JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 27, No. 1: 62~68, Jan. 2023

# 위급상황 통신 지원용 공중 통신중계기의 빠른 배치 기법

한상익*

# Fast UAV Deployment in Aerial Relay Systems to Support Emergency Communications

**Sang Ik Han***

*Assistant Professor, School of Smart IT, Semyung University, Jecheon, 27136 Korea

## 요 약

무인항공기 또는 드론(UAV or Drone)을 활용한 공중 통신중계기는 재난피해 지역, 군 작전 지역, 응급상황 발생 시 등의 임시 통신 서비스 지원에 활용되고 있다. 무인항공기를 활용한 공중 통신중계기는 원격 사용자 또는 임무 수행자에게 안정적인 통신 서비스를 제공하는 것을 목표로 하므로 최소 성능 요구사항을 보장하는 빠른 무인항공기의 배치가 중요하다. 무인항공기를 통신 시스템에서 활용하는 연구에서는 통신 성능을 극대화하는 무인항공기의 최적 위치를 찾는 연구가 대부분이나, 위급상황 시에는 최적 위치보다는 무인항공기 배치 가능 영역을 빠르게 도출하고 통신 지원을 위한 빠른 배치가 더 중요하다. 본 논문에서는 무인항공기를 공중 통신중계기로 활용 시 각 상황에 따라 요구되는 통신 성능을 보장하는 무인항공기 배치 가능 영역을 도출하고, 이론적 분석을 통해 얻은 결과를 시뮬레이션 완전 탐색을 통해 검증하고자 한다.

## ABSTRACT

An aerial relay system utilizing an unmanned aerial vehicle(UAV) or drone is addressed for event-driven operations such as temporary communication services for disaster affected area, military and first responder support. UAV relay system (URS) targets to provide a reliable communication service to a remote user equipment or an operator, therefore, a fast UAV placement to guarantee a minimum quality of service(QoS) is important when an operation is requested. Researches on UAV utilization in communication systems mostly target to derive the optimal position of UAV to maximize the performance, however, fast deployment of UAV is much more important than optimal placement under emergency situations. To this end, this paper derives the feasible area for UAV placement, investigates the effect of performance requirements on that area, and suggests UAV placement to certainly guarantee the performance requirements. Simulation results demonstrate that the feasible area derived in this paper matches that obtained by an exhaustive search.

**키워드** : 공중 통신 중계시스템, 빠른 배치 기법, 긴급 통신 지원, 데이터 전송률, 아웃티지 확률

Keywords : UAV relay system, Fast UAV deployment, Emergency communications, Data rate, Outage probability

**Received** 17 November 2022, **Revised** 25 November 2022, **Accepted** 6 December 2022

*** Corresponding Author** Sang Ik Han (E-mail: sihan@semyung.ac.kr, Tel:+82-43-649-1747)
Assistant Professor, School of Smart IT, Semyung University, Jecheon, 27136 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2023.27.1.62 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## Ⅰ. 서 론

지상 통신기지국, 지상 통신중계기에 비해 무인항공기(UAV)를 공중 통신기지국, 공중 통신중계기로 활용하면 경제적인 측면에서 효율적으로 빠르게 구축 가능하다는 장점이 있다[1]. 또한, 무인항공기를 활용한 공중 통신네트워크는 기지국, 중계기 또는 단말기 등의 지상 노드들로만 구성된 지상 통신네트워크에 비해 무인항공기와 지상 노드 또는 무인항공기 간의 강력한 가시선(LoS) 링크로 인해 더 높은 통신 성능을 달성할 수 있다[2].

