

공용데이터링크를 위한 공대지 채널 모델링

박 홍 석*, 심 재 남*, 김 동 현**, 김 동 구^o

Aeronautical to Ground Channel Modeling for Common Data Link

Hongseok Park*, Jae-Nam Shim*, Donghyun Kim**, Dong Ku Kim^o

요 약

본 논문에서는 고속의 공용데이터링크(common data link, CDL)를 위한 새로운 채널 모델을 제안한다. 송신기의 고도가 수km ~ 수십km이고 통달거리가 수백km인 경우 지구 곡률에 의해 송신신호가 수신기의 앞 쪽에서 지면에 반사되어 들어오는 Two-ray 채널이 발생할 가능성이 크다. 송수신기의 빔포밍(beamforming) 각도와 안테나 방사 패턴(radiation pattern)에 따라 반사 경로로 들어오는 신호의 최대 지연 시간(maximum delay)과 전력 지연 프로파일(power delay profile)을 추정하여 Two-ray 채널을 모델링한다. 제안하는 채널 모델에서는 통달거리가 길기 때문에 전력 지연 프로파일이 최대 지연 시간보다 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)에 대한 비트 오류율(bit error rate, BER)에 더 큰 영향을 미친다.

Key Words : Common Data Link, Aeronautical to ground, Channel modeling, Two-ray

ABSTRACT

The new channel model for high data rate common data link(CDL) is proposed. The Two-ray channel, which is composed of the reflected signals on the front ground of the receiver, is considered in this paper. This channel arises due to the curvature of the earth when the altitude of the transmitter is tens of kilometers and distance between the transmitter and the receiver is hundreds of kilometers. The Two-ray channel is modeled by estimating the maximum delay profile and the power delay profile, depending on the transmitting and receiving beamforming angle and the radiation pattern of antenna. The power delay profile has a larger effect on the bit error rate(BER) over signal to noise ratio(SNR) than the maximum delay profile, because the distance range is too long in the proposed channel model.

I. 서 론

정보통신 기술의 발달로 현대 국방안보 또는 현대전에 있어 첨단 정보 수집 체계로부터 획득한 정보를 전술 작전에 활용할 수 있게 되었다. 이에 따라 정보

획득과 획득한 정보의 공유능력이 부각되어 감시정찰 체계의 중요성이 부상하고 있다. 감시정찰이란 적의 의도와 능력을 파악하고 필요한 정보를 적시에 제공하기 위해 지·해상 감시 장치 및 유·무인 항공기/우주 비행체를 이용하여 적의 정세나 지형을 살피는 작전

* 본 연구는 국방과학연구소 'T4급 고정밀 영상정보용 데이터링크 개발' 시험개발과제(912431301)의 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Yonsei University, School of Electrical and Electronic Engineering, phs0127@yonsei.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Yonsei University, School of Electrical and Electronic Engineering, dkkim@yonsei.ac.kr, 중신회원

* Yonsei University, School of Electrical and Electronic Engineering, jaenam@yonsei.ac.kr, 학생회원

** Agency for Defense Development, The 2nd R&D Institute, dh-kim@add.re.kr

논문번호 : KICS2016-08-232, Received August 31, 2016; Revised November 15, 2016; Accepted November 15, 2016

으로, 1990년대 미 국방부에서 주창한 네트워크 중심전(network centric warfare, NCW)의 중요 사안이 된다. 이러한 감시정찰에 있어 항공에서 얻는 정보는 특히 중요하고 항공기 운용에도 필요한 정보가 많으므로 이를 정확하고 빠르게 전송하고 수신하는 것이 필수적이다^[1]. 따라서 공중-지상(aeronautical to ground) 간 채널 환경에 적합하고 현재 가용한 부품 및 소자의 성능을 고려하여 실제 구현 가능한 모델의 최적 송수신 구조에 관한 연구가 필요하다.

