

도플러 주파수에 의한 무인 비행체의 통신 성능 분석

이희권*, 염성관*, 김용갑**

Communication performance analysis of unmanned aerial vehicle by Doppler frequency

Hee-Kwon Lee*, Sung-Kwan Youm*, Yong-Kab Kim**

요약 무인 이동체 관련 산업은 4차 산업혁명 기술발전과 더불어 공공 및 민간 수요의 급증으로 시장이 폭발적으로 성장하고 있다. 뿐만 아니라 통신 서비스에도 무인 이동체가 활용되고 있다. 본 논문에서는 도플러 주파수의 특성에 따른 무인 비행체의 통신 성능을 분석하였다. 무인 비행체의 기하학적 모델을 이용하여 도플러 주파수를 계산하고, 제어기의 위치를 원점으로 고속의 무인 비행체를 고려하여 시속 10km, 30km, 300km, 1000km의 도플러 주파수와 AWGN에 의한 BER 성능을 측정하였다. 도플러 주파수 모델은 Dent 모델을 이용하였으며, 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN)을 추가하여 송신단과 수신단의 비트 오차를 확인하였다. 저속의 무인 비행체는 일반적으로 0.2의 BER 성능을 나타내었으며, 고속의 무인 비행체는 일반적으로 0.06의 BER 성능을 나타내었다. 동일한 속도에서 주파수 대역이 증가하면 BER 성능은 증가하였으며, 동일한 주파수 대역에서 속도가 증가하면 BER 성능은 감소됨을 확인하였다. 이는 이론적으로 예상 가능한 BER 성능 예측을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다. 2.6GHz, 5GHz, 28GHz 각각의 주파수 대역에서 도플러 주파수에 의한 BER 특성과 제어기 함수에 의한 BER 특성을 확인하였으며, 무인 비행체의 이동시 발생하는 도플러 주파수는 제어기의 위치와 가까운 곳에서 통신 성능에 많은 영향을 미치는 것을 확인하였다.

Abstract In the unmanned vehicle industry, the market is exploding due to the rapid development of public and private demands along with the technological development of the 4th Industrial Revolution. In addition, unmanned mobiles are being used for communication services. In this paper, we analyzed the communication performance of unmanned aerial vehicle according to the characteristics of Doppler frequency. The Doppler frequency was calculated using the geometric model of the unmanned aerial vehicle, and the Doppler frequency of 10km, 30km, 300km, 1000km per hour and the BER performance by AWGN were measured by considering the unmanned high speed unmanned vehicle based on the position of the controller. The Doppler frequency model uses a Dent model and adds additive white Gaussian noise (AWGN) to check the bit errors of the transmitter and receiver. Low speed unmanned vehicles generally exhibited a BER performance of 0.2, while high speed unmanned vehicles generally exhibited a BER performance of 0.06. As the frequency band increases at the same speed, the BER performance increases, and when the speed increases in the same frequency band, the BER performance decreases. This is confirmed by the simulation results to predict theoretically predictable BER performance. In the frequency bands of 2.6 GHz, 5 GHz, and 28 GHz, the BER characteristics by Doppler frequency and the BER characteristics by controller function are verified. effect was confirmed.

Key Words : UAV(Unmanned Aerial Vehicle), Dent Model, BER, AWGN, Doppler frequency, Communication

This paper was conducted with the support of KIAT under the government funding of MOTIE in 2019. (N0002431, 2019 Industry Professional Competency Enhancement Project)

*Department of Information and Communication Engineering, Korea Wonkwang University (gmlrnjs177@naver.com)

**Corresponding Author : Department of Information and Communication Engineering, Korea Wonkwang University (ykim@wku.ac.kr)

Received November 27, 2019

Revised December 09, 2019

Accepted December 09, 2019

1. 서론

미디어에서 자주 접할 수 있는 ‘드론(Drone)’은 초기에 군용표적기로 사용되었지만 일반인들에게는 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, Drone)를 의미한다. 최근 드론 산업은 공공 및 민간 수요의 급증으로 폭발적으로 성장하고 있다. 무인항공기는 사람이 탑승하지 않는 특징을 가지고 있으며, 원격 조종 및 비행을 하는 비행체와 이를 제어하는 지상 통제장비(Ground Control Station/System), 무인 항공시스템(Unmanned Aircraft System) 통신장비, 지원장비 등의 전체 시스템을 통칭한다 [1-2].

