

다중경로 레일리 페이딩과 임펄스 잡음 환경에서 DS/CDMA 시스템의 성능 분석

○ * ** *

강 희 곡, 조 성 언, 조 성 준

* 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과
** 순천대학교 정보통신공학과

Performance Analysis of DS/CDMA System in Multipath Rayleigh fading and Impulsive Noise Environments

* ** *

Hee-Gok Kang, Seng Eun Cho, Sung-Joon Cho

* Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.
** Dept. of Computer & Comm. Eng., Sunchon Univ.

요 약

본 논문에서는 임펄스 잡음과 다중경로 레일리 페이딩이 함께 존재하는 최악의 채널 환경에서 비동기 DS/CDMA BPSK 시스템의 오율식을 유도하고 수치계산 하여 BER 성능을 분석하였다.

그 결과, 비교적 낮은 신호 대 잡음 전력비 영역에서 시스템의 BER 성능은 임펄스 잡음의 영향으로 크게 열화되지만 페이딩의 영향은 거의 없다. 그러나, 임펄스 잡음의 영향이 작아지는 높은 신호 대 잡음 전력비에서는 페이딩에 의해서 BER 성능이 결정된다. 다중사용자의 간섭도 낮은 신호 대 잡음 전력비 영역에서는 BER 성능에 거의 영향을 미치지 못하지만 높은 신호 대 잡음 전력비 영역에서는 BER 성능을 좌우한다. 그러나, 실제 이동통신 시스템에서는 비교적 낮은 신호 전력을 사용하므로, 임펄스 환경에서 페이딩을 경감하기 위한 방법이나, 다중사용자 간섭을 줄이기 위한 기법을 적용하더라도 성능 개선이 거의 되지 않는다.

I. 서 론

최근 전세계적으로 관심의 대상이 되는 IMT-2000 시스템에서 광대역 비동기 DS/CDMA 방식이 폭넓은 지지를 받고 있다^[1]. IMT-2000 시스템에서는 기존의 시스템보다 더욱 향상된 품질의 음성 서비스, 고속 데이터 서비스, 영상 서비스 등을 제공할 예정이다.

그러나, 최근에 각종 전자기기의 급속한 발전으로 인해서 인공 잡음(전력선, 마이크로웨이브 오븐, PC, 실내 기자기 및 기기 등등)^{[2][3]}의 발생이 크게 늘어나고 있으며 이러한 인공잡음은 실내 무선 채널 환경을 더욱 악화시키고 있다. 또한, 이러한 인공잡음의 통계학적 특성은 기존에 논의되었던 가우스 잡음과 상당한 차이를 보이는 임펄스 형태의 잡음 분포를 가지는 것으로 알려져 있다^{[4][5]}.

비록 DS/CDMA 방식이 여러가지 기법을 사용하여 다중경로 페이딩과 다중 사용자 간섭의 영향을 쉽게 극복할 수 있는 매력적인 다중화 방식으로 알려져 있지만, DS/CDMA 시스템의 수신기 전단에서 존재하는 잡음을 가우스 잡음으로 가정하였을 경우에 해당한다. 따라서, 임

펄스 잡음 환경에서는 기존의 가우스 잡음 환경에서와 다른 형태의 분석이 요구된다.

임펄스 잡음 환경에 대하여 기존의 여러 문헌에서 DS/CDMA 시스템의 성능을 보였지만^{[6]-[8]}, 정형화된 형태의 오율식이 유도되어 있지 않다. 또한 대부분이 임펄스 환경 자체에만 초점을 맞추어서 실제 무선 채널 상에서 발생하는 페이딩 현상을 고려하지 않았다.

따라서, 본 논문에서는 최악의 채널 환경인 다중경로 레일리 페이딩과 임펄스 잡음이 동시에 나타나는 채널에서 DS/CDMA BPSK 시스템의 오율을 유도하고, 시스템의 BER 성능을 분석한다. 얻어진 BER 성능으로부터 DS/CDMA 시스템에 적용된 기존의 성능 개선 기법들이 이러한 환경에서 사용될 수 있는지를 조사한다.