대용량 데이터링크 기술은 비행체의 상태 정보, 비행체의 조종통제, 임무 탑재체가 획득한 영상 정보 등을 비행체와 지상 안테나 간 제반 통신인 데이터링크를 통해 제공하는 영상정보용 공용데이터링크(Multi-Platform Image & Intelligence Common Data Link, MPI-CDL)와 호환되는 차기 공용 데이터링크 체계를 일컫는다. 대용량 데이터링크는 제어 메시지 외에도 고해상도 영상 레이다 정보 등 대용량 데이터 전송을 지원하며 동시에 MPI-CDL 장비와 통신이 가능하되 MPI-CDL 대비 높은 데이터 전송률을 제공하는 것을 목표로 한다^[2]. 이러한 대용량 데이터링크 기술은 수km ~ 수십km 고도의 항공기와 지상 안테나 간에 대용량의 영상 및 신호정보를 고속으로 송수신하는 구조를 가진다. 대용량 정보를 고속으로 전송하기 위해서는 넓은 주파수 대역이 필요하며, 이에 따라 주파수 영역 확보가 용이한 높은 주파수 대역을 사용한다. 또한 항공기와 지상 안테나 간의 수십km ~ 수백km의 통달거리가 요구된다^[3].

대용량 데이터링크의 요구사항을 만족하기 위해서는 채널 환경을 정확하게 인지하고 통신하는 것이 가장 중요한 요소 중 하나이다. 채널 환경을 인지하는 방법은 크게 두 가지로 실측을 통해 통계적인 특성을 알아내는 방법^[4]과 실측 자료를 기반으로 한 채널 모델을 사용하는 방법^[5]이 있다. 전자가 가장 정확하고 확실한 방법이지만 링크를 사용하는 데 있어 모든 운용 환경에 대해 채널을 실측하는 데는 무리가 있다. 통상적으로 이는 3GPP(The 3rd Generation Partnership Project) 등의 국제 표준화 기관이나 규모가 큰 단체에서 실측과 조사를 통해 모델을 제시하는 것이 일반적이다. 하지만 본 논문에서 사용되는 대용량 데이터링크와 같이 널리 쓰이지 않는 환경에 대한 채널 정보는 없거나 미미하다. 따라서 본 논문에서는 이를 극복하기 위해 유사 환경에서의 채널 실측값 혹은 유사 운용 시나리오 및 환경에서 제시된 채널 모델을 수정하여 새로운 채널 모델을 고려하며, 새로운 채널 모델에서의 단일 반송파(single carrier) 전송 방식

과 다중 반송파(multi carrier) 전송 방식의 성능을 확인한다.

본 논문에서 (*)는 컨볼루션(convolution) 연산을 의미한다.

II. 시스템 모델

단일 안테나를 사용하는 송-수신기로 구성된 단일-입력 단일-출력(single-input single-output, SISO) 하향 링크(down link) 채널을 가정한다. 여기서 수신단의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y = h * x + n \quad (1)$$

h 는 길이가 M 인 벡터로 송신기와 수신기 간의 채널 벡터, x 는 길이가 N 인 송신 신호 벡터이며 n 은 평균이 0이고 분산이 1인 복소 가우시안 잡음이다. 사용되는 주파수는 Ku 밴드(Ku band) 대역의 주파수이며, 0°의 송신 빔포밍을 하는 송신기는 고도 수km ~ 수십km에 위치하는 비행체, 수신기는 0°, 00°의 수신 빔포밍을 하는 지상의 안테나이다. 수신기가 00°의 수신 빔포밍을 하는 안테나인 경우 송신기와 수신기 간의 통달거리는 수십km이고, 수신기가 0°의 수신 빔포밍을 하는 안테나인 경우 통달거리는 수백 km이다.

본 논문에서는 유사 운용 시나리오 및 환경에서 제시된 채널 모델을 바탕으로 새롭게 고려하는 채널 모델에 대하여 한 개의 반송파만을 사용해 데이터를 전송하는 단일 반송파 전송 방식과 filtered multi-tone(FMT) 변조 방식을 사용한 다중 반송파 전송 방식의 성능 확인에 관해 다루며 단일 반송파 전송 방식의 경우 등화기(equalizer)를 통해 성능이 향상됨을 보인다.

단일 반송파 전송 방식과 다중 반송파 전송 방식의 기본 블록 다이어그램은 그림 1과 같다. 단일 반송파 전송 방식에서 송신 심볼 a_n 은 송신 필터와 채널을 거쳐 수신단에 전달되고 수신 필터를 통과하게 된다. 수신 필터의 출력 신호 $\tilde{y}(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{y}(t) = a_n g_T(t) * h(t) * g_R(t) + n(t) * g_R(t) \quad (2)$$

여기서 $h(t)$, $g_T(t)$, $g_R(t)$, $n(t)$, T 는 채널, 송신 필터, 수신 필터, 백색 잡음, 심볼 주기를 나타낸다. 수신 필터의 출력 신호는 등화기에 의해 보상되며 이

