

# 다중 경로 페이딩 채널의 시뮬레이션 모델

임 승 각\* 김 윤 석\*\*

## 요 약

디지털 무선 통신 시스템을 설계하는 경우 원하는 송신 전력, 전송 속도와 비트 오율등 원하는 통신 품질을 얻기 위해서는 무선 채널의 영향을 고려하여야 한다. 무선 채널에서 통신 품질을 열화시키는 주된 원인으로는 송신점과 수신점 사이를 연결하는 다중 경로에 의한 페이딩을 들 수 있으므로 시스템 설계시에는 페이딩 현상을 정확하게 나타내기 위한 채널의 모델이 필요하게 된다. 본 논문은 채널에서 발생하는 다중 경로 페이딩 현상과 지연 시간을 고려하는 채널 시뮬레이터 모델의 구성에 관한 것이다. 제안된 모델의 성능 분석을 위하여 송신 신호를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 페이딩 수신 신호의 확률밀도 함수, 레벨 교차율, 평균 페이딩 지속 시간 분포에서 이론치와 유사함을 얻을 수 있었다.

## A Simulation Model of Multipath Fading Channels

Seng Gak Lim\* and Yun Seok Kim\*\*

### ABSTRACT

For designing radio communication systems, radio-channel effects must be considered in order to obtain the desired communication quality, transmitting power, transmission speed and bit error rate. In radio channel, one of major factors that degrade communication quality is multipath fading between transmitting and receiving points. Therefore, a channel model which can describe fading effects correctly is requested. This paper deals with the composition of the channel simulator model that describes multipath fading effects and delay times which occur in the channel. For the performance analysis of the proposed model, transmitting signal is used in the simulation. From simulation results, it can be shown that probability density function, level crossing rates and average fading-duration time distribution of the faded receive signal are very similar with theoretic values.

### 1. 서 론

고정 지점간의 무선 통신이나 이동 통신에서 통신 채널은 무선으로 연결되며 수신점에 수신되는 신호는 많은 감쇠와 페이딩의 영향을 받아 레벨이 수시로 변동하는 페이딩 현상을 수반한다. 고정 무선 통신의 경우 전파는 송신점과 수신점을 직접적으로 연결하는 직접파와 지면에 반사되어 수신되는 다중 경로파가 벡터적으로 합성되어 수신 신호의 진폭과 위상이 random하게 변화하며 이동 통신의 경우에는 차량의 이동에 의한 doppler effect와 수신점 근처에 존재하는 빌딩등

의 장애물에 의하여 직접파는 거의 존재하지 않으며 인접 장애물에 반사되므로써 서로 다른 지연 시간을 갖는 다중 경로파 성분들이 합성되어 수신 신호의 진폭과 위상이 random 하게 변화한다[13]. 특히 고정 통신의 경우와 같이 직접파와 복수개의 지면 반사파에 의해 수신되는 신호의 확률적인 특성으로는 포락선의 분포가 Rician distribution, 위상의 분포가 Uniform distribution하는 반면 이동 통신의 경우와 같이 직접파 성분이 없이 다중 경로를 통하여 수신되는 신호의 확률적인 특성으로는 포락선의 분포가 Rayleigh distribution, 위상의 분포가 Uniform distribution 한다[12]. G. A. ARREDONDO, K. FEHER[2, 8] 등은 이동 통신의 환경 (Rayleigh 환경)에서 사