UAV는 무인 비행체와 지원장비를 통해 다양한 기능을 이용할 수 있기 때문에 저고도에서의 무인항공기는 다양한 분야에서 다양한 용도와 목적을 위해 광범위하게 사용된다. UAV는 일반적으로 UAV 지원 통신이라고 하는 높은 트래픽 수요와 과부하 상황에서 지상 목표물에 통신을 지원하기 위해 송수신기를 탑재하여 무인 비행체 통신 플랫폼으로 활용할 수 있다 [3-4]. UAV 통신은 널리 사용되는 무선 또는 위성 시스템에 비해 고유한 채널 특성을 가지고 있다. 정확한 채널 특성은 효율적인 UAV 통신의 성능 최적화 및 설계에 필수적이다. 그러나 UAV 채널 모델링에는 몇 가지 과제가 존재한다. 예를 들어, UAV 채널의 전파 특성은 공간적 및 시간적 변동에 대해 검토되어야 한다. 기존 연구에서 저고도 플랫폼을 사용하는 UAV 채널 모델링을 위해 채널 특성을 측정하고 이를 바탕으로 채널 특성화를 진행하였다 [5].

최근 무인 항공기에 광대역 통신 채널을 지원하기 위해 MIMO의 3차원 기하학적 기반 더블 바운스 실린더 채널 모델을 바탕으로 시야각, 반사광, 확산광 등의 구성 요소를 포함하는 UAV 공간-시간-주파수 채널 상관 관계 모델이 제시되었다 [6]. 이 연구에서 채널 매트릭스 분해 및 계수 정규화의 방법에 의해 UAV-MIMO 정규화된 상관 관계 매트릭스의 분석 공식은 도출하였다. 분석을 위해서 UAV-MIMO 채널 매트릭스의 상태 번호, 채널 용량 및 기타 특성 매개 변수를 사용하였다. 시뮬레이션 결과에 따르면 이 채널 상관 행렬을 적용하여 다른 파라미터 설정 하에서

UAV-MIMO 채널 특성의 변화를 기술하였다. 이 분석방법은 UAV-MIMO 채널의 전송성능 향상을 위한 이론적 근거를 제공한다. MIMO 기술의 발전은 무인 항공기 통신 분야에서 실용적 응용 가능성을 보여준다. 고속의 5G 셀룰러 시스템 출현으로 6GHz 이상의 고주파 대역을 활용하는데 관심이 높아졌다. 이러한 주파수에서 빔 포밍은 더 많은 경로 손실을 극복하기 위한 간단한 해결책으로 수신파의 도플러 특성을 개선시키는 연구가 진행되었다 [7]. 높은 주파수는 반송파 주파수에 대한 도플러 이동의 선형 의존성 때문에 강력한 도플러 장애를 겪을 수 있으며, 이로 인해 특히 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 통신의 고이동성 시나리오에서 사용하기 어렵게 된다. 수신 빔 폭이 충분히 작을 경우 결과 도플러 스프레드와 도플러 시프트에 대한 추가 근사치가 작성되며, V2I 시스템에서 도플러 스프레드를 제어할 수 있는 설계 솔루션이 제시되었다. 통신기능을 수행하기 위한 무인 항공기에서의 도플러 주파수 분석은 선행되어야 하는 연구이다. 본 논문의 구성은 분석하고 있는 모델을 기하학적으로 설명을 하고 이 모델에 대해서 기술하고 실험 결과를 설명한다. 그리고 마지막으로 결론을 맺도록 한다.