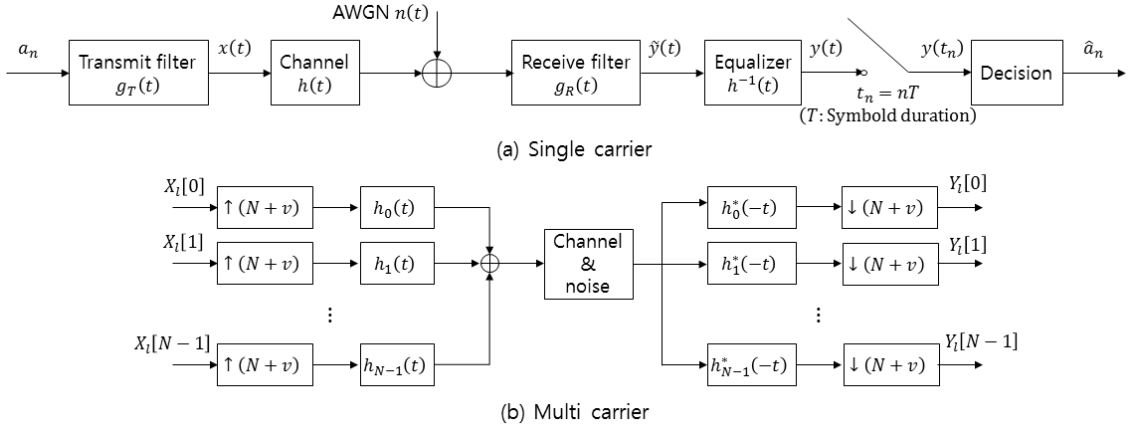


그림 1. 단일 반송과 전송 방식과 다중 반송과 전송 방식의 블록 다이어그램
 Fig. 1. Single carrier transmission & multi carrier transmission block diagram

때 보상된 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y(t) = \tilde{y}(t) * h^{-1}(t) \tag{3}$$

이 후 정확한 심볼 타이밍 $t_n = nT$ 에서 샘플링 (sampling)하여 심볼을 결정한다. 다중 반송과 전송 방식에서 $X_i[k]$ 는 l 번째 심볼 시간에서 k 번째 부반송파로 전송되는 심볼을 나타내며, 심볼 $X_i[k]$ 는 $(N+v)$ 배 업샘플링(up-sampling)되어 k 번째 대역 통과 필터 $h_k(t)$ 를 통과한다. N 은 부반송파의 개수, v 는 0 보다 크거나 같은 정수이다. 수신단에서는 각 부반송파마다 송신 필터의 정합 필터(matched filter)를 수신 필터로 사용하며, 수신된 신호는 $(N+v)$ 배 다운샘플링(down-sampling)되어 수신 심볼 $Y_i[k]$ 가 된다.

III. 채널 모델링

본 장에서는 시스템 모델과 유사한 운용 시나리오에서 제시된 채널 모델을 바탕으로 시스템 모델에 적합한 채널을 모델링한다. 채널 모델링에 앞서 시스템 모델과 유사한 운용 시나리오에서 제시된 채널 모델에 대해 다루며, 제시된 채널 모델을 수정하여 시스템 모델에 적합한 채널을 모델링한다.

3.1 HAPS

본 절에서는 시스템 모델과 유사한 운용 시나리오를 갖고 있는 HAPS(high altitude platform station)에서 제시된 채널 모델에 대해 다룬다. HAPS는 고도 20 ~ 50km 상공에 고정적으로 존재하는 기지국을 말한

다^[6]. 바람에 대한 저항성에 의해 주 고도가 17 ~ 22km로 선택되었으며^[7], 고도 20km 수준의 HAPS를 사용하는 경우에는 지상 통신 시스템의 전송 지연 및 전송 손실 수준으로 고속, 양질의 통신 서비스를 광범위하게 제공할 수 있다는 특징이 있다^[8].

본 논문에서는 HAPS에서 제시하는 여러 가지 채널 모델 중 시스템 모델에 적합한 채널 모델인 Two-ray 채널 모델과 라이시안(Rician) 채널 모델에 대해 다룬다.

