

성층권 통신을 위한 로그노말 라이시안 페이딩 채널에서의 BPSK 시스템 성능

안도섭*, 구본준*, 유문희*, 강병권**

* 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 위성통신시스템연구부

**순천향대학교 공과대학 정보기술공학부

Performance of BPSK System over Log-Normal Rician Fading Channel for Stratospheric Communication

Do-Seob Ahn*, Bon-Jun Ku* , Moon-Hee You* and Byeong-Gwon Kang**

*Satellite Communications System Department

ETRI Radio & Broadcasting Technology Laboratory

161 Kajong-Dong, Yusong-Gu, Taejon, 305-350, Korea

**Dept. of Information and Technology Engineering, Soonchunhyang University

Asan city, Choongnam 336-745, Korea

요 약

최근 초고속 멀티 미디어 통신망을 경제적으로 구성할 수 있는 하나의 방안으로서 성층권 통신 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 성층권 통신 시스템이란 대류권(Troposphere, 지상 10-20 Km) 위에 존재하는 성층권(Stratosphere, 지상 20-50 Km)에 통신 탑재체를 싣고 있는 비행선을 제공시켜 각종 무선 통신 서비스를 제공하는 시스템이다. 본 논문에서는 실측 데이터를 이용한 채널 모델을 적용하여 성층권 통신 채널을 새도우잉이 포함된 라이시안 채널로 모델링하였으며, 이러한 채널에서의 BPSK시스템의 성능을 분석하였다.

1. 서 론

최근 초고속 멀티 미디어 통신망을 경제적으로 구성할 수 있는 하나의 방안으로서 성층권 통신 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 성층권 통신 시스템이란 대류권(Troposphere, 지상 10-20 Km) 위에 존재하는 성층권(Stratosphere, 지상 20-50 Km)에 통신 탑재체를 싣고 있는 비행선을 제공시켜 각종 무선 통신 서비스를 제공하는 시스템이다. 비행선이 제공하게 될 성층권의 주요 특징으로는 기상 조건이 안정되어 있고, 항공 관제 영역 위쪽에 위치하며, 필요한 경우에는 비행선을 착륙시켜 유지 보수할 수 있다는 장점이 있다. 또한 제한 사항으로는 환경 오염 방지를 위해

연소에 의한 추진이 금지되어 있다는 점이다.

현재 미국과 일본 등에서 개발하려고 하는 성층권 비행선은 전장 약 150-250 m 정도의 크기로 약 1 ton 정도의 탑재체를 싣고 있으며, 내부의 헬륨 가스를 사용하여 정점 체공을 위한 부력을 얻고, 성층권에서 바람 등의 영향에 대하여 자세 및 위치를 제어하기 위하여 전동기로 구동되는 프로펠러를 사용한다. 성층권 비행선에 요구되는 전력은 낮에는 비행선 표면에 장착된 태양 전지를 사용하고, 밤에는 내부에 장착된 연료 전지를 이용한다[1]. 본 논문에서는 Corraza[2]가 사용한 방법을 이용하여 측정 데이터에 근거한 채널 모델을 적용하고, BPSK 변조 방식을 사용하였을 경우를 가정하여 성능을 계산한다.

II. 성층권 통신 시스템

성층권 통신 시스템은 일명 HAPS (High Altitude Platforms)라고도 하며, 비행기나 비행선이 성층권의 일정 위치에 채공한다. 일반적으로 지상 20-22 Km에서 동작하며, 지상망에 비하여 규모가 적은 장비로 지상의 많은 사용자에게 서비스 할 수 있는 잠재적 능력을 갖추고 있다.

마치 셀룰러 시스템과 같이 비행선과 지상의 사용자 단말기간에 통신이 이루어지며, 지상의 사용자 단말기들은 도심(urban), 교외(suburban), 시골(rural) 지역 등에 위치할 수 있다.

III. 채널 모델

3.1 확률 분포 함수

본 절에서는 Corazza[2]논문에서 소개되었던 로노말 새도우잉이 포함된 라이시안 페이딩 채널 모델과 그 수학적 표현에 대하여 간략하게 소개하였다. 우선 수신된 신호의 포락선에 대한 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$P_r(r) = \int_0^\infty P(r|S)P_s(S)dS \quad (1)$$

식 (1)에서 $p(r|S)$ 는 어떠한 값의 새도우잉 S에 조건된 라이시안 확률 밀도 함수이다.

$$p(r|S) = 2(K+1) \frac{r}{S^2} \exp\left[-(K+1)\frac{r^2}{S^2} - K\right] \cdot I_0\left(2\frac{r}{S}\sqrt{K(K+1)}\right) \quad (r \geq 0) \quad (2)$$