\* 정 회 원 : 상지대학병설전문대학 사무자동화와 전임강사

\*\* 정 회 원 : 상지대학병설전문대학 전자과 전임강사

논문접수: 1995년 2월 24일 심사완료: 1995년 5월 18일

용 가능한 채널의 시뮬레이션 모델을 제안하여 레벨 교차율, 페이딩 지속 시간, 확률 밀도 함수 등의 성능을 이론치와 비교하였으며 M. A. BLANCO [14]는 직접파가 존재하는 고정 통신(Rician 분포)에서 비트 오류(BER; Bit Error Rate)의 분포를 다이버시티의 사용 여부에 따라 제시하였으나 이들의 연구에서는 Rayleigh 환경과 Rician 환경에서 동일한 파라미터를 사용하여 성능 분석을 수행하지 않았으며 전파의 지연 시간을 고려하지 않았다. 본 논문에서는 확률적으로 poisson 분포하는 지연 시간을 고려한 모델을 제안한 후 2가지의 상이한 페이딩 환경하에서 동일한 파라미터를 사용하여 성능 분석(레벨 교차율, 페이딩 지속 시간, 확률 밀도 함수)을 수행하였다. 2장에서는 수신되는 신호에 대한 수학적 모델과 신호의 통계적 성능 파라미터에 대하여 설명한 후 3장에서는 이를 컴퓨터 모델로 나타내기 위한 구성과 이의 성능을 이론치와 비교 후 4장에서는 결론을 내리겠다.

2 수신 신호의 수학적 모델

무선 전파를 사용하는 고정 지점간의 통신에서 전파 경로는 가시거리내인 경우 직접파 성분과 지면에 반사되어 수신되는 복수개의 다중 경로파 성분이 합성된다. 다중 경로파의 경우 복수개의 신호가 서로 다른 지연 시간과 감쇠를 받으면서 수신되므로 신호의 레벨이 시간적으로 변동하는 페이딩 현상과 신호의 퍼짐(dispersion)이 발생되어 디지털 통신 시스템에서는 비트 오류의 직접적인 원인이 되어 시스템의 성능을 저하시키거나 고속 전송이 불가능하게 된다[1].

(그림 1)은 송신점에서 수신점까지의 무선 채널 경로를 나타낸 것으로 대기권에서의 산란파,

직접파, 지면 반사파의 3가지 신호가 수신점에 수신됨을 알 수 있다. 이들 신호 성분들간의 상호 작용과 감쇠, 지연등에 의하여 수신 신호는 원래의 송신 신호와는 주파수, 시간상에서 상이하다.

먼저 다중 경로를 통하여 수신되는 경우는 다음과 같다. 송신측에서 송신하는 신호를 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$e_0 = E_0 \exp(j\omega t) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 송신 신호는 직접 경로와 다중 반사 경로를 통하여 수신되므로 각각의 다중 경로를  $\gamma_i$   $i$ 번째 경로를 통하여 전파되는 지연 시간을  $\tau_i$ 라고 할 때 위상 변화는 다음과 같이 된다.

$$\beta\gamma_i = \left(\frac{\omega}{v}\right) \gamma_i = \omega \tau_i, \dots\dots\dots (2)$$

또한 지연된 신호  $i$ 는 입사각  $\theta$ 로 안테나에 수신되므로 이때 발생하는 도플러 주파수  $\omega_i = \beta v \cos \theta$ 가 되므로 수신되는 신호 성분은 경로 손실을 고려하지 않으면 다음과 같이 된다.

$$e = E_0 \sum_{i=1}^n \exp[j(\omega t + \omega_i t - \omega \tau_i)] \dots\dots (3)$$

수신 신호에서 실수부만 취하면

$$s = \text{Re}(e) = X \cos \omega t - Y \sin \omega t \dots (4)$$

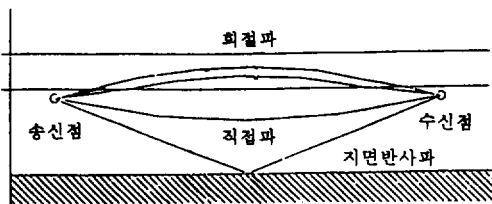
가 된다. 여기서 X와 Y는 입력 신호의 inphase, quadrature 성분을 말하며 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$X = E_0 \sum_{i=1}^n a_i \cos(\omega_i t - \omega \tau_i) \dots\dots\dots (5)$$

$$Y = E_0 \sum_{i=1}^n a_i \sin(\omega_i t - \omega \tau_i)$$

식 (5)에서 다중 경로의 수  $n$ 이 클수록 central limit theorem에 의하여 X와 Y는 협대역 gaussian process로 분포하게 되며 이를 포락선과 위상의 복소 함수로 표시할때 이의 통계적 특성으로 포락선은 Rayleigh 분포를 하며 위상은 Uniform 분포하게 된다[5].