무인항공기를 공중 통신중계기로 사용하는 공중 통신 중계시스템은 통신기지국 또는 임무 통제 센터로부터 긴 통신거리, 장애물 등으로 인해 직접 통신 링크를 형성할 수 없는 원격 사용자 또는 임무 수행자에게 안정적인 통신 서비스를 지원해준다[3]. 특히, 중요한 임무 수행이 필요하지만, 통신망이 쉽게 파괴될 수 있는 군사작전 지역, 재난피해 지역, 그리고 대규모 응급상황 발생 지역 등 안정적인 통신 지원이 필요한 지역에 임시 통신 지원에 중요한 역할을 한다[4]. 결론적으로 공중 통신 중계시스템에서 중요한 임무 수행 지원을 위해서는 안정적인 통신 링크 확보가 중요하며, 이는 무인항공기의 위치에 따라 결정되므로, 필요시 요구하는 통신 성능을 만족하는 통신 링크를 지원하는 위치로 무인항공기를 빠르게 배치하는 것이 중요하다.

무인항공기를 통신 시스템에 활용한 연구는 공중 통신기지국, 공중 통신중계기, 공중 정보수집기로 크게 구분할 수 있다[5]. 공중 통신기지국에 관한 연구는 5G 통신 시스템의 초광대역, 초저지연, 초연결성을 지원할 수 있는 수단으로 여겨져 무인항공기의 배치, 자원 할당 등 관련 연구가 진행되고 있으며[6-7], 공중 정보수집기는 IoT 시나리오에서 센서 데이터 등을 수집할 수 있는 효율적인 수단으로 무인항공기의 비행경로 등에 관한 많은 연구가 진행되고 있다[8-9]. 하지만, 공중 통신중계기의 경우 통신기지국 또는 임무 통제 센터와 무인항공기, 무인항공기와 원격 사용자 또는 임무 수행자 사이의 두 통신 링크를 모두 고려해야 하므로, 공중 통신기지국의 경우보다 공중 통신중계기의 최적 위치를 찾는 데 어려움이 있다. 또한, 현재까지의 연구는 통신 성능을 극대화하는 최적 공중 통신중계기 위치 선정에 초점이 맞춰져 있는데, 긴급 통신 지원 서비스를 위해서는 통신 서비스의 양적 성능보다는 요구하는 최소 성능을 만족하는 공중 통신중계기 위치를 도출하고 빠르게 통신 서비스를 지원하는 것이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 위급상황 임무 수행을 위한 긴급 통신 지원용 공중 통신중계기의 배치 가능 영역을 이론적으로 분석하여 도출하고 시뮬레이션으로 검증하여 필요시 공중 통신중계기의 빠른 활용이 가능하게 한다.

## Ⅱ. 공중 통신 중계시스템

### 2.1. 시스템 모델

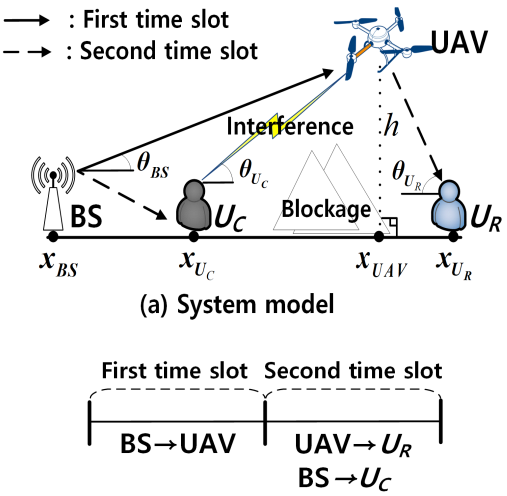


**Fig. 1** System model and transmission in URS

본 논문에서는 그림 1 (a)와 같이 공중 통신중계기가 지상 기지국($BS$)으로부터 통신 링크를 지원받을 수 없는 원격 사용자($U_R$)에게 통신 링크를 지원해주는 시나리오를 고려한다. 공중 통신중계기 배치로 인하여 지상 기지국 통신 반경 내 주 사용자($U_C$)에게 미치는 간섭 영향을 분석하기 위해, 주 사용자는 지상 기지국과 원격 사용자를 연결하는 직선상의 셀 가장자리에 위치하며, 공중 통신중계기는 불필요한 신호 감쇄를 줄이고 최대 간섭 상황을 고려하기 위해 같은 직선상의 공중에 배치된다. 이를 통해 공중 통신중계기 배치 문제를 2차원 평면 문제로 간략화할 수 있으며, 지상 기지국, 주 사용자,

원격 사용자의 위치는 각각 $x$ 좌표인 $x_{BS}$, $x_{U_C}$, $x_{U_R}$로 표현되고, 공중 통신중계기의 위치는 $(x_{UAV}, h)$로 나타낼 수 있다.

