

광대역 대역확산 방식의 다경로 페이딩에 대한 성능 평가

Performance Analysis of Broadband Spread Spectrum Method Against Multipath Fading

신철호* · 김광식* · 김철성**

Cheol-Ho Shin* · Kwang-Sik Kim* · Cheol-Sung Kim**

요 약

본 논문에서는 높은 칩율을 갖는 광대역 CDMA시스템이 역확산 과정에서 각각의 반사 경로들을 구분함으로써 다경로 페이딩의 영향을 현저하게 줄일 수 있음을 정량적으로 분석한다. 먼저, 다경로 페이딩 환경에서 광대역 CDMA 시스템의 성능을 평가하기 위해 CDMA 시스템의 다경로 페이딩 채널을 tapped delay line을 이용한 시변 선형필터(linear filter)로 컴퓨터 모델링하였다. 이 모델은 실제 측정 데이터에 기초하여, 다양한 환경에 있는 도시 무선 전파 환경을 모델링하도록 만들어졌다.

그리고 광대역 CDMA 시스템을 위에서 모델링한 채널에 적용하여 광대역 CDMA 시스템의 송/수신 과정을 컴퓨터 모의 실험하였다. 모의 실험 결과에 따른 눈패턴과 BER곡선을 통해 광대역 CDMA 시스템이 이동통신 시스템의 성능 저하를 야기하는 다경로 페이딩의 영향을 현저하게 줄일 수 있음을 보였다.

Abstract

In this paper, we quantitatively analyze the broadband CDMA systems with high chip rate, which virtually eliminates the multipath fading effects by distinguishing each reflected paths in the process of despreading. We model the broadband multipath propagation channel with random time-variant impulse response as a linear filter of tapped delay line to evaluate the performance of broadband CDMA systems in multipath fading environment. This statistical model, based on extensive experimental data, was established to characterize the urban radio propagation medium in various environments.

We perform computer simulation of the transmission and reception of broadband CDMA systems by applying it to above channel model. From the simulation results, we confirm that the broadband CDMA systems inherently reduce the effects of multipath fading phenomena which causes to degrade the performance of mobile communication systems, based on the results of eye-diagram and BER curve.

I. 서 론

최근 디지털 이동통신 시스템에서 관심을 끌고

있는 광대역 CDMA 시스템은 Qualcomm 사에서 제안한 칩 전송률(chip rate)이 1.2288Mcps 정도의 코드를 사용하는 협대역 CDMA 시스템에 비해 다경로 페이딩 채널에서 각각의 경로를 구분할 수

*한국전자통신연구소 전자과학연구실(ETRI, Radio Science Section)

**전남대학교 컴퓨터공학과(Dept. Of Computer Eng. , Chonnam National Univ.)

· 논문번호 : 96-4-048

· 접수일자 : 1996년 9월 20일

있을 정도의 매우 높은 칩 전송률(약 5Mcps 이상)의 코드를 사용하는 광대역 대역확산 다원접속방식이다. 따라서, 광대역 CDMA 시스템은 단위 면적당 주파수 이용효율이 매우 높아 가입자가 밀집되어 있는 지역에서 일시에 많은 통화량을 처리하는데 가장 적합하고, 협대역 CDMA와 같이 심각한 페이딩 문제로 인하여 indoor 또는 대도시 및 빌딩 밀집지역에서 통화가 되지 않는 근본적인 취약점이 없고 전자파 장애에도 강한 특성을 지니고 있다. 또한, 광대역 CDMA 시스템은 신호를 광대역으로 확산시키면서 전력스펙트럼 밀도가 작아져서 기존의 협대역 시스템 사용자와 간섭 현상이 거의 없이 주파수대를 공용(overlay)할 수 있기 때문에 전파 자원의 활용을 극대화하고 주파수 관리가 용이할 뿐만 아니라 고속데이터나 video 서비스와 같은 곧 다가올 multimedia 시대의 새로운 사용자 요구를 충족시킴으로써 개인휴대통신 서비스 수요를 한층 크게 촉발시킬 수 있는 현재 가용한 기술 중 가장 유망한 기술이다[1],[2],[3].

본 논문에서는 이동통신 채널에서 신호 전송시 문제가 되는 랜덤한 시변 임펄스 응답을 갖는 다경로 페이딩 현상이 광대역 CDMA 시스템에 미치는 영향을 살펴보기위해서 실측을 통해 확인된 광대역 이동통신 채널의 통계 자료를 참고하여 다경로 페이딩 채널을 tapped delay line을 이용한 선형필터(linear filter)로 컴퓨터 모뎀화를 실행하고, 이 채널의 성능을 평가할 수 있는 몇 가지 통계자료를 실측데이터와 비교하여 도시하였다[4],[5],[6].

