

LOS/NLOS 채널에 따른 무인로봇체계의 시스템 성능분석

송유찬*, 차경현*, 황유민*, 이재생**, 한명훈**, 김진영*, 신요안***

Performance Analysis of Unmanned Robot System based on LOS/NLOS channel

Yuchan Song*, Gyeong Hyeon Cha*, Yu Min Hwang*, Jae-Seang Lee**, Myoung-hun Han**, Jin Young Kim*, and Yoan Shin***

요 약

무인로봇체계는 미래전이라 불리는 네트워크 중심전의 핵심기술이라 할 수 있다. 그러나, 인프라 기반의 무선통신시스템과는 다른 야전 환경에서 안정된 통신을 유지하는 것은 상당한 링크 버짓을 요구한다. 따라서, 기지국과 단말 사이의 불안정한 채널이 형성될 경우 무선링크의 장애를 최소화하기 위한 방법이 필요하다. 본 논문에서는 야전 환경에 투입되는 무인로봇 체계를 통해 확보되는 전장에서의 정보를 효과적으로 송수신하도록 하며 통신환경이 열악한 상태에서도 무인로봇의 제어권을 잃지 않도록 하는 즉, 통신 생존성을 보장하도록 하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 시스템의 성능분석을 위해 실제 국내의 산악지방, 개활지 등과 유사한 채널을 적용하였으며, 향후 무인로봇체계에 활용할 수 있도록 한다.

Key Words : Rayleigh fading, Rician fading, Rician factor K, SUI channel, URS communication algorithm

ABSTRACT

Unmanned robot system has become a significant part of network centric warfare. Unlike the commercial wireless system, however, it is tricky to provide reliable communication in the harsh environment: tactical and military communication. Therefore, it needs to be considered when the base station and mobile has poor communication channel. In this paper, we proposed an efficient operating algorithm for unammned robot system with ensuring communication survivability in the harsh environment. From the simulation, we adopted the SUI channel suitable for domestic mountainous area and open terrain with Rician factor K.

I. 서 론

지상의 무인로봇체계 통신시스템과 상용 통신 시스템의 가장 큰 차이는 통신시스템을 위한 인프라 사전 구축에서 가장 크게 드러난다. 상용서비스는 충분한 시간과 다양한 측면을 고려한 세밀한 계획으로 기지국의 위치선정과 음영지역을 파악하여 중계기를 설치하며 셀 영역 내에 존재하는 사용자에게 만족할만한 서비스를 충족시키기 위해 사전 망 구축 활동이 가능한 반면, 군 시스템은 예기치 않은 상황과 작전에 따른 예외되지 않은 지역으로의 이동에서도 안정된 통신환경을 보장하여야 하며 Line-Of-Sight(LOS) 환경 이외에 Non-Line-Of-Sight(NLOS) 환경에서도 무선링크의

장애를 최소화하고 통신의 생존성을 확보하기 위한 다양한 방법을 고려해야 한다. 그러나, 상용 통신 시스템과는 대조적으로 기지국에 할당된 다수의 단말들을 제어하고 안정된 통신을 유지한다는 것은 실제 전장에서는 상당히 어려운 임무가 아닐 수 없다. 따라서 뜻하지 않는 임무가 발생하는 작전 상황을 위해 군 환경에서의 다양한 통신 시스템 성능 분석과 NLOS 환경에서도 무인로봇체계를 효율적으로 운용하기 위한 성능분석이 요구된다 [1].

그림 1은 주파수에 따른 신호의 도달거리를 도시한 것으로 그 특성은 다음과 같다. 고주파의 경우 파장이 아주 짧은 전자기파로서 MHz~GHz 단위의 진동수를 가지며, 파장 1~10미터의 전파로 전리층에서 반사되지 않고 곧게 진행하

* 본 연구는 국방과학연구소 핵심SW 과제의 지원을 받아 수행되었음 (UD 140076ED).

