라이시안 페이딩과 임펄스 잡음이 존재하는 환경에서 선택 합성 다이버시티 기법과 길쌈 부호화 기법을 채용한 16 QAM 신호의 성능해석

Performance Analysis of Convolution coded 16 QAM Signal with Selective Combining Diversity in Rician Fading and Impulsive Noise Environments

김광락* 이호영* 김언곤**

Kim, Kwang-Rak **Lee, Ho-Young** **Kim, Eon-Gon**

ABSTRACT

In this paper, we analyzed the error rate performance of convolution coded 16 QAM signal in impulsive noise Environments.

We used convolution code and selective combining diversity for performance improvement.

We analyzed the error rate performance of 16 QAM signal in impulsive noise environments compared with gaussian noise environments.

As a result of analysis, there is a BER segment where the efficiency of system does not improve until which limit to raise a signal power potential from impulsive noise environment.

when the signal power potential which goes over this limit is supplied, BER efficiency improve much more.

1. 서론

현대의 통신 시스템에서는 급격히 증가하고 있는 통신량으로 인하여 오류 개선의 측면만큼이나 통신 채널에 대한 제한성의 중요성도 점차 강조되고 있다. 시스템의 오류를 개선을 목적으로 코딩 기법을 사용하며, 수신측에 다이버시티를 이용하여 통신상의 오류를 최소화하고 있다.[1]

그러나, 최근에 무선 통신 시스템에서 각종 전자기기의 급속한 발전으로 인해서 인공 잡음(전력선, 마이크로 웨이브 오븐, PC, 실내 기자재 및 기기 등등)으로 인한 임펄스성 잡음의 영향이 크게 증가되고 있다[2], 또한 임펄스성 잡음은 고속이동통신(기차, 차량 등등)환경에서 스파크성 잡음을 일으키게 된다. 이러한 스파크성 잡음은 통신환경에서 임펄스성 잡음으로 해석되어 진다. 잡음의 통계학적 특성은 기존에 논의되었던 가우스 잡음 환경에서와 다른 분석이 요구되며, 임펄스성 잡음을 보상하기 위한 기술이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 철도 등의 고속이동통신채널을 이론적으로 모델링하여 16 QAM 변조방식을 적용한 성능 개선 기법을 분석하여 최적의 시스템 구현 방안을 제시 하고자 한다.

특히, 열악한 무선 채널 환경에서 발생되는 영향을 줄임으로써 고품질의 서비스를 제공하기 위하여 IMT-2000 시스템에서는 여러 가지 새로운 기법들 중에서 채널 부호화 기법으로써 컨볼루션 코드와 터보 코드가 채택되었다.[1]

† 책임저자 : 비회원, 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학전공
E-mail :krowon@hanmail.net
TEL : 010-9775-2719 FAX : (042)821-1378
* 비회원, 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학전공
** 비회원, 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학전공
*** 비회원, 국립한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 교수

따라서 본 논문에서는 임펄스 잡음 채널에서 통신 용량 증대를 위해 사용하는 16 QAM 신호에 대해 컨볼루션 코드와 선택 합성 다이버시티를 사용하여 성능해석을 하고자 한다.

2. 본문

2.1 해석 모델

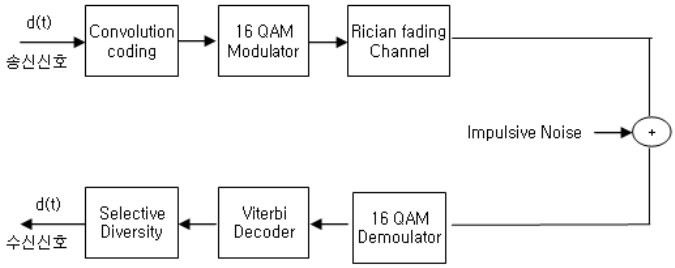

그림 1. 라이시안 페이딩 환경에서 선택 합성 다이버시티를 사용하여 길쌈 부호화 된 16 QAM 신호의 해석 모델(임펄스 잡음을 추가)

송신 데이터는 길쌈 부호기를 통과하게 된다. 이때, 길쌈 부호기를 통과한 데이터는 직/병렬 변환기를 거쳐 I, Q채널 신호로 나누어지고, 16 QAM 변조 단에서 변조되어 전송된다. 16 QAM 변조된 신호는 직접파와 반사파가 혼재하는 라이시안 페이딩(Rician fading) 과 임펄스 잡음이 부가되어 송신신호가 열화 되어 수신된다.