2. 시스템 모델

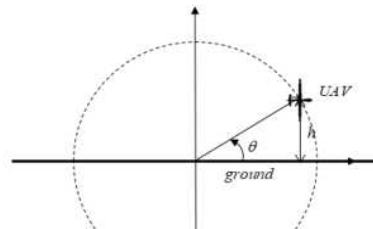


그림 1. 무인 비행체의 기하학적 모델
Fig. 1. Geometric model of UAV

그림 1은 도플러 주파수에 의한 무인 비행체의 통신 성능을 분석하기 위한 기하학적 모델이다. 제어기 위치는 원점에 있다고 가정하였으며, h 는 제어기를 기준으로 무인 비행체의 높이를 나타내며, θ 는 제어기와 무인 비행체의 각도를 나타낸다. 무인 비행체의 이동시 발생하는 도플러 주파수는 무인 비행체

의 속도와 θ 의 영향을 받는다. 이때 발생하는 도플러 주파수의 관계식은 다음과 같다.

$$f_d = \frac{2v_t}{\lambda} \cos\theta \quad (1)$$

식 (1)에서 v_t 는 무인 비행체의 속도이며, λ 는 반송파 주파수의 파장이다.

Rayleigh 페이딩 채널은 가우스 변수를 이용하여 실수부와 허수부로 구분하여 모델링할 수 있다. 산란 요소들이 균일하게 분포되어 있다고 가정하면 k 산란자의 n 번째 도플러 시프트는 α_n 이며, 도플러 시프트 주파수는 다음과 같다.

$$f_n = f_d \cos\alpha_n \quad (2)$$

N 개의 산란자는 순서 k 와 시간 t 에 따른 파형을 다음과 같이 Rayleigh 페이딩 모델링할 수 있다.

$$R(t,k) = 2\sqrt{2} \left[\sum_{n=1}^N (\cos\beta_n + j\sin\beta_n) \cos(2\pi f_n t + \theta_{n,k}) + \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos\alpha + j\sin\alpha) \cos(2\pi f_d t) \right] \quad (3)$$

여기서 α , β_n 과 $\theta_{n,k}$ 는 매개변수이다. α 는 일반적으로 0이며, β_n 은 실수부와 허수부 사이의 교차 상관이 없도록 선택한다.

$$\beta_n = \frac{\pi n}{N+1} \quad (4)$$

그리고 $\theta_{n,k}$ 는 여러개의 파형을 생성하는데 사용된다. 단일 경로 채널로 모델링되고 있으므로 파형이 하나만 존재하면 $\theta_{n,0}$ 이다. 여러 파형이 필요하도록 다중 경로, 주파수 선택 채널을 모델링하는 경우 Dent 모델의 비상관 파형을 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\theta_{n,k} = \beta + \frac{2\pi(k-1)}{N+1} \quad (5)$$

그러나 실제로 파형은 특수한 경우를 제외하고는 상호 상관이 0 이 아니다. 그래서 이러한 상관 관계를 고려하기 위해 수정된 Dent 모델은 Walsh-Hadamard 시퀀스를 사용하여 파형의 산란자와 스케일을 약간 다르게 선택하여 제로 상호 상관을 보장하고 있으며 여기서

$$\alpha_n = \frac{\pi(n-0.5)}{2N} \text{와 } \beta_n = \frac{\pi n}{N} \quad (6)$$

이다. Dent 모델 또는 Jakes 모델이라고 하는 다음 모델을 정의하였다.

$$R(t,k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N A_k(n) (\cos\beta_n + j\sin\beta_n) \cos(2\pi f_d t \cos\alpha_n + \theta_n) \quad (7)$$

3. 시뮬레이션

본 논문에서는 도플러 주파수에 의한 무인 비행체의 통신 성능을 분석하기 위하여 수정된 Dent 모델을 도플러 주파수 특성으로 사용하였으며, DBPSK 변조 방식, SNR 10dB, AWGN 환경에서 시뮬레이션을 진행하였다. 무인 비행체는 사용되는 분야에 따라 속도가 다르다. 민간 분야에서 사용되는 무인 비행체의 속도는 일반적으로 시속 10km ~ 30km이며, 군사 분야에서는 사용되는 무인 비행체의 최대 속도는 약 시속 300km를 지원한다. 따라서 시뮬레이션에서 무인 비행체의 속도는 10km, 30km, 300km로 설정하였으며 또한 향후 고속의 무인 비행체를 고려하여 시속 1000km에서의 비트오율을 측정하였다.

