

Unmanned Aerial Vehicle의 위치에 따른 Full Duplex Relay 비율 분석

백종수, 김진기, 이원재, 김재현

아주대학교 전자공학과

{whdtn9376, kjkocp, ljmwon, jkim}@ajou.ac.kr

Analysis of Full Duplex Relay Ratio according to UAV Location

Jong Soo Baik, Jin-Ki Kim, Won-Jae Lee, and Jae-Hyun Kim

Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University.

요약

본 논문에서는 cellular 환경에서 full duplex (FD) unmanned aerial vehicle (UAV)의 위치에 따른 FD-relay 비율을 분석한다. UAV의 수평거리 및 고도에 따라 UAV 통신반경 내에 있는 user equipment (UE)의 수신 신호를 계산하고, FD-relay 통신의 비율을 분석하였다. 분석 결과, base station (BS)과 UAV의 수평거리가 증가함에 따라 FD-relay 비율이 증가하였으며, UAV의 고도가 증가함에 따라 FD-relay 비율이 감소한다.

I. 서론

Unmanned aerial vehicle (UAV)는 유연하고 신속한 배치를 통해 통신 환경을 가변적으로 가져갈 수 있기 때문에 취약한 통신지역을 커버하기에 매우 적합하다. 이에 따라 UAV의 최적화된 위치를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. UAV의 위치선정은 에너지 측면에서의 위치 최적화, 처리량 측면에서의 위치 최적화 그리고 통신반경 측면에서의 위치 최적화 등으로 연구되고 있다. 하지만 base station (BS)의 통신반경 내에서 위치 최적화에 대한 연구는 부족한 실정이다.

Cellular 환경에서 user equipment (UE)는 BS 및 UAV와 통신이 가능하다. BS와 통신하는 경우 half duplex (HD)로 통신하고 UAV와 통신하는 경우 full duplex (FD)로 통신한다. BS와 UAV의 위치에 따라 UE의 signal-to-interference plus noise ratio (SINR)이 달라지므로 UE는 둘 중 더 유리한 방식으로 데이터를 수신한다. 따라서 본 논문에서는 BS와 UAV의 수평거리와 고도에 따른 FD-relay 통신비율을 분석하였다.

시뮬레이션을 통해 BS와 UAV의 수평거리가 증가함에 따라 FD-relay 통신비율이 증가하였으며, 고도가 증가함에 따라 비율이 감소하였다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 line of sight (LoS) 신호와 non-LoS (NLoS) 신호를 고려한 UAV-지상 신호 감쇄 모델을 사용한다 [1]. UAV의 신호는 자유공간과 도시환경을 거쳐 수신되므로 자유공간에서 신호 감쇄와 도시 환경에서 신호 감쇄가 고려해야한다. LoS와 NLoS의 신호 감쇄 식은 다음과 같다.

$$PL_{LoS} = FSPL + \eta_{LoS} \quad (1)$$

$$PL_{NLoS} = FSPL + \eta_{NLoS} \quad (2)$$

FSPL은 free space path loss로 자유공간에서 신호 감쇄를 의미하며 η_{LoS} , η_{NLoS} 는 각각 LoS 신호 평균 손실값, NLoS 신호 평균 손실값이다.

도시환경의 신호는 LoS 신호와 NLoS 신호로 구분되며 LoS 신호일 확률은 다음과 같다.

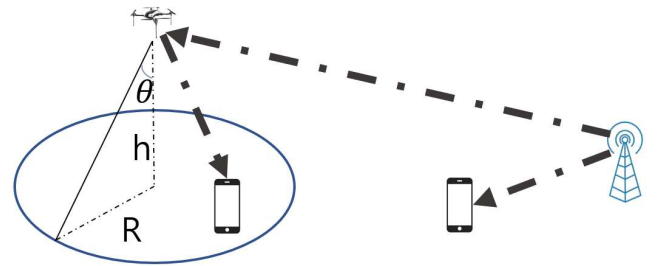


그림 1. 시스템 모델

$$P(LoS) = \frac{1}{1 + a \exp(-b[\theta - a])} \quad (3)$$

a, b 는 환경에 따른 상수이며 θ 는 빔폭이다. LoS가 아닐 때 NLoS이므로 NLoS 신호일 확률은 다음과 같다.

