

라이시안 로그노말 페이딩 채널 모델에서 채널 부호를 사용한 이동 성층권 통신 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of a Mobile Stratospheric Communication System with Channel Codings over Rician Log-Normal Fading Channel Models

강 병 권

순천향대학교 공과대학 정보기술공학부

Byeong-Gwon Kang

Department of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

요 약

최근 들어 개인 이동 통신 또는 대용량 고속 통신의 서비스 향상을 위하여 성층권 통신에 대한 관심이 높아지고 있다. 실제로 ITU에서는 성층권 통신 시스템을 IMT-2000의 지상 기지국 또는 중계국으로 사용하는 것에 대한 가능성을 지속적으로 연구하고 있는 상황이다[1]. 그러나, 이러한 성층권 통신은 실제로 채널을 측정할 데이터가 없어 정확한 성능 예측이 어렵고, 성층권에 시험용 비행선을 위치시키는 것도 막대한 예산이 필요하다. 본 논문에서는 성층권의 채널 모델로서 Corazza[2]가 제안하고, 유문희[3]등에 의하여 개선된 채널 데이터를 사용하여 라이시안 로그 노말 페이딩 채널을 모델링하고, 이러한 채널에서의 이동 성층권 통신 시스템의 성능을 평가하고자 한다. 사용한 통신 방식은 BPSK 변조 방식이며, 개방 지역(open area), 시골 지역(rural area), 도심 지역(urban area)의 경우에 대하여 각각 세 가지 양각, 즉 이동체에서 비행선을 바라본 각도 20°, 45°, 80°에 대하여 성능을 구하였다. 또한, 각 경우에 대하여 해밍 부호(7,4), BCH 부호(15,7)와 제한길이(constraint length)가 3이고 부호화율이 R=1/2인 컨볼루션 부호 등을 적용하여 성능의 향상 효과를 분석하였다.

Abstract

There have been increased concerns on mobile stratospheric communication system(SCS) for the purpose of advanced service of personal and high speed communication systems. In fact, this SCS is considered and studied for IMT-2000 service by ITU. Although, it is important to make accurate channel model for prediction of the SCS performance, there is no measured channel data in this system. Thus, in this paper, we estimate the performance of SCS by use of channel model provided by Corazza[2] and modified by You[3]. And also, the effects of channel codings on system performance are analyzed by deriving bit error performance based on realistic Rician log-normal fading channel models. The performance results are divided into three kinds of areas with three kinds of elevation angles 20°, 45°, and 80°. And also the effects of forward error correction channel codings on system performance with Hamming(7,4), BCH(15,7) and convolutional code of constraint length 3 and code rate R=1/2.

Key words : stratospheric communication, Rician, log-normal fading, channel coding

I. 서론

최근 우리가 사용하고 있는 PCS, 셀룰러, IMT-2000 등 개인 이동 통신 서비스에 대하여 데이터의 고속화와 대용량화가 요구되고 있다. 이를 해결하기 위한 하나의 방안으로 성층권 통신 시스템이 고려되고 있다. 성층권 (stratosphere : 지상 20-50 km) 통신이란 일명 HAPS(high altitude platforms) 시스템이라고도 하며, 지상 약 20-22km 정도의 상공에 비행기 또는 비행선 등을 위치시키고 이를 이용하여 구성된 통신 시스템을 말한다. 위성 통신에 비하여 지상에 가까우므로 소모 전력의 절감이 가능하고, 지상 이동통신에 비하여는 하나의 비행선으로 보다 넓은 지역을 커버할 수 있다는 장점이 있다. 또 다른 장점으로서는 지상에 장비를 설치할 때보다 더욱 용이하게 장비의 설치가 가능하여 시간대별로 트래픽이 특정 지역에 집중되는 경우 비행선의 위치 이동 또는 안테나의 방향성을 이용하여 쉽게 트래픽의 분산 효과를 얻을 수 있다. 또한, 저궤도 위성 통신에서 보다 전파 지연이 적고, 위성의 빠른 이동으로 인한 도플러 효과에도 영향을 받지 않는다.