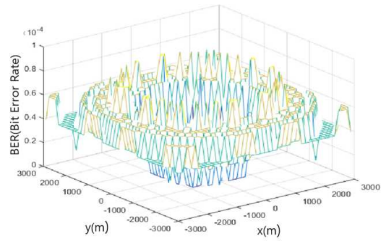


그림 2. 시속 10km의 도플러 주파수에 의한 BER
Fig. 2. BER due to Doppler frequency at 10 km/h

그림 2는 5GHz 주파수 대역에서 도플러 주파수 채널환경 무인 비행체의 속도가 시속 10km일 때 BER을 나타낸다. 원점에 무인 비행체의 제어기가 있다고 가정하였다. 송신 신호를 DBPSK 방식으로 변조후 변조된 신호를 Dent 모델의 도플러 주파수 채널을 통과하여 Faded된 신호를 생성한다. Faded 된 신호를 AWGN 채널을 통과시키지 않았을때의 결과를 얻었다. x축과 y축은 거리를 나타내며, 상공 150m에서의 BER을 나타낸다. 제어기 위치인 원점 으로부터 약 2000m 반경에서 BER 성능이 가장 저하하였으며, 약 1000m 반경에서 BER 성능이 가장 우수함을 확인하였다. 또한 2000m 반경 밖에서 BER 성능이 다시 향상되었음을 확인하였다. 이는 제어기와 무인 비행체의 최적의 통신을 위한 비행 반경에 관한 연구에 도움이 될것으로 판단된다.

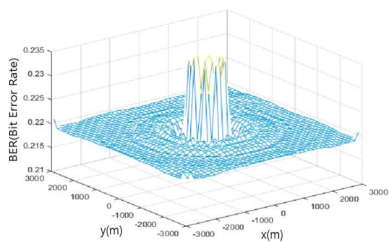


그림 3. 시속 10km의 도플러 주파수와 AWGN에 의한 BER
Fig. 3. BER due to AWGN and Doppler frequency at 10 km/h

그림 3은 무인 비행체의 속도가 시속 10km/h 일 때 그림 2와 동일한 환경에서 AWGN 채널을 통과시켜 결과를 얻었다. 제어기 위치인 원점으로부터 약 500m 반경 근처에서 BER 성능이 저하되었으며,

500m 반경 안쪽으로는 BER 성능이 향상되었음을 확인하였다. 또한 500m 반경 밖으로 약 0.219의 BER 성능을 유지하였다. 원점 근처에서 BER 성능이 향상되는 현상은 cos함수의 특징으로 판단되며, 그림 2와 비교시 AWGN 채널 통과시 BER 성능이 감소하는 반경과 증가하는 반경이 줄어들었음을 확인하였으며, 일반적인 BER 성능이 우수함을 확인하였다.

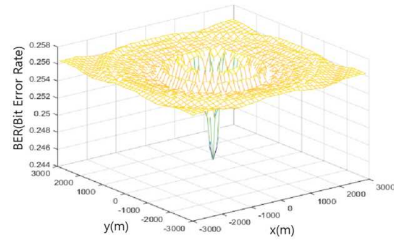


그림 4. 시속 30km의 도플러 주파수와 AWGN에 의한 BER
Fig. 4. BER due to AWGN and Doppler frequency at 30 km/h

그림 4는 무인 비행체의 속도가 시속 30km/h 일 때 그림 3과 동일한 환경에서 BER 결과를 얻었다. 제어기 위치인 원점 근처에서 BER 성능이 가장 우수하였으며, 약 0.256의 BER 성능을 확인하였다. 그림 3과 비교시 약 0.037 BER 성능이 감소하였으며, 성능이 가장 우수한 원점 위치의 BER 성능 또한 시속 10km/h의 BER 성능보다 낮음을 확인하였다. 이는 무인 비행체의 속도가 증가함에 따라 도플러 주파수의 영향으로 BER 성능이 감소되었음을 나타낸다.

