낼 수 있다. μ_i 는 사용자 지시함수이며 a_i 와 μ_i 모두 이진 변수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_i = \begin{cases} 1, & \text{node } i \text{ of high priority} \\ 0, & \text{node } i \text{ of general priority} \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_i = \begin{cases} 1, & \text{node } i \text{ in coverage area} \\ 0, & \text{node } i \text{ not in coverage area} \end{cases} \quad (8)$$

UAV-BS는 백홀 링크를 통해 사용자에게 네트워크를 지원한다. 따라서 백홀 링크에 대한 제약조건을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^N r_i \cdot \mu_i \leq R^* \quad (9)$$

여기서 R^* 는 UAV-BS가 최대 지원 가능한 데이터 속도를 나타낸다. 따라서 UAV-BS로부터 사용자가 할당받은 총 데이터 속도의 합은 R^* 을 넘을 수 없다.

또한, 사용자가 요구하는 QoS 조건을 충족시킬 때, 커버리지 영역 안의 노드에 대해서만 지원해줄 수 있다. 따라서 이에 대한 조건을 다음과 같이 나타낼 수

있다.

$$PL_i \cdot \mu_i \leq PL_{\max}, \forall i \quad (10)$$

여기서 PL_i 는 사용자 i 가 수신한 신호에 대한 경로 손실을 나타내며, PL_{\max} 는 사용자의 QoS 조건을 충족하는 범위에서 최대 감수 가능한 경로 손실을 의미한다.

노드의 유형에 대한 변수인 a_i 와 사용자 지지함수 μ_i 는 0과 1의 값을 갖는 이진 변수이기 때문에 이에 대한 제약조건은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$a_i, \mu_i \in (0,1) \quad (11)$$

최종적으로 목적함수와 제약조건을 이용하여 최적화 문제를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^N \beta_i \cdot \mu_i \\ & \text{subject to} \\ & \sum_{i=1}^N r_i \cdot \mu_i \leq R^* \\ & PL_i \cdot \mu_i \leq PL_{\max}, \forall i \\ & a_i, \mu_i \in (0,1) \\ & x_{\min} \leq x_u \leq x_{\max} \\ & y_{\min} \leq y_u \leq y_{\max} \\ & h_{\min} \leq h_u \leq h_{\max} \end{aligned} \quad (12)$$

여기에서 x_u, y_u, h_u 는 UAV-BS의 3차원 좌표이며 $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$ 는 2차원 영역에서의 최소값과 최대값을 나타낸다. h_{\min} 과 h_{\max} 는 각각 UAV-BS의 최소 허용 고도 및 최대 허용 고도로 이는 UAV-BS의 크기, 중량, 전력 제약조건인 SWaP(Size, Weight and Power) 조건에 따라 제한된다¹³⁾. 식 (12)의 최적화 문제는 혼합 정수 비선형 문제(Mixed Integer Non-Linear Problem)로 MOSEK 솔버를 통해 조건을 만족하는 UAV-BS의 3차원 배치 좌표를 계산할 수 있다.

IV. 성능 분석

본 장에서는 제안한 지상 노드의 유형 및 접속확률을 고려한 UAV-BS 배치 기법의 성능검증을 위해

표 1. 도심 환경 경로 손실 매개 변수
Table 1. Urban environment parameters

Parameter	Value
a	9.61
b	0.16
η_{Los}	1 dB
η_{NLos}	20 dB

MATLAB을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 먼저, UAV-BS 운용 환경은 도심 환경을 가정하였고 그에 따른 채널 모델 변수는 표 1과 같이 가정하였다¹⁶⁾.

제안하는 기법의 성능평가를 위하여 본 논문에서 제안한 UAV-BS 배치 위치 기법과 기존의 지상 노드의 위치 정보를 기반¹⁷⁾으로 구한 UAV-BS 배치 위치 기법의 노드의 수와 합산율을 평가하였고 시뮬레이션 매개 변수는 표 2와 같다. 모든 시뮬레이션은 $2km \times 2km$ 영역에서 MCP 기반의 클러스터링 환경을 가정하였고, 클러스터 반경, 부모점 및 자식점의 수는 표 2에 나타내었다. 사용자마다 수행하는 서비스의 종류가 다르므로 요구되는 QoS도 다르게 표 2와 같이 가정하였다. 시뮬레이션에서 높은 우선순위 비율을 전체 노드의 20%로 설정하였고, 접속확률은 모든 노드가 0~1 사잇값에서 균일분포로 가정하였다.