그리고, 본 논문에서 모델링한 광대역 전송채널을 이용하여 광대역 대역확산 신호의 송/수신과정을 컴퓨터 모의 실험하였고 이 모의 실험의 결과를 이용하여 역확산된 페이딩의 특성을 살펴보고 이를 토대로 BER곡선을 도시하여 광대역 CDMA 시스템의 특성을 확인하였다.

II. 채널 모델링

본 논문에서 모델화한 다경로 페이딩 채널은 식

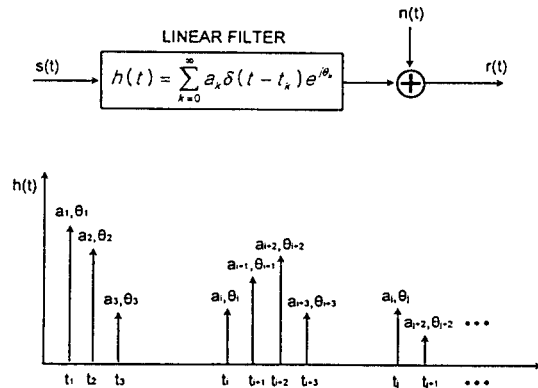
(1)과 같이 복소 임펄스 응답을 갖는 선형필터로 표현할 수 있다.

$$h(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \delta(t-t_k) e^{j\theta_k} \quad (1)$$

이 모델은 상당히 일반적인 것이며, 신호 $s(t)$ 와 $h(t)$ 를 convolution시킴으로써 신호 $s(t)$ 에 대한 채널의 응답을 구하는데 이용할 수 있다. 이러한 선형모델에 대한 다중경로 모델을 [그림 1]과 같이 도시할 수 있고 이 선형모델의 통계적 모델을 구현하기 위해 이미 발표된 논문들에 나타난 광범위한 전파 실험을 통해 밝혀진 자료들을 참조하여 채널의 경로변수들(path variable), 즉 경로 크기(a_k), 지연 시간(t_k), 위상(θ_k) 등의 통계적 분포를 알아보고, 이를 근거로 컴퓨터 모의실험을 통해 다중경로 페이딩 채널을 [그림 2]와 같은 tapped delay line을 이용한 선형필터로 구현하였다.

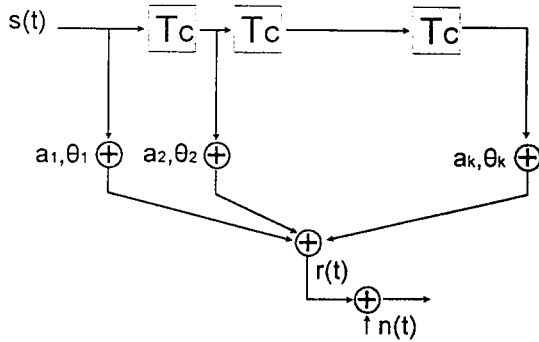
본 논문에서의 실측 데이터는 참고문헌 [4]의 Turin의 실험 데이터를 이용하였다

2-1. 경로 위상의 모의실험



[그림 1] 다중경로 모델

[Fig. 1] Multipath model.

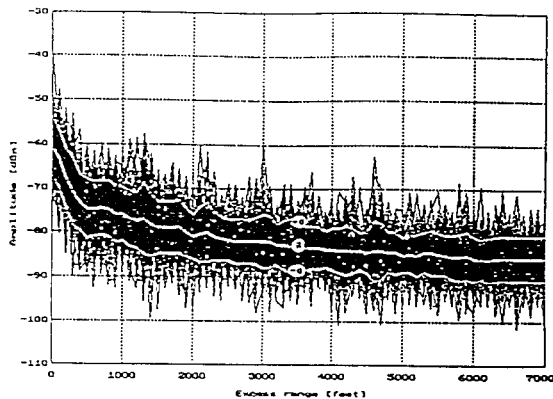


[그림 2] 다중경로 채널의 tapped delay line 모델
[Fig. 2] Tapped delay line model of multipath channel.

각각의 경로에서의 경로 위상은 산란체에 의해 아주 불규칙하게 수신되기 때문에 균일 랜덤 분포로 가정하여 모의 실험하였다.

2-2. 경로세기의 모의실험

실제로 다경로파는 주로 도심에서의 고층 건물들



[그림 3] 실측된 Logarithmic 경로 크기의 평균(μ) 과 분산(σ)
[Fig. 3] μ and σ of experimental Logarithmic path-strength.