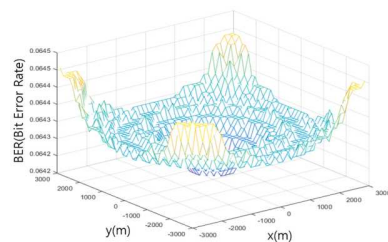


그림 5. 시속 300km의 도플러 주파수와 AWGN에 의한 BER
Fig. 5. BER due to AWGN and Doppler frequency at 300 km/h

그림 5는 2.6GHz 주파수 대역을 사용하는 LTE 환경에서 무인 비행체의 속도가 시속 300km/h 일 때 BER 성능

을 나타낸다. 제어기 위치인 원점 근처에서 BER 성능이 가장 우수하였으며, 약 0.0643의 BER 성능을 나타냈다. 제어기와 멀어질수록 성능이 감소됨을 확인하였으며, 제어기와 가장 멀리 떨어진 구간에서 성능 저하 현상이 심화되는 것을 확인하였다.

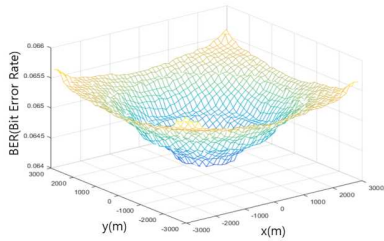


그림 6. 시속 1000km의 도플러 주파수와 AWGN에 의한 BER
Fig. 6. BER due to AWGN and Doppler frequency at 1000 km/h

그림 6은 2.6GHz 주파수 대역을 사용하는 LTE 환경에서 무인 비행체의 속도가 시속 1000km/h 일 때 BER 성능을 나타낸다. 제어기 위치인 원점 근처에서 0.064 BER 성능으로 가장 우수하였으며, 약 0.065의 BER 성능을 나타냈다. 그림 5와 비교시 약 0.001의 BER 성능이 감소되었으며, 거리에 따른 BER 성능 변화가 크다.

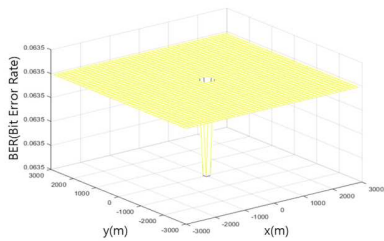


그림 7. 시속 300km의 도플러 주파수와 AWGN에 의한 BER
Fig. 7. BER due to AWGN and Doppler frequency at 300 km/h

그림 7은 28GHz 주파수 대역을 사용하는 5G 환경에서 무인 비행체의 속도가 시속 300km/h 일 때 BER 성능을 나타낸다. 제어기 위치인 원점 근처에서 BER 성능이 가장 우수하였으며, 약 0.0635의 BER 성능을 나타냈다. 시뮬레이션 결과를 통해 원점 위치에서 BER 성능의 우수함을 확인하였지만, BER 성능은 평균 BER 성능과 비슷함을 확인하였다.

이는 28GHz 주파수 대역에서 무인 비행체가 시속 300km/h 일 때 BER 성능이 안정적으로 유지 판단된다.

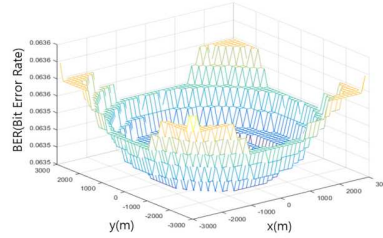


그림 8. 시속 1000km의 도플러 주파수와 AWGN에 의한 BER
Fig. 8. BER due to AWGN and Doppler frequency at 1000 km/h

그림 8은 28GHz 주파수 대역을 사용하는 5G 환경에서 무인 비행체의 속도가 시속 1000km/h 일 때 BER 성능을 나타낸다. 제어기 위치인 원점 근처에서 BER 성능이 가장 우수하였으며, 약 0.0635의 BER 성능을 나타냈다. 시뮬레이션 결과를 통해 원점 위치에서 BER 성능의 우수함을 확인하였지만, BER 성능은 평균 BER 성능과 비슷함을 확인하였다. 또한 그림 7과 비교시 BER 성능이 안정적으로 유지되지 못하는 결과를 확인하였다. 이는 높은 속도로 인해 통신 성능이 불안정한 것으로 판단된다.