II. 시스템 모델

1. 비동기식 DS/CDMA BPSK 시스템

그림 1은 비동기식 DS/CDMA BPSK 시스템의 해석

모델을 나타낸다. K 명의 다중접속 사용자가 동시에 통화 중이라고 가정하자. k 번째 사용자의 2진 데이터 시퀀스 $d_k(t)$ 는 확산 코드 $c_k(t)$ 에 의해서 확산되고 BPSK로 변조된다.

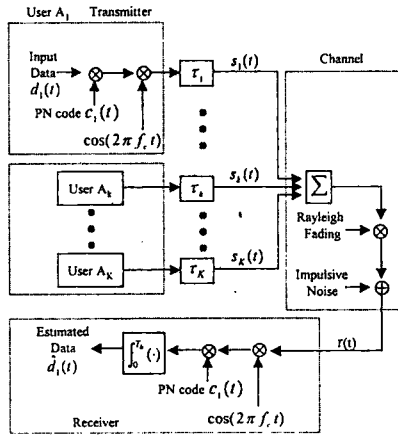


그림 1. 시스템 해석 모델

k 번째 사용자의 정보 데이터 및 확산 코드는 각각 $d_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_j^{(k)} p_{T_b}(t - jT_b)$ 와 $c_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_j^{(k)} p_{T_c}(t - jT_c)$ 로 주어진다. 여기서, T_c 와 T_b 는 각각 칩 구간(chip duration)과 데이터 구간 (data duration)이며 $0 < y < x$ 에서 $P_x(y) = 1$ 이고, 그 외의 영역에서는 $P_x(y) = 0$ 이다. $d_j^{(k)}$ 와 $c_j^{(k)}$ 는 각각 동일한 확률을 가지며 0 또는 1, -1 또는 +1의 값을 취하는 독립적인 랜덤 변수로써 모델링된다. 또한 하나의 데이터 비트 구간에 N 개의 확산 시퀀스 칩이 들어가므로 $T_b = NT_c$ 이며, 모든 $-\infty < x < \infty$ 에 대하여 $c_j^{(k)} = c_{j+N}^{(k)}$ 이다.

이때 k 번째 사용자의 송신 신호는 다음과 같이 주어진다.
$$s_k(t) = \sqrt{2P_k} b_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cos(2\pi f_c t + \theta_k) \quad (1)$$

여기서, P_k 는 k 번째 사용자의 송신 전력, f_c 는 모든 사용자에게 공통으로 사용되는 반송파 주파수를 나타낸다. τ_k 는 희망 사용자를 기준으로 k 번째 사용자의 상대적인 시간 지연, θ_k 는 희망 사용자를 기준으로 k 번째 사용자의 상대적인 위상 차를 나타낸다. 따라서, K 명의 사용자에게 대한 송신 신호는 다음과 같다.

$$s(t) = \sum_{k=1}^K s_k(t) \quad (2)$$

2. 페이딩 채널

다중경로 레일리 페이딩 채널에 대한 k 번째 사용자의

지역 동가 임펄스 응답은 다음과 같다.

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^L a_{k,l} \exp^{j\phi_{k,l}} \delta(t - T_{k,l}) \quad (3)$$

여기서, L 은 k 번째 사용자에게 대한 다중경로 수이고, $a_{k,l}$, $\phi_{k,l}$, $T_{k,l}$ 는 k 번째 사용자의 l 번째 경로에서의 경로 이득, 위상 지연, 시간 지연을 각각 나타낸다. 이때, 서로 다른 사용자와 경로에 대하여 랜덤 변수 $\{a_{k,l}\}$, $\{\phi_{k,l}\}$, $\{T_{k,l}\}$ 는 통계적으로 모두 독립이고, 랜덤 위상 $\{\phi_{k,l}\}$ 는 $[0, 2\pi)$ 구간에서 일양하게 분포하며, 시간 지연 $\{T_{k,l}\}$ 는 $[0, T_b)$ 에서 일양하게 분포한다. 또한, 각 사용자는 L 개의 경로를 가지며 각 경로는 T_c 구간 이상 떨어져 있다.