성능분석을 위해 UAV-BS로부터 지원받은 사용자들의 합산율과 커버하는 높은 우선순위 노드의 수를 성능지표로 사용하였다. 합산율(s_N)의 경우, 지원받은 사용자에게 대해서만 데이터 속도들의 합을 통해 구할 수 있으며, 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$s_N = \sum_{i=1}^N p_i \cdot r_i \cdot \mu_i \quad (13)$$

표 2. 시뮬레이션 매개 변수
Table 2. Simulation parameters

Parameter	Value
Frequency (f)	2GHz
Pathloss threshold (PL_{\max})	100 dB
Radius of cluster (r)	200m
Radius of coverage (R)	500m
Average number of parent points	3
Average number of daughter points	40
Maximum serving rate(R^*)	50Mbps
User QoS requirement (r_i)	0.5/1/1.5/2Mbps

커버하는 높은 우선순위 노드 수(c_N)의 경우, 노드의 유형에 따른 변수인 a_i 를 통해 계산할 수 있으며 다음과 같이 나타낸다.

$$c_N = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \mu_i \quad (14)$$

성능 분석을 위해 다음의 3가지 시나리오에서 시물레이션을 수행하였다. 첫 번째는 커버리지 반경을 변화시켜가며 비교한다. 두 번째는 UAV-BS가 최대 지원 가능한 데이터 속도를 변화시켜가며 비교한다. 세 번째는 클러스터 반경을 변화하며 사용자의 분포를 달리하여 비교한다. 3가지 시나리오에서 변화시킨 변수 외에 나머지 변수들은 초기값을 유지한 상태로 진행하였다.

첫 번째로 커버리지 반경(R)을 500m에서부터 50m씩 750m까지 변화시키면서 성능을 비교 분석하였다. 결과 그래프는 그림 2와 그림 3과 같이 각각 R 에 따른 합산율과 커버하는 높은 우선순위 노드의 수로 나타내었다.

커버리지 반경을 증가시키면 주어진 커버리지 영역에서 더 넓은 영역의 사용자들에게 네트워크를 지원할 수 있기에 커버리지 반경이 증가함에 따라 제안한 기법과 기존 기법의 합산율과 커버하는 높은 우선순위 노드의 비율이 증가함을 확인할 수 있다. 또한 위 두 그래프에서 제안기법이 기존 위치 정보 기반 배치 기법과 랜덤한 배치에 비하여 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

두 번째로 최대 지원 가능한 데이터 속도(R^*)을 50/80/100/130/150/200 Mbps로 변화시켜가며 비교

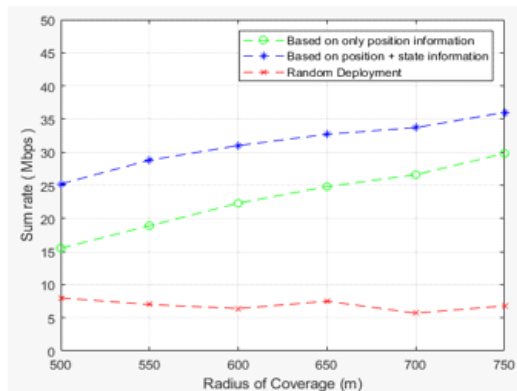


그림 2. 커버리지 반경에 따른 합산율 비교
Fig. 2. Comparison of sum rate according to radius of coverage

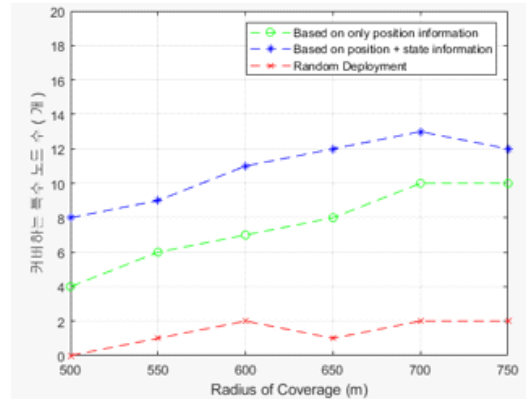


그림 3. 커버리지 반경에 따른 커버 가능한 높은 우선순위 노드의 수 비교
Fig. 3. Comparison of the number of covered high priority nodes according to radius of coverage

분석을 진행하였다. 결과 그래프는 그림 4와 5와 같이 R^* 에 따른 합산율과 커버하는 높은 우선순위 노드의 수로 나타내었다.