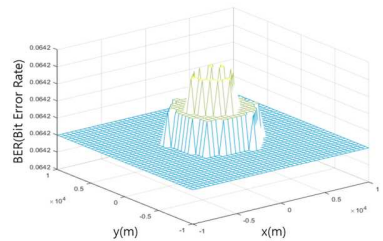


그림 9. 시속 300km의 도플러 주파수에 의한 BER
Fig. 9. BER due to Doppler frequency at 300 km/h

그림 9는 28GHz 주파수 대역을 사용하는 5G 환경에서 무인 비행체의 속도가 시속 300km/h 일 때 도플러 주파수에 의한 BER 성능을 나타낸다. 약 0.0642 BER 성능을 나타내고 있으며, 그림 7과 비교시 0.0007 BER 성능이 증가되었음을 확인하였다. 또한 그림 9에서 제어기 위치인 원점으로부터 약 4000m 반경에서 BER 성능이 저하됨을 확인하였다.

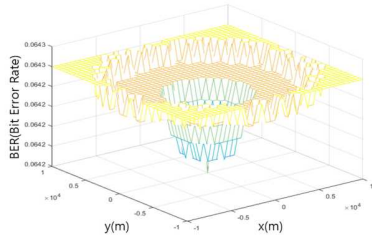


그림 10. 시속 1000km의 도플러 주파수에 의한 BER
Fig. 10. BER due to Doppler frequency at 1000 km/h

그림 10은 28GHz 주파수 대역을 사용하는 5G 환경에서 무인 비행체의 속도가 시속 1000km/h일 때 도플러 주파수에 의한 BER 성능을 나타낸다. 약 0.0642의 BER 성능을 나타내었으며, 제어기 위치인 원점 근처에서 BER 성능이 가장 우수하였다. 그림 8과 비교시 약 0.0007 BER 성능이 증가되었음을 확인하였다. 이는 시스템 모델에서 사용한 AWGN 채널과 사용된 주파수 대역에 대한 상관 관계로 판단된다.

표 1. 도플러 주파수와 AWGN에 의한 BER 결과표
Table 1. BER Results Table by Doppler Frequency and AWGN

속도	평균 BER	Frequency band	h
10km	0.219	5GHz	150m
30km	0.256	5GHz	150m
300km	0.0643	2.6GHz	5000m
	0.0635	28GHz	5000m
1000km	0.065	2.6GHz	5000m
	0.0635	28GHz	5000m

4. 결론

본 논문에서는 도플러 주파수에 의한 무인 비행체의 통신 성능을 분석하였다. 무인 비행체의 기하학적 모델을 이용하여 도플러 주파수를 계산하였으며, 도플러 주파수 모델은 Dent 모델을 이용하였다. 송신 신호를 변조 후 Dent 모델의 도플러 주파수 채널과 AWGN 채널을 통과시킨 후 수신단에서 복호되는 비

트 오차를 비교하였다.