### 2.2. 공중 통신 중계시스템 전송방식

공중 통신 중계시스템은 그림 1 (b)와 같이 통신 중계를 위하여 두 개의 전송 슬롯을 요구한다. 첫 번째 전송 슬롯에서는 지상 기지국에서 공중 통신중계기로만 중계 신호를 전달한다. 두 번째 전송 슬롯에서 지상 기지국은 주 사용자에게 통신 서비스를 지원하며, 공중 통신중계기는 첫 번째 전송 슬롯에서 지상 기지국으로부터 전달받은 신호를 원격 사용자에게 전송한다. 이때, 주 사용자는 공중 통신중계기와 원격 사용자 간의 강력한 가시선 링크로 신호 수신에 간섭받지만, 원격 사용자는 지상 기지국으로부터 충분히 멀리 있어 지상 기지국과 주 사용자 간 통신으로부터 간섭을 받지 않는다고 가정할 수 있다[3]. 따라서, 첫 번째 전송 슬롯에서 공중 통신중계기와 두 번째 전송 슬롯에서 주 사용자, 원격 사용자의 신호 대 간섭 잡음비는 다음과 같다.

$$\Phi_{UAV}^{(1)} = \frac{g_{BS,UAV} P_{BS}^{\max}}{\sigma_{UAV}^2} \tag{1}$$

$$\Phi_{U_R}^{(2)} = \frac{g_{U_R,UAV} P_{UAV}^{\max}}{\sigma_{U_R}^2} \tag{2}$$

$$\Phi_{U_C}^{(2)} = \frac{g_{BS,U_C} P_{BS}^{\max}}{g_{U_C,UAV} P_{UAV}^{\max} + \sigma_{U_R}^2} \tag{3}$$

여기서 $g_{i,j}$는 노드 $i$와 $j$ 사이의 채널 이득이며, $\sigma_k^2$는 노드 $k$에서 additive white Gaussian noise (AWGN)의 분산이고 $i, j, k$는 $BS$, $UAV$, $U_C$ 또는 $U_R$을 나타낸다. $P_{BS}^{\max}$와 $P_{UAV}^{\max}$는 지상 기지국과 공중 통신중계기의 최대 전송 전력을 나타낸다.

위 식을 이용하여 지상 기지국을 통해 주 사용자가 획득 가능한 정보 전송량(Achievable data rate, bits/s/Hz)과 공중 통신 중계기를 통해 원격 사용자에게 전송 가능한 정보량(The amount of data, bits/Hz)은 각각

$$R_{U_C} = \frac{1}{2} log(1 + \Phi_{U_C}^{(2)}), \tag{4}$$

$$D_{U_R} = \min(\log(1 + \Phi_{UAV}^{(1)}), \log(1 + \Phi_{U_R}^{(2)})) \tag{5}$$

로 나타낼 수 있으며, 식 (5)는 공중 통신중계기를 통해 원격 사용자가 받을 수 있는 총정보량은 지상 기지국에서 공중 통신중계기로 전송한 정보량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다.