R^* 가 증가하면 동일한 커버리지 영역 내에 위치하는 사용자들에 대하여 높은 QoS 조건을 가지는 사용자들을 우선적으로 지원하기 때문에 합산율도 증가한다. 또한, 커버리지 영역 내 모든 사용자를 커버하지 못할 경우보다 더 많은 사용자를 커버할 수 있기에 우선순위가 높은 노드의 수도 증가함을 그림 5에서 확인할 수 있다. 반면, 그림 4와 5에서 보면 R^* 가 100Mbps까지는 성능이 크게 향상되지만, 이후부터는 증가하는 추세가 줄어들게 된다. 이는 커버리지 영역이 제한되기 때문에, 커버리지 영역 내 사용자들을 모두 커버하였기 때문이라는 것을 알 수 있다. 커버리지

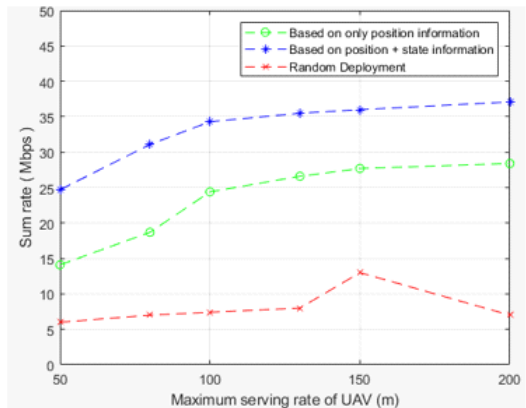


그림 4. 최대 지원 가능한 데이터 속도에 따른 합산율 비교
Fig. 4. Comparison of sum rate according to maximum serving rate

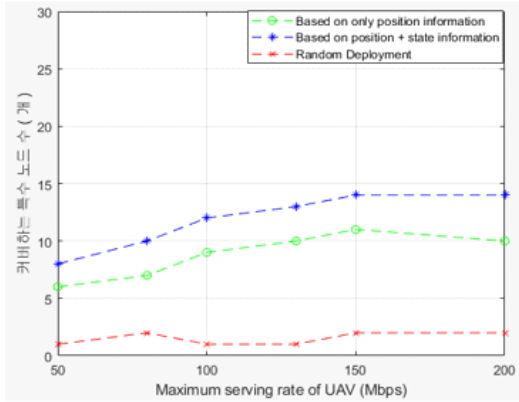


그림 5. 최대 지원 가능한 데이터 속도에 따른 커버 가능한 높은 우선순위 노드의 수 비교
Fig. 5. Comparison of the number of covered high priority nodes according to maximum serving rate

영역이 확장되면 그림 4와 5 그래프 모든 구간에서 증가하는 추세가 나타날 수 있다.

세 번째로 클러스터 반경(r)을 100m에서 100m씩 600m까지 변화시키면서 성능을 비교 분석하였다.

결과는 그림 6, 7과 같이 각각 r 에 따른 합산율과 커버하는 높은 우선순위 노드의 수로 나타내었다.

클러스터 반경은 앞선 2가지 시나리오와 달리 실제 사용자가 변화시킬 수 있는 요인은 아니지만, 다양한 사용자의 분포에서 성능을 분석하기 위하여 진행하였다. 클러스터 반경이 커지면 사용자들이 더 넓게 분포하게 되어 일정한 커버리지 영역에서 지원할 수 있는 사용자의 수가 줄어든다. 따라서 클러스터 반경이 증가할수록 합산율 및 커버하는 높은 우선순위 노드의 수가 줄어드는 결과를 확인할 수 있다. 반면, 클러스

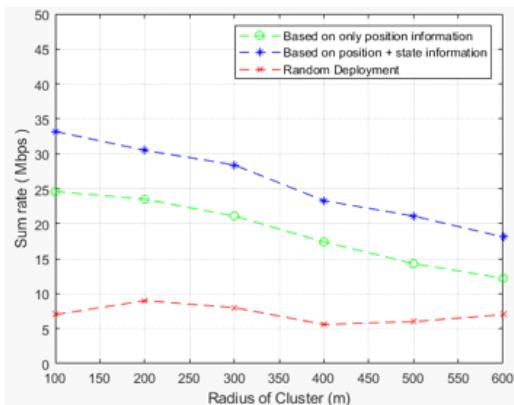


그림 6. 클러스터 반경에 따른 합산율 비교
Fig. 6. Comparison of Sum rate according to radius of cluster