이와 같은 성층권 비행선과 지상 이동체와의 통신 채널은 가시 성분(line of sight)의 확보가 용이하므로 라이시안 페이딩(Rician fading)과 큰 물체에 의하여 가려지는 경우의 로그 노말 새도우잉(log-normal shadowing)으로 모델링 될 수 있다. Corazza[2] 등은 저궤도 위성으로부터의 채널 측정 데이터를 이용하여 경험적 채널 특성식을 제안하였으며, 유문희[3] 등은 이들 수식을 개선하여 개방 지역, 시골 지역, 도심 지역 등에 적합한 채널 특성식을 제안하였다. 본 논문에서는 이들 특성식을 이용하여 라이시안 로그 노말 확률 밀도 함수를 구성하고, BPSK 변조 방식을 사용한 경우를 가정하여 비트 오류를 구하였다. 개방 지역, 시골 지역, 도심 지역 등 세 가지 지역에서 이동체가 비행선을 바라보는 각도인 앙각의 종류를 20도, 45도, 80도 등 세 가지 경우로 고려하여 비트 오류를 구하였다. 또한, 매 경우마다 블록 코드인 해밍(7,4), BCH(15,7)와 제한길이(constraint length)가 3이고 부호화율이 R=1/2인 콘벌루션 코드를 적용하여 채널 코딩의 효과를 분석하였다.

II. 채널 모델

시스템의 성능 평가를 위하여 라이시안 로그 노말 페이딩의 영향을 고려한 확률 밀도 함수를 이용하여 다음과 같이 비트 오류 식을 유도할 수 있다[2]. 우선 수신된 신호의 포락선을 r 이라고 하면, 포락선에 대한 확률 밀도 함수는 식(1)과 같이 쓸 수 있다.

$$p_r(r) = \int_0^\infty p(r|S)p_s(S)dS \tag{1}$$

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

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

여기서, I_0 는 제1종 0차 변형된 Bessel 함수이고, K 는 Rice factor이다. 새도우잉 S 는 다음과 같은 lognormal 분포를 하며, 그 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

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

단, $h=(\ln 10)/20$ 이고, μ 와 $(h\sigma)^2$ 는 정규화된 변수의 평균과 분산이다. 채널 모델을 나타내는 수식 (1)-(3)을 만족하는 신호의 포락선은 두 개의 독립적인 과정(process)의 곱으로 해석할 수 있다. 즉, $r=RS$ 라고 하면 R 은 Rice process, S 는 lognormal process이다. R 과 S 는 서로 독립적이므로 다음과 같은 수식이 성립한다[4].

$$p_r(r) = \int_0^\infty \frac{1}{S} p_R\left(\frac{r}{S}\right) p_S(S) dS = \int_0^\infty \frac{1}{R} p_S\left(\frac{r}{R}\right) p_R(R) dR \tag{4}$$

수식 (1)과 (4)를 비교하면, 다음과 같은 결과를 얻는다.

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

여기서, $\sigma_R^2=1/2(K+1)$ 이다. 수식 (4)에서 $K \rightarrow \infty$ 이고, $\sigma \rightarrow 0$ 이면 페이딩이 존재하지 않는다. 포락선에 대한 누적 확률 분포 함수(cumulative distribution function ; c.d.f.)는 식 (6)과 같이 얻을 수 있다.

$$P_r(r_0) \equiv \Pr\{r < r_0\} = \int_0^{r_0} \int_0^\infty \frac{p_S(S)}{S} p_R\left(\frac{r}{S}\right) dS dr \tag{6}$$

III. 경험적 수식에 의한 시스템 성능

III.1 채널 모델의 경험적 수식

본 논문에서는 유문희 등이 Corazza[2]가 제시한 경험적 수식들로부터 항의 개수를 증가시켜 수식의 적용 가능한 범위를 다양화시킨 아래의 식 (7) - (9)를 사용하며, 그 수식의 정확성은 이미 논문에서 입증되었다[3]. 이동채에서 비행선을 바라보는 각을 양각이라고 하며, 수식에서는 이 양각을 α 로 표시하였고, 양각의 분포 범위는 0도에서 90도까지이다. 여기에서는 양각의 대표값으로 20도, 45도, 80도의 세 가지 경우를 고려하였다. 아래의 수식을 이용하여 계산한 결과 α 가 커질수록 K 는 커지고, σ 는 작아진다.