라이시안 페이딩과 임펄스 잡음에 의해 열화된 수신 신호는 16 QAM 복조 단에서 I, Q채널로 각각 분리, 복조된다. 복원된 I, Q채널의 비트는 병/직렬 변환기를 통과하여 길쌈 복호기에 입력되어 데이터가 복원 출력된다. 이 출력신호는 다시금 선택 합성 다이버시티를 거치게 되고 그 출력 신호와 송신신호를 비교하여 최종 오율을 검출하게 된다.

2.2 라이시안 페이딩 채널

수신된 신호가 다중경로 페이딩의 영향을 받아 반사파와 직접파 성분으로 구성되어 있다면, 수신된 신호의 진폭은 아래의 수식과 같은 라이시안 확률밀도 함수를 가지며, 이 페이딩을 라이시안 페이딩이라 부른다.[3]

$$p(\gamma) = \frac{\gamma}{\sigma^2}\exp\left[-\frac{\gamma^2 + D^2}{2\sigma^2}\right] I_0\left(\frac{\gamma D}{\sigma^2}\right) \qquad (1)$$

단, σ^2 : 반사파 전력

$D^2/2$: 직접파 전력

$I_0(\cdot)$: 0차의 제1종 변형 베셀 함수

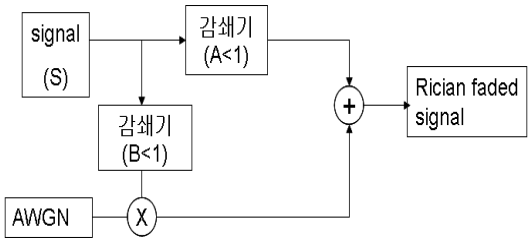

그림 2. 라이시안 분포 블록도

라이시안 페이딩 채널에서 페이딩의 심도를 나타내는 직접파대 반사파 전력비는 다음과 같이 정의된다.

$$K = D^2/2\sigma^2 \qquad (2)$$

또한 식(1)의 정규화된 신호 진폭 r에 대한 라이시안 페이딩의 확률 밀도 함수 $p(r)$은 식 (3)과 같고 라이시안 분포 곡선은 다음 그림 3 과 같다.

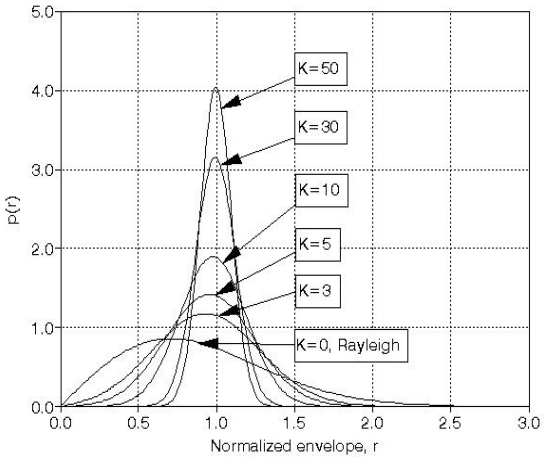

그림 3. 라이시안 분포 곡선

$$p(r) = 2r(K+1)exp\{-K - r^2(K+1)\} \cdot I_0(2r\sqrt{K(K+1)}) \qquad (3)$$

단, $r = \sqrt{\gamma/\Gamma}$: 정규화된 신호 진폭

2.3 길쌈 부호화

길쌈부호화는 블록 단위로 부호화가 실행되며, 과거의 정보 블록이 기억 소자에 의해 현재의 정보 블록에 영향을 미치기 때문에 구조는 복잡하지만 오류정정능력이 우수여 많이 사용되고 있다.[4] 전달 함수를 사용하여 비트 오율을 구하고 평균 비트 오율이 최소가 되는 부호를 채택한다. 부호율은 1/2이고 구속장이 5인 길쌈부호기를 사용한다. 길쌈 부호의 생성 다항식은 다음과 같다.