직접파 성분과 다중 경로파 성분이 존재하는 경우 직접파 성분은 채널에서 포락선이 log normal 분포를 하며 다중 경로파 성분은 상기의 Rayleigh 분포를 하게 된다. 직접파 성분을 나타



(그림 1) 다중 경로 전파 모델  
(Fig. 1) Propagation model of multipath

내기 위하여 포락선이 log normal 분포하므로 0 과 1 사이에서 Uniform 분포하는 process를 식 (6), (7)과 같은 비선형 변환을 통하여 발생시킨다.

$$x_p = \sqrt{-2 \ln \mu \cos 2\pi v} \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $v, \mu$ 는 Uniform 분포하는 값을 말하며 이를 원하는 평균과 분산을 갖기 위해서는 다음의 변환 과정이 필요로 하게 된다.

$$x = \sqrt{a_0} x_p + m \dots\dots\dots (7)$$

직접파 성분과 다중 경로 성분이 동시에 존재하는 경우에는 식 (7)에 의하여 발생하는 직접파 성분이 식 (3), (4)에 고려되어야 한다. 이때 수신되는 신호는 식 (8)과 같이 된다.

$$e = E_0 \sum_{i=1}^n \exp [j(\omega t + \omega_i t - \omega r_i)] + A \exp [j\omega t] \dots\dots\dots (8)$$

여기서 실수부만 취하면

$$s = Re(e) = (A+X) \cos \omega t - Y \sin \omega t \dots (9)$$

가 된다.

**2.1 다중 경로 채널의 성능 파라미터**

수신 신호는 일종의 random process로 고려할 수 있으므로 이의 특성의 분석하기 위해서는 통계적인 기법이 필요하게 되며 다중 경로 채널에서 고려되는 기법으로는 1차와 2차 통계치가 있다. 1차 통계치로는 process의 확률 밀도 함수(PDF; Probability Density Function)와 누적 분포 함수(CDF; Cumulative Distribution Function)가 있으며 2차 통계치로는 레벨 교차율(LCR; Level Crossing Rate)와 평균 페이딩 시간(AFD; Average Fading Duration) 등이 있다[13].

**2.1.1 1차 통계치**

수신 신호의 포락선 변동을 확률적으로 나타내는 기법으로써 특정 레벨의 점유를 확률적으로 나타내는 pdf와 pdf의 누적함수로 표현되는 cdf의 2가지가 있다. 다중 경로만이 존재하는 경우 수신 신호의 분포를 식 (5)에 나타내었으며 이를

복소 함수로 표현하면 식 (10)과 같이 되며 직접파 성분과 다중 경로 성분이 동시에 존재하는 경우 수신 신호의 분포를 식 (11)에 나타내었다.

$$e = R \exp [j(\omega t + \theta),$$

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} \text{ and } \theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y}{X} \right) \dots\dots (10)$$

$$e = R \exp [j(\omega t + \theta),$$

$$R = \sqrt{(A+X)^2 + Y^2} \text{ and } \theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y}{A+X} \right)$$

..... (11)

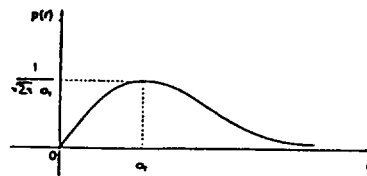
수신 신호를 포락선, 주파수, 위상으로 나누어 볼때 신호의 포락선을 나타내는 R의 통계적 분포는 (10)의 경우 Rayleigh, (11)의 경우 Rician 분포를 하며 신호의 위상 변화를 나타내는  $\theta$ 는  $[0, 2\pi]$  범위내에서 Uniform 분포하게 되며 다음과 같이 된다. Rayleigh의 경우 확률 밀도 함수는

$$p(r) = \frac{\gamma}{\sigma} \exp \left( -\frac{\gamma}{2\sigma^2} \right) \dots\dots\dots (12)$$

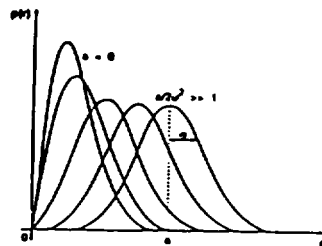
가 되며 Rician의 경우

$$p(r) = \frac{\gamma}{\sigma} \exp \left( -\frac{\gamma^2 + A^2}{2\sigma^2} \right) I_0 \left( \frac{\gamma A}{\sigma^2} \right) \dots (13)$$

와 같이 된다. 여기서  $\sigma$ 는 신호의 표준 편차를 말하며  $I_0$ 는 0차 수정 베셀 함수를 말한다.