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

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

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

아래의 표 1은 수식 (7) - (9)에서의 계수값을 표시한 것이다. 위에서 언급한 바와 같이 이 계수값 들의 적합성은 이미 입증되었으므로 본 논문에서는 이 계수들을 이용하여 결과적인 K , μ , σ 등을 구한다.

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.

표 1. 제안된 페이딩 모델에서의 계수값[3]

파라미터계수	개방지역	시골지역	도심지역
K_0	3.8286	1.8768	6.256E-01
K_1	0.9057	-0.0309	-1.03E-02
K_2	-0.0049	0.0004	1.333E-04
K_3	0.0	3.0E-05	1.0E-05
K_4	0.0	-1.0E-07	-3.333E-08
μ_0	0.0	-2.3994	-2.06225
μ_1	0.0	0.1245	3.26215E-02
μ_2	0.0	-0.0024	2.18705E-04
μ_3	0.0	2.0E-05	-1.684E-05
μ_4	0.0	-6.0E-08	1.457E-07
σ_0	0.0	4.5	6.75
σ_1	0.0	-0.05	-0.075

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

여기서 Q 함수는 페이딩된 신호 포락선 r 과 신호대 잡음비 E_b/N_0 에 조건된 BPSK 시스템의 성능을 나타낸다. 또한, I_0 는 제 1종 0차 변형된 베셀 함수로서 원래 Rician 확률 밀도 함수에 포함된 항이다.

표 2. 지역 종류에 따른 양각 $\alpha = 20^\circ, 45^\circ, 80^\circ$ 에서의 파라미터 값

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

III. 2 채널 부호를 사용한 비트 오류

시스템에서 채널 부호를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 성능을 비교하기 위하여 채널 부호를 사용하지 않은 경우 전체 k 개의 심볼의 에너지와 채널 부호를 사용했을 경우의 전체 n 개의 심볼 에너지는 같다고 가정한다. 우선 블록 부호로서 (7,4) 해밍 부호와 (15,7) BCH 부호를 고려하였다.

전자는 한 블록에서 한 개의 오류를 정정할 수 있으며, 후자는 두 개의 오류를 정정할 수 있다.景觀적으로 복호하는 경우 비트오율 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_B = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^k i \binom{n}{i} P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \quad (11)$$

여기서 P_e 는 심볼의 오류 확률이며, n 은 부호화된 블록의 길이이고, t 는 오류 정정 능력이다. 한편 콘벌루션 부호에서는 제한 길이 3, 부호화율 1/2인 것을 사용하였고, 비트오율은 다음과 같은 상한을 갖는다[6].

$$P_C \leq \frac{(2[P_e(1-P_e)]^{0.5})^5}{(1-4[P_e(1-P_e)]^{0.5})^2} \quad (12)$$

여기서, P_e 는 심볼 오류 확률이며, P_C 는 콘벌루션 부호를 사용한 비트 오류이다.

IV. 성능 분석 결과

본 절에서는 식 (10), (11), (12)를 이용하여 시스템 성능을 계산하였다. 계산은 위에서 언급한 세 가지 종류의 지역 즉, 도심 지역, 시골 지역, 개방 지역에 대하여 각각 3가지 앙각을 고려하여 계산함으로써 모두 9가지 경우의 결과를 얻을 수 있었으며, 매 경우마다 채널 부호의 효과를 분석하였다. 각 경우에 사용한 파라미터 값은 표 2와 같으며, 성능 결과는 그림 1에서 9까지와 같다. 성능 결과는 수신 신호대 잡음비에 따른 비트 오류를 나타낸 것이다.