$$G_0(D) = 1 + D^3 + D^4$$
$$G_1(D) = 1 + D + D^3 + D^4 \qquad (4)$$

전달 함수는 다음과 같다.

$$T(D,N) = D^7N + D^7N^3 + 2D^8N^2 + 2D^8N^4 + 2D^9N^3 + 4D^9N^5 + D^{10}N^2 + 6D^{10}N^4 + 8D^{10}N^6 + \cdots \qquad (5)$$

2.4 임펄스 잡음

임펄스성 잡음이란 평균전력에 비해 높은 전압치를 가지는 펄스가 진폭이나 위상 혹은 발생 시간 면

에서 불규칙하게 발생하는 것을 말하며 디지털 통신에 미치는 영향이 크다.

열 잡음과 같은 가우스잡음이 에르고딕 과정(Ergodic process)인데 반해 임펄스성 잡음은 비에르고딕 과정이므로 일반적인 정규 분포식에 의한 해석이 어렵다. 이에 대한 해석하는 방법으로서는 가우스 잡음을 배제시키고 오직 임펄스성 잡음만의 모델을 세워 해석하는 방법[5]과 가우스 잡음을 포함시켜 무한개의 가우스분포가 혼합된 형태로 해석하는 방법이 있는데, 후자의 방법이 보다 널리 이용되고 있으므로 본 논문에서도 후자의 방법을 택한다.

가우스 잡음을 포함하는 임펄스성 잡음의 포락선에 대한 확률 밀도 함수는 Middleton에 의해 이론과 실험에 의해 정리되었으며, Middleton의 임펄스 잡음에는 3가지 모델이 있다. 즉, 수신기 대역 필터의 통과 대역폭보다 좁은 주파수 성분을 가지는 협대역 잡음 A급과 수신기 대역 필터의 통과 대역폭보다 넓은 주파수 성분을 가져서 임펄스의 과도 응답 특성 즉, 신호 지연이나 감쇠, 진동 등이 생겨 수신기에 비교적 장시간 영향을 미치는 광대역 잡음 B급이 있고 A급과 B급의 임펄스가 혼합된 형태의 C급이 있다.

A급 임펄스성 잡음의 순시 포락선에 대한 확률 밀도 함수는 다음과 같다.[6][7]

$$P_{I_{IMP}}(N) = \frac{e^{-A}}{W}\sum_{j=0}^{\infty}\frac{A^j}{j!}\frac{N}{\sigma_j^2}exp\left(-\frac{N^2}{2W\sigma_j^2}\right), N \geq 0 \qquad (6)$$

단, $W(=\sigma_{I_G}^2+\Omega_I)$; 전체 잡음 전력[가우스 잡음전력($\sigma_{I_G}^2$)과 임펄스성 잡음 전력(Ω_I)의 합],
A ; 임펄스 지수(단위 시간당 임펄스가 차지하는 비율),
N ; 임펄스성 잡음의 순시 포락선,
$\sigma_j^2 = (j/A+\Gamma')/(1+\Gamma')$,
$\Gamma'(=\sigma_G^2/\Omega_I)$; 가우스 잡음 대 임펄스성 잡음 전력비.