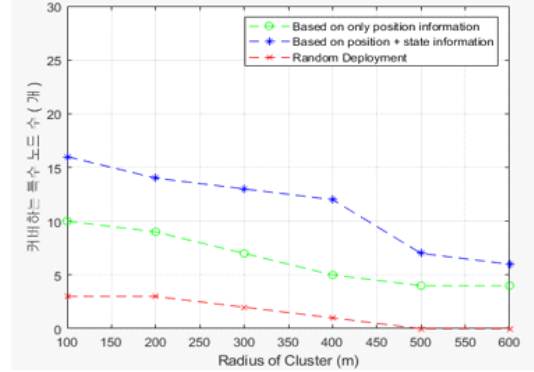


그림 7. 클러스터 반경에 따른 커버 가능한 높은 우선순위 노드의 수 비교
Fig. 7. Comparison of the number of covered high priority nodes according to radius of cluster

터 반경이 100m에서는 200m일 때보다 합산율과 커버하는 높은 우선순위 노드의 수가 더 좋은 성능을 보임을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 지상 노드의 위치 및 유형과 채널 접속확률에 따른 우선순위를 고려한 UAV-BS의 배치 기법을 제안하였다. 지상 노드의 위치 정보만을 기반으로 한 UAV-BS의 배치는 지상 노드의 유형 및 할당받는 자원의 효율성 고려되지 못하므로 효과적이지 못하다. 특히, 군 통신 환경과 같이 일반 노드와 구별되는 우선순위가 높은 노드가 존재하는 상황에서는 우선순위를 고려한 배치 기법이 요구된다. 제안기법은 할당받는 자원과 노드의 유형에 따른 사용자들의 우선순위를 고려한 UAV-BS의 배치 위치를 제약조건을 고려한 최적화 문제를 통해 효과적인 위치를 계산한다.

기존 지상 노드의 위치 정보를 활용하는 기법과 비교하여 제안기법이 합산율과 커버하는 노드수 측면에서 성능이 우수함을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다. 시뮬레이션은 3가지 시나리오에서 진행하였으며 시뮬레이션 결과에서 커버리지 반경이 클수록, UAV가 최대 지원 가능한 데이터 속도가 클수록, 클러스터 반경은 작을수록 제안기법의 성능이 우수함을 입증하였다.

References

[1] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, Y. H. Nam, and M. Debbah, "A tutorial on UAVs

- for wireless networks: Applications, challenges, and open problems,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 21, no. 3, pp. 2334-2360, Mar. 2019.
(<https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2902862>)
- [2] Y. Zeng, Q. Wu, and R. Zhang, “Accessing from the sky: A tutorial on UAV communications for 5G and beyond,” in *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 12, pp. 2327-2375, Dec. 2019.
(<https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2952892>)
- [3] L. Zhang, H. Zhao, S. Hou, Z. Zhao, H. Xu, X. Wu, Q. Wu, and R. Zhang, “A survey on 5G millimeter wave communications for UAV-Assisted wireless networks,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 117460-117504, Jul. 2019.
(<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2929241>)
- [4] E. Kalantari, H. Yanikomeroglu, and A. Yongacoglu, “On the number and 3D placement of drone base stations in wireless cellular networks,” *2016 IEEE 84th VTC-Fall*, Sep. 2016.
(<https://doi.org/10.1109/VTCFall.2016.7881122>)
- [5] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, “Optimal transport theory for power-efficient deployment of unmanned aerial vehicles,” in *Proc. IEEE ICC*, pp. 1-6, 2016.
(<https://doi.org/10.1109/ICC.2016.7510870>)
- [6] A. Al-Hourani, S. Kandeepan, and S. Lardner, “Optimal LAP altitude for maximum coverage,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 3, no. 6, pp. 569-572, Jun. 2014.
(<https://doi.org/10.1109/LWC.2014.2342736>)
- [7] M. Alzenad, A. El-Keyi, F. Lagum, and H. Yanikomeroglu, “3-D placement of an unmanned aerial vehicle base station (UAV-BS) for energy efficient maximal coverage,” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 6, no. 4, pp. 434-437, Apr. 2017.
(<https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2700840>)
- [8] E. Kalantari, M. Z. Shakir, H. Yanikomeroglu, and A. Yongacoglu, “Backhaul-aware robust 3D drone placement in 5G+ wireless networks,” in *Proc. IEEE ICCW*, Paris, France, May 2017.
(<https://doi.org/10.1109/ICCW.2017.7962642>)
- [9] M. Alzenad, A. El-Keyi, and H. Yanikomeroglu, “3-D placement of an unmanned aerial vehicle base station for maximum coverage of users with different qos requirements,” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 7, no. 1, pp. 38-41, Sep. 2017.
(<https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2752161>)
- [10] J. H. Park, H. Baek, S. Choi, J. S. Lim, C. H. Lee, and H. W. Park, “Power-Efficient UAV base station placement considering position and accessibility of individual nodes,” *J. KICS*, vol. 46, no. 1, pp. 66-73, 2021.
(<https://doi.org/10.7840/kics.2021.46.1.66>)
- [11] Y. M. Park and C. S. Hong, “Deploying UAV based on reinforcement learning for throughput maximization in UAV environments,” *JOK*, vol. 47, no. 7, pp. 700-706, 2020.
(<https://doi.org/10.5626/JOK.2020.47.7.700>)
- [12] S. A. Al-Ahmed, M. Z. Shakir, and S. A. R. Zaidi, “Optimal 3D UAV base station placement by considering autonomous coverage hole detection, wireless backhaul and user demand,” *J. Commun. and Netw.*, vol. 22, no. 6, pp. 467-475, 2020.
(<https://doi.org/10.23919/JCN.2020.000034>)
- [13] A. Fotouhi, H. Qiang, M. Ding, M. Hassan, L. G. Giordano, A. G. Rodriguez, and J. Yuan, “Survey on UAV cellular communications: practical aspects, standardization advancements, regulation, and security challenges,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 21, no. 4, pp. 3417-3442, Mar. 2019.
(<https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2906228>)
- [14] Y. Wang and Q. Zhu, “Modeling and analysis of small cells based on clustered stochastic geometry,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 21, no. 3, pp. 576-579, Mar. 2017.
(<https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2572085>)