그림 1에서 3까지는 앙각 20도, 45도, 80도에 대한 개방 지역에서의 시스템 성능이다. 비트 오류 특성에서 볼 수 있듯이 이 지역에서는 방해물이나 간섭이 적고, 직접파 성분이 강하므로 다른 지역보다 양호한 성능을 보인다. 비트 오류 10^{-6} 을 기준으로 앙각의 증가에 따른 성능의 향상이 1-2 dB 정도이며, 채널 부호에 의한 성능 향상은 각 경우마다 5-6 dB 정도로 일정한 특성을 보인다. 시골 지역에 대한 성능을 그림 4, 5, 6에 제시하였다. 시골 지역의 경우 개방 지역에 비하여 비트 오류 10^{-6} 을 얻기 위하여 채널 부호를 사용하지 않은 경우 약 11 dB, 채널 부호를 사용한 경우 7-8 dB 정도의 신호대 잡음비의 향상을 필요로 한다. 앙각이 45도인 경우 채널 부호로 인한 이득은 7-10 dB로서 개방 지역의 경우보다 채널 부호의 효과가 커지며, 앙각이 80도인 경우는 채널 부호 이득이 4-6 dB로서 채널 환경이 열악할수록 채널 부호의 효과가 커짐을 알 수 있다. 특히, 앙각이 25도인 경우에는 신호대 잡음비 25 dB에서 3차(order, n order = 10^n 배)에 가까운 채널 부호 효과를 볼 수 있다. 그림 7, 8, 9에 도심 지역에 대한 성능을 나타내었다. 앙각이 20도인 경우, 채널 부호를 사용하지 않고는 신호대 잡음비 25dB에서 비트 오류 10^{-3} 이 보장되지 않아 음성 통신 조차도 어렵다는 것을 알 수 있다. 앙각이 45도인 경우 채널 부호를 사용한 경우에만 신호대 잡음비 25dB에서 비트 오류 10^{-6} 이 보장되어 데이터 통신이 가능하며, 2차내지 4차 정도의 성능 향상을 볼 수 있다. 또한 앙각이 80도인 경우에는 비트 오류 10^{-6} 에서 약 5dB이상의 부호 이득이 있음을 볼 수 있으며, 신호대 잡음비 20 dB에서 3차 이상의 성능 향상을 얻을 수 있다.

한편, 채널 코딩의 성능은 신호대 잡음비가 충분히 보장되어야 사용될 수 있으며, 특히 페이딩이 존재하는 채널에서는 가우시안 채널에서보다 더 큰 신호대 잡음비가 필요하다. 콘벌루션 부호를 사용하는 경우에는 부호의 특성

상 발생잡음을 랜덤화시킬 수 있는 인터리빙 등의 과정이 필요하며, 신호대 잡음비가 충분하지 않은 경우 블록 부호를 사용하는 경우보다 비트 오류 특성이 불안정함을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 실제 측정된 데이터에 근거한 채널 모델을 이용하여 성층권 통신의 성능을 평가하였다. 세 가지 종류의 지역 즉, 도심 지역, 시골 지역, 개방 지역에 대하여 각각 3가지 앙각에 대하여 계산함으로써 모두 9가지 경우의 결과를 얻을 수 있었으며, 각 경우마다 채널 부호의 효과를 분석하였다. 채널 부호를 적용한 결과, 개방 지역에서는 앙각에 무관하게 일정한 이득이 있는 반면, 시골 지역과 도심 지역 등의 앙각 45도 이하로서 채널 조건이 악화되는 상황에서는 채널 부호의 사용시 10dB이상의 이득이 있었으며, 앙각이 80도인 경우에는 채널 이득이 약 5dB 정도로 일정한 경향을 보였다. 이들 데이터는 성층권 통신 시스템의 성능을 예측하고 시스템을 설계하는데 기본적인 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