### 2.3. 공중 통신 중계시스템 통신채널

공중 통신 중계시스템은 공중 통신중계기와 원격 사용자 사이의 공대지 통신 링크와 지상 기지국과 공중 통신중계기 사이의 지대공 통신 링크를 사용하는데, 이 통신 링크들은 강력한 가시선과 비가시선(NLoS)의 통신 링크 특성으로 구성된다. 따라서, small-scale fading 특성은 무시할 수 있으며, pathloss-dependent large- scale fading 특성으로 통신채널이 정의될 수 있다. 통신채널 이득은 다음과 같이 일반화되어 표현될 수 있다.

$$g_{g,a} = d_{g,a}^{-\beta_a} (p_g^a + \lambda \overline{p_g^a}) \tag{6}$$

여기서 $d_{g,a}$는 지상 노드 $g$와 공중 노드 $a$ (i.e., UAV) 간의 거리, $\beta_a$는 지대공, 공대지 링크의 경로 손실 지수, $\lambda$는 비가시선 링크의 추가 감쇠율을 의미한다. $p_g^a$와 $\overline{p_g^a}$는 각각 가시선과 비가시선 확률을 나타내며, 수식으로는

$$p_g^a = \frac{1}{1 + C\exp(-B[\theta_g^a - C])}, \tag{7}$$

$$\overline{p_g^a} = 1 - p_g^a \tag{8}$$

로 나타낼 수 있고, $\theta_{g,a}$는 지상 노드 $g$와 공중 노드 $a$ 간의 상향각, $B$와 $C$는 환경 변수를 의미한다[2].

그림 1 (a) 시스템 모델의 지상 기지국과 주 사용자 간의 통신채널 이득은 지대지 통신채널 특성인 식 (9)처럼 표현될 수 있으며, $d_{BS,U_C}$는 지상 기지국과 주 사용자 간의 거리, $\beta_g$는 지대지 링크의 경로 손실 지수, $h_{BS,U_C}$는 평균이 0이고 분산이 1인 레일레이(Rayleigh) 분포를 따르는 랜덤 변수를 나타낸다.

$$g_{BS,U_C} = d_{BS,U_C}^{-\beta_g} h_{BS,U_C} \tag{9}$$

## Ⅲ. 공중 통신중계기 배치 가능 영역

앞서 언급했듯이 본 논문에서는 공중 통신 중계시스템의 요구성능을 만족하는 위치에 공중 통신중계기를 빠르게 배치하는 것을 목표로 한다. 공중 통신 중계시스템의 특성상 공중 통신중계기 배치 시 원격 사용자에게 안정적인 정보 전달을 최우선으로 하며, 또한 공중 통신중계기 배치로 신호 간섭이 커진 주 사용자의 안정적인 통신 지원을 고려해야 한다. 이를 위해 공중 통신 중계시스템의 성능 지표로 주 사용자의 아웃티지 확률(Outage probability) $p_{out}(.)$을 고려하고, 주 사용자의 최소 획득 가능한 정보 전송량 $\zeta_{U_C}$와 원격 사용자의 최소 수신 정보량 $\zeta_{U_R}$을 보장한다고 가정한다. 주 사용자의 아웃티지 확률을 $\epsilon$ 이하로 보장하고, 주 사용자의 최소 획득 가능한 정보 전송량 $\zeta_{U_C}$와 원격 사용자의 최소 수신 정보량 $\zeta_{U_R}$을 보장하는 공중 통신중계기 배치 가능 영역을 분석하기 위해 아래의 두 조건을 도출할 수 있다.

$$D_{U_R} \geq \zeta_{U_R} \tag{10}$$

$$p_{out}(R_{U_C} < \zeta_{U_C}) < \epsilon \tag{11}$$

식 (10)은 식 (5)로부터 $\log(1+\Phi_{UAV}^{(1)}) \geq \zeta_{U_R}$과 $\log(1+\Phi_{U_R}^{(2)}) \geq \zeta_{U_R}$으로 나눠질 수 있으며, 이 두 식을 풀면 원격 사용자의 최소 수신 정보량 $\zeta_{U_R}$을 보장하는 공중 통신중계기의 배치 가능 거리를 지상 기지국과 원격 사용자의 위치로부터 각 상향각의 함수로 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$d_{BS,\,UAV}(\theta_{BS}^{UAV}) \leq \left\{ \frac{\left\{p_{BS}^{UAV}(1-\lambda)+\lambda\right\}P_{BS}^{\max}}{\sigma_{UAV}^2(2^{\zeta_{U_R}}-1)} \right\}^{1/\beta_a} \tag{12}$$