여기서, I_0 는 제1종 0차 modified Bessel 함수이고, K는 Rice factor이다. 새도우잉 S는 다음과 같은 lognormal 분포를 하며, 그 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$P_s(S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi h\sigma}S} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln S - \mu}{h\sigma}\right)^2\right] \quad (S \geq 0) \quad (3)$$

단, $h=(\ln 10)/20$ 이고, μ 와 $(h\sigma)^2$ 는 정규화된 변수의 평균과 분산이다. 일반적으로 지상 채널에서는 σ 를 'dB spread' 라고 한다. 채널 모델을 나타내는 수식 (1)-(3)을 만족하는 신호의 포락선은 두 개의 독립적인 과정(process)의 곱으로 해석할 수 있다. 즉, 이라고 하면 R은 Rice process, S는 lognormal process이다. R과 S는 서로 독립적이므로 다음과 같은 수식이 성립한다 [3].

$$P_r(r) = \int_0^\infty \frac{1}{S} P_r\left(\frac{r}{S}\right) P_s(S) dS = \int_0^\infty \frac{1}{R} P_s\left(\frac{r}{R}\right) P_R(R) dR \quad (4)$$

수식 (1)과 (4)를 비교하면,

$$P(r|S) = \frac{1}{S} P_R\left(\frac{r}{S}\right) = \frac{r}{\sigma_R^2 S^2} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{S^2 \sigma_R^2} + 2K\right)\right] \cdot I_0\left(\frac{r}{S \sigma_R} \sqrt{2K}\right), \quad (r \geq 0) \quad (5)$$

여기서, $\sigma_R^2 = 1/2(K+1)$ 이다. 수식 (4)에서 $K \rightarrow \infty$ 이고, $\sigma \rightarrow \infty$ 이면 페이딩이 존재하지 않는다. 포락선에 대한 누적 확률 분포 함수(cumulative distribution function ; c.d.f.)는 식 (6)과 같이 얻을 수 있다.

$$P_r(r_0) = \Pr(r < r_0) = \int_0^{r_0} \int_0^\infty \frac{P_s(S)}{S} P_R\left(\frac{r}{S}\right) dS dr = 1 - E_S\left\{Q\left(\sqrt{2K}\frac{r_0}{S}\sqrt{2(K+1)}\right)\right\} \quad (6)$$

여기서, $E_S\{\}$ 는 S에 대한 평균이며, Q는 Marcum Q 함수이다.

3.2 채널 모델의 경험적 수식

Corazza[2]가 제시한 경험적 수식들은 그의 논문에서 그 정확성이 입증되었다. 본 논문에서는 그가 제안한 수식을 식 (7) - (9)와 같이 항의 개수를 증가시켜 변형한 보다 정확한 수식을 사용하였으며, 그 데이터의 정확성은 이미 발표된 바 있다[4]. 이와 같은 경험적 수식을 얻기 위하여 사용한 측정 데이터는 ICO와 Globalstar 등에서 발표한 자료를 이용한 것이다. 양각을 라고 하면, 양각 범위에서의 수식은 다음과 같다. 아래의 수식을 이용하여 계산한 결과가 커질수록 K가 커지고, σ 는 작아진다.

$$K(a) = K_0 + K_1 a + K_2 a^2 + K_3 a^3 + K_4 a^4 \quad (7)$$

$$\mu(a) = \mu_0 + \mu_1 a + \mu_2 a^2 + \mu_3 a^3 + \mu_4 a^4 \quad (8)$$

$$\sigma(a) = \sigma_0 + \sigma_1 a \quad (9)$$

아래의 표 1은 논문 [4]에서 제안된 결과로서 수식 (7) - (9)에서의 계수값이다.

위에서 언급한 바와 같이 이 계수값들의 적합성은 이미 입증되었으므로 본 논문에서는 이 계수들을 이용하여 결과적인 K, μ , σ 들을 구한다.