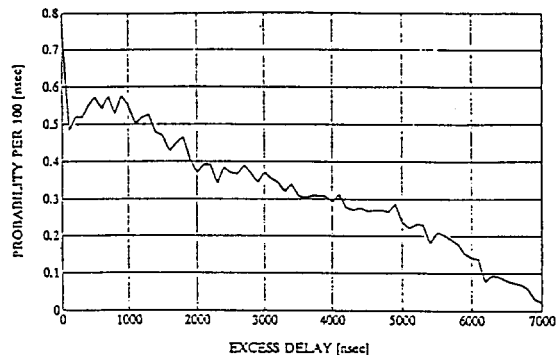
에 의한 신호의 반사나 산란등을 통해 들어오는 신호들의 합으로 정의된다. 본 논문에서 경로 크기의 분포는 널리 알려진 바와 같이 식 (2)의 확률 밀도 함수를 갖는 Log-normal분포를 이용하였고 실측된 Log-normal분포의 평균과 분산을 [그림 3]에 도시하였다.

$$p(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma a} \exp(-(\ln a - \mu)^2 / 2\sigma^2) \quad a \geq 0 \quad (2)$$

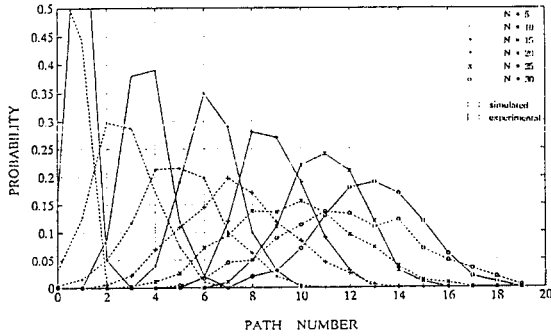
2-3. 경로 점유 시간의 모의실험

도심 지역에서 반사와 굴절을 일으키는 물체들이 랜덤하게 분포하기 때문에 [그림 4]의 실측된 경로 점유 확률 곡선을 이용하여 경로 점유 시간에 대해 모델링 할 수 있는 가장 간단하고 적당한 모델은 포아송 분포[4]라고 할 수 있다. 그러나, [그림 5]에 보인 것처럼 실험적 분포와 포아송 분포사이에는 상당한 차이가 있음을 볼 수 있다.

그래서 본 논문에서는 이러한 차이를 설명하기 위해 빌딩들의 group반사 특성을 고려한 modified poisson 분포($\Delta-K$ 모델)[5]를 경로 점유 시간에 대한 통계적 모델로 사용하였다.



[그림 4] 실측된 경로 점유 확률 곡선
[Fig. 4] Experimental probability-of-occupancy curve.



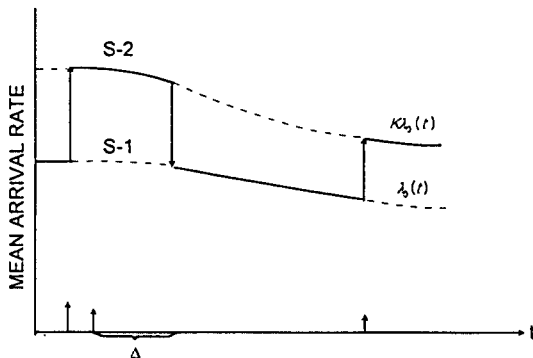
[그림 5] 포아송 분포를 이용한 경로 수 분포
 [Fig. 5] Path number distribution : poisson model.

[그림 6]에서 보는 것처럼 modified poisson 분포는 경로 평균 점유확률에 대한 두가지 단계(S-1과 S-2)를 가지고 있다.

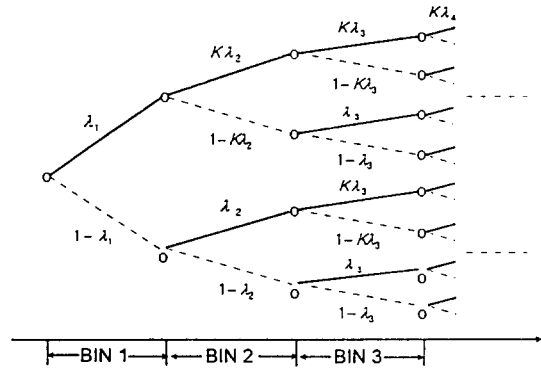
만약 시간 t 에서 경로가 점유된다면 간격 $[t, t+\Delta]$ 을 위해 단계 S-2로의 변환이 일어날것이고 더 이상 이 간격에 경로가 점유되지 않는다면 간격 끝에서 다시 S-1로의 변환이 일어날 것이다.

위의 모델은 $K=1$ 로 주거나 $\Delta=0$ 으로 주면 표준 포아송 분포와 같은 모델이 됨을 알 수 있다.

