

# 전력 기반 UAV 최적 위치 도출을 위한 메타휴리스틱 알고리즘 성능 분석

조준우°, 김재현

아주대학교 전자공학과

## Performance Analysis of Meta-Heuristic Algorithm for Optimal UAV Deployment Based Power Consumption

Jun-woo Cho°, Jae-Hyun Kim

Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

{cjw8945, jkim}@ajou.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 특정 네트워크 환경에서 Unmanned Aerial Vehicle (UAV) 의 전력 소모를 최소화 하면서, 지상 유저들의 통신 지원을 위한 UAV 최적 위치를 도출하였다. 최적 위치를 도출하기 위해 메타휴리스틱 알고리즘인 Particle Swarm Optimization (PSO) 알고리즘과 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm: GA) 을 활용하였으며, 두 알고리즘의 성능 분석을 수행하였다.

### 1. 서론

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) 는 유연하고 신속한 통신망 구성이 가능하기 때문에, 통신 인프라가 파괴되었거나, 통신망 구성이 어려운 환경에서 이동 기지국 형태로 적용하기 위한 방안들이 연구되고 있다. 이 중 UAV 배치와 관련된 연구에는 UAV 의 전력 제약을 고려하여 고도, 통신 반경 등을 도출하는 방안이 있다 [1].

본 논문에서는 LoS (Line-of-Sight) 유저와 NLoS (Non-LoS) 유저들이 존재하는 특정 네트워크 환경에서 UAV 의 전력 소모를 최소화하면서, 지상 유저들의 통신 지원을 위한 UAV 최적 위치를 도출하였다. 최적 위치를 도출하기 위해 메타휴리스틱 알고리즘인 Particle Swarm Optimization (PSO) 알고리즘과 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm: GA) 을 활용하였으며, 두 알고리즘의 최적 근사해 수렴 속도 및 정확도를 비교하였다.

### 2. 네트워크 환경 및 최적화 모델링

본 논문에서 고려한 네트워크 토폴로지는 그림 1 과 같다. UAV  $u$  는 네트워크 상에서 1 대만 존재하며 고도  $h$  km 에 위치하여 모든 지상 유저들에게 데이터를 전송할 수 있다고 가정한다. 지상 유저는 LoS 유저와 NLoS 유저가 서로 분리되어 총  $I$  명이 존재한다. 이 때 UAV 와  $i$  번째 유저와의 거리는

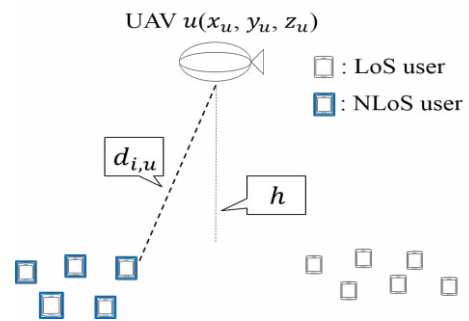


그림 1. 네트워크 토폴로지

$d_{i,u}$  m 로 정의한다.

전력 기반 위치 최적화 모델링은 [2]에서 수행한 방식으로 진행한다. 먼저 UAV 와 LoS 유저 및 NLoS 유저 간의 경로 감쇄는 수식 1 과 수식 2 와 같다.

$$PL_{LoS} = 10 \log(d_{u,i}) + 20 \log(f) + 20 \log\left(\frac{4\pi}{c}\right) + \eta_{LoS} \quad (1)$$

$$PL_{NLoS} = 10 \log(d_{u,i}) + 20 \log(f) + 20 \log\left(\frac{4\pi}{c}\right) + \eta_{NLoS} \quad (2)$$

$f$  는 주파수,  $c$  는 광속이며,  $\eta_{LoS}$ ,  $\eta_{NLoS}$  는 각각 LoS 신호와, NLoS 신호의 평균 신호 감쇄 값으로, 채널 환경에 따라 변화한다 [2, 3].

지상 유저들의 데이터율이 일정하다고 가정하면, UAV 의 송신 전력은 결국 각 유저들의 경로 감쇄

에 비례하게 된다. 따라서 UAV 의 전력 소모를 최소화하는 위치 선정 수식은 식 (3)과 같이 표현 될 수 있다.

$$(x_u^*, y_u^*, z_u^*) = \min \left\{ PL_{total} = \sum_{i=1}^k PL_{i,u} \right\}$$

$$\text{s.t. } 0 < |\tan^{-1}(h/d_{i,u})| < \pi/2 \quad i = 1, \dots, I \quad (3)$$

$$d_{i,u} \leq r_u$$

$$\underline{h} < z_u < \bar{h}$$

$r_u$  는 UAV 의 통신 반경을 의미하며, 본 논문에서는  $r_u$  가 무한하다고 가정한다.