Two-ray 채널 모델의 경우 공대지 채널 환경에서 송수신단 사이에 많은 산란체나 반사체가 존재하지 않고 큰 건물이나 산과 같은 주요 반사체 하나가 존재하는 경우를 가정한다. HAPS에서 통상적으로 고려하는 Two-ray 채널 모델은 그림 2의 (a)와 같다. 송수신단 사이에는 가시선(line of sight, LOS) 경로가 존재하며, 수신 안테나 뒤편에 큰 건물이나 산과 같은 주요 반사체가 존재하여 반사파 경로가 발생한다. 가시선 경로의 거리 d_{LOS} 와 반사파 경로의 거리 d_{echo} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d_{LOS} = \sqrt{r^2 + h^2} \tag{4}$$

$$d_{echo} = \sqrt{(r + \Delta r)^2 + h^2} + \Delta r \tag{5}$$

(4), (5)를 통해 반사파 경로를 통해 들어오는 신호의 지연 시간을 예측할 수 있으며, 이 방식은 전력 지연 프로파일을 예측 하는 데도 사용할 수 있다. 반사파 경로를 통해 들어오는 신호의 지연 시간 $\Delta\tau$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

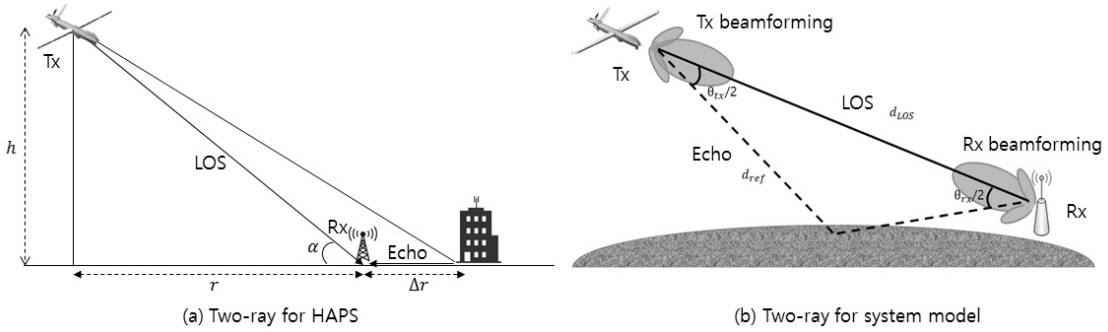


그림 2. HAPS와 시스템 모델에서 고려하는 Two-ray 채널 모델
Fig. 2. Two-ray channel model for HAPS and system model

$$\Delta\tau = \frac{1}{c} \left(\sqrt{(r + \Delta r)^2 + h^2} + |\Delta r| - \frac{h}{\sin\alpha} \right) \quad (6)$$

여기서 c 는 빛의 속도이고 나머지 변수들은 그림 2의 (a)에 나타나 있다.

HAPS에서 제시하는 채널 모델 중 라이시안 채널 모델은 일반적으로 사용되는 라이시안 채널 모델을 의미한다. 라이시안 채널 모델은 송수신기 사이에 가시선 경로가 존재하는 경우 수신되는 신호의 분포가 라이시안 분포를 따른다는 것을 의미하며 라이시안 분포는 다음과 같이 주어진다.

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+c^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{xc}{\sigma^2}\right) \quad (7)$$

여기서 $I_0(\cdot)$ 는 수정된 제 1종 0차 Bessel 함수를 나타내며, c^2 는 가시선 경로 성분의 전력, $2\sigma^2$ 는 산란 성분들의 전력의 합을 나타낸다. 이 때, 라이시안 K -요소(K -factor)는 가시선 경로 성분의 전력과 산란 성분들의 전력의 비로 다음과 같이 정의된다.

$$K = \frac{c^2}{2\sigma^2} \quad (8)$$

K 가 0이면 가시선 성분이 존재하지 않기 때문에 분포는 레일리(Rayleigh) 분포를 따르게 되고, K 가 증가할수록 가우시안(Gaussian) 분포에 접근한다. [9]에서는 HAPS 상황에서 송수신기의 고도에 따라 K -요소의 변화를 측정하여 나타내었으며, [10]에서는 공대지 무선 채널에서 라이시안 채널의 K -요소가 최대 20dB까지 관측된다고 알려졌다.