(a) Rayleigh 분포



(b) Rician 분포

(그림 2) Rayleigh 분포와 Rician 분포  
(Fig. 2) Rayleigh distribution and Rician distribution

(그림 2)는 Rayleigh 분포와 Rician 분포를 나타낸 것으로 그림의 Rician에서 a는 직접파 성분의 진폭을 나타내며 a = 0의 경우에는 Rayleigh 분포를 한다.

2.1.2 2차 통계치

(1) 레벨 교차율(LCR ; Level Crossing Rate)

레벨 교차율은 단위 시간내에 페이딩 포락선이 특정 레벨을 정의 방향으로 교차하는 평균 횟수를 말한다. 페이딩 신호의 스펙트럼을 S(f)라고 할때 무지향성 안테나를 사용하여 신호를 수신할 때 다음과 같이 된다[3].

$$S(f) = \begin{cases} \frac{E^2}{2\pi f_d} [-1(\frac{f}{f_d})^2]^{-0.5}, & f \leq f_d \quad \dots (14) \\ 0, & f > f_d \end{cases}$$

식 (14)에서 f<sub>d</sub>는 도플러 주파수(페이딩율)를 말하며 S(f)의 적분을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$b_n = (2\pi)^n \int_0^\infty S(f) f^n df \quad \dots (15)$$

식 (12), (14), (15)에서 특정 레벨을 교차하는 레벨 교차율은

$$N_R = \sqrt{\frac{b_2}{\pi b_0}} \rho \exp -\rho^2 \quad \dots (16)$$

가 된다. 여기서 p는 실효치 레벨과 비교 레벨과의 상대비를 나타낸다. 식 (14), (15)를 이용하면 도플러 주파수는 다음과 같이 된다.

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2b_2}{b_0}} \quad \dots (17)$$

(2) 평균 페이딩 지속 시간(AFD ; Average Fade Duration)

평균 페이딩 지속 시간은 LCR과 유사한 개념으로 페이딩 포락선이 특정 레벨이하로 떨어지는 시간의 평균치를 말하며 τ<sub>i</sub>를 i번째 페이딩의 시간이라고 하면 전체 관찰 구간 T초 동안 r < R (특정 레벨)이 되는 총시간의 확률은

$$P(r < R) = \frac{1}{T} \tau_i = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp(-\rho^2) \quad \dots (18)$$

가 되므로 평균 페이딩 지속 시간은 다음과 같이 된다.

$$\bar{\tau} = \frac{1}{TN_R} \sum \tau_i = \frac{1}{N_R} P(\gamma < R) \quad \dots (19)$$

식 (17), (18)을 조합하면 AFD는 다음과 같이 된다.

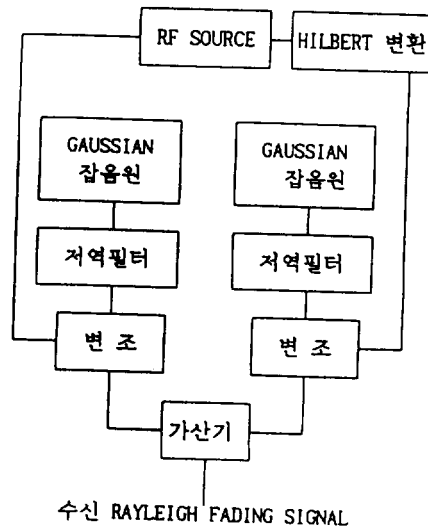
$$\bar{\tau} = \sqrt{\frac{\pi b_0}{b_2}} \frac{1}{R} \exp(R^2) - 1 \quad \dots (20)$$