접수일자 : 2002. 10. 7

수정완료 : 2002. 10. 22

참고문헌

- [1] 안도섭, 구본준, 백동철, "성층권 통신 시스템 (HAPS) 국제 표준화 동향," 한국통신학회지, 제 7권, 제 7호, 2000.
- [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] 유문희 외, "비정지궤도 이동 위성 통신 시스템을 위한 페이딩 채널 모델," 대한 전자공학회 논문지, 제 35-S권, 제 11호, 1998.
- [4] A. Papoulis, *Probabilities, Random Variables and Stochastic Processes*, New York: McGraw Hill, 1991, 3rd Ed.
- [5] C. Loo, *A statistical model for land mobile satellite link*, *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol 34, pp.122-127, Aug. 1985.
- [6] B. Sklar, *Digital Communications*, Second Ed., Chapter 7.4, Prentice Hall, 2001.
- [7] 김혜영, 고봉진, 박무훈, "HAPS를 이용한 이동통신 시스템의 오수신 확률에 관한 연구," 한국통신학회 논문지, 제 27권, 제 4B호, 2002.

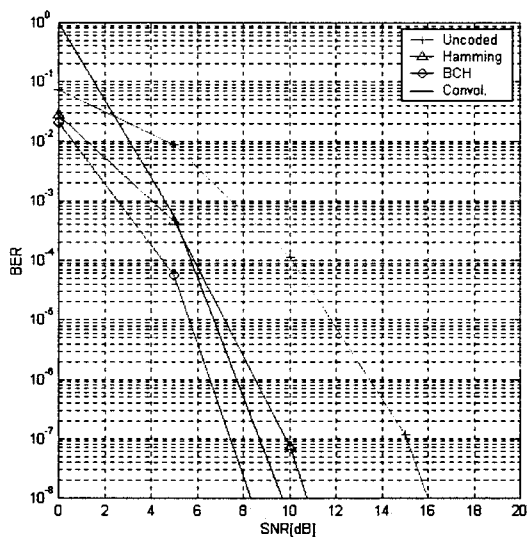


그림 1. 양각 20도에서 세 가지 채널 부호를 적용한 경우 개방 지역에서의 비트 오류
Fig. 1. BERs of open area with three kinds of channel codings at elevation angle = 20°

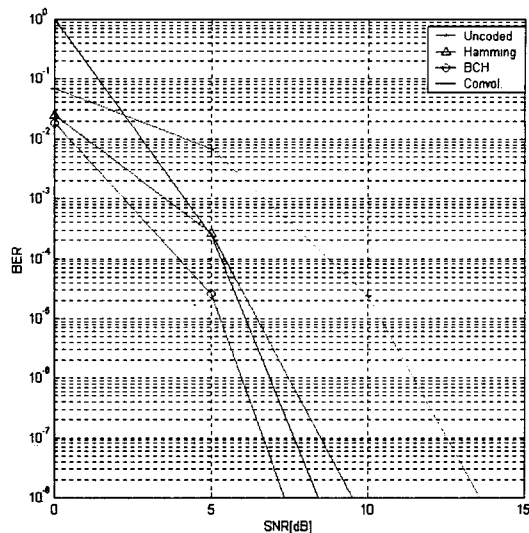


그림 3. 양각 80도에서 세 가지 채널 부호를 적용한 경우 개방 지역에서의 비트 오류
Fig. 3. BERs of open area with three kinds of channel codings at elevation angle = 80°

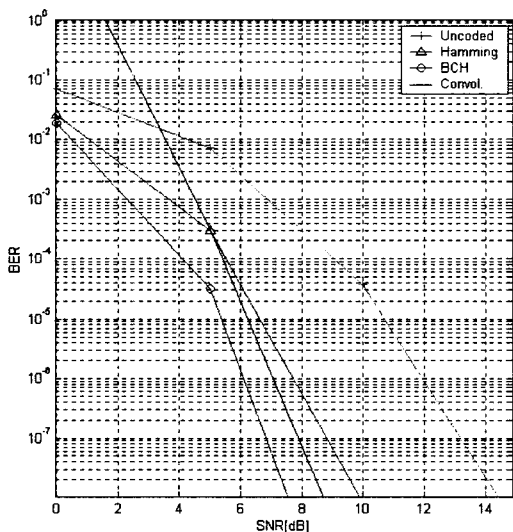


그림 2. 양각 45도에서 세 가지 채널 부호를 적용한 경우 개방 지역에서의 비트 오류
Fig. 2. BERs of open area with three kinds of channel codings at elevation angle = 45°