식 (6)을 직교 전개하여 동상 성분과 직교 성분으로 나누어 표현 하면 다음과 같다.[6][7]

$$P_{I_{IMP}}(x) = e^{-A}\sum_{j=0}^{\infty}\frac{A^j}{j!}\frac{1}{\sqrt{2\pi W\sigma_j^2}}exp(-x^2/2W\sigma_j^2) \qquad (7)$$

$$P_{I_{IMP}}(y) = e^{-A}\sum_{j=0}^{\infty}\frac{A^j}{j!}\frac{1}{\sqrt{2\pi W\sigma_j^2}}exp(-y^2/2W\sigma_j^2) \qquad (8)$$

이를 정규화된 진폭 $z(=x/\sqrt{2W})$ 에 대하여 나타내면 그림 4 와 같다.

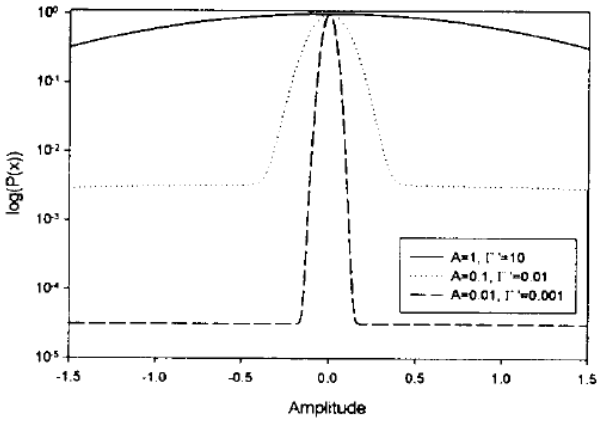

그림 4. A, Γ' 에 따른 정규화된 임펄스성 잡음의 확률 밀도 함수

임펄스성이 약한 환경은 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값이 서서히 감소하지만, 임펄스성이 강한 환경이 되면 0에 근접한 진폭 성분이 주를 이루며 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값은 일정하게

나타난다. A가 0.01, Γ’ 가 0.001 인 환경은 임펄스성이 강한 환경을 나타내고, A가 1, Γ’ 가 100인 환경은 가우스 잡음 환경에 근접하는 환경이다.

2.5 선택 합성 다이버시티수신기법에 의한 성능 개선

선택 합성 다이버시티 기법은 서로 무상관에 가까운 페이딩 수신파로부터 페이딩의 영향을 적게 받은 수신파를 선택하는 방식으로 위상 검출기가 필요 없고 동일한 신호를 2개 이상의 가지로 수신 했을 때 주기적으로 각 가지의 입력 순시 신호 전력 대 잡음 전력비를 비교하여 페이딩의 영향을 적게 받은 신호를 선택하는 검파 후 합성 다이버시티 기법으로 수신 구조가 간단하다는 장점이 있어 많이 사용된다. 라이시안 페이딩 환경에서 선택 합성 다이버시티 수신시 출력 순시 CNR의 확률밀도 함수는 다음과 같다.[3]

$$
\begin{aligned}
p_{SC}(\gamma) = L\left(\frac{K+1}{\Gamma_i}\right)\exp\left(-K-\frac{(K+1)\gamma}{\Gamma_i}\right) \\
\cdot I_0\left(2\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma}{\Gamma_i}}\right) \\
\cdot \left\{1-exp(-K)\sum_{n=0}^{\infty}\frac{K^n}{n!}\right. \\
\left.\cdot \frac{\Gamma\left(n+1,\frac{(K+1)\gamma}{\Gamma_i}\right)}{\Gamma(n+1)}\right\}^{L-1}
\end{aligned}
\tag{9}
$$

단, Γ_i : 다이버시티 입력 평균 신호 대 잡음 전력비

$\Gamma(\cdot,\cdot)$: 불완전 감마함수

$\Gamma(\cdot)$: 감마함수

3. 시뮬레이션 해석 및 결과

본 논문의 성능 해석은 라이시안 페이딩 환경에서 길쌈 부호화 기법을 사용하고 선택 합성 다이버시티 수신기법을 채용하여 성능을 해석하였다. 성능 해석시 직접파 대 반사파 전력비(K), 임펄스지수(A, Γ’)를 파라미터로 하여 이론 계산한 시뮬레이션 해석 결과를 그림 5에서 10까지 나타내었다.