### 3. 성능 분석

본 논문에서는 그림 1 을 시나리오로 하여, LoS 유저 50 명, NLoS 유저 50 명이 2000 m X 2000 m 규모의 네트워크 내에 존재하는 환경을 고려하였다. PSO 알고리즘은 [2]에서 구현한 방식을 활용하였으며, 유전자 알고리즘은 MATLAB 에 내장되어 있는 Optimization Toolbox 의 ga 함수를 활용하였다. 이때, Generations 를 250, Population size 를 40 으로 설정하였으며, 나머지는 default 값을 유지하였다. 그 외 성능분석을 위한 파라미터 들은 표 1 과 같다.

그림 2 는 UAV 의 고도가 10m 일 때, 두 알고리즘의 수렴 속도를 나타낸 그래프이다. 성능분석 결과 PSO 알고리즘의 최적 근사해 수렴 속도는 유전자 알고리즘 보다 빨랐으나, 최적해에 대한 정확도는 유전자 알고리즘이 높은 것을 확인할 수 있었다. 두 알고리즘의 성능은 목적하고자 하는 조건에서 파라미터 및 수식 설정 방법에 따라 달라질 수 있으나, 일반적으로 PSO 알고리즘은 유전자 알고리즘에 비해 연산이 빠르다는 장점이 있지만 최적 근사해가 지역해에 머무를 확률이 더 높다.

그림 3 은 고도별로 UAV 의 위치가 변화하는 것을 나타낸 그림이다. 고도가 높아짐에 따라 UAV 의 좌표는 NLoS 유저들이 분포하는 곳에서 LoS 유저들이 분포하는 곳으로 점점 가까워 지는 것을 확인할 수 있다. 이는 UAV 와 지상 장비들간의 거리가 멀어질수록 LoS, NLoS 평균 신호 감쇄 값이 목적함수에 미치는 영향도가 줄어들기 때문이다. 하지만 경로 감쇄 수식에서 거리와 관련된 수식이 log 함수로 표현되어 있어 그 변화량은 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 성능분석 파라미터

Parameters	Values	Parameters	Values
$w$	0.9	$\eta_{LoS}$	1 dB
$\Gamma_p, \Gamma_g$	Uniform(0,1)	$\eta_{NLoS}$	20 dB
$C_p, C_g$	2.1, 1.9	$f$	2 GHz

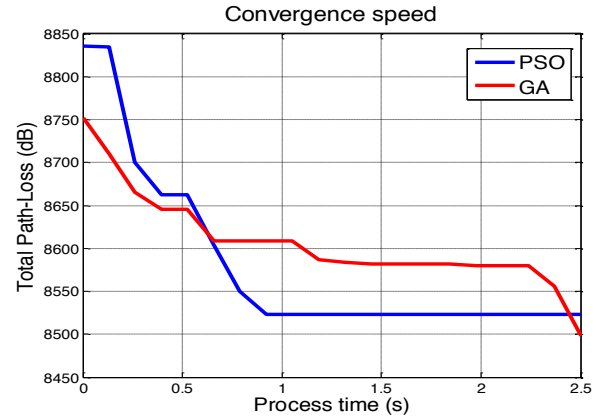


그림 2. 최적 근사해 수렴 속도 비교 (PSO, GA)

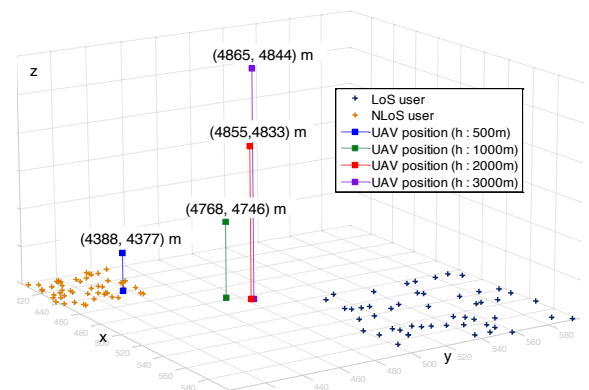


그림 3. 고도별 UAV 최적 위치

### 4. 결론

본 논문에서는 특정 네트워크 환경에서 UAV 의 최적 위치를 도출하기 위한 방안으로 PSO 알고리즘과 유전자 알고리즘을 활용하였으며, 두 알고리즘의 최적 근사해 수렴 속도와 최적해 정확도를 확인하였다. 본 연구를 바탕으로 다중 UAV 등을 고려한 UAV 최적 배치에 대한 연구를 진행할 계획이다.

### 5. 참고 문헌

[1] M. Mozaffari et. al., "Efficient deployment of multiple unmanned aerial vehicles for optimal wireless coverage," *IEEE Commun. Letter*, vol. 20, no. 8, pp. 1647-1650, Aug. 2016.

[2] 조준우, 김재현, 음수빈, "Particle swarm optimization 을 활용한 도시 환경 하 저고도 UAV 최적 배치," in *Proc. 한국통신학회 동계 종합학술대회*, 하이원리조트, 2018

[3] A. A. Hourani et al., "Optimal LAP altitude for maximum coverage," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 3, no. 6, pp. 569-572, Dec. 2014.

본 연구는 광운대학교 초소형무인기 기술신호처리 특화 연구실을 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.