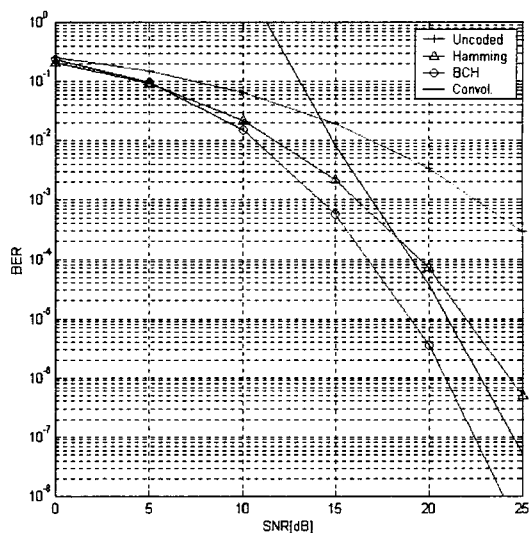


그림 4. 양각 20도에서 세 가지 채널 부호를 적용한 경우 시골 지역에서의 비트 오류
Fig. 4. BERs of rural area with three kinds of channel codings at elevation angle = 20°

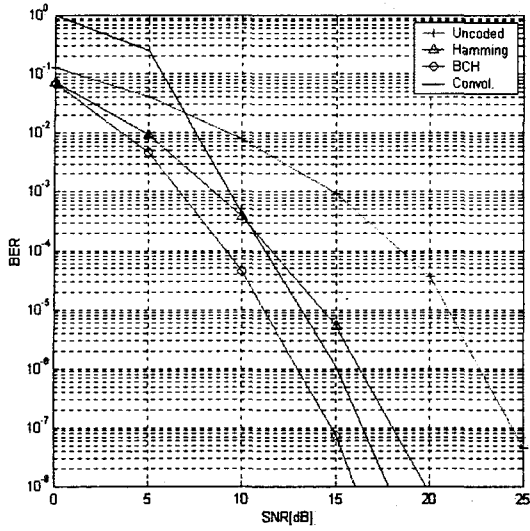


그림 5. 양각 45도에서 세 가지 채널 부호를 적용한 경우 시골 지역에서의 비트 오류
Fig. 5. BERs of rural area with three kinds of channel codings at elevation angle = 45°

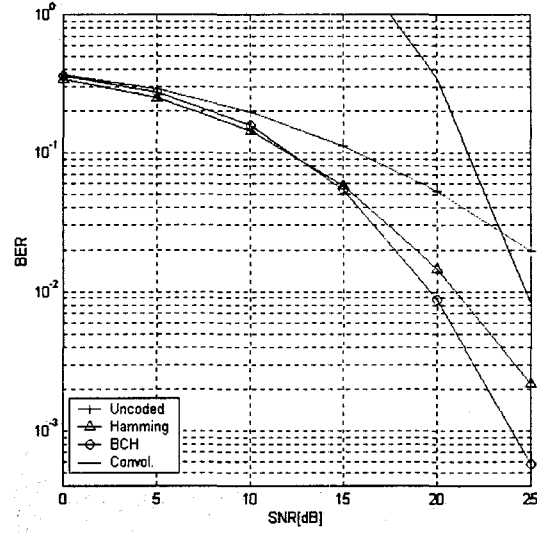


그림 7. 양각 20도에서 세 가지 채널 부호를 적용한 경우 도심 지역에서의 비트 오류
Fig. 7. BERs of urban area with three kinds of channel codings at elevation angle = 20°.