3. 임펄스 잡음 채널

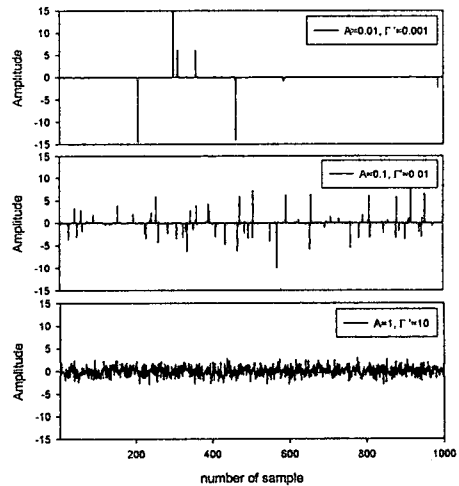


그림 2. A, Γ 에 따른 임펄스성 잡음의 시간적 모양

임펄스 잡음의 통계적 모델 중에서 Middleton의 A급 임펄스 잡음은 무선 통신 시스템의 성능 평가에 있어서 취급하기 쉽고, 거의 모든 종류의 실제 임펄스 잡음을 표현하는데 사용되는 정량화된 방법으로 지역 동상 성분에 대한 A급 임펄스 잡음의 확률밀도함수는 다음과 같다^[6].

$$p(x) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! \sqrt{2\pi W \sigma_m^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2W \sigma_m^2}\right) \quad (4)$$

여기서, $\sigma_m^2 = \frac{m/A + \Gamma}{1 + \Gamma}$, $\Gamma = \sigma_c^2 / \sigma_s^2$ 는 가우스 잡음 전력 대 임펄스 잡음 전력비, A 는 임펄스 지수(단위 시간당 임펄스 성분이 차지하는 비율), $W = \sigma_c^2 + \sigma_s^2$ 는 전체 잡음 전력을 나타낸다.

위에서 정의한 임펄스 잡음에 대하여 A 와 Γ 에 따른 파형을 그림 2에서 나타내었다. 그림 2에서 임펄스성이 강

한 환경은 A 가 0.01, Γ 가 0.001으로써 임펄스가 가끔 발생하지만 대부분의 전력이 임펄스가 발생하는 시점에 집중되므로 큰 영향을 미칠 수 있다. 그러나, 임펄스성이 약한 A 는 1이고, Γ 는 10인 환경에서는 가우스 잡음과 유사한 형태를 가진다^[8].

4. 수신기

수신기에서의 수신 신호는 송신 신호 $s_k(t)$ 와 채널의 임펄스 응답 $h_k(t)$ 의 컨볼루션으로 주어지며, 여기에 임펄스 잡음이 부과되어진다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^K \sqrt{2P_k} \sum_{l=1}^L a_{k,l} b_k(t - \Delta_{k,l}) c_k(t - \Delta_{k,l}) \cdot \cos(2\pi f_c t + \phi_{k,l}) + n_l(t) \quad (5)$$

여기서, $\Delta_{k,l} = \tau_k + T_{k,l}$ 는 k 번째 사용자의 l 번째 수신시 지연 시간이며, $[0, T_b)$ 구간에서 일양 분포하는 독립적인 랜덤 변수이다. $\phi_{k,l} = \theta_k - \phi_{k,l} - 2\pi f_c T_{k,l}$ 은 k 번째 사용자의 l 번째 수신 경로의 위상이며, 각각의 k 와 l 에 대하여 $[0, 2\pi)$ 에서 일양 분포하는 독립적인 랜덤 변수이다. 일반성을 잃지 않기 위해서 i 번째 사용자를 희망 사용자라 하고 동기 검파를 가정하면, 희망 사용자의 수신기는 희망 사용자 신호의 첫 번째 경로로 수신되는 신호에 해당하는 반송파 위상과 시간 지연을 복원한다. 따라서 i 번째 사용자의 첫 번째 경로와 정합된 상관 수신기의 출력 값은 다음과 같다.