표 1. 제안된 페이딩 모델에서의 계수값[4]

파라미터계수	개방지역	시골지역	도심지역
K0	3.8286	1.8768	6.256E-01
K1	0.9057	-0.0309	-1.03E-02
K2	-0.0049	0.0004	1.333E-04
K3	0.0	3.0E-05	1.0E-05
K4	0.0	-1.0E-07	-3.333E-08
0	0.0	-2.3994	-2.06225
1	0.0	0.1245	3.26215E-02
2	0.0	-0.0024	2.18705E-04
3	0.0	2.0E-05	-1.684E-05
4	0.0	-6.0E-08	1.457E-07
0	0.0	4.5	6.75
1	0.0	-0.05	-0.075

표 2의 결과는 표 1의 값들을 식 (7) - (9)에 적용하여 얻은 결과이다. 표 2의 결과를 사용하면, 도심 지역, 시골 지역, 개방 지역 등에서의 채널 모델이 결정되며, 이러한 채널에서의 BPSK 시스템의 비트 오류율을 계산할 수 있다. 결과적인 비트 오류율을 계산할 수 있는 수식은 다음과 같이 주어진다.

$$Pe = \int_0^\infty \int_0^\infty Q\left(\sqrt{\frac{2r^2 E_b}{N_0}}\right) \cdot 2(K+1) \frac{r}{S^2} \cdot \exp\left[-(K+1) \frac{r^2}{S^2} - K\right] \cdot I_0\left(\frac{2r}{S} \sqrt{K(K+1)}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi h\sigma S}} \exp\left[\frac{-1}{2} \left(\frac{\ln S - \mu}{h\sigma}\right)^2\right] dS dr \quad (10)$$

여기서 Q 함수는 페이딩된 신호 포락선 r과 신호대 잡음비 E_b/N_0 에 조건된 BPSK 시스템의 성능을 나타낸다. 또한, I_0 는 first kind zero order modified Bessel 함수로서 원래 Rician 확률 밀도 함수에 포함된 항이다.

IV. 성능 계산 결과

본 절에서는 식 (10)을 이용하여 시스템 성능을 계산하였다. 계산은 위에서 언급한 세 가지 종류의 지역 즉, 도심 지역, 시골 지역, 개방 지역에 대하여 각각 3가지 양각에 대하여 계산함으로써 모두 9가지 경우의 결과를 얻을 수 있었다. 각 경우에 사용한 파라미터 값은 표 2와 같으며, 성능 결과는 그림 1에서 4까지에서 나타내었다.

표 2. 지역 종류에 따른 양각 $\alpha = 20^\circ, 45^\circ, 80^\circ$ 에서의 파라미터 결과적인 K, μ, σ 계산 결과

개방지역	시골지역	도심지역
K = 19.983 $\mu = 0$ $\sigma = 0$	K = 1.64 $\mu = -0.719$ $\sigma = 3.5$	K = 0.548 $\mu = -1.43$ $\sigma = 5.25$
K = 34.663 $\mu = 0$ $\sigma = 0$	K = 3.62 $\mu = -0.0804$ $\sigma = 2.25$	K = 1.21 $\mu = -1.09$ $\sigma = 3.375$
K = 44.925 $\mu = 0$ $\sigma = 0$	K = 13.2 $\mu = -0.017$ $\sigma = 0.5$	K = 4.41 $\mu = -0.707$ $\sigma = 0.75$

그림 1은 양각이 45도인 경우, 세 가지 영역에 대하여 성능을 구하여 비교한 것이다. 예상할 수 있는 바와 같이 개방 지역의 성능이 가장 좋으며, 도심 지역의 성능이 가장 열악하다. 데이터 통신을 위한 $BER=10^{-6}$ 인 경우를 고려하면, 개방 지역과 시골 지역간에도 20dB의 성능차가 존재한다. 또한, $BER=10^{-3}$ 의 음성 통신을 고려하면 개방 지역과 시골 지역간에는 16dB정도, 시골 지역과 도심 지역간에는 약 20dB의 성능차가 존재한다. 한편, 그림 2, 3, 4는 각각 개방 지역, 시골 지역, 도심 지역에서 양각을 20, 45, 80도로 변화시키면서 성능을 계산한 것이다.

그림 2의 개방 지역인 경우, 양각에 따른 성능차가 크지 않다. $BER=10^{-6}$ 을 기준으로 한 경우, 세 가지 양각 간의 성능 차이는 1-2dB에 불과하다. 그림 3은 시골 지역의 경우이다. 세 가지 경우의 지역중에서 양각에 의한 성능차가 가장 크다. 이러한 지역에서는 사용자의 이동에 의한 양각의 변화에 따라 성능이 급격히 변화한다는 것을 예상할 수 있다. $BER=10^{-3}$ 인 경우를 고려하면, 각 경우간에 약 15dB의 성능차를 볼 수 있다. 그림 4는 도심 지역의 경우로서 성능 차이가 비교적 적으며, 대체로 성능이 열화되어 있음을 볼 수 있다. 양각이 80도인 경우 신호대 잡음비가 증가함에 따라 성능이 급격히 향상된다. 조건이 $BER=10^{-6}$ 인 데이터 통신을 위해서는 매우 큰 신호대 잡음비가 필요함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 실제 측정된 데이터에 근거한 채널 모델을 이용하여 BPSK 통신의 성능을 계산하였다. 세 가지 종류의 지역 즉, 도심 지역, 시골 지역, 개방 지역에 대하여 각각 3가지 양각에 대