연속적인 시간에서의 모델이 Suzuki[5]에 의해



[그림 6] $\Delta-K$ 모델 : 연속 시간 모델
 [Fig. 6] $\Delta-K$ model : continuous time.



[그림 7] $\Delta-K$ 모델 : 이산 시간 모델
 [Fig. 7] $\Delta-K$ model : discrete version.

분석되었지만 이 모델은 모의실험에 적용하기에는 너무 복잡하기 때문에 본 논문에서는 역시 Suzuki에 의해 제안된 [그림 7]에 보인 이산 시간에서의 $\Delta-K$ 모델을 사용하였다.

본 논문에서 모델링한 광대역 채널은 Turin[4]이 10MHz 펄스를 이용하여 실측한 통계자료를 근간으로 사용하였기 때문에 가시거리지연을 원점으로 갖는 excess-delay 시간축은 bin이라 불리는 $\Delta=100\text{ns}$ 의 시간 간격으로 분할하였다.

bin_i 에 경로를 가질 확률 p_i 는

$$(i-1)\text{번째 bin에 경로가 없을 경우에는 } p_i = \lambda$$

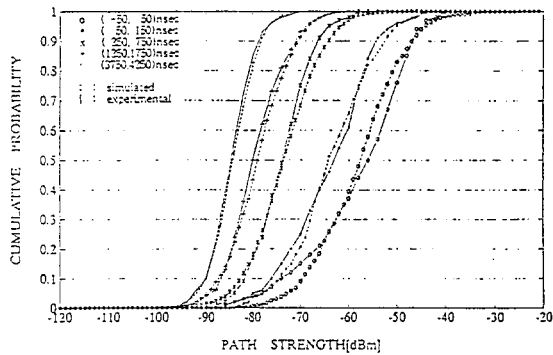
$$(i-1)\text{번째 bin에 경로가 있을 경우에는 } p_i = K\lambda \quad (3)$$

로 구해질 수 있고 여기서 λ_i 는 실측 데이터의 경로 점유 확률 r_i 로부터

$$\lambda_1 = r_1$$

$$\lambda_i = \frac{r_i}{(K-1)r_{i-1} + 1}, \quad (i \neq 1) \quad (4)$$

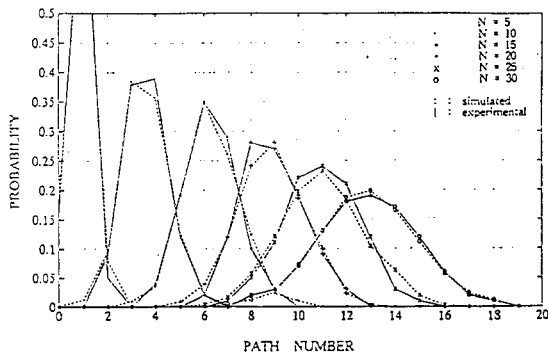
과 같이 구해질 수 있다.



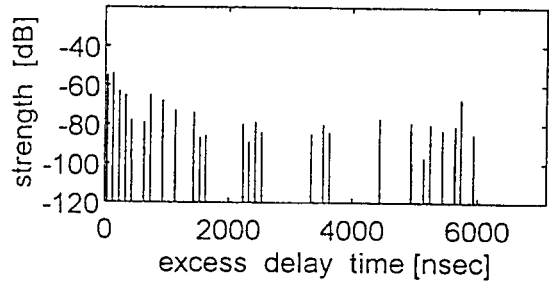
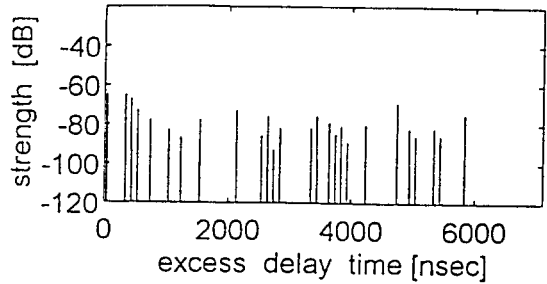
[그림 8] 경로 크기 분포
[Fig. 8] Path-strength distribution.

2-4. 채널 모델링의 성능 평가

위에서 모델링한 채널의 경로 크기에 대한 특성 확인으로는 각각의 정해진 bin 구간에서의 크기를 누적분포함수로서 표현한 경로 크기 분포를 [그림 8]에 dB값으로 나타내었고, 경로 점유시간에 대한 특성평가로서 N개 bin에 n개의 경로가 관찰될 확률인 경로 수 분포(path-number distribution)를 [그림 9]에 도시하고, 이로부터 구해진 몇가지 profile들을 [그림 10]에 도시하였다.