$$d_{U_R,\,UAV}(\theta_{U_R}^{UAV}) \leq \left\{ \frac{\left\{p_{U_R}^{UAV}(1-\lambda)+\lambda\right\}P_{UAV}^{\max}}{\sigma_{U_R}^2(2^{\zeta_{U_R}}-1)} \right\}^{1/\beta_a} \tag{13}$$

식 (11)로부터 주 사용자와 공중 통신중계기의 최소 유지 거리를 도출할 수 있는데, 이는 공중 통신 중계기의 배치로 간섭을 받는 주 사용자의 획득 가능한 정보 전송량 $\zeta_{U_C}$을 보장해주는 거리를 의미한다.

$$d_{U_C,\,UAV}(\theta_{U_C}^{UAV}) \geq \left\{ \frac{P_{UAV}^{\max}(1-2^{2\zeta_{U_C}})\left\{p_{U_C}^{UAV}(1-\lambda)+\lambda\right\}}{P_{BS}^{\max}d_{BS,\,U_C}^{-\beta_g}\left\{\ln(1-\epsilon)+\frac{\sigma_{U_C}^2(2^{2\zeta_{U_C}}-1)}{P_{BS}^{\max}d_{BS,\,U_C}^{-\beta_g}}\right\}} \right\}^{1/\beta_a} \tag{14}$$

식 (12), (13)과 (14)로부터 공중 통신중계기를 배치할 수 있는 배치 가능 영역 $A_F$를 이론적으로 도출할 수 있다.

그림 2는 주 사용자의 최소 획득 가능한 정보 전송량 $\zeta_{U_C}^1$와 원격 사용자의 최소 수신 정보량 $\zeta_{U_R}^1$을 보장하는 공중 통신중계기 배치 가능 영역 $A_F^1$을 보여준다. 여기서 검정, 파랑, 빨강 원은 지상 기지국, 주 사용자, 원격 사용자의 위치에서 각 상향각의 변화에 따라 계산된 $d_{BS,\,UAV}(\theta_{BS}^{UAV})$, $d_{U_R,\,UAV}(\theta_{U_R}^{UAV})$, $d_{U_C,\,UAV}(\theta_{U_C}^{UAV})$를 각각 나타낸다. 따라서, 지상 기지국 위치를 포함하는 검은색 원 영역의 안쪽 부분, 원격 사용자의 위치를 포함하는 파란색 원 영역의 안쪽 부분, 주 사용자를 기준으로 빨간색 원 영역의 바깥 부분의 공통 지역이 공중 통신중계기 배치 가능 영역으로 볼 수 있다.

공중 통신 중계시스템의 요구성능인 $\zeta_{U_C}$와 $\zeta_{U_R}$이 공중 통신중계기 배치 가능 영역 $A_F$에 큰 영향을 준다. 그림 2의 $\zeta_{U_C}^1$와 $\zeta_{U_R}^1$, 그리고 $A_F^1$을 기준으로 했을 때, 원격 사용자가 더 많은 수신 정보량 $\zeta_{U_R}^2$을 필요로 한다면 식 (12)와 (13)으로부터 $d_{BS,\,UAV}(\theta_{BS}^{UAV})$와 $d_{U_R,\,UAV}(\theta_{U_R}^{UAV})$

