

UAV 지터링을 고려한 FSO 링크의 UAV 궤도 최적화 알고리즘

문형주, 민석기, 채찬병

연세대학교

{moonhj, m47343, cbchae}@yonsei.ac.kr

Trajectory Optimization Method for FSO Link with Asymmetric Pointing Jitter

Moon Hyung-Joo, Min Seokki, Chae Chan-Byoung

Yonsei University

요약

본 논문은 무인 비행체(UAV)에서 지상 기지국을 향한 하향 링크에서 UAV의 지터링의 영향을 최소화하는 방안에 대한 연구이다. 비행체의 고유한 특성에 의해 방향에 따른 지터링의 세기가 서로 다르다고 가정하였으며, 이는 통신 용량에 영향을 준다. 운송, 지상 관측 등의 미션을 수행하는 UAV에 대하여, 한 지점에서 다른 지점으로(point-to-point) 이동하는 UAV의 통신 용량 및 소모 전력을 최적화하는 시스템 모델을 구축하였다. 이를 통해, 통신 용량과 소모 전력에 대한 목적 함수를 최적화하는 회귀적 알고리즘을 구하고자 한다.

I. 서론

자유 공간 광통신 (FSO) 시스템의 실현을 위해 가장 중요한 조건은 Pointing, Acquisition, and Tracking (PAT) 시스템을 통해 두 노드 간 링크를 구축하고, 유지하는 것이다. FSO 시스템이 연구된 기간만큼이나 PAT 시스템은 고도로 발전된 형태로 FSO 노드에 탑재되어 포인팅 지터를 억제하고, 링크의 안정적인 연결을 보장한다. 하지만 FSO 통신의 응용 분야가 위성 통신에 집중되고 있기 때문에, 많은 연구에서 위성에 탑재되는 초정밀 PAT 시스템의 구조가 기본적으로 가정되었다. 본 연구에서는, 지상 수 km 상공의 대기 중에 존재하는 UAV와 지상 기지국 간의 링크 연결 시 UAV에서 발생할 수 있는 더욱 심한 수준의 disturbance에 주목한다. 이에 대해, UAV에서 발생하는 고유한 지터링의 특성을 고려하여 FSO 링크의 포인팅 에러를 최소화하는 UAV의 궤도를 구하는 알고리즘을 도출한다.

II. 본론

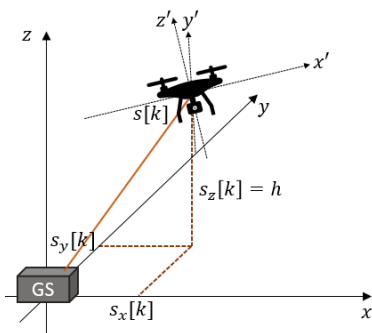


그림 1 GS와 UAV의 좌표계 및 시스템 모델

본 논문의 시스템 모델은 지상 광 기지국(GS)과 무인 비행체(UAV)의 FSO 링크 연결을 가정하며, 그림 1과 같다. UAV에서 GS로의 하향 링크 전송 시 UAV의 심한 지터링에 의해 큰 포인팅 에러가 발생하고, 이는 신호 대 잡음비(SNR)의 감소로 이어진다. 비행체의 특성에 의해 지터링의 세 가지 방향, yaw, pitch, roll, 지터링의 세기가 서로 다를 수 있다고 가정하였고, 이에 따라 최종적인 포인팅 에러가 가장 적게 발생하는 비행체의 이동 경로를 구할 수 있다[1]. 각 방향으로의 순간적인 jitter의 영향을 α, β, γ 로 정의할 수 있으며, 각 랜덤 변수는 독립적이다. 또한, UAV의 pitch elevation 각도를 ϕ , yaw direction 각도를 θ 로 정의한다. 그림 1과 같이, UAV에

대한 새로운 좌표계 (x', y', z') 을 정의하고 해당 좌표계에 대해 UAV에서 GS를 바라보는 방향 벡터를 구하면 다음과 같다.

$$\mathbf{u}[k] = -\mathbf{R}_{\text{jitter}}(\alpha, \beta, \gamma)\mathbf{R}_y(\phi)\mathbf{R}_z(\theta)\mathbf{s}[k] \quad (4)$$

이때, \mathbf{R} 은 3차원 회전 행렬이다.

UAV의 송신 파워를 P_T , 포인팅 에러를 h_p , 자유 공간 경로 손실과 대기 에 의한 손실을 h_a , 대기에 의한 채널 변동을 h_e 라 했을 때, GS에서의 수신 파워는 다음과 같다 [2].

$$P_R = h_a h_e h_p P_T, \quad (5)$$

하향 링크 통신 용량 C 는 수신 파워 P_R 의 함수로 나타나고, k 번째 time slot에서 통신 용량을 $C[k]$, UAV의 좌표를 $\mathbf{s}[k]$, UAV의 속도를 $\mathbf{v}[k]$, 속도에 따른 UAV의 비행 전력 소모를 $P(\mathbf{v})$ [3], 그리고 통신 용량 대비 전력 소모의 중요도를 λ 라 하면

$$\max_{\mathbf{s}[k]} C[k] - \lambda(P(\mathbf{v}[k]) + P_T) \quad (6)$$

를 통해 최적의 경로 \mathbf{s} 를 구할 수 있다.

III. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 대기 중 FSO 통신 중 UAV의 비대칭적인 지터링으로 인한 포인팅 에러의 영향을 최소화하는 미션 경로 설정에 대한 해법을 제안하였다. 해당 Non-convex 문제에 대한 회귀적 솔루션을 구하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.2022-0-00704, 초고속 이동체 지원을 위한 3D-NET 핵심 기술 개발)

참고 문헌

- [1] W. Wang *et al.*, "Jittering effects analysis and beam training design for UAV millimeter wave communications," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 21, no. 5, pp. 3131-3146, May. 2022.
- [2] H.-J. Moon *et al.*, "RF lens antenna array-based one-shot coarse pointing for hybrid RF/FSO communications," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 11, no. 2, pp. 240-244, Feb. 2022.
- [3] Y. Zeng *et al.*, "Energy minimization for wireless communication with rotary-wing UAV," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 18, no. 4, Apr. 2019.