3.2 시스템 모델에 적합한 채널 모델링

본 절에서는 HAPS에서 제시된 채널 모델을 시스템 모델에 맞게 수정한 채널 모델에 관해 다룬다. 시스템 모델은 그림 2의 (b)와 같이 송수신기가 각각 송수신 빔포밍을 하고 통달거리가 길며 개활지에서의 통신을 가정하고 있다. 송수신 안테나가 각각 빔포밍을 하고 있는 상황에서는 HAPS에서 제시한 수신기 뒤편의 주요 반사체로 인해 생기는 Two-ray 모델과 달리 [11]에서 제시된 모델과 같이 신호가 지구 곡률에 의해 수신기 앞쪽에서 지면에 반사되어 들어오는 Two-ray 경로가 발생할 가능성이 크다. 또한 송수신 안테나가 각각 빔포밍을 하므로 빔폭의 가장 두꺼운 끝부분에 반사경로가 존재할 가능성이 높다. 따라서 최대 반사 지연은 송수신 빔의 가장 넓은 끝부분에 존재한다는 가정 하에 최대 반사 지연과 빔 방사 패턴에 따른 반사 지연 전력을 추정한다.

최대 반사 지연 시간의 추정을 위해 반사 지연 거리를 추정해야 한다. 최대 반사 지연 거리는 그림 2의 (b)에 나타난 삼각형에서 송신 빔포밍 각도와 수신 빔포밍 각도를 알고 있고 수신 빔포밍 각도에 따른 통달거리 d_{LOS} 를 알고 있기 때문에 사인법칙을 이용하여 구할 수 있다. 사인법칙을 통해 구한 최대 반사 지연 거리 d_{max} 는 다음과 나타난다.

$$d_{max} = \frac{d_{LOS}}{\sin\left(\pi - \frac{\theta_{tx}}{2} - \frac{\theta_{rx}}{2}\right)} \times \sin\left(\frac{\theta_{rx}}{2}\right) + \frac{d_{LOS}}{\sin\left(\pi - \frac{\theta_{tx}}{2} - \frac{\theta_{rx}}{2}\right)} \times \sin\left(\frac{\theta_{tx}}{2}\right) - d_{LOS} \quad (9)$$

최대 반사 지연 시간 τ_{max} 는 다음과 같이 구할 수

있다.

$$\tau_{\max} = \frac{d_{\max}}{c} \tag{10}$$

여기서 c 는 빛의 속도이다.

수신단에서 수신 신호의 전력은 거리에 비례하여 설정되는 것이 일반적이나, 본 논문의 시스템 모델의 경우 통달거리가 수십km ~ 수백km로 길기 때문에 가시선 경로 신호와 반사파 경로 신호 사이의 경로 차에 의한 전력 감쇄보다는 송수신 안테나의 방사 패턴에 따른 전력 감쇄가 주를 이룬다. 따라서 이를 바탕으로 전력 지연 프로파일을 추정한다. 통달 거리 달성을 위해 0°의 송신 빔포밍을 하는 송신안테나와 0°와 00°의 수신 빔포밍을 하는 수신안테나를 사용하며 송신의 경우 지향성 안테나, 수신인 경우 지향성 안테나와 원뿔형 안테나(horn antenna)를 사용한다. 본 논문에서 사용하는 지향성 안테나의 경우 빔폭을 반전력 빔폭(half power beamwidth, HPBW)으로 고려하여 빔폭의 양 끝 송수신 전력이 주 로브(main lobe)에 비해 약 3dB의 전력 감쇄가 있다고 가정했다. [12]에서는 Ku 밴드에서 사용하는 원뿔형 안테나를 3D 모델링하여 안테나의 방사 패턴을 모의실험으로 보였으며, 본 논문에서 사용하는 00°의 수신 빔포밍을 하는 원뿔형 안테나의 경우 빔폭의 양 끝 송수신 전력은 주 로브에 비해 약 16dB의 전력 감쇄를 보임을 확인했다. 본 논문에서 제안하는 Two-ray 모델은 빔의 가장 넓은 부분에서 반사 경로가 발생한다고 가정하였으므로, 송수신 빔의 양 끝 송수신 전력 감쇄 값인 3dB와 16dB를 고려하여 추정된 최대 전력 지연 프로파일을 정리하였으며 통달거리와 전송률을 고려하여 반사 지연 시간을 정리하였다. 이를 표 1에 나타내었다.