$$Z_{i,1} = \int_0^{T_b} r(t) c_i(t - \Delta_{i,1}) \cos(2\pi f_c t + \phi_{i,1}) dt \quad (6)$$

III. 시스템 성능 분석

식 (6)로부터 상관기의 출력 값은 다음과 같이 나누어 쓸 수 있다.

$$Z_{i,1} = D_{i,1} + MPI + MUI + \eta = D_{i,1} + \xi \quad (7)$$

여기서,

$$D_{i,1} = \sqrt{\frac{P_i}{2}} a_{i,1} T_b \quad (8)$$

$$MPI = \sqrt{\frac{P_i}{2}} \sum_{k=2}^K a_{i,k} \cos(\phi_{i,k} - \phi_{i,1}) X_{k,1} \quad (9)$$

$$MUI = \sum_{k \neq i}^K \sqrt{\frac{P_k}{2}} \sum_{l=1}^L a_{k,l} \cos(\phi_{k,l} - \phi_{i,1}) X_{k,l} \quad (10)$$

$$\eta = \int_0^{T_b} n_l(t) c_i(t - \Delta_{i,1}) \cos(2\pi f_c t + \phi_{i,1}) dt \quad (11)$$

여기서, $D_{i,1}$ 는 희망 사용자 신호, MPI 는 희망 사용자의 다중경로 간섭, MUI 는 다른 사용자로부터 받는 다중경로 간섭과 다중사용자·간섭, η 는 임펄스 잡음 항을 나타내

며, $X_{k,l} = \int_0^{T_b} b_k(t - \Delta_{k,l}) c_i(t - \Delta_{k,l}) c_i(t - \Delta_{i,1}) dt$ 이다.

모든 사용자의 확산 시퀀스가 독립적인 랜덤 이진 시퀀스이고, 확산 시퀀스의 각각의 칩이 구형 펄스일 때, $X_{k,l}$ 의 평균과 분산은 다음과 같이 알려져 있다^[9].

$$E[X_{k,l}] = 0, \quad E[X_{k,l}^2] = \frac{2NT_c^2}{3} \quad (12)$$

따라서, 다중경로 간섭 MPI 는 평균이 0이고 분산은 다음과 같다.

$$\sigma_{MPI}^2 = E[MPI^2] = \frac{NT_c^2 P_i}{6} \sum_{k=2}^K E[a_{i,k}^2] \quad (13)$$

또한, 각각의 사용자는 독립적인 페이딩을 받으므로 식 (10)은 독립적인 랜덤 변수가 되며, 사용자 K 가 커지게 되면 중심극한 정리에 의해서 점근적 가우스 분포를 가지게 된다. 따라서, MUI 항의 평균은 0이며 분산은 다음과 같다.

$$\sigma_{MUI}^2 = E[MUI^2] = \frac{NT_c^2}{6} \sum_{k \neq i}^K P_k \sum_{l=1}^L E[a_{k,l}^2] \quad (14)$$

마지막으로, 양측파대 가우스 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 일 때, 임펄스 잡음의 평균은 0이고 분산은 Γ 에 비례하므로 다음과 같다.

$$Var[n_l] = \frac{N_0}{2} \left(\frac{\Gamma + 1}{\Gamma} \right) \quad (15)$$

따라서, 식 (11)의 임펄스 잡음 항에 대한 잡음 전력은 다음과 같다.

$$\sigma_\eta^2 = E[(\eta - \mu_\eta)^2] = \frac{N_0}{4} T_b \left(\frac{\Gamma + 1}{\Gamma} \right) \quad (16)$$

여기서 μ_η 는 η 의 평균으로써 $E[\eta] = 0$ 이다.