*광운대학교 유비쿼터스 통신 연구실 (chagyeonghyeon@kw.ac.kr, yuchan@kw.ac.kr, yumin@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

**국방과학연구소 제2기술연구본부 1부 3팀 (jslee15@add.re.kr)

***숭실대학교 통신및정보처리 연구실 (yashin@ssu.ac.kr)

접수일자 : 2015년 10월 12일, 최종 게재확정일자 : 2015년 12월 24일

는 성질이 강하므로 가까운 거리의 통신이나 방송에 사용된다. 저주파의 경우 파장이 길기 때문에 안테나를 이용할 때에는 송수신 안테나의 크기를 크게 해야 저주파를 효율적으로 사용할 수 있다. Hz~kHz 단위의 진동수를 갖고 지표파로서 전파특성이 좋고 물속 어느정도까지 도달하므로 무선항행이나 수중통신 등 특수목적 또는 라디오 방송에 쓰인다. 실제 우리나라의 전장에 맞는 통신환경은 주로 산악지방에서 임무를 수행하는 경우가 많아 고주파와 저주파의 특성과 장점을 동시에 가지고 사용할 수 있는 유동적 지능 시스템이 필요하다. 따라서, 기지국과 무인로봇 즉 단말 사이의 채널이 LOS 인 경우 고주파를 통해 무인로봇의 저속 데이터의 제어 정보와 지형 정찰 및 주변 정보를 확보하기 위한 고속 데이터(음성, 영상)를 동시에 전송하도록 한다. 또한, 기지국과 무인로봇이 NLOS 채널인 경우 LOS의 경우보다 수신신호 세기가 작고 지연확산, 신호의 감쇄 등이 더 크게 발생하게 되어 최소한의 통신의 생존성을 위한 무인로봇의 제어 정보를 송수신 할 수 있어야 한다. 이는 기지국과 무인로봇 사이에 형성된 LOS 혹은 NLOS 채널에 따라 통신을 위해 사용되는 주파수대역이 다른 특성 때문에 상황에 맞는 통신 시스템을 사용하기 위한 성능분석이 요구된다.

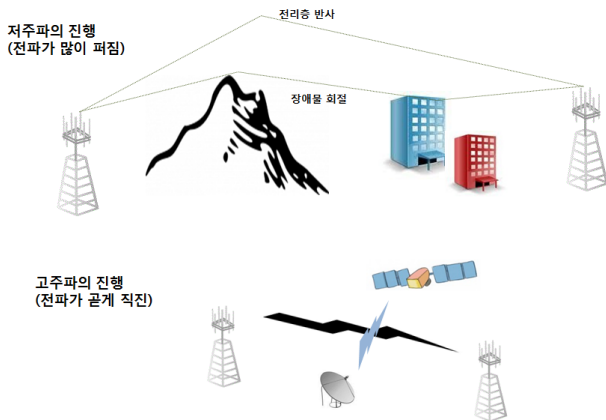


그림 1. 주파수에 따른 도달거리

II. 전장 환경 재현을 위한 채널 모델

그림 2는 기지국과 무인로봇의 신호 전달 경로를 나타내는 그림이다. LOS의 경우 기지국과 무인로봇 간의 직선경로가 존재하며 이 때 일반적인 Local Area Network(LAN) 혹은 Metropolitan Area Network(MAN) 환경에서 통신에 적절한 QoS를 보장하는 통신 커버리지는 대략 최대 50Km이다. NLOS의 경우 기지국과 무인로봇 간에는 직선경로가 존재하지 않으며 반사, 굴절, 회절, 간섭 등에 의해 신호가 송수신 된다. 이 경우 일반적인 LAN 혹은 MAN 환경에서 통신에 적절한 QoS를 보장하는 통신 커버리지는 대략 최대 8km이다 [2].

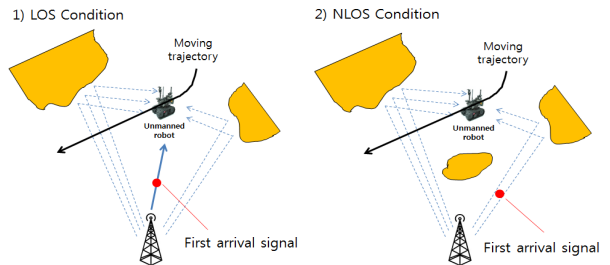


그림 2. LOS/NLOS 채널에 따른 전파 경로

표 1. SUI 채널 모델에 따른 특성

Channel	Terrain Type	Doppler Spread	Spread	LOS
SUI-1	C	Low	Low	High
SUI-2	C	Low	Low	High
SUI-3	B	Low	Low	Low
SUI-4	B	High	Moderate	Low
SUI-5	A	Low	High	Low
SUI-6	A	High	High	Low

