

UAV 네트워크에서 안테나의 기계적 및 전기적 기울임이 미치는 영향

조준형¹, 김성준², 김민수², 이제민¹

¹성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과, ²대구경북과학기술원 전기전자컴퓨터공학과
jojunhyeong@g.skku.edu, kseongjun@dgist.ac.kr, ads5577@dgist.ac.kr, jemin.lee@skku.edu

Effects of Mechanical and Electrical Antenna Tilt on UAV networks

Junhyeong Jo¹, Seongjun Kim², Minsu Kim², Jemin Lee¹

¹Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University.,

²Department of Electrical Engineering and Computer Science, DGIST

요 약

본 논문은 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 네트워크에서 안테나의 기계적 및 전기적 기울임의 변화에 따라 통신 성능에 미치는 영향을 보여준다. 시뮬레이션을 통해 UAV의 통신 성능을 높이기 위해서는 안테나가 공중을 향해야 하는 것을 보이고, UAV의 주파수 효율 합을 최대화하기 위한 최적의 기계적 및 전기적 안테나 기울임 각도를 보이고, 두 가지의 기울임 방식을 동시에 고려해야 한다는 것을 보인다.

I. 서 론

최근 이동통신에서 가시선 확보가 유리하고 유연한 움직임을 가지는 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)에 관한 관심이 증가하고 있다. 그러나 기존의 지상 기지국은 지상 사용자들을 서비스하기 위해 안테나가 지상을 향하고 있다. 따라서 기존의 안테나 기울기를 그대로 활용하면 UAV는 안테나 패턴 중 side lobe로 서비스되기 때문에 통신 성능 저하가 발생한다. 이에 본 연구에서는 안테나의 기계적 및 전기적 기울임을 소개하고, 시뮬레이션을 통해 UAV의 성능 향상을 위해서는 기지국의 안테나가 공중으로 향해야 한다는 것을 보인다. 더 나아가, UAV의 주파수 효율 합을 최대화하는 최적의 안테나 각도를 제시하고 안테나를 기울일 때 기계적 및 전기적 기울임 방식을 모두 고려해야 함을 보인다.

II. 본론

본 연구에서는 안테나가 공중으로 향하고 있는 네트워크에서 하향 링크 셀룰러 상황을 고려한다. 네트워크에는 19개의 기지국이 각각 3개의 정육각형 셀터를 가지고 있다. 기지국들은 서로 500m만큼 떨어져 정육각형 테셀레이션 형태로 배치된다. 이때, 사용자는 모두 같은 높이에 위치한다고 가정하였다. 또한, 편의를 위해 기지국과 사용자들의 안테나 높이는 기지국과 사용자의 높이로 명명한다. 이러한 네트워크에서 각 사용자는 가장 강한 reference signals received power (RSRP)을 가지는 기지국 내 1개의 셀터에 연결(association)이 된다. 본 연구에서 고려한 안테나 모델은 3GPP 표준 문서[1]를 따른다. 이때, 안테나 element의 수평 평면과 수직 평면에서의 패턴은 다음과 같이 정의된다.

$$A_{E,H}(\phi) = -\min\left\{12\left(\frac{\phi}{\phi_{3dB}}\right)^2, A_m\right\} \quad (1)$$

$$A_{E,V}(\theta) = -\min\left\{12\left(\frac{\theta - 90}{\theta_{3dB}}\right)^2, SLA_m\right\} \quad (2)$$

여기서 ϕ 는 수평 각도, θ 는 수직 각도, $A_{E,H}(\phi)$ 는 수평 평면에서의 안테나 패턴, $A_{E,V}(\theta)$ 는 수직 평면에서의 안테나 패턴, $A_m = 30dB$ 은 front

to back attenuation, $SLA_m = 30dB$ 는 side-lobe limit, ϕ_{3dB} 는 수평 방향 반전력 빔폭, 그리고 θ_{3dB} 는 수직 방향 반전력 빔폭이다. 안테나 요소의 수평 평면과 수직 평면의 패턴을 사용한 3차원 안테나 요소 패턴은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_E(\phi, \theta) = G_{E,max} - \min\{-[A_{E,H}(\phi) + A_{E,V}(\theta)], A_m\} \quad (3)$$