표 1. 시스템 모델에서 고려하는 Two-ray 모델의 최대 반사 지연 시간과 전력 지연 프로파일
Table 1. Maximum delay and power delay profile of Two-ray channel model for system model

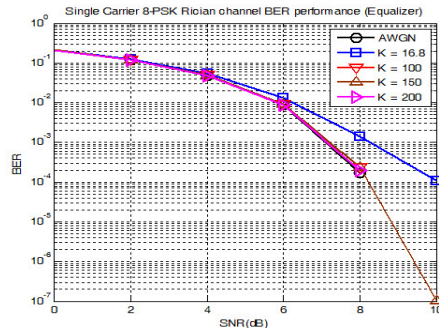
Tx \ Rx	0° (Ground)	00° (Ground)
0° (Aero.)	130.11ns -6dB	805.90ns -19dB

IV. 모의실험 환경 및 결과

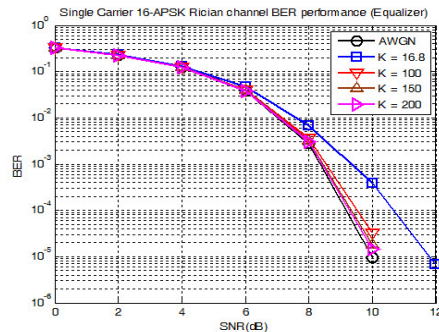
본 장에서는 HAPS에서 제시된 라이시안 채널과 III장에서 제안한 새로운 Two-ray 채널 모델 환경에서

단일 반송과 전송 방식과 FMT를 사용한 다중 반송과 전송 방식의 성능을 보인다. 단일 반송과 전송 방식을 사용하는 경우 등화기를 통해 성능 향상을 보인다. 본 논문에서는 서로 다른 파라미터를 갖는 전송 속도 274Mbps급 프레임 구조를 고려한다. 두 프레임 구조는 각각 8-PSK, 16-APSK 변조방식을 사용하고 성능 지표로는 각 프레임 구조에 따라 신호 대 잡음비에 대한 수신 신호의 비트 오류율을 나타내었다. 오류 정정 부호로는 단일 반송과 전송 방식의 경우 DVB-S2 (digital video broadcasting-satellite 2nd generation)의 LDPC(low density parity check code), 다중 반송과 전송 방식은 컨볼루션 코드(convolutional code)를 사용 하였다.

그림 3은 라이시안 채널 모델에서 서로 다른 파라미터를 갖는 두 개의 274Mbps급 프레임 구조를 단일 반송과 전송 방식으로 전송하고 등화기를 사용하여 신호를 수신한 경우에 신호 대 잡음비에 대한 비트 오류율을 나타낸 그래프이다. K-요소로는 [9]와 [10]에서 제시된 값의 범위를 고려하여 16.8, 100, 150, 200을 설정하였다. 그림 3의 (a)와 (b) 모두 송신 전력을



(a) 274Mbps_8PSK_Rician (SC)



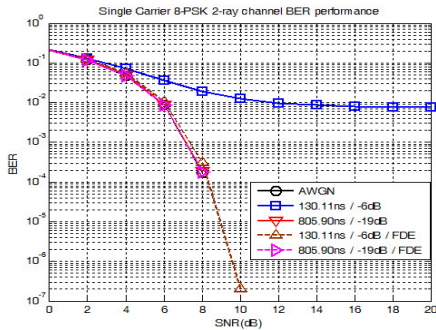
(b) 274Mbps_16APSK_Rician (SC)

그림 3. 라이시안 채널에서 신호 대 잡음비에 대한 비트 오류율 (단일 반송과)
Fig. 3. BER over SNR for Rician channel (Single carrier)

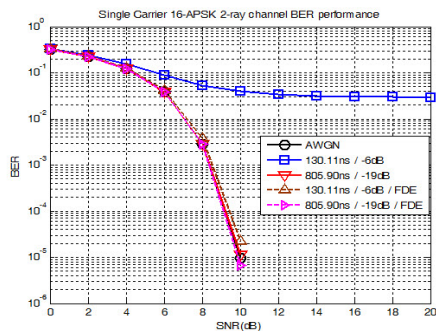
충분히 크게 하고 등화기를 사용하여 채널을 보상해 준다면 비트 오류율이 AWGN (additive white Gaussian noise) 환경에서의 비트 오류율로 수렴함을 나타낸다.

그림 4는 표 1에서 보인 Two-ray 채널 모델에서 서로 다른 파라미터를 갖는 두 개의 274Mbps급 프레임 구조를 단일 반송파 전송 방식으로 전송한 경우에 신호 대 잡음비에 대한 비트 오류율을 나타낸 그래프이다. 그림 4의 (a)와 (b) 모두 반사파 경로로 들어오는 신호가 최대 반사 지연 시간은 크지만 약 한 전력으로 도달하는 경우 AWGN 환경과 동일한 비트 오류율로 수렴하고 그렇지 않은 경우 수렴하지 않는다. 즉, 최대 전력 지연 프로파일이 반사 지연 시간보다 비트 오류율에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 또한, 등화기를 통해 채널을 보상해 준 경우 비트 오류율이 모두 AWGN 환경으로 수렴함을 알 수 있다.