하여 계산함으로써 모두 9가지 경우의 결과를 얻을 수 있었으며, 이들 데이터는 성층권 통신 시스템의 성능을 예측하는데 기본적인 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 안도섭, 백동철, 구본준, 박광량, “성층권 통신 시스템 기술 및 국내의 개발 동향” 주간기술동향 pp. 1-16, 2000년 1월호, 한국전자통신연구원.
- [2] G. E. Corazza and F.Vatalaro, “A statistical model for land mobile satellite channels and its application to nongeostationary orbit systems,” *IEEE Trans. Vehic. Tech*, vol 43, no. 3, pp.738-742, Aug. 1994.
- [3] A. Papoulis, *Probabilities, Random Variables and Stochastic Processes*, New York: McGraw Hill, 1991, 3rd ed.
- [4] M. H. You, S. K. Park and S. I. Lee, *Fading channel modeling for non-geostationary orbit mobile satellite communication systems*, *Jour. of the Korea Institute of Telematics and Electronics*, Vol. 35-S, No. 11, 1998.
- [5] C. Loo, *A statistical model for land mobile satellite link*, *IEEE Trans. Vehic. Tech*, vol 34, pp.122-127, Aug. 1985.
- [6] J. Proakis, *Digital Communications*, Third Ed., McGraw-Hill, 1995.

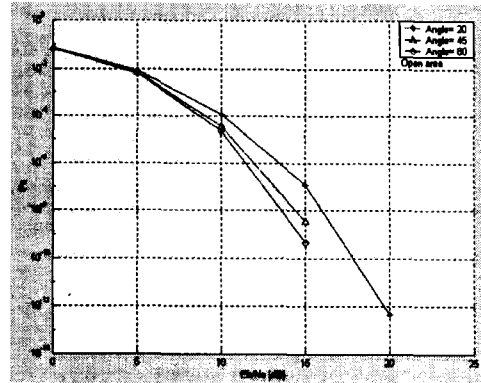


그림 2. 개방 지역에서 세가지 종류의 양각에 따른 성능.

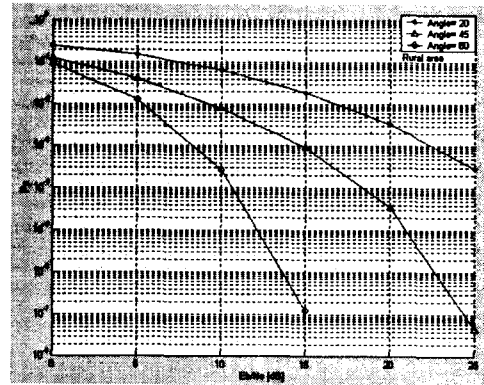


그림 3. 시골 지역에서 세가지 종류의 양각에 따른 성능.

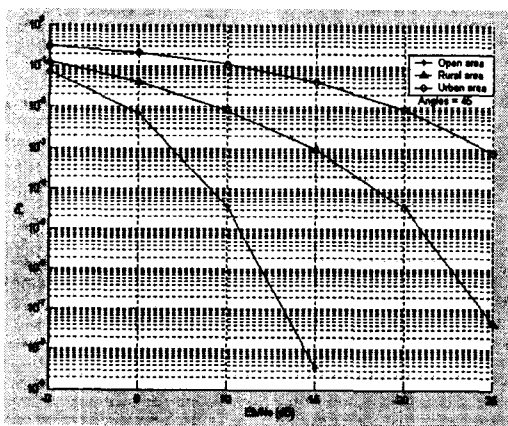


그림 1. 양각이 45도일때 세가지 종류의 지역에 따른 성능

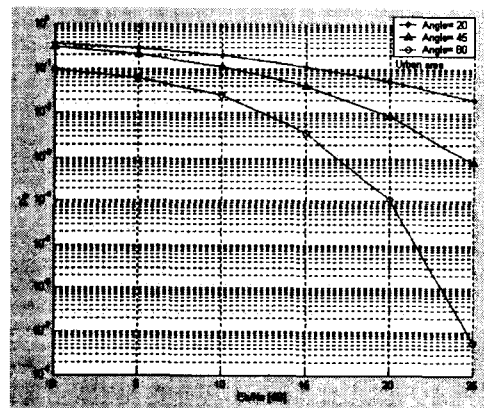


그림 4. 도심 지역에서 세가지 종류의 양각에 따른 성능.