3. 컴퓨터 시뮬레이션 모델

3.1 컴퓨터 시뮬레이션 모델의 구성

G. A. Arredondo는 직접파가 존재하지 않는 무선 채널의 특성을 컴퓨터로 나타내는 모델을 제안하였다. 여기서는 협대역 가우시안 process를 이용하여 적당한 도플러 주파수를 차단 주파수로 하는 필터를 사용하여 스펙트럼 정형한 후 이를 변조, 합성하므로써 페이딩 특성을 얻을 수 있었는데 여기서는 직접파 성분과 전파 경로에 의한 지연 효과를 고려하지 않았으며 이를 (그림 3)에 나타내었다[3].

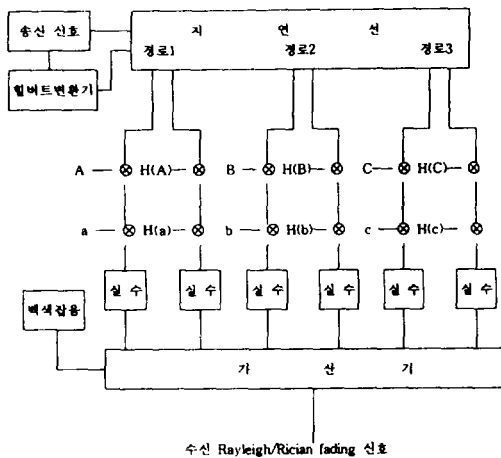
본 논문에서 제안하는 모델은 Arredondo의 모델을 개선하여 Rayleigh 환경뿐만 아니라 Rician



(그림 3) ARREDONDO의 채널 모델 (Fig. 3) Channel model of ARREDONDO

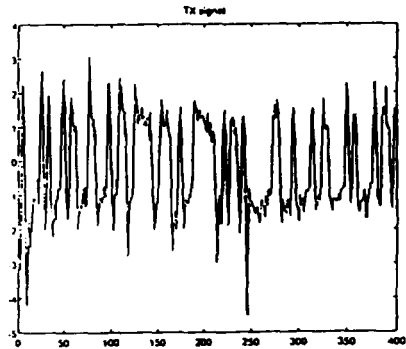
환경의 모델로도 사용이 가능하며 다중 경로 신호의 지연 효과를 고려하기 위하여 delay line을 사용하였다. delay line에서는 임의의 시간만큼 다중 경로 신호의 지연이 가능케되며 채널의 시변(time varying) 효과를 얻기 위하여 각 branch에 곱해지는 process를 변경시키므로써 얻을 수 있으므로 다중 경로파의 수를 용이하게 변경할 수 있는 장점이 있으며 이를(그림 4)에 나타내었다. 그림에서는 3개의 경로를 갖도록 구성되어 있다. 경로 1의 경우 delay line에서 지연 시간을 0으로 하여 직접파의 inphase, quadrature 성분을 얻는데 사용하였으며 경로 2, 3의 경우 delay line에서 적당한 지연 시간을 준 후 2개의 다중 경로파 성분을 얻는데 사용한다. 각 branch는 2개의 승산기로 구성되어 먼저 A, B, C는 Rayleigh 또는 Rician fading 특성을 얻기 위하여 사용되는 random process를 말하며 H(A), H(B), H(C)는 각 A, B, C의 hilbert 변환치를 나타낸다. 경로 1의 직접파 성분의 경우에는 식 (7)에 의하여 발생된 process를 이용한다.

process A, B, C를 송신 신호의 inphase, quadrature 성분에 곱하므로써 각 성분들이 받는 페이딩 효과를 얻을 수 있으며 여기에 process a, b, c를 곱하여 원하는 도플러 주파수 영향을 고려한다. 여기서 도플러 주파수는 수십 Hz 정도로 매우 적으며 이에 의하여 랜덤 위상 변화를 받게 된다. delay line에서 경로 1의 지연 시간을 0으로