그림 5는 라이시안 채널 모델과 표 1에서 보인 Two-ray 채널 모델에서 274Mbps급 프레임 구조를 다중 반송파 전송 방식으로 전송하고, 등화기를 사용

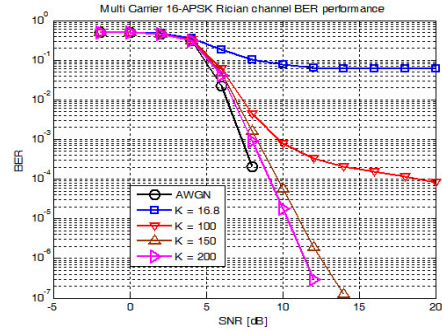


(a) 274Mbps_8PSK_Two-ray (SC)

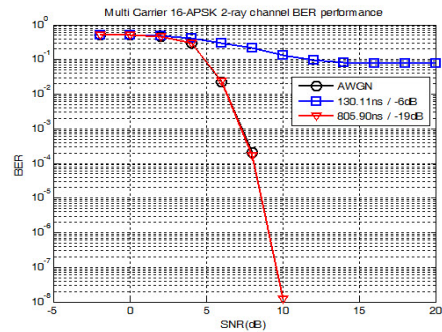


(b) 274Mbps_16APSK_Two-ray (SC)

그림 4. Two-ray 채널에서 신호 대 잡음비에 대한 비트 오류율 (단일 반송파)
Fig. 4. BER over SNR for Two-ray channel (Single carrier)



(a) 274Mbps_16APSK_Rician (MC)



(b) 274Mbps_16APSK_Two-ray (MC)

그림 5. 라이시안 채널 및 Two-ray 채널에서 신호 대 잡음비에 대한 비트 오류율 (다중 반송파)
Fig. 5. BER over SNR for Rician channel and Two-ray channel (Multi carrier)

하지 않고 신호를 수신한 경우에 신호 대 잡음비에 대한 비트 오류율을 나타낸 그래프이다. 그림 5의 (a)의 경우 K -요소가 150이상에서는 비트 오류율이 AWGN 환경으로 수렴하지만 그 외의 경우에는 수렴하지 않는 것을 알 수 있다. 즉, 라이시안 채널 모델에서는 다중 반송파를 사용하는 경우 단일 반송파를 사용할 때보다 더 큰 송신 전력을 사용해야 함을 알 수 있다. 그림 5의 (b)의 경우 역시 단일 반송파 전송 방식과 마찬가지로 반사파 경로로 들어오는 신호의 전력이 약한 경우 비트 오류율이 AWGN 환경으로 수렴하지만 그렇지 않은 경우 수렴하지 않는다. 즉, 단일 반송파 전송 방식과 마찬가지로 최대 전력 지연 프로파일이 반사 지연 시간보다 비트 오류율에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 통달거리가 수십km ~ 수백km에 이

르는 공대지 채널 환경에 맞는 Two-ray 채널 모델을 제안한다. 본 논문과 유사한 운용 시나리오를 갖는 HAPS에서 제시된 Two-ray 채널 모델을 바탕으로 송수신기의 빔포밍 각도 및 지구의 곡률을 고려하여 새로운 Two-ray 채널을 모델링하였다.

모의실험을 통해 단일 반송파 전송 방식과 다중 반송파 전송 방식에 대해 HAPS에서 제시된 라이시안 채널 모델과 새롭게 제안한 Two-ray 채널 모델의 영향을 확인하였다.

단일 반송파 전송 방식의 경우 라이시안 채널에서는 송신 전력을 충분히 크게 하고 등화기를 통해 채널을 보상해 준다면 비트 오류율이 모두 AWGN 환경으로 수렴하는 것을 알 수 있고, 제안한 Two-ray 채널 모델에서는 신호의 최대 전력 지연 프로파일이 반사 지연 시간보다 비트 오류율에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 반사와 경로 신호의 지연 시간이 커도 수신단에 작은 전력으로 도달하면 비트 오류율이 AWGN 환경과 유사해지고 전력이 상대적으로 큰 경우 짧은 지연 시간을 갖고 수신단에 도달해도 AWGN 환경에 비해 채널에 의한 성능 열화를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 반사와 경로로 들어오는 신호의 세기가 작은 경우에는 등화기가 필요 없지만 큰 경우에는 등화기를 통한 채널 보상이 필요함을 모의실험을 통해 보였다.