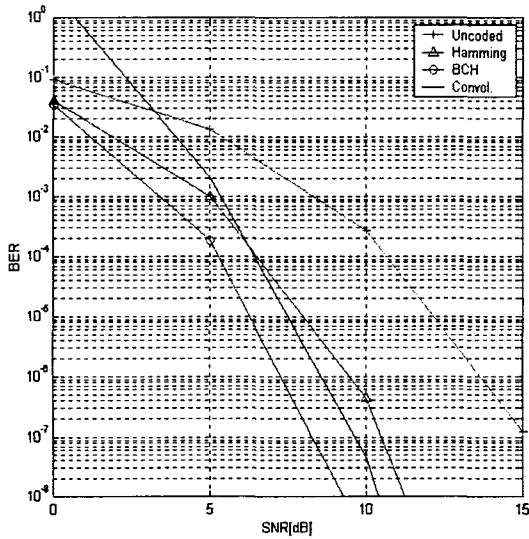


그림 6. 양각 80도에서 세 가지 채널 부호를 적용한 경우 시골 지역에서의 비트 오류
Fig. 6. BERs of rural area with three kinds of channel codings at elevation angle = 80°

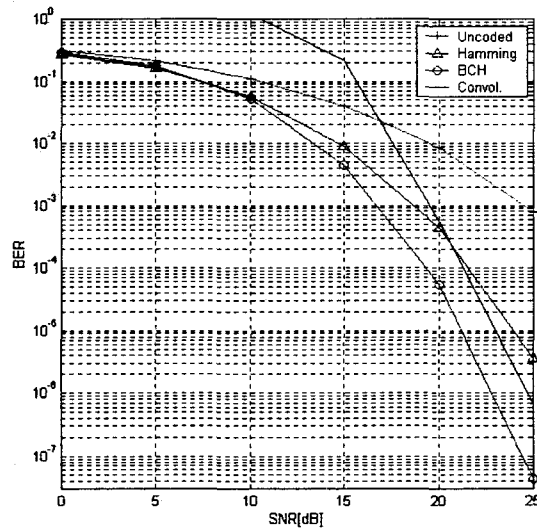


그림 8. 양각 45도에서 세 가지 채널 부호를 적용한 경우 도심 지역에서의 비트 오류
Fig. 8. BERs of urban area with three kinds of channel codings at elevation angle = 45°

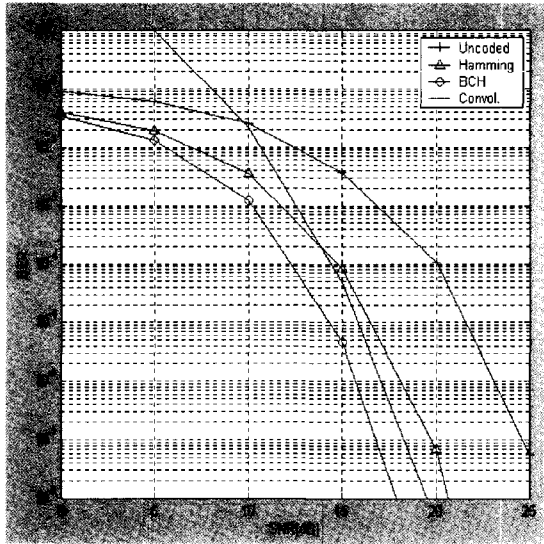


그림 9. 양각 80도에서 세 가지 채널 부호를 적용한
경우 도심 지역에서의 비트 오류

Fig. 9. BERs of urban area with three kinds of
channel codings at elevation angle = 80°



강 병 권 (Byeong-Gwon Kang)

準會員

연세대학교 전기공학과

(공학사, 1986년)

연세대학교 대학원 전기공학과

(공학석사, 1988년)

연세대학교 대학원 전기공학과

(공학박사, 1993년)

한국전자통신연구원 선임연구원 (1993년~1997년)

순천향대학교 정보기술공학부 조교수(1997 ~ 현재)