본 논문에서는 실제 전장에 투입되는 무인로봇의 통신 생존성을 보장하기 위해 군 작전 환경에 적합한 통신 시스템의 성능 분석을 통해 알아보려고 한다. 실제 전장과 유사한 채널을 구성하기 위해 IEEE 802.16 WiMAX에 사용되는 Stanford University Interim(SUI) 채널모델을 적용하도록 한다. SUI 채널 모델은 총 6가지의 모델로 구성되며 기본적으로 3가지 지형과 2가지 도플러확산(High/Low) 그리고 3가지 지연확산(Low/Moderate/High), 2가지 채널상태(LOS/NLOS)를 고려한다. 지형 A의 경우 언덕이 많고 나무와 숲이 울창한 지형이며, B의 경우 언덕이 많으나 A의 경우보다 나무나 숲이 밀집되어 있지 않은 지형이다. 지형 C의 경우 평평한 지형과 나무나 숲이 거의 형성되지 않은 지형이다[2]. 국내의 지형 환경에 맞는 채널모델을 분석하기 위해 SUI 채널모델을 적용하였으며, 이는 다음과 같이 해석할 수 있다. SUI-1,2 (지형타입 C)의 경우 무인로봇의 이동경로가 개활지를 지날 때이며 이는 무인로봇과 기지국 사이에 LOS 채널을 형성하게 한다. SUI-2,3 (지형타입 B)의 경우 무인로봇이 나무나 숲이 있는 경사진 언덕을 통과할 때 기지국과 무인로봇 사이에 NLOS 채널을 형성하게 된다. SUI-4,5 (지형타입 A)의 경우 무인로봇이 나무나 숲이 울창한 언덕이나 산 중턱을 통과할 때 기지국과 무인로봇 사이에 NLOS 채널을 형성하게 된다 [3-5].

다음 장에서는 각 채널에 따라 무인로봇과 기지국 사이에 신호를 송수신할 때 시스템 성능을 알아보려고 신호 샘플에 따른 신호세기의 변화, SNR 대비 BER을 측정하도록 한다.

Ⅲ. 무인로봇체계 통신 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 무인로봇체계(Unmanned Robot System)의 작동 알고리즘은 무인로봇이 전장에 투입될 때 반드시 고려되어야 하는 무인로봇의 제어권과 무인로봇이 투입된 주변 환경의 감시 및 정찰의 역할을 위한 영상 데이터를 전송할 수 있어야 한다. 그림 3은 무인로봇체계의 통신 알고리즘을 나타내며 제안하는 알고리즘은 다음과 같이 동작한다. 초기 동작은 저주파 대역을 사용하여 기지국과 무인로봇간의 통신을 보장한다. 이 후 채널판단 과정을 거쳐 통신환경이 양호하다고 판단될 때 고주파 대역을 사용하여 고속 데이터를 송수신 할 수 있게 된다. 그러나 통신환경이 불안정할 때 무인로봇의 제어권을 확보하기 위해 저주파 대역을 통한 제어권 정보 송수신을 유지하도록 한다.

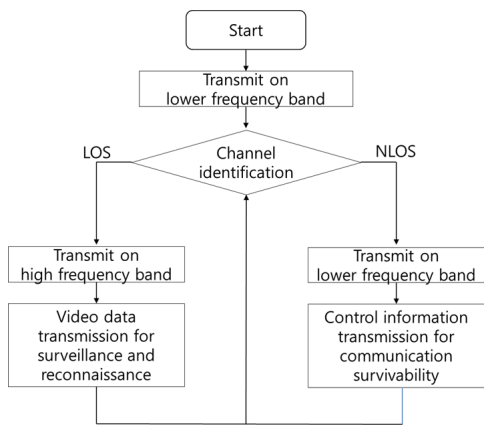


그림 3. 제안하는 무인로봇체계의 통신 알고리즘.

Ⅲ. 각 채널모델에 대한 특성 분석

기지국과 무인로봇간의 데이터를 송수신하기 위한 신호는 다중경로(LOS 혹은 NLOS 채널)를 통해 전달된다. 이 때, 송신 신호 $s(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = Re U(t)exp(jwt), \quad (1)$$

이때, $U(t)$ 는 송신신호의 복소 포락(complex envelope)이다. 다중경로 환경에서, 수신 신호의 파워 r 은 라이시안 분포를 나타내며 확률분포함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$pdf(r) = \frac{r}{\sigma^2} exp(-\frac{r^2 + A^2}{2\sigma^2}) I_0(\frac{Ar}{\sigma^2}), r \geq 0. \quad (2)$$

이때, $I_0(x)$ 는 수정베셀함수이며 A 의 값이 0 일 때, NLOS 채널을 나타내고 이를 레일리(Rayleigh) 분포라 한다. 본 논문에서는 무인로봇체계와 기지국 간의 통신 채널환