다중 반송파 전송 방식의 경우 라이시안 채널에서는 150 이상의 높은 K -요소를 가지는 경우, 즉 단일 반송파 전송 방식에 비해 더 큰 송신 전력을 사용한 경우에 비트 오류율이 AWGN 환경으로 수렴하였고, 제안한 Two-ray 채널 모델에서는 단일 반송파 전송 방식과 마찬가지로 반사와 경로로 들어오는 신호의 전력 지연 프로파일이 반사 지연 시간보다 비트 오류율에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한, 다중 반송파 전송 방식도 단일 반송파 전송 방식과 마찬가지로 등화기를 사용하여 채널을 보상해 줄 필요가 있음을 알 수 있다.

References

[1] J.-S. Kang, The Transition Period, Korea's Security Strategy and Defense Reform for the Implementation of National Value," Pyongdan Munhwasa, 2005. ("전환기, 국가가치 구현을 위한 한국의 안보전략과 국방개혁," 평단문화사)

[2] J.-M. Chung, K.-C. Park, T.-Y. Won, U.-H.

Oh, D.-C. Ko, S.-J. Hong, C.-B. Yoon, H. Kim, and U.-Y. Pak, "Standardization strategy for the image and intelligence common datalink," *J. Korean Inf. Commun. Mag.*, vol. 28, no. 4, pp. 41-50, Apr. 2011.

[3] Y.-j. Ryu, J.-h. Ryu, and U.-y. Pak, "Aeronautical link availability analysis for the multi-platform image & intelligence common data link," *J. KICS*, vol. 37C, no. 10, pp. 965-976, Oct. 2012.

[4] M. Nakagami, "The m-Distribution—A general formula of intensity distribution of rapid fading," in *Statistical Methods of Radio Wave Propag.*, W.C. Hoffman (ed.), pp. 3-36, Pergamon Press, 1960.

[5] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, no. 7, pp. 673-680, Jul. 1977.

[6] A. Aragon-Zavala, J. L. Cuevas-Ruiz, and J. A. Delgado-Penin, *High-Altitude Platforms for Wireless Communications*, Wiley, 2008.

[7] T. C. Tozer and D. Grace, "High-altitude platforms for wireless communications," *Elec. & Commun. Eng. J.*, vol. 13, no. 3, pp. 127-137, Jun. 2001.

[8] J.-M. Park and D.-S. An, "HAPS-related ITU-R Research and International R & D Trend", *J. IEIE*, vol. 36, no. 1, pp. 31-43, Jan. 2009. ("HAPS관련 ITU-R 연구 및 국제 연구 개발 동향")

[9] Iskandar and S. Shimamoto, "The channel characterization and performance evaluation of mobile communication employing stratospheric platform," *IEEE/ACES Int. Conf. Wireless Commun. and Appl. Computat. Electromagnetics, 2005.*, pp. 821-831, Apr. 2005.

[10] A. Zajic, *Mobile-to-Mobile Wireless Channels*, Artech House, 2013.

[11] B. Vucetic and J. Du, "Channel modeling and simulation in satellite mobile communication systems," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 10, no. 8, pp. 1209-1218, Oct. 1992.

[12] S. G. Shankar, K. V. Reddy, and K. V. Reddy, "Design and simulation of horn

antenna in x-Ku band for satellite communications,” *Int. J. Res. in Sci. and Technol.*, vol. 1, no. 10, Nov. 2014.

박 홍 석 (Hongseok Park)



2015년 2월 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 공학사
2015년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학부 석박사통합과정
<관심분야> 전자공학, 통신공학

김 동 현 (Donghyun Kim)



2009년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 공학사
2011년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 공학석사
2011년 6월~현재 : 국방과학연구소 연구원
<관심분야> 무선통신, 군통신, 데이터링크

심 재 남 (Jae-Nam Shim)



2012년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업
2012년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석박사통합과정
<관심분야> Femto-Caching, DoA 추정, 5세대 이동통신 시스템

김 동 구 (Dong Ku Kim)



1983년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과 공학사
1985년 : U.S.C. Dept. of Electrical Engineering 공학석사
1992년 : U.S.C. Dept. of Electrical Engineering 공학박사
1994년~현재 : 연세대학교 공과대학 전기전자공학부 정교수
<관심분야> 5세대 이동통신, 5G V2X, 측위 기술, 압축센싱, 5세대 MIMO 기술