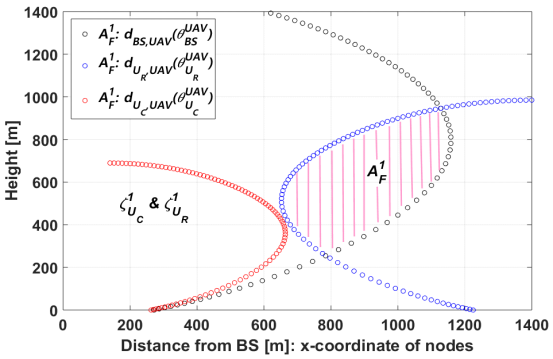


**Fig. 2** $A_F^1$ with $\zeta_{U_C}^1$ and $\zeta_{U_R}^1$

가 각각 줄어들게 되어 그림 3에서 보여주듯 공중 통신 중계기 배치 가능 영역 $A_F^2$이 $A_F^1$보다 작아지게 된다. 반대로, 주 사용자가 더 큰 획득 가능한 정보 전송량 $\zeta_{U_C}^2$을 원한다면, 주 사용자는 공중 통신중계기로부터 간섭을 더 적게 받아야 하므로, $d_{U_C,UAV}(\theta_{U_C}^{UAV})$가 길어지게 되어 그림 4에서 보듯이 공중 통신중계기 배치 가능 영역 $A_F^3$가 $A_F^1$ 보다 작아지게 된다.

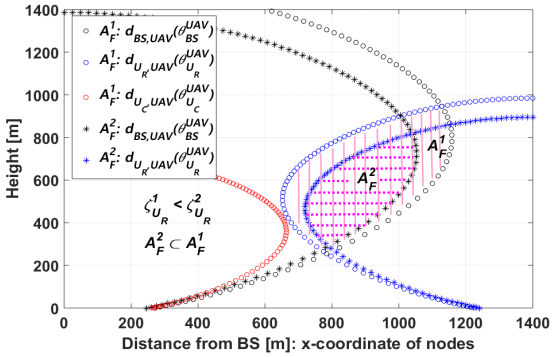


**Fig. 3** Comparison between $A_F^1$ and $A_F^2$ when $\zeta_{U_R}^1 < \zeta_{U_R}^2$

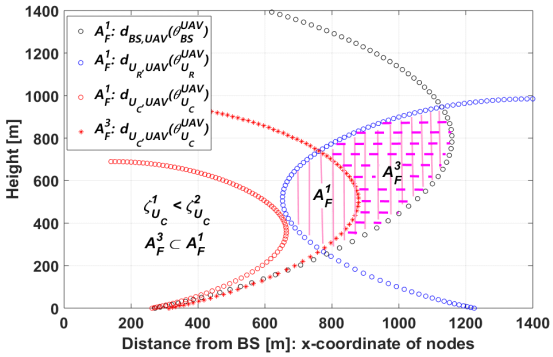


**Fig. 4** Comparison between $A_F^1$ and $A_F^3$ when $\zeta_{U_C}^1 < \zeta_{U_C}^2$

## Ⅳ. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 3장에서 이론적으로 도출하고 분석한 공중 통신중계기 배치 위치를 시뮬레이션하여 검증하며, 상세 시뮬레이션 조건은 표 1에서 보여준다.

**Table. 1** Simulation conditions

| Parameters | Values |
|---|---|
| Max. transmit power at BS, $P_{BS}^{\max}$ | 1.2 W |
| Max. transmit power at UAV, $P_{UAV}^{\max}$ | 0.5 W |
| $x_{BS}$ | 0 |
| $x_{U_C}$ | 140 m |
| $x_{U_R}$ | 1400 m |
| Attenuation factor, $\lambda$ | 20 dB |
| Outage probability, $\epsilon$ | 0.1 |
| Pathloss exponent for air-to-ground (ground-to-air) link, $\beta_a$ | 2 |
| Pathloss exponent for ground-to-ground link, $\beta_g$ | 2.5 |
| Environmental parameters B / C | 0.16 / 9.61 |