최형욱 (Hyoungwook Choi)



2022년 2월 : 아주대학교 국방
디지털융합학과 학사
2022년 6월~현재 : 공군
<관심분야> 무선 네트워크
[ORCID:0000-0002-6653-318X]

노흥준 (Hongjun Noh)



2008년 2월 : 아주대학교 정보
및 컴퓨터공학과 학사
2015년 2월 : 아주대학교 컴퓨
터공학과 박사
2015년 3월~현재 : LIG넥스원
C4I연구소 전술통신체계개
발단 수석연구원
<관심분야> 군 위성통신, 랜덤 액세스, 전술이동통신
[ORCID:0000-0001-6138-742X]

임재성 (Jaesung Lim)



1983년 2월 : 아주대학교 전자
공학 학사
1985년 2월 : KAIST 영상통신
석사
1994년 8월 : KAIST 디지털통
신 박사
1995년 9월~1998년 2월 : SK

텔레콤 중앙연구원 책임연구원
1998년 3월~현재 : 아주대학교 국방디지털융합학과
정교수
2006년 8월~현재 : 아주대학교 국방전술네트워크 연
구센터장
<관심분야> 이동 및 위성통신, 무선네트워크, 국방
전술통신
[ORCID:0000-0003-0080-9398]

허진 (Jin Heo)



1996년~2003년 : 한양대학교
전자전기 제어컴퓨터공학과
학사
2003년~2005년 : 한양대학교
전자전기 제어계측공학과 석
사
2005년 10월~현재 : LIG넥스원
C4I연구소 전술통신체계개
발단 수석연구원
<관심분야> 전술이동통신, 물리계층 설계/구현,
HF 대역 통신, MIMO-OFDM
[ORCID:0000-0002-9087-0098]

천혜림 (Hye Rim Cheon)



2006년 : 아주대학교 전자공학
학사
2011년~2019년 : 아주대학교
전자공학 박사
2019년~2020년 2월 : 아주대학
교 정보전자기술연구소 연구
원

2020년 3월~2021년 2월 : 아주대학교 장위국방연구
소 연구원
2021년 2월~2022년 2월 : 아주대학교 장위국방연구
소 연구교수
2022년 4월~현재 : (주)브이씨 융합연구실 연구원
<관심분야> MAC 프로토콜, Full duplex, 소형셀,
LIPA/SIPTO, 무인기 네트워크 등
[ORCID:0000-0001-7613-3123]

박형원 (Hyungwon Park)



1999년~2003년 : 아주대학교
정보 및 컴퓨터공학과 학사
2003년~2005년 : 아주대학교
정보 통신공학과 석사
2005년~2009년 : 아주대학교
정보 통신공학과 박사
2009년 9월~현재 : LIG넥스원
C4I연구소 전술통신체계개발단 팀장
<관심분야> 위성/공중/지상 다계층 전술통신, 이동통
신, 5G
[ORCID:0000-0002-3698-0691]