그림 5는 가우스 잡음(A=1, Γ’ =100)과 라이시안 페이딩이 혼재하는 상황에서의 오율성능이다. 또한 반사파 전력비(K)의 값을 10, 20 ,30 으로 변화시켜서 페이딩의 영향이 성능에 미치는 정도를 분석하였다. 가우시안의 잡음의 상황(A=1, Γ’ =100)에서는 K=10에서 33[dB], K=20에서 27[dB], K=30에서 25[dB]일때 음성통신에 필요한 오율(10^{-3})에 도달하는 것을 볼 수 있다.

그림 6는 임펄스 잡음(A=0.01, Γ’ =0.01)과 라이시안 페이딩이 혼재하는 상황에서의 오율성능이다. 또한 반사파 전력비(K)의 값을 10, 20 ,30 으로 변화시켜서 페이딩의 영향이 성능에 미치는 정도를 분석하였다. 가우시안의 잡음의 상황(A=0.01, Γ’ =0.01)에서는 K=10에서 32[dB], K=20에서 26[dB], K=30에서 25[dB]일때 음성통신에 필요한 오율(10^{-3})에 도달하는 것을 볼 수 있다. 또한 임펄스 잡음에서 24[dB]이하에서는 공급되는 신호전력에 상관없이 오율이 유지되는 Error floor 구간이 있음을 확인 할 수 있다.

그림 7 는 라이시안 페이딩의 영향을 고정하고(K=10) 컨볼루션 코드화를 채용했을 시에 대한 오율성능이다. 여기서의 파라미터는 임펄스 지수의 값으로 하였다. 먼저 A=1, Γ’ =100은 가우시안 잡음의 환경에서의 성능해석이다. 이것은 임펄스 잡음의 영향이 없기 때문에 가우시안 분포를 하면서 27.5[dB]에서 음성통신에 필요한 오율(10^{-3})에 도달하는 것을 볼 수 있다. 둘째로 A=0.1, Γ’ =0.1은 가우시안 잡음의 환경과 임펄스 잡음의 환경이 공존 했을 시의 성능해석이다. 이것은 임펄스 잡음의 영향과 가우

시안 잡음의 영향을 동시에 받기 때문에 중간단계의 값을 갖게 된다. 마지막으로 A=0.01, Γ'=0.01은 임펄스 잡음의 환경에서의 성능해석이다. 이것은 가우스 잡음의 영향이 없기 때문에 24[dB]까지 Error floor 구간을 형성하면서 27.5[dB]에서 음성통신에 필요한 오율(10^{-3})에 도달하는 것을 볼 수 있다. 또한 27[dB]이상에서는 잡음이 시스템에 미치는 영향이 거의 없어짐을 알 수 있다.

그림 8 는 라이시안 페이딩의 영향을 고정하고(K=20) 컨볼루션 코드화를 채용했을 시에 대한 오율 성능이다. 여기서의 파라미터는 임펄스 지수의 값으로 하였다. 먼저 A=1, Γ'=100은 가우시안 잡음의 환경에서의 성능해석이다. 이것은 임펄스 잡음의 영향이 없기 때문에 가우시안 분포를 하면서 25[dB]에서 음성통신에 필요한 오율(10^{-3})에 도달하는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 7 에서 보다 페이딩이 시스템에 더 적게 영향을 미치기 때문에 신호전력에서 2.5[dB]의 이득을 볼 수 있다. 둘째로 A=0.1, Γ'=0.1은 가우시안 잡음의 환경과 임펄스 잡음의 환경이 공존 했을 시의 성능해석이다. 이것은 임펄스 잡음의 영향과 가우시안 잡음의 영향을 동시에 받기 때문에 중간단계의 값을 갖게 된다. 마지막으로 A=0.01, Γ'=0.01은 임펄스 잡음의 환경에서의 성능해석이다. 이것은 가우스 잡음의 영향이 없기 때문에 21[dB]까지 Error floor 구간을 형성하게 되고 이 구간에서부터 시스템의 성능은 음성통신에 필요한 오율에 도달함을 볼 수 있다. 이것은 가우스 잡음보다 임펄스성 잡음이 페이딩의 영향에 더 큰 변화가 있음을 보여준다.