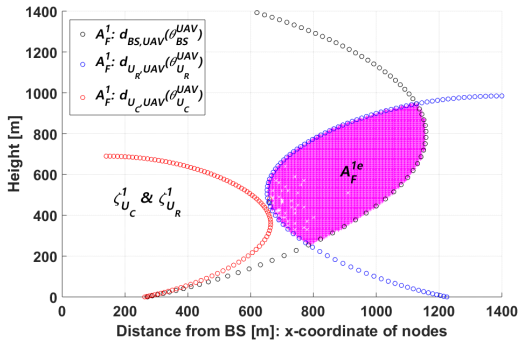


**Fig. 5** Comparison between $A_F^1$ and $A_F^{1e}$

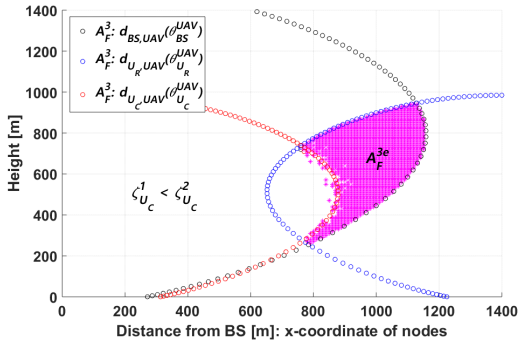


**Fig. 6** Comparison between $A_F^3$ and $A_F^{3e}$

그림 5는 공중 통신 중계시스템의 주 사용자의 최소 획득 가능한 정보 전송량 $\zeta_{U_C}^1$와 원격 사용자의 최소 수

신 정보량 $\zeta_{U_R}^1$이 각각 0.17 [bits/s/Hz]와 0.6 [bits/Hz]로 요구될 때, 식 (12), (13)과 (14)로부터 도출한 그림 2의 이론적 배치 가능 영역 $A_F^1$과 완전 탐색 시뮬레이션으로 얻은 실험적 배치 가능 영역 $A_F^{1e}$가 일치함을 보여주며, 이는 본 논문에서 이론적으로 도출한 공중 통신중계기의 배치 가능 영역이 정확하며 빠른 배치를 위해 활용될 수 있음을 보여준다.

그림 6은 공중 통신 중계시스템의 최소 획득 가능한 정보 전송량 $\zeta_{U_C}^2$이 0.22 [bits/s/Hz]로 증가하였을 시, 이론적 배치 가능 영역 $A_F^3$과 완전 탐색 시뮬레이션으로 얻은 실험적 배치 가능 영역 $A_F^{3e}$이 일치함을 보여준다. $A_F^3$을 결정하는 $d_{U_C,\,UAV}(\theta_{U_C}^{UAV})$로부터 얻어진 빨간색 원 경계 근처에 이론적 배치 가능 영역과 실험적 배치 가능 영역 사이에 편차가 존재하는데, 이는 지상 기지국과 주 사용자 사이의 채널에 랜덤한 특성 때문에, 공중 통신중계기로부터 일정한 간섭을 받는다고 하더라고 주 사용자의 아웃티지 확률에 영향을 미치기 때문이다. 이런 영향은 공중 통신중계기가 주 사용자로부터 더 멀리 배치될수록 줄어들기 때문에, 공중 통신 중계시스템의 요구성능을 확실히 보장하기 위해서는 $d_{BS,\,UAV}(\theta_{BS}^{UAV})$와 $d_{U_R,\,UAV}(\theta_{U_R}^{UAV})$에 의해 표현된 검은색과 파란색 원의 상단 교차점 주변에 배치돼야 한다.

## Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 중요한 임무 수행이 필요하지만, 통신망이 쉽게 파괴될 수 있는 군사 작전 지역, 재난피해 지역, 그리고 대규모 응급상황 발생 지역 등 안정적인 통신 지원이 필요한 지역에 무인항공기를 활용한 공중 통신 중계시스템 구축에 관한 연구를 소개하였다. 특히, 공중 통신 중계시스템의 요구성능이 주어졌을 때 공중 통신중계기를 빠르게 배치할 수 있는 배치 가능 영역을 이론적으로 도출하였으며, 공중 통신 중계시스템의 요구성능이 배치 가능 영역에 미치는 영향을 살펴보았다. 주어진 요구사항을 기반으로 완전 탐색 시뮬레이션을 수행하여 이론적으로 도출한 공중 통신중계기 배치 가능 영역이 정확하다는 것을 검증하였으며, 이론적 분석을 바탕으로 도출한 공중 통신중계기 배치 가능 영역을 실제 임무 수행 시 활용 가능하다는 것을 증명하였다.