여기서 $G_{E,max} = 8dBi$ 는 안테나 요소 패턴의 최대 이득이다. 공중 사용자를 서비스하기 위해서는 안테나를 공중으로 향하게 해야 한다. 이를 위해서는 안테나를 수직으로 기울여야 한다. 이때 안테나 기울임 방식은 기계적 기울임(mechanical tilt)과 전기적 기울임(electrical tilt)으로 나뉘어진다. 기계적 기울임 방식은 안테나를 물리적으로 기울이는 방식으로 안테나 이득의 크기가 바뀌지 않고 안테나 패턴을 회전시킨다. 해당 방식은 좌표계의 회전변환을 통해 표현할 수 있으며 좌표계 변화를 통해 구해진 수평 각도와 수직 각도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi' = \arg(\cos(\phi)\sin(\theta)\cos(\theta_{mtilt}) - \cos(\theta)\sin(\theta_{mtilt}) + j\sin(\phi)\sin(\theta)) \quad (4)$$

$$\theta' = \cos^{-1}(\cos(\phi)\sin(\theta)\sin(\theta_{mtilt}) + \cos(\theta)\cos(\theta_{mtilt})) \quad (5)$$

여기서 θ_{mtilt} 는 기계적 기울임의 각도이다. 기계적 기울임과 다르게 전기적 기울임은 각 안테나 요소에서 신호를 위상 변이를 시킨 후 합쳐서 증폭시키거나 감소시키는 기울임 방식이다. 그러므로 전기적 기울임은 각 안테나 요소의 패턴에 위상 변이를 곱한 뒤 안테나 요소의 패턴들을 모두 합한 형태로 표현할 수 있다. 또한, 전기적 기울임을 사용하기 위해서는 여러 개의 안테나 요소가 필요하므로 안테나 배열(array)을 고려해야 한다. 따라서 전기적 기울임을 적용한 기지국 i 에 속한 셀터 j 의 송신 단 균일한 선형 배열 안테나 패턴은 다음과 같다.

$$\mathbf{G}_{tx}^{(i,j)}(\phi, \theta) = \sum_{t=1}^T w_t(\theta_{etilt}) \mathbf{A}_t(\phi, \theta) \exp\left(\frac{j2\pi \mathbf{r}_{tx} \cdot \mathbf{x}_t}{\lambda}\right) \quad (6)$$

이때 θ_{etilt} 는 전기적 기울임 각도, $w_t(\theta_{etilt})$ 는 안테나 요소 t 의 가중치, $\mathbf{A}_t(\phi, \theta)$ 는 polarized 안테나 패턴, 그리고 $\exp\left(\frac{j2\pi \mathbf{r}_{tx} \cdot \mathbf{x}_t}{\lambda}\right)$ 는 송신하

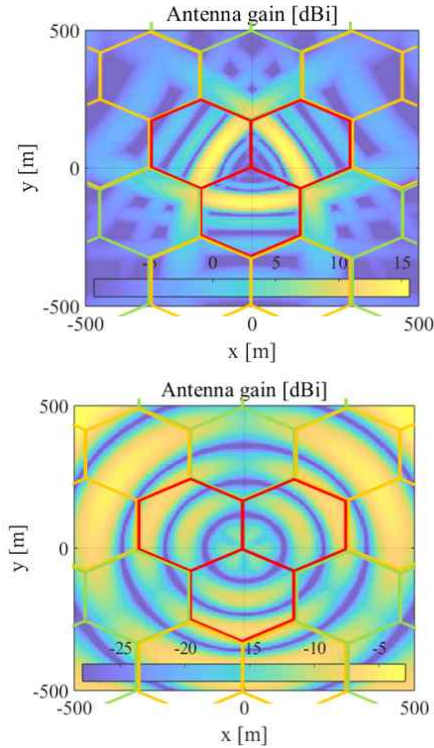


그림 1. 공중 200m 높이에 위치하는 사용자를 서비스할 때 지상을 향하는 안테나와 공중을 향하는 안테나의 이득

는 신호와 안테나 요소 사이에서 발생하는 위상 변이이다. 여기서 \mathbf{r}_{tx} 는 송신하는 신호의 벡터, \mathbf{x}_t 는 안테나 element t 의 위치 벡터, 그리고 λ 는 파장의 길이이다. 안테나 element t 의 가중치에 대한 수식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$w_t(\theta_{\text{etilt}}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \exp\left(2\pi j(t-1) \frac{d_v}{\lambda} \cos(\theta_{\text{etilt}})\right) \quad (7)$$

여기서 d_v 는 안테나 element 간 수직 거리이다.