그림 9 는 라이시안 페이딩의 영향을 고정하고(K=10) 컨볼루션 코드화와 선택 합성 다이버시티를 채용했을 시에 대한 오율 성능이다. 그림 7과 비교하였을 때 선택 합성 다이버시티가 시스템에 미치는 영향을 알아 볼 수 있다. 여기서 임펄스 지수의 파라미터와는 큰 영향 없이 26[dB]이상에서 음성통신에 필요한 오율(10^{-3})에 도달하는 것을 볼 수 있다. 그림 7과 비교하였을 선택 합성 다이버시티는 시스템의 성능개선에 큰 역할을 하고 있다.

그림 10 는 라이시안 페이딩의 영향을 고정하고(K=20) 컨볼루션 코드화와 선택 합성 다이버시티를 채용했을 시에 대한 오율 성능이다. 그림 9 에서 보다 페이딩이 시스템에 더 적게 영향을 미치기 때문에 신호전력에서 1.5[dB]의 이득을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 라이시안페이딩과 임펄스 잡음이 존재하는 환경에서 선택 합성 다이버시티과 길쌈 부호화 기법을 채용한 16 QAM 신호의 성능을 분석하였다. 길쌈 부호화를 채용한 상태에서의 임펄스 지수 변화로서 16 QAM 시스템의 오율에 미치는 영향을 확인 할 수 있다. 그 결과 길쌈 부호화의 채용의 유무로서 시스템은 K=10에서 5.5[dB]의 이득을 가짐을 알 수 있다.

또한 길쌈 부호화와 선택 합성 다이버시티를 혼재하여 사용했을 때에는 K=10에서 7[dB]의 이득을 가짐을 확인 할 수 있다.

분석의 결과로서 16 QAM 방식에서 임펄스 잡음의 특성인 Error floor 구간을 알 수 있었고, 라이시안 페이딩의 크기와 임펄스 잡음의 변화에 따라 신호전력을 조정하는 방법을 사용하고, 길쌈부호화와 선택 합성 다이버시티를 사용함으로써 이동 무선 데이터 통신 채널 환경을 극복할 수 있는 성능 개선 효과가 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. 3GPP(Mar.2000), "Technical specification group radio acess network; multiplexing and channel coding(FDD)." 3G TS 25.212 V3.2.0
2. K. Yamauch, N. Takahasi, and M. Meada(Jan. 1989), "Parameter measurement of class A interference on power line," IEICE Trans., vol.E72 no.1, pp.7-9,
3. 김언곤(1997), "다중 반송파 방식 분석 및 개선에 관한 연구", 한국 전자 통신 연구원

4. 조한수(2000), 디지털 이미지 저작권 보호를 위한 BCH Code 및 Gold Code의 이용, 아주대학교 대학원, 석사학위 논문, p. 24
5. M. Nagatsuka, A. Tsuzuku (1996), "Development of OFDM modem for graceful degradation," MDMC '96, pp.735-739
6. K Feher, Digital Modulation Techniques and Interference Environment, Gaineville, VA(1997), Don White Consultant
7. D. Middleton (1972), " Statistical - physical madels for urban radio noise envitronment - Part I foundations, "IEEE Trans. Electormag. Compat., vol. EMC-14, pp. 38-56