[그림 9] Modified poisson 분포를 이용한 경로 수 분포
[Fig. 9] Path number distribution : modified poisson model.



[그림 10] 시뮬레이션된 몇가지 profile
[Fig. 10] Simulated profiles.

Ⅲ. 광대역 대역확산 신호의 송/수신 과정 모의실험

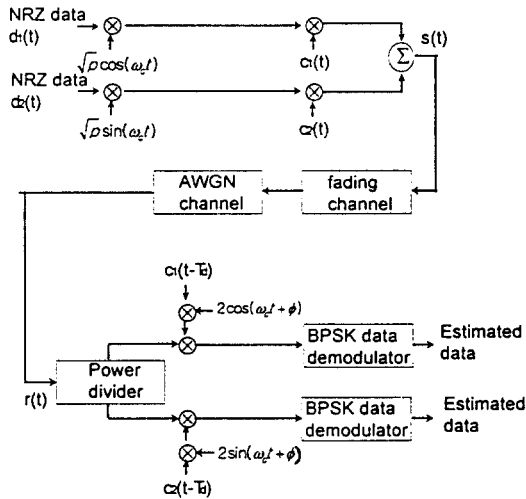
다경로 페이딩 현상이 시스템에 미치는 영향을 살펴보기 위해 앞에서 모델링한 다경로 페이딩채널을 이용하여 광대역 CDMA 시스템의 송/수신 과정을 <표 1>의 사양과 [그림 11]에 도시된 블럭도를 이용하여 QPSK 변조 방식을 이용한 컴퓨터 모의 실험을 실행하였다[7],[8].

본 논문에서 언급한 TDL 구조에서는 각 bin간격을 100ns로 7000ns(7 μ s)까지의 다중파를 고려하고 있기 때문에 페이딩 채널을 구현하기 위해 71개 tap을 사용하였고, 각 tap의 계수를 update하는 방법은 simulation상에서 연속적으로 처리하지 않고 1000개의 profile중 수신단에서 성능 평가시 최악 상황으로 고려할 수 있는 profile로서 최대 크기의 경로에 비해 나머지 잡음으로써 처리될 경로들의

〈표 1〉 광대역 CDMA 송/수신 사양

〈Table 1〉 Spec. of transmission and reception process

	광대역 CDMA
data rate	16Kbps
chip rate	10Mcps
sample /chip	6 samples
sample /symbol	7,500 sample
PN code degree	15
processing gain	1,250



[그림 11] 광대역 CDMA 송/수신 과정 블록도
[Fig. 11] Block diagram of broadband CDMA transmission.

크기가 비교적 균일한 profile만을 선택하여 각 tap에 랜덤한 위상을 부여하고, 나중에 시뮬레이션 결과들을 통계 처리하는 방식을 택하였다.

[그림 11]의 블록도에서 송신신호 $s(t)$ 는

$$s(t) = \sqrt{p}c_1(t)d_1(t)\cos(\omega_c t) + \sqrt{p}c_2(t)d_2(t)\sin(\omega_c t) \quad (5)$$

광대역 대역확산 방식의 다경로 페이딩에 대한 성능 평가

와 같이 쓸 수 있고, 페이딩 채널의 임펄스 응답은

$$h(t) = \sum_{i=0}^n a_i \delta(t - \tau_i) e^{j\theta_i} \quad (6)$$

과 같이 쓸 수 있으므로 페이딩 채널과 AWGN 채널을 통과시킨 수신기의 입력신호 $r(t)$ 는

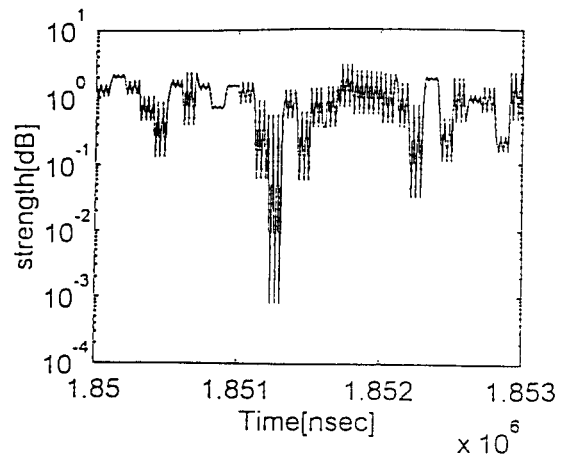
$$r(t) = \sum_{i=0}^n a_i \sqrt{p} c_1(t - \tau_i) d_1(t - \tau_i) \cos(\omega_c t + \theta_i) + c_2(t - \tau_i) d_2(t - \tau_i) \sin(\omega_c t + \theta_i) + n(t) \quad (7)$$

와 같이 표현할 수 있다.