또한 수신되는 모든 사용자의 전력이 동일($P_k = P$, 즉, 완벽한 전력제어)하고, 각 사용자마다 받는 페이딩을 동일한 MIP(Multipath Intensity Profile) 모델(즉, $E[a_{k,l}^2] = E[a_i^2]$)로 가정하면, 전체 잡음 전력(희망 사용자의 다중경로 간섭 성분+다른 사용자의 다중경로 및 다중사용자 간섭 성분+순수 가우스 잡음 성분+순수 임펄스 잡음 성분)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_\xi^2 &= \sigma_{MPI}^2 + \sigma_{MUI}^2 + \sigma_\eta^2 \\ &= \frac{NT_c^2 P}{6} \sum_{k=2}^K E[a_i^2] + \frac{NT_c^2 (K-1)P}{6} \sum_{l=1}^L E[a_i^2] \\ &\quad + \frac{N_0 T_c}{4} \left(\frac{\Gamma + 1}{\Gamma} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

이때, 에러는 $\xi > |D_{i,1}|$ 에서 발생하므로, ξ 에 대한 확률 밀도함수를 이용하여 오율을 구할 수 있다^[10]. 특히, ξ 에 대한 확률밀도함수는 식 (4)의 전체 전력 W 에서 MPI 성분과 MUI 성분을 고려해야 하므로 다음과 같이 변형되어야 한다.

$$p_{\xi}(x) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! \sqrt{2\pi W' \sigma_m^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2W' \sigma_m^2}\right) \quad (18)$$

$$\text{여기서, } W = \sigma_{\xi}^2, \sigma_m^2 = \frac{m/A + \Gamma \left(I_{MPI} \frac{E_b}{N_o} + I_{MUI} \frac{E_b}{N_o} + 1 \right)}{1 + \Gamma \left(I_{MPI} \frac{E_b}{N_o} + I_{MUI} \frac{E_b}{N_o} + 1 \right)},$$

$$I_{MPI} = \frac{2}{3N} \sum_{l=2}^L E[\alpha_l^2], I_{MUI} = \frac{2(K-1)}{3N} \sum_{l=1}^L E[\alpha_l^2] \text{ 이다.}$$

따라서, 임펄스 잡음을 고려한 DS/CDMA BPSK 시스템의 오율은 다음과 같다.

$$P_{imp} = \int_{|D_{i,1}|}^{\infty} p_{\xi}(x) dx \\ = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m!} \text{Erfc} \left(\sqrt{\frac{1}{\sigma_m^2} \frac{\alpha_1}{I_{MPI} + I_{MUI} + \frac{N_o}{E_b} (\Gamma + 1)}} \right) \quad (19)$$

여기서, A 는 임펄스 지수, N 은 처리이득, K 는 다중 사용자 수, L 은 다중경로 수, α_1 은 첫 번째 경로에서 받는 감쇠 변수로써 레일리 분포를 따른다.

따라서, α_1 이 랜덤 변수일 때 에러 확률을 구하기 위해서 식 (19)와 α_1 의 확률밀도함수의 평균을 취해야 한다. 그러므로, 다중경로 레일리 페이딩과 임펄스 잡음이 함께 존재하는 채널에서 DS/CDMA 시스템의 오율은 다음과 같다.

$$P_e = \int_0^{\infty} P_{imp}(\alpha_1) p(\alpha_1) d\alpha_1 \quad (20)$$

여기서, $p(\alpha_1) = \frac{\alpha_1}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{\alpha_1^2}{2\sigma^2}\right]$ 는 레일리 확률밀도함수이다.

IV. 수치계산 및 결과

본 논문에서는 임펄스 잡음과 다중경로 레일리 페이딩 환경에서 비동기 DS/CDMA BPSK 시스템의 BER 성능을 분석하였다.

그림 3에서는 DS/CDMA BPSK 시스템에서 AWGN, 임펄스 잡음, 임펄스 잡음+주파수 비선택성 레일리 페이딩, 임펄스 잡음+다중경로 레일리 페이딩 환경의 BER 성능을 각각 비교하였다. 임펄스 잡음 환경만을 고려할 때 신호 대 잡음 전력비를 충분히 크게 주면 ($E_b/N_o=55$ dB 이상) AWGN 환경과 같은 BER 성능을 나타낸다. 임펄스 잡음과 페이딩 채널을 함께 고려할 때, $E_b/N_o=30$ dB 이내에서는 임펄스 잡음에 의한 영향이 지배적이며 페이딩에 의한 영향은 거의 없지만, $E_b/N_o=30$ dB 이상에서는 페이딩에 의해서 BER 성능이 크게 좌우된다. IS-95와 같