최종적으로 기지국 x 에 속한 섹터 y 에 연결된 사용자 u 의 SIR은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\gamma_{x,y}(u) = \frac{S_{x,y}^{(x,y)}(u)}{\sum_{i \in I \setminus x, j \in J} S_{x,y}^{(i,j)}(u) + \sum_{j \in J \setminus y} S_{x,y}^{(x,j)}(u)} \quad (8)$$

여기서 $I = \{1, 2, \dots, 19\}$ 는 기지국의 집합이고, $J = \{1, 2, 3\}$ 는 각 기지국에 속한 섹터의 집합이고, $S_{x,y}^{(i,j)}(u)$ 는 기지국 x 에 속한 섹터 y 에 연결된 사용자 u 가 기지국 i 에 속한 섹터 j 로부터 받는 RSRP이다. 본 논문에서는 3GPP 표준문서[2]에 정의된 RSRP를 사용하였고, 이 RSRP는 앞서 구한 안테나 패턴으로 표현된다. 위에서 표현한 SIR을 이용하여 기지국 x 에 연결된 사용자들의 주파수 효율 합을 표현하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C_x = \sum_{j \in J} \sum_{u \in U_j} \log_2(1 + \gamma_{x,j}(u)) \quad (9)$$

여기서 U_j 는 기지국 x 에 속한 섹터 j 에 연결된 사용자들의 집합이다.

그림 1은 공중 200m에서 기존의 지상 기지국처럼 아래로 향해있는 안테나의 이득과 기계적 기울임(55도)과 전기적 기울임(70도)을 이용하여 공중으로 향하게 한 안테나의 이득을 비교한 그림이다. 여기서 안테나 기울임 각도가 90도일 때, 안테나는 정면을 바라보고 있다. 이 그림에서 공중을 향한 안테나의 이득이 지상을 향한 안테나 이득보다 훨씬 큰 것을 확인

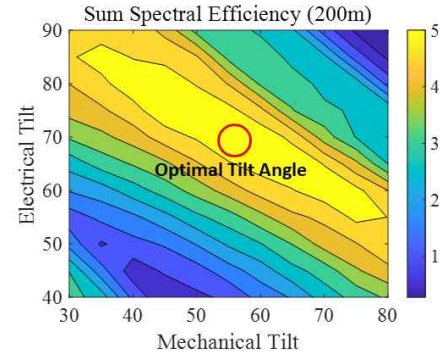


그림 2. 공중 200m에 있는 UAV의 기계적 및 전기적 기울임 변화에 대한 주파수 효율 합

있다. 이를 통해 UAV의 통신 성능을 높이기 위해서는 안테나가 공중으로 향해야 한다는 것을 알 수 있다.

그림 2는 공중 200m에서 기계적 및 전기적 기울임의 변화에 따른 주파수 효율의 합을 나타낸다. x축 및 y축의 값이 점점 커질수록 안테나가 아래로 향하는 것을 의미한다. 이 그림에서 주파수 효율의 합을 최대화하는 최적의 각도는 기계적 기울임 55도, 전기적 기울임 70도로 기계적 기울임을 전기적 기울임보다 더 많이 사용하여 공중으로 향하게 한다. 그 이유는 기계적 기울임을 사용할 때 안테나 이득의 변화가 없지만, 전기적 기울임을 사용하게 되면 안테나 이득의 변화가 있기 때문이다. 하지만 기계적 기울임만을 사용하면 서비스할 수 있는 영역이 감소하기 때문에, 서비스 영역을 증가시킬 수 있는 전기적 기울임을 같이 사용하여 주파수 효율의 합을 최대화할 수 있게 된다. 이를 통해 주파수 효율 합을 최대화하기 위해서는 기계적 기울임 뿐만 아니라 전기적 기울임 또한 고려해야 함을 알 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 안테나의 전기적 기울임과 기계적 기울임 방식을 소개하였다. 더 나아가, 시뮬레이션을 통해 UAV 네트워크에서 통신 성능 향상을 위해서는 안테나가 공중으로 향해야 한다는 것을 보였다. 마지막으로 UAV의 주파수 효율 합을 최대화하기 위한 안테나 기계적 및 전기적 기울임 각도를 보였고, 이를 통해 두 가지 기울기 방식을 모두 사용해야 한다는 것을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2020R1A2C2008878).

참고 문헌

- [1] 3GPP, "Study of RF and EMC requirements for AAS base station," TR 37.840
- [2] 3GPP, "Study on 3D channel model for LTE," TR 36.873