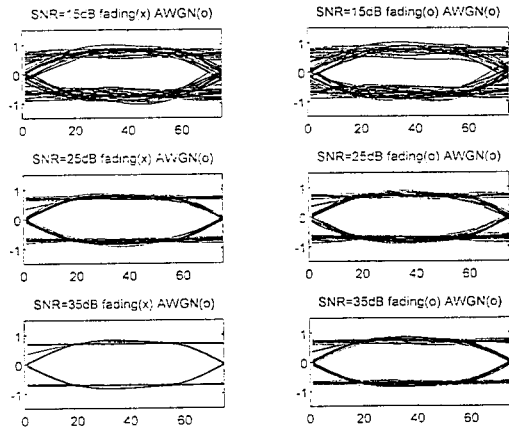
[그림 12]에 페이딩 채널에 통과시킨 전송신호의 출력력을 도시하였는데 이렇게 전송신호를 왜곡시키는 페이딩 현상이 CDMA 시스템에 사용하는 칩 전송률에 따라 역확산되어 복조되었을 때 시스템의 성능에 어떤 영향을 미치는지를 광대역 CDMA 시스템과 협대역 CDMA 시스템에 적용하여 살펴해보도록 하겠다.

그리고 수신 신호를 detection하는 과정에서 다음과 같은 가정들을 사용하였다.

- 수신단에서 여러 경로 중 최대 크기를 갖는 경로를 항상 추적할 수 있음을 가정.



[그림 12] 채널에 통과시킨 신호의 출력
[Fig. 12] Faded signal envelope.



[그림 13] 채널에 따른 복조 신호의 눈 패턴
 [Fig. 13] Eye pattern of received signal.

수신단에서 다경로에 의한 페이딩외에 다른 왜곡조건은 고려하지 않음.

3-1. 광대역 CDMA의 경우

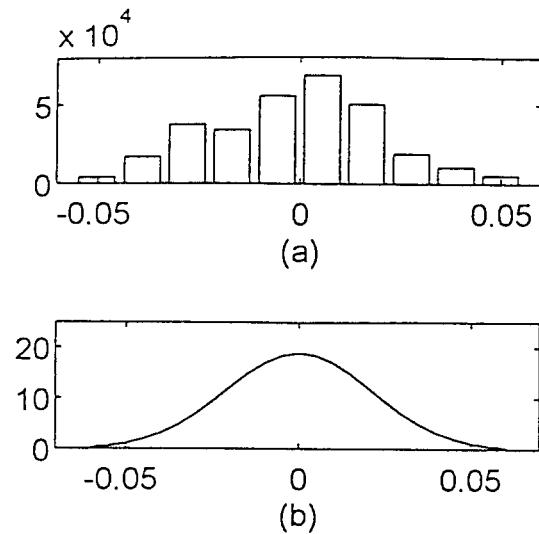
본 논문에서 설정한 광대역 CDMA 시스템은 높은 칩 전송률의 PN 코드를 이용하여 모든 다중경로들을 구분할 수 있기때문에 다중경로 페이딩 현상을 현저하게 줄일 수 있을 것으로 예상되는데 이를 확인하기 위해서 [그림 13]에서와 같이 페이딩 채널과 AWGN 채널을 통과한 수신신호의 눈 패턴을 AWGN 채널만을 통과한 수신신호의 눈 패턴과 비교함으로써 시스템 복조단에서의 채널 특성을 분석하고자 한다. 광대역 CDMA 복조단에서의 눈 패턴을 [그림 12]와 같은 다경로 페이딩이 있을 경우 눈이 많이 닫히는 일반적인 눈 패턴과 비교해 볼 때, 현저한 성능 개선이 있음을 알 수 있다.

[그림 13]에서 보듯이 신호대잡음비가 낮은 경우에는 페이딩과 AWGN 채널을 통과시킨 신호의 눈 패턴과 AWGN 채널만을 통과시킨 신호의 눈 패턴의 형태가 매우 비슷함을 볼 수 있는 반면 신호대잡음비가 높아질수록 AWGN 채널만을 통과시킨 눈 패턴은 이상적인 경우로 접근하는데 비해 페이딩과

AWGN 채널을 통과시킨 신호의 눈 패턴에는 역확산된 페이딩의 영향으로 인해 미세하기는 하지만 더 이상 향상되지 않는 잡음성분이 남아 있음을 볼 수 있다. 위의 결과로부터 역확산된 페이딩에 의한 잡음성분의 특성을 조사하기 위해 이의 확률 밀도 함수를 [그림 14]의 (a)와 같이 도시하였고 (a)로부터 구한 표준편차 I를 이용하여 [그림 14]의 (b)에 정규화된 가우시안 분포를 도시하였다. [그림 14]의 (a)와 (b)로부터 역확산된 페이딩의 영향은 평균전력I를 갖는 가우시안 분포를 갖는 잡음성분으로 근사화할 수 있음을 볼 수 있고, 이 결과로부터 페이딩과 AWGN 채널을 통과한 신호의 평균잡음전력은 N으로부터 N+I로 증가함을 알 수 있다.