은 이동 통신 시스템에서는 $E_b/N_o=7$ dB 내외의 낮은 신호 전력을 사용하므로 이 근처에서의 BER 성능이 중요하다. 즉, 임펄스 잡음과 페이딩이 동시에 존재하는 낮은 E_b/N_o 구간에서는 페이딩을 보상하기 위한 기존의 방법(다이버시티 기법, RAKE 수신 기법)을 사용하더라도 BER 성능의 향상이 없음을 알 수 있다. 따라서, 임펄스 잡음만을 효과적으로 제거할 수 있는 기법이 필요하다.

그림 4에서는 동시 사용자가 10명일 때 A 와 Γ' 에 따른 BER 성능을 나타낸다. $E_b/N_o=35$ dB 이하에서 임펄스성이 강한 $A=0.01$, $\Gamma'=0.001$ 인 환경보다 임펄스성이 비교적 약한 $A=0.1$, $\Gamma'=0.01$ 인 환경에서 BER 성능이 더욱 나았다. 이것은 그림 2에서 보는 바와 같이 $A=0.01$, $\Gamma'=0.001$ 인 환경은 임펄스성 전력은 크지만 빈번하게 발생하지 않으나, $A=0.1$, $\Gamma'=0.01$ 인 환경은 비록 임펄스성 전력은 상대적으로 작지만 훨씬 빈번하게 발생하므로 낮은 신호 전력에서 BER 성능에 더 큰 영향을 미치게 된다.

그림 5에서는 임펄스 잡음과 페이딩이 동시에 존재하는 환경에서 사용자 수에 따른 영향을 나타내었다. $E_b/N_o=30$ dB 이하에서는 임펄스 잡음의 영향이 지배적이며 다중사용자 간섭의 영향은 거의 없다. 따라서 임펄스성 잡음 환경의 낮은 신호대 잡음비 영역에서는 다중 사용자 간섭을 제거하기 위한 간섭제거기법을 사용하더라도 성능이 개선이 되지 않을 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 임펄스 잡음과 다중 경로 페이딩이 함께 존재하는 환경에서 비동기 DS/CDMA BPSK 시스템의 BER 성능을 분석하였다.

분석 결과, 비교적 낮은 신호 대 잡음 전력비 영역을 고려하면 임펄스성이 아주 강한 환경($A=0.01$, $\Gamma'=0.001$) 보다는 임펄스성은 비교적 약하지만 빈번히 일어나는 환경($A=0.1$, $\Gamma'=0.01$)에서 BER 성능이 나았다. 또한 $E_b/N_o=30$ dB 이하에서 임펄스 잡음과 페이딩이 함께 존재하는 환경에서는 임펄스 잡음의 영향이 지배적이었고 페이딩의 영향은 거의 없었다. 그러나, 그 이상의 E_b/N_o 영역에서는 페이딩에 의해서 BER 성능이 결정되었다. 마찬가지로, 다중사용자의 간섭도 $E_b/N_o=30$ dB 이하에서는 영향이 없지만 그 이상이 되면 큰 영향을 미쳤다. 그러나, 실제의 이동통신 시스템에서는 비교적 낮은 신호 전력을 사용하므로, 임펄스 환경에서 페이딩을 경감하기 위한 방법이나, 다중사용자 간섭을 줄이기 위한 기법은 거의 도움이 되지 않을 것으로 예상된다. 따라서, 임펄스 잡음만을 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 기법이 필요하다.

참고문헌

[1] 3GPP, "Technical specification group radio access network; multiplexing and channel coding(FDD)," *3G TS 25.212 V3.2.0*, Mar. 2000.

[2] K. Yamauch, N. Takahasi, and M. Meada, "Parameter measurement of class A interference on power line," *IEICE Trans.*, vol. E72 no. 1, pp. 7-9, Jan. 1989.