$$P(NLoS) = 1 - P(LoS) \quad (4)$$

UAV-지상 신호 감쇄 모델은 다음과 같다.

$$PL_{A2G} = P(LoS) \cdot PL_{LoS} + P(NLoS) \cdot PL_{NLoS} \quad (5)$$

이는 다음과 같이 정리된다.

$$PL_{A2G} = \frac{A}{1 + a \cdot \exp(-b[\theta - a])} + 10 \log(h^2 + R^2) + B \quad (6)$$

$A = \eta_{LoS} - \eta_{NLoS}$, $B = 20 \log(4\pi f_c/c) + \eta_{NLoS}$ 이며, f_c 는 캐리어 주파수, $c = 3 \cdot 10^8 m/s$, h 는 UAV 고도이다. 고도에 따른 UAV의 통신반경은 다음과 같이 정의된다.

$$R = h \cdot \tan(\theta) \quad (7)$$

UE가 BS와 HD 방식으로 데이터를 수신할 때 SINR은 다음과 같다.

$$SINR_{BS \rightarrow UE} = P_{t,BS} + G_{A,BS} + G_{A,UE} - PL_{BS \rightarrow UE} - P_n \quad (8)$$

$P_{t,BS}$ 는 BS의 전송 파워, $G_{A,BS}$, $G_{A,UE}$ 는 각각 BS와 UE의 안테나 이득, P_n 은 노이즈이다. FD-relay의 채널 용량은 UAV에서 수신하는 BS 신호의 SINR과 UE에서 수신하는 UAV 신호의 SINR 중 작은 값에 따라 결정된다. 이에 따라 relay의 SINR은 다음과 같다.

$$SINR_{UAV \rightarrow UE} = P_{t,UAV} + G_{A,UAV} + G_{A,UE} - PL_{A2G} - P_I - P_n \quad (9)$$

$$SINR_{BS \rightarrow UAV} = P_{t,BS} + G_{A,BS} + G_{A,UAV} - PL_{A2G} - P_n \quad (10)$$

$$SINR_{relay} = \min(SINR_{UAV \rightarrow UE}, SINR_{BS \rightarrow UAV}) \quad (11)$$

$P_{t,UAV}$ 는 UAV의 전송 파워, $G_{A,UAV}$ 는 UAV의 안테나 이득이며 P_f 는 $SINR_{BS \rightarrow UE}$ 와 같다.

UE는 relay통한 FD 방식의 SINR과 BS와의 HD 방식의 SINR 중 높은 SINR을 갖는 방식을 채택하여 통신한다.

III. 성능분석

본 논문에서는 수평거리 및 고도 UAV 통신반경 내의 FD-relay 비율을 분석한다. UE는 UAV의 통신반경 안에 무작위로 배치하였으며 UAV의 전송파워는 15dBm에서 25dBm까지 5dBm씩 증가시켰다. 캐리어 주파수는 2GHz, bandwidth는 20MHz, beamwidth는 15°로 설정했다. 시뮬레이션에 사용된 나머지 파라미터는 표 1과 같다.

그림 1은 UAV의 고도가 500m일 때 BS와 UAV의 수평거리에 따른 FD-relay 비율이다. 수평거리가 멀어질수록 HD 방식의 신호 감쇄가 증가하여 SINR이 감소한다. 이와 동시에 FD 방식의 interference가 감소하여 SINR이 증가한다. 따라서 수평거리가 멀어질수록 FD-relay의 비율이 증가한다. 한편, UAV의 전송 파워가 증가함에 따라 FD 방식의 SINR이 증가하므로 UAV 전송 파워가 커질수록 가까운 수평거리에서 FD-relay의 비율이 증가한다.