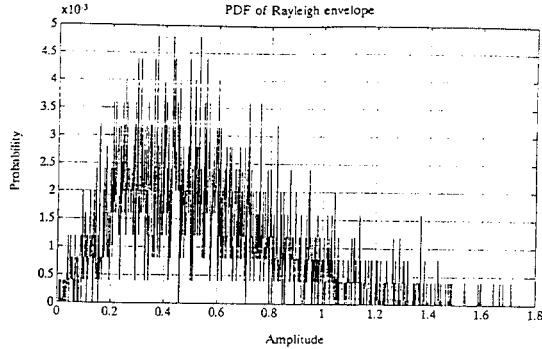
3-2. 협대역 CDMA의 경우

협대역 CDMA 시스템의 경우는 광대역 CDMA 시스템의 경우와는 달리 PN 코드를 이용하여 모든



[그림 14] (a) 역확산된 페이딩에 의한 잡음성분의 확률 밀도 함수
 (b) (a)로부터 구한 표준편차로 그린 가우시안 분포

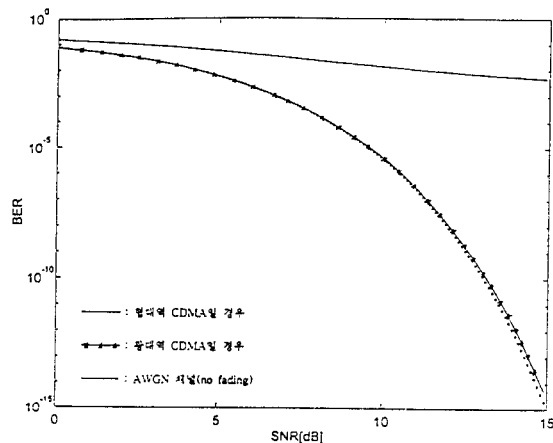
[Fig. 14] Noise pdf after fading and despreading.



[그림 15] 레일리 페이딩 진폭의 확률 밀도 함수
[Fig. 15] pdf of Rayleigh fading envelope.

수신신호의 다중 경로들을 구분하지는 못하기 때문에 PN 코드의 칩안에 포함된 다중 경로들에 의해 수신 신호가 [그림 15]와 같은 레일리 페이딩을 겪는다고 알려져 있다.[10]

마지막으로 위의 결과들을 이용하여 칩 전송률에 따른 CDMA 신호가 다경로 페이딩 채널과 AWGN 채널을 통과했을 때의 BER 곡선과 AWGN 채널만을 통과했을 때의 BER 곡선을 [그림 16]에 도시하였다.



[그림 16] 광대역 CDMA 시스템과 협대역 CDMA 시스템의 BER 곡선

[Fig. 16] BER curve : broadband CDMA method and narrowband CDMA method.

이상과 같이 광대역 시스템과 협대역 시스템을 시간분해능 측면에서 주파수 대역폭과 관련하여 살펴보면 $T \propto \frac{1}{B}$ 에 비례하기 때문에 광대역 시스템일수록 다경로파를 구별할 수 있는 시간 분해능이 좋다고 할 수 있다. 광대역 시스템과 협대역 시스템의 차이는 수신단에서 rake receiver를 사용할 경우 사용할 수 있는 rake 수신단의 개수가 delay spread에 따라 광대역 시스템일수록 다단의 rake 수신단을 사용할 수 있고, 각 rake 수신단에 수신되는 신호들의 크기 분포가 대역 확산 시스템의 경우 본 논문에서도 언급했듯이 광대역 시스템일수록 다경로에 대한 영향을 더 적게 받기때문에 대역폭이 큰 대역확산 시스템일수록 같은 환경에서 왜곡을 덜 받는다.