경을 표현하기 위해 라이시안 페이딩과 레일리 페이딩을 적용하였다.

$$pdf(r) = \frac{r}{\sigma^2} exp(-\frac{r^2}{2\sigma^2}), 0 \leq r \leq \infty. \quad (3)$$

라이시안 분포 식에서 $K = \frac{A^2}{(2\sigma^2)}$ 은 NLOS 성분과 LOS 성분의 비율을 나타내며 이를 'K-factor' 혹은 'Rician facotor' 라 한다. NLOS의 경우 K-factor는 0의 값을 갖고 K-factor의 값이 커질수록 라이시안 분포를 따르게 된다. 현재 채널이 LOS/NLOS 채널판단은 수신된 신호의 확률분포를 통해 이뤄진다.

Ⅳ. 모의실험

표 2. 파라미터 설명

Parameter	값
FFT Size	256
Number of used subcarriers	192
FFT Sampling frequency	20MHz
Ratio of Guard time of symbol time	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Carrier frequency	900MHz when NLOS, 2.4GHz when LOS.
Mobile Speed	60Km/H
Constellation	16-QAM
Channel model	SUI channel
Transmission power	48dBm

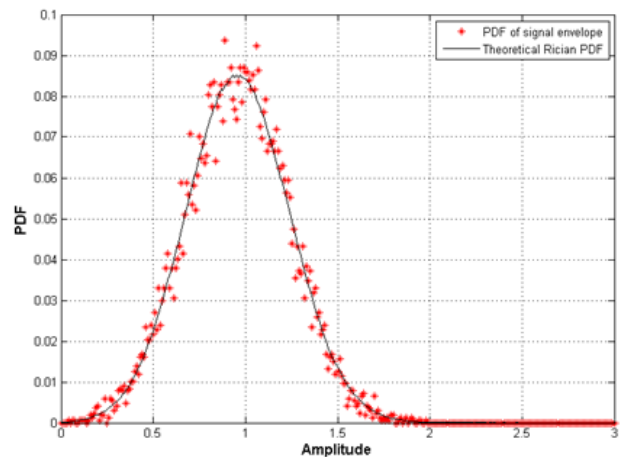


그림 4. NLOS채널의 수신 신호와 레일리 분포의 비교.

그림 45는 기지국과 무인로봇 사이의 통신 성능분석을 위해 SUI 채널모델(K factor=-3dB, 3dB)을 적용하여 실험한 결과값이다. 시뮬레이션에서는 16-QAM 변조기법이 사용되

었으며 Cyclic prefix(CP)를 추가하여 진행되었다. CP로 인해 발생할 수 있는 Inter Symbol Interference(ISI)를 줄일 수 있다. IEEE 802.16 표준에서도 1/4, 1/8, 1/16, 1/32와 같은 다양한 CP 길이를 조절할 수 있도록 허용하고 있다. 그림 4,5는 NLOS, LOS 채널을 통해 수신된 신호와 이론적인 레일리, 라시안 분포가 Goodness of Fit test를 통해 수신된 신호의 LOS/NLOS 채널 상태를 확인한 것이다. 해당 채널 판단 방법은 송신신호와 수신신호 분포가 이론적으로 얼마나 동일한지 %를 통해 나타내는 기법으로 처리시간이 길수록 판단정확도가 높아진다. 그림 4,5를 통해 레일리 분포가 98% 라시안 분포가 92% 일치하여 NLOS, LOS 채널에서 수신된 신호인 것을 확인할 수 있다.