그림 2는 BS와의 수평거리가 1,250m UAV의 고도에 따른 FD-relay 비율이다. UE와 BS의 거리는 UAV의 고도와 무관하기 때문에 HD 방식의 SINR은 일정하다. 반면, UE와 UAV의 거리는 멀어지기 때문에 FD 방식의 신호 감쇄가 증가하여 SINR이 감소한다. 따라서 UAV의 고도가 높아질수록 FD-relay의 비율이 감소한다. 한편, UAV 전송 파워가 높을수록 FD 방식의 SINR이 증가하기 때문에 높은 고도에서 FD-relay의 비율감소가 이루어진다.

IV. 결론

본 논문에서는 FD UAV의 수평거리와 고도에 따른 FD-relay 비율을 분석하였다. BS와 UAV의 수평거리가 증가함에 따라 HD 방식의 SINR이 감소하고 FD 방식의 SINR이 증가하여 FD-relay 비율이 증가했다. 또한, UAV 고도가 증가할 때 UE와 UAV의 거리가 증가하기 때문에 FD 방식의 SINR이 감소한다. 따라서 FD-relay 비율이 감소한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크 기술 특화 연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.(UD190033ED)

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value	Parameter	Value
$P_{t,BS}$	46 dBm	$G_{A,UE}$	-1 dBi
$P_{t,UAV}$	15~25 dBm	η_{NLoS}	20 dB
$G_{A,BS}$	16 dBi	η_{LoS}	1 dB
$G_{A,UAV}$	5 dBi	a, b	9.61, 0.06

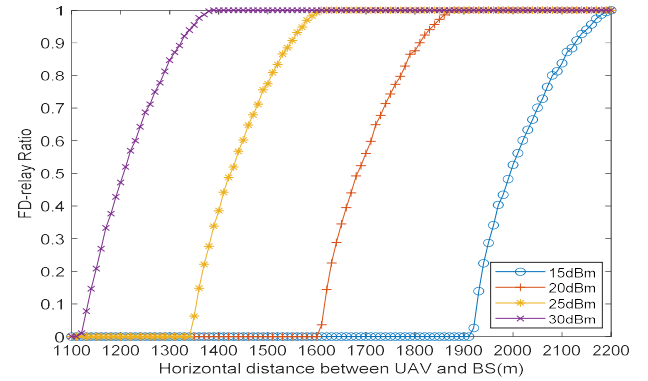


그림 2. 수평거리에 따른 UAV 통신반경 내의 FD-relay 비율

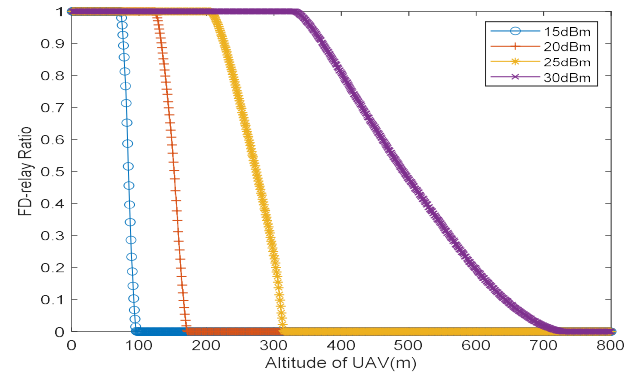


그림 3. 고도에 따른 UAV 통신반경 내의 FD-relay 비율

참 고 문 헌

- [1] A. Al-Hourani, S. Kandeepan and S. Lardner, "Optimal lap altitude for maximum coverage," in *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 3, no. 6, pp. 569-572, Dec. 2014
- [2] S. Zhang, H. Zhang, B. Di, K. Bian and L. Song, "Joint trajectory and power optimization for UAV relay networks," in *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no. 1, pp. 161-164, Jan. 2018
- [3] L. Zhang, Q. Fan and N. Ansari, "3-D Drone-Base-Station Placement with In-Band Full-Duplex Communications," in *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no. 9, pp. 1902-1905, Sept. 2018