IV. 결 론

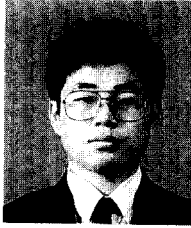
본 논문에서는 광대역 CDMA 시스템을 이동통신 채널환경에 적용한 다음 역확산과정을 거친 후의 수신 신호의 확률 밀도 함수를 분석함으로써 광대역 CDMA 시스템을 이용하여 랜덤한 시변 응답을 갖는 다경로 페이딩의 영향을 현저히 줄일 수 있음을 정량적으로 분석하였다. 광대역 CDMA 시스템의 성능 평가를 위해 실측을 통해 확인된 통계자료에 기초하여 광대역 이동통신 채널을 모델링하고 이렇게 모델링된 채널에 광대역 CDMA 시스템을 적용하였을 경우 다경로 페이딩의 영향이 시스템 수신단에서 어떻게 표현되는가를 확인하기 위해 수신 신호의 확률 밀도 함수를 통해 역확산 후의 페이딩의 영향을 정량적으로 분석하였다. 협대역 CDMA를 고려할 경우 역확산 후의 수신 신호의 확률 밀도 함수를 레일리 페이딩분포로 가정한 반면 다경로 페이딩을 충분히 극복할만한 시간 분해능을 갖는 광대역 CDMA 시스템의 경우에는 이를 대신 가우시안 잡음이 약간 더해진 형태로 고려할 수 있음을 확인할 수 있었는데 [그림 13]과 [그림 16]으로부터 이를 확인할 수 있었다.

본 논문에서 컴퓨터 모의실험을 통해 확인한 결과는 다경로 페이딩 환경에 광대역 CDMA 시스템을 적용하였을 경우, 모든 경로들을 구분할 수 있을 정도의 대역폭을 갖는 시스템을 고려(chip duration이 100ns인 시스템)하고, 다경로외에 시스템 성능에 영향을 줄 수 있는 다른 factor들은 고려하지 않은 최적의 결과를 보일 수 있는 조건하에서 모의실험이 실행되었기 때문에 그 결과가 다소 과장되어 있을 수 있다. 하지만 본 논문에서도 보였듯이 광대역 CDMA 시스템은 대역확산과 역확산에 사용된 대역확산 코드의 높은 칩율에 따른 시간 분해능을 이용하여 다경로 페이딩의 영향을 현저하게 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구 결과는 향후 광대역 CDMA 시스템을 고려할 경우 시스템의 성능 분석을 위한 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] D. L. Schilling, L. B. Milstein, et al, "Broadband CDMA for personal communications systems", *IEEE Communications Magazine*, pp. 86- 93, Nov. 1991.
- [2] Donald M. Grieco, "The Capacity Achievable with a Broadband CDMA Microcell Underlay to an Existing Cellular Macro-system", *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, vol. 12, no. 4, pp. 744-750, May 1994.
- [3] D. L. Schilling, G. R. Lomp, J. Garodnick, "Broadband CDMA overlay", *1993 43rd IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 452 - 455, 1993.
- [4] George L. Turin, "A Statistical Model of Urban Multipath Propagation", *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, vol. VT-21, no. 1, pp. 1-9, February, 1972.
- [5] H. Suzuki, "A Statistical Model for Urban Radio Propagation", *IEEE Trans. On Communication*, vol. COM-25, no. 7, pp. 673-680, July, 1977.
- [6] H. Hashemi, "Simulation of the Urban Radio Propagation Channel", *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, vol. VT-28, no. 3, pp. 213-225, August, 1979.
- [7] R. E. Ziemer and R. L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, Macmillan, pp. 501-554, pp. 332-348, 1985.
- [8] J. K. Holmes, *Coherent Spread Spectrum System*, New York : Wiley, pp. 378-389, 1982.
- [9] John G. Proakis, *Digital Communications*, McGRAW-Hill International Editions, pp. 728-739, pp. 716-719, 1989.
- [10] David Parsons, *The mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, pp. 108-123, 1992.

신 철 호



1971년 5월 27일생
1994년 2월 : 전남대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1996년 2월 : 전남대학교 대학원 전
자공학과 졸업(공학석사)
1996년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신

연구소 연구원

[주 관심분야] 이동통신 및 전파전파 특성 등

김 철 성

1977년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1979년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1979년 2월 ~ 1983년 3월 : 국방과학연구소 근무
1987년 12월 : University of Arizona(공학박사)
1987년 11월 ~ 1989년 3월 : 한국전자통신연구소 근무(이동통신연구실장 역임)
1989년 3월 ~ 1989년 3월 : 전남대학교 전자공학과 교수
1995년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 컴퓨터공학과 교수
[주 관심분야] 디지털 통신 시스템 공학, 이동통신, 위성통신, 통신신호처리, 영상처리 등

김 광 식



1968년 5월 16일생
1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1991년 ~ 현재 : 한국전자통신연구
소 연구원

[주 관심분야] 셀룰러 시스템 설계,

이동통신 및 전파 스펙트럼 엔지니어링 분야