[3] S. Miyamoto, Y. Yamanaka, T. Shinozuka, and N. Morinaga, "A study on the effect of microwave oven interference to the performance of digital radio communication systems," *IEICE Trans.*, vol. J79-B-II, no. 11, pp. 835-844, Nov. 1996.

[4] D. Middleton, "Statistical-physical models of electromagnetic interference," *IEEE Trans. on Electromag. Compat.*, vol. EMC-19, No. 3, pp. 106-127, Aug. 1977.

[5] D. Middleton, "Statistical-physical models for urban radio noise environment - Part I : foundations," *IEEE Trans. Electormag. Compat.*, vol. EMC-14, pp. 38-56, May 1972.

[6] S. Hanaoka, S. Miyamoto, and N. Morinaga, "Performance of CDMA system under class-A impulsive noise environment," *APCC*, vol. 1, pp. 3D.2.1-3D.2.5, June, 1995.

[7] S. Unawong, S. Miyamoto, and N. Morinaga, "Receiver design of CDMA system for impulsive radio noise environment," *Electromagnetic Compatibility Proceedings*, pp. 316-319, May 1997.

[8] S. Unawang, S Miyamoto, and N. Morinaga, "A novel receiver design for DS-CDMA systems under impulsive radio noise environments," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E82-B, no. 6, pp. 936-943, June 1999.

[9] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple-access communication -Part I: System analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, pp. 795-799, Aug. 1977.

[10] T. S. Rappaport, *Wireless Communications*, Prentice Hall, Inc., pp. 569-592, 1996.

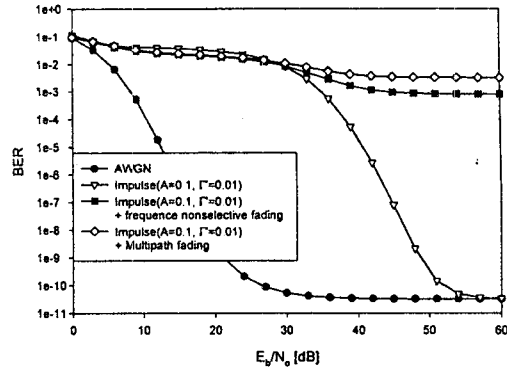


그림 3. AWGN, 임펄스 잡음, 페이딩 환경에서 DS/CDMA 시스템의 성능 비교(K=10)

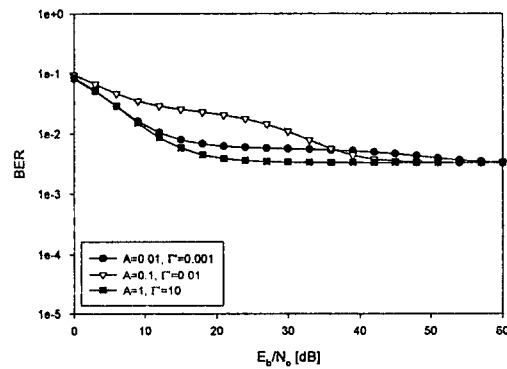


그림 4. 다중경로 페이딩과 임펄스 잡음 환경에서 A와 Γ 에 따른 DS/CDMA 시스템의 성능(K=10)

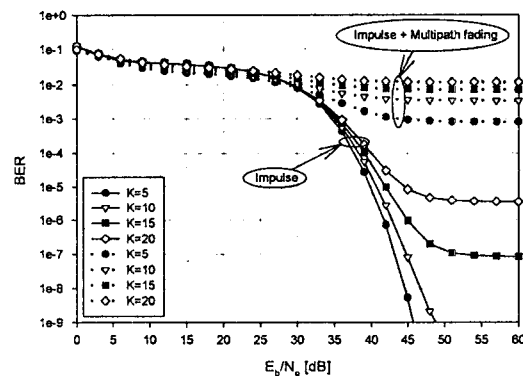


그림 5. A=0.1, $\Gamma=0.01$ 인 임펄스 잡음과 다중경로 페이딩 환경에서 사용자의 수에 따른 DS/CDMA 시스템의 성능