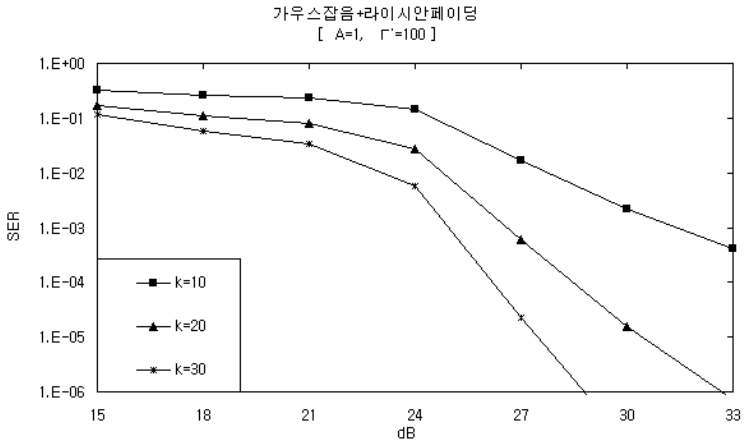

그림 5. 가우스 잡음(A=1, Γ' =100)과 라이시안 페이딩이 혼재하는 상황에서의 오율성능

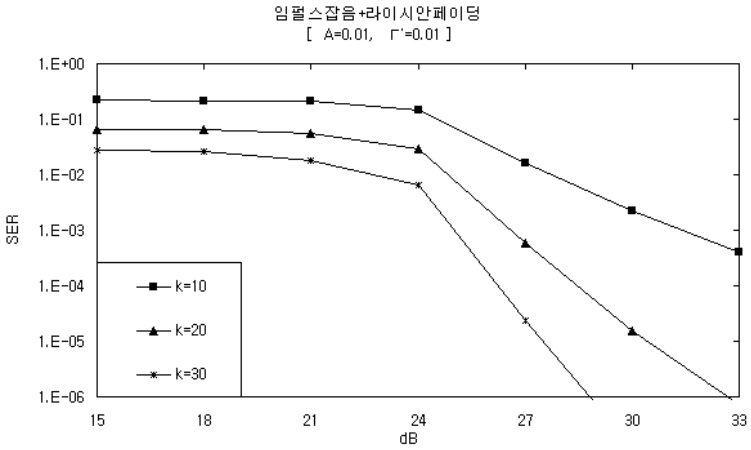

그림 6. 임펄스 잡음(A=0.01, Γ' =0.01)과 라이시안 페이딩이 혼재하는 상황에서의 오율성능

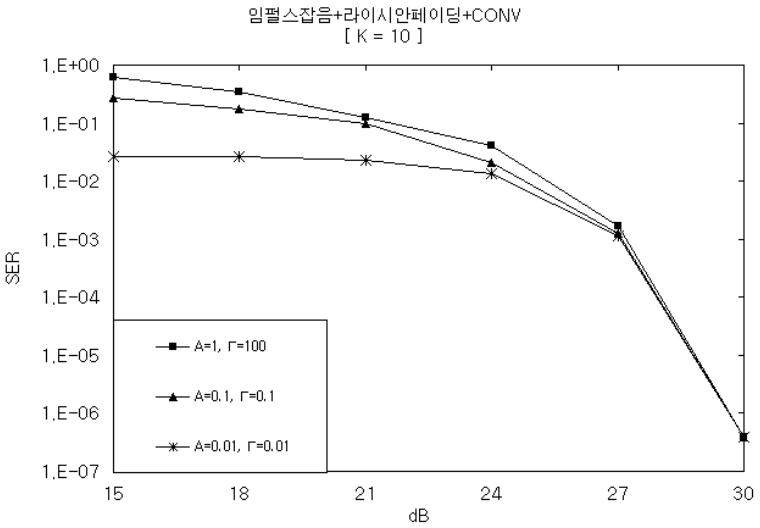

그림 7. 라이시안 페이딩의 영향을 고정하고(K=10) 컨볼루션 코드화를 채용했을 시에 대한 오율 성능