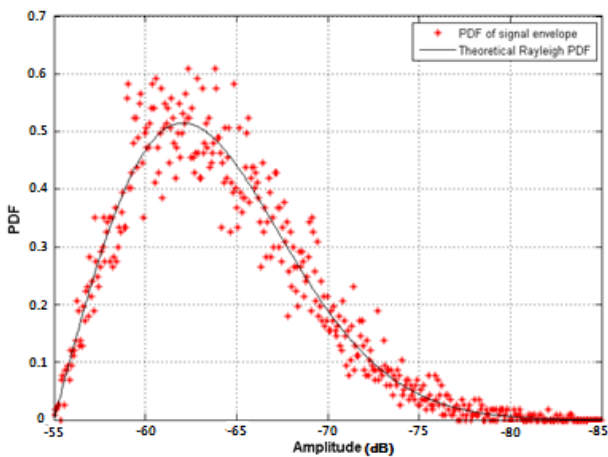


그림 5. LOS채널의 수신 신호와 라시안 분포의 비교

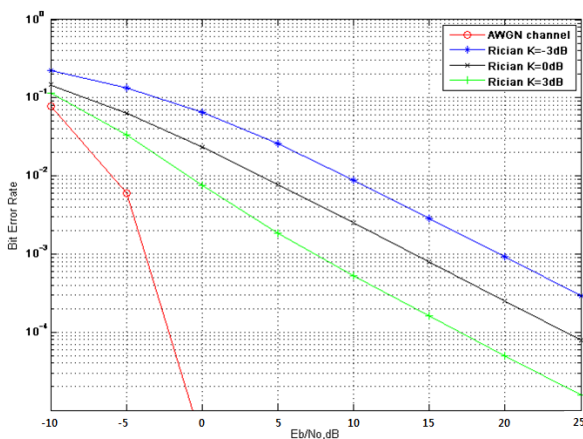


그림 6. 시스템 모델에 따른 BER 곡선 비교.

그림6은 제안한 시스템에서의 BER 그래프를 나타낸다. 채널판단 후 band aggregation 하여 저주파, 고주파 대역을 사용해 SNR이 -5dB~0dB 구간에서 10^{-3} 의 BER을 구할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

통신의 미래전장에서의 역할은 정확한 임무수행을 위해 필수적인 부분이다. 본 논문에서는 무인로봇체계의 신뢰성 있는 통신을 확보하기 위해 LOS/NLOS 채널에 따라 데이터 송수신이 이뤄지는 주파수 대역의 스위칭 알고리즘을 제안하였으며, 이는 고주파, 저주파에 따라 신호의 도달거리, 지연확산, 신호의 감쇄가 다른 주파수 특성을 이용한 것이다. 이를 통해 아무리 통신이 열악한 상황에서도 무인로봇의 제어 정보를 잃지 않도록 하며 이는 미래 전투체계에 요구되는 필수적인 시스템이며, 나아가 통신환경의 실시간 판단을 통해 감시 및 정찰의 영상데이터를 전송할 수 있도록 한다. 본 논문은 무인로봇을 직접 관장하는 기지국과 1:1 채널의 성능 분석을 나타내었으며 향후 애드혹 네트워크 등 보다 복잡한 통신환경에서의 채널 연구가 필요할 것으로 예상된다.

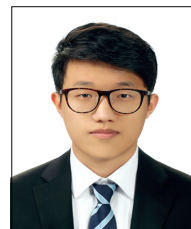
참고 문헌

- [1] R. Jain, "Channel models: A Tutorial," WiMAX Forum AATG, Feb. 2007.
- [2] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, IEEE Std. Rev. 802.16m, 2011.
- [3] K. K. Talukdar, and W. D. Lawing, "Estimation of the parameters of the Rice distribution," in Proc. of Journal of the Acoustical Society of America, vol. 89, no. 3, pp. 1193-1197, Mar. 1991.
- [4] C. Tepedelenlioglu, A. Adbi, and G. B. Giannakis, "The Rician K factor: estimation and performance analysis," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 2, no. 4, pp. 799-810, July 2003.
- [5] G. Azemi, B. Senadji, and B. Boashash, "Rician K-factor estimation in mobile communication systems," IEEE Commun. Lett., vol. 8, no. 10, pp. 617-619, Oct. 2004.

저자

송 유 찬(Yuchan Song)

준회원



- 2014년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 4G 이동통신, 가시광통신, 빅데이터, 생체신호 처리

차 경 현(Gyeong Hyeon Cha)

준회원



- 2014년 7월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2014년 8월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 무선통신, 항재밍, LBS, 데이터마이닝, 무선에너지하비스팅

신 요 안(Yoan Shin)

종신회원



- 1992년 12월 : Univ. of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과 공학박사
- 1994년 9월 ~ 현재 : 숭실대학교 전자정보공학부 교수
- 2008년 1월 ~ 2008년 12월 : 한국통신학회 이동통신연구회 위원장

<관심분야> : 이동 및 무선통신, 통신신호처리

황 유 민(Yu Min Hwang)

준회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 4G 이동통신, 디지털 통신, 가시광통신, D2D, LBS, 인지무선통신.

이 재 생(Jae-Seang Lee)

준회원



- 2006년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
- 2008년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 2008년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> : 이동통신, Ad-hoc 네트워크, Trust Network 등

한 명 훈(Myoung-hun Han)

준회원



- 2007년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2009년 8월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2013년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사 수료

· 2014년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원

<관심분야> : 이동통신, Ad-hoc 네트워크, 생체모방 통신 등

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신