본 논문의 연구 결과는 다수의 원격 사용자를 지원하는 시나리오로 확장하여 3차원의 공중 통신중계기 배치 가능 영역을 도출하는 데 활용될 수 있다. 또한, 강화학습을 이용한 공중 통신기지국 또는 공중 통신중계기 배치에 관한 연구에서 초기 배치 영역 선정이 중요한데, 본 연구 결과를 활용하면 무인항공기를 목적에 맞게 배치하는데 초기 배치 영역을 줄일 수 있는 장점이 있어 관련 연구에 다양하게 고려될 수 있다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported by the Semyung University Research Grant of 2022.

## REFERENCES

[ 1 ] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, “Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 36-42, May 2016. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7470933.

[ 2 ] A. Al-Hourani, S. Kandeepan, and S. Lardner, “Optimal LAP Altitude for Maximum Coverage,” *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 3, no. 6, pp. 569-572, Dec. 2014. DOI: 10.1109/LWC.2014.2342736.

[ 3 ] J. Baek, S. I. Han, and Y. Han, “Optimal Resource Allocation for Non-Orthogonal Transmission in UAV Relay Systems,” *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 3, pp. 356-359, Jun. 2018. DOI: 10.1109/LWC.2017.2778073.

[ 4 ] K. G. Panda, S. Das, D. Sen, and W. Arif, “Design and Deployment of UAV-Aided Post-Disaster Emergency Network,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 102985-102999, Jul. 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2931539.

[ 5 ] S. I. Han, “Survey on UAV Deployment and Trajectory in Wireless Communication Networks: Applications and Challenges,” *Information*, vol. 13, no. 8, Aug. 2022. DOI: 10.3390/info13080389.

[ 6 ] B. Li, Z. Fei, and Y. Zhang, “UAV Communications for 5G and Beyond: Recent Advances and Future Trends,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 2241-2263, Apr. 2019. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2887086.

[ 7 ] 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. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2929241.

[ 8 ] M. Samir, S. Sharafeddine, C. M. Assi, T. M. Nguyen, and A. Ghrayeb, "UAV Trajectory Planning for Data Collection from Time-Constrained IoT Devices," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 19, no. 1, pp. 34-46, Jan. 2020. DOI: 10.1109/TWC.2019.2940447.

[ 9 ] D. -H. Tran, V. -D. Nguyen, S. Chatzinotas, T. X. Vu, and B. Ottersten, "UAV Relay-Assisted Emergency Communications in IoT Networks: Resource Allocation and Trajectory Optimization," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 21, no. 3, pp. 1621-1637, Mar. 2022. DOI: 10.1109/TWC.2021.3105821.

**한상익(Sang Ik Han)**

2006년 2월 : 중앙대학교 전자전기공학부 학사
2009년 5월 : University of Central Florida, M.S. in Optics
2014년 12월 : The University of Texas at Dallas, Ph.D. in Electrical Engineering
2016년 7월 ~ 2019년 7월 : 한국과학기술원 위촉/연수연구원
2019년 8월 ~ 2020년 11월 : ㈜스페이스소프트인더스트리 대표이사/기술이사
2020년 11월 ~ 2021년 3월 : ㈜젠아트 기업부설연구소 연구소장
2021년 4월 ~ 현재 : 세명대학교 스마트IT학부(정보통신학부) 교수
※관심분야 : 무선통신, 드론통신, 드론 운용시스템, 딥러닝, 강화학습