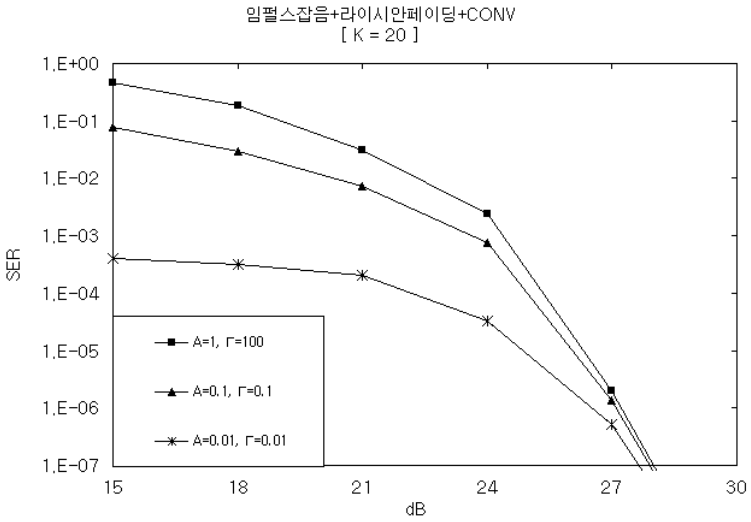

그림 8. 라이시안 페이딩의 영향을 고정하고(K=20) 컨볼루션 코드화를 채용했을 시에 대한 오율 성능

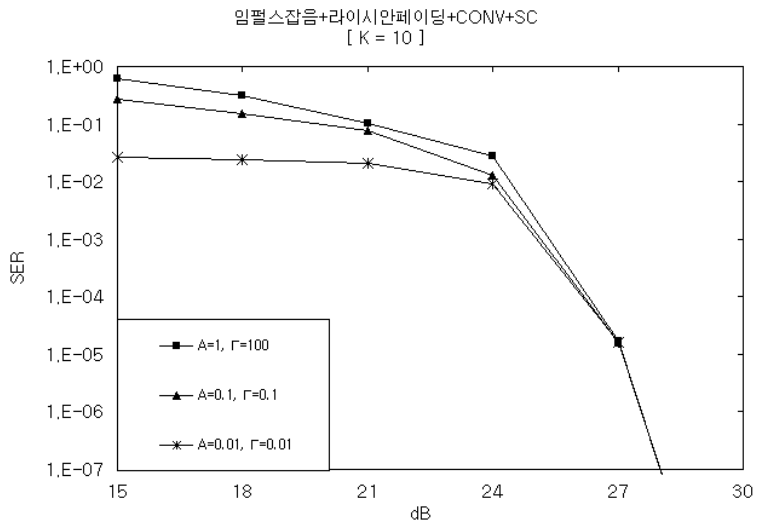

그림 9. 라이시안 페이딩의 영향을 고정하고(K=10)
컨볼루션 코드화와 선택 합성 다이버시티를 채용했을 시에 대한 오율 성능

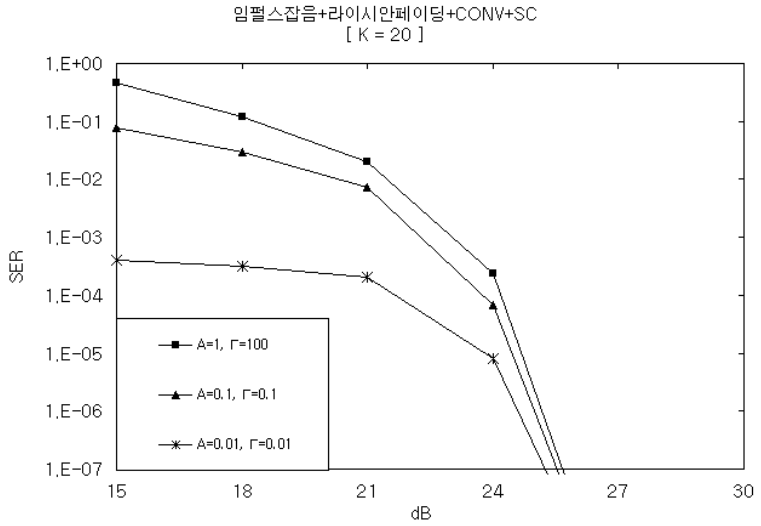

그림 10. 라이시안 페이딩의 영향을 고정하고(K=20)
컨볼루션 코드화와 선택 합성 다이버시티를 채용했을 시에 대한 오율 성능