무인 비행체의 속도와, 높이는 고정된 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 식 (1)을 통해 제안된 시뮬레이션 환경에서 예상되는 무인 비행체의 성능은 속도가 증가할수록 도플러 주파수가 증가하여 성능이 저하되고, λ 가 증가할수록 도플러 주파수가 감소하여 성능이 증가할 것으로 예상된다. 또한 θ 를 제외한 모든 파라미터들이 일정할 때 제어기 위치인 원점에서 $\cos\theta = 0$ 으로 이론적으로 도플러 주파수가 없기 때문에 제일 좋은 성능을 보일 것으로 예상된다. 5GHz 주파수 대역과 150m 상공 환경의 시뮬레이션 결과를 통해 속도가 증가할수록 도플러 주파수의 영향으로 BER 성능이 저하됨을 확인하였다. 2.6GHz 주파수 대역의 LTE 환경, 5000m 상공 환경의 시뮬레이션 결과를 통해 증가하는 속도에 비해 BER 성능은 크게 저하되지 않았지만, 거리에 따른 BER 성능의 변화가 큰 특성을 확인하였다. 28GHz 주파수 대역의 5G 환경, 5000m 상공 환경의 시뮬레이션 결과를 통해 속도가 증가할수록 BER 성능은 저하되며, 제어기 위치인 원점 근처에서 BER 성능이 우수함을 확인하였다. 또한 AWGN 채널의 영향으로 인해 약 0.0007의 BER 성능 감소를 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 무인 비행체의 이동시 일정한 고도, 일정한 SNR, 일정한 속도의 경우 비행체의 제어기와 가까운 곳에서 BER 성능이 많은 영향을 받는 것을 확인하였다. 또한 식 (1)에서 표현된 f_d 와 상관 관계를 가지는 λ 와 θ 및 v_t 변화에 대한 이론적인 예상 성능과 시뮬레이션 결과가 유사함을 확인하였다.

본 연구 결과는 도플러 주파수의 영향으로 손실되는 통신 효율을 복구 및 증가시키기 위한 빔 포밍을 설정하는데 활용하고자 한다.

REFERENCES

[1] Jin-young Ahn, "Global Trends on the Regulations of the Civil Unmanned Aircraft System(UAS)," Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 13, no. 1, pp. 51-67, July. 2017.

[2] Hee-Wan Kim, "A study on Application Methods of Drone Technology," Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol. 10, no. 6, pp. 601-608, December. 2017.

[3] Xue Yinghui, Xia Guijin, Ren Shuai, Zhao Weihu, Rao Xuejun, "UAV cooperative MIMO Technology", Proc. International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), 2019.

[4] Hyun-Taek Choi, Gab-Sang Ryu, "A study on UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Real Time Location Tracking Control Using Mobile Communication Network," Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol. 10, no. 6, pp. 535-544, December. 2017.

[5] Aziz Altaf Khuwaja, Yunfei Chen, Nan Zhao, Mohamed-Slim Alouini, "A Survey of Channel Modeling for UAV Communications," IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 20, No. 4, pp. 2804-2821, 2018.

[6] Gao Xi jun, Chen Zi li, and Hu Yong Jiang Characteristic Analysis on UAV-MIMO Channel Based on Normalized Correlation Matrix, The Scientific World Journal, Vol. 2014, ID 206185, 2014.

[7] Javier Lorca, Mythri Hunukumbure, Yue Wang "On Overcoming the Impact of Doppler Spectrum in Millimeter-Wave V2I Communications" 2017 IEEE Globecom Workshops, 2018.

저자약력

이 희 권(Hee-Kwon Lee)

[정회원]



- 2018년 원광대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
- 2018년~현재 원광대학교 정보통신공학과 석사과정

〈관심분야〉 무선통신, 이동통신, 다중 입출력 시스템, 통신 신호처리 등

염 성 관(Sung-Kwan Youm)

[정회원]



- 2004년 한국외국어대학교 제어계측공학과 졸업 (공학사)
- 2006년 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2011년 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2018년~현재 원광대학교 정보통신공학과 부교수

〈관심분야〉 정보보호, 컴퓨터 통신, 이동통신

김 용 갑(Yong-Kab Kim)

[중신회원]



- 1988년 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1993년 앨라배마 주립대학교 (공학석사)
- 2000년 노스캐롤라이나 주립대학교 (공학박사)
- 2003년~현재 원광대학교 정보통신공학과 교수
- 2006년~2013년 공과대학 POST-BK21 사업단장
- 2012년~2015년 원광대학교 창업보육센터장
- 2014년~2015년 원광대학교 창업지원단장
- 2012년~현재 LED 인력양성사업단장(전북)

〈관심분야〉 가시광통신시스템, 광메모리센서, 전력선통신