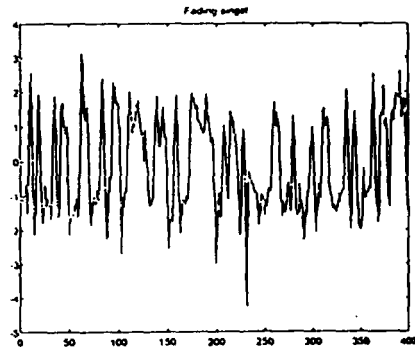


(그림 4) 제안된 채널 모델  
(Fig. 4) Proposed channel model

설정된 후 process A를 식 (6)과 (7)을 고려하면 채널 모델은 rician fading의 환경으로 사용 가능하며 경로 1의 지연 시간을 poisson variage 조건을 만족하는 0이 아닌 값으로 결정한 후 process A를 백색 잡음을 필터링한 성분으로 바꾸는 경우에는 Rayleigh fading 환경에서 사용 가능한 채널 모델이 된다. 이들의 각 성분을 더하여 원하는 확률 분포 특성을 갖는 페이딩 신호를 얻을 수 있게 되며 경로의 수를 증가할수록 다중 경로의 영향을 고려할 수 있게되며 실제의 환경과 유사한 특성을 얻을 수 있는 기본적인 경로의 수는 직접파 성분과 지연 반사파 및 공간 회절파 성분에 대한 각각의 inphase, quadrature 성분을 고려할 때 6~8개 정도이지만[4] 본 논문에서는 3개의 경로수를 이용하여 6개의 성분을 고려하였다.



(a) 송신 신호



(b) 수신 신호

(그림 5) 송신 신호와 수신 신호  
(Fig. 5) Transmit signal and Receive signal

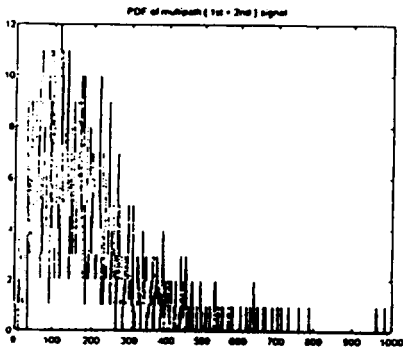
3.2 컴퓨터 시뮬레이션 모델의 성능

(그림 4)에서 제안된 채널 모델을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 후 성능 분석 결과를 이론치와 비교하였다. 본 시뮬레이션에서는 먼저 송신 신호로는 디지털 기저 대역 신호를 발생한 후 3개의 경로를 통하여 수신되는 경우를 고려하여 경로 1은 직접파 성분을 나타내며 delay line 에서 지연 시간을 0으로 조절하며 process A는 식 (6), (7)에 의하여 발생하였다.

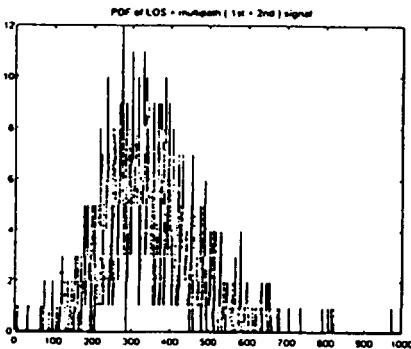
경로 2와 3의 다중 경로파는 직접파 성분보다 상대적으로 긴 지연 시간을 갖게 된다. 지연 시간의 결정은 평균 도착율이 6이므로 확률적으로 poisson 분포를 위한 조건을 만족하는 데이터의 지연수를 결정한 후[15] 지연된 신호가 동일한 평균 전력을 갖도록 조절하였다. process B, C는 차단 주파수가 상이한 디지털 필터를 사용하여

백색 잡음을 필터링하여 발생하였는데 경로 2와 3의 차단 주파수는 기저 대역에서 정규화 주파수 0.2, 0.5로 설정하였다. 또한 process a, b, c는 랜덤 위상 변화를 나타내는 성분으로써 정규화 주파수가 5Hz인 정현파 신호를 사용하였다.(그림 5)는 시뮬레이션에 사용된 송신 신호와 Rayleigh 환경에서 수신 신호를 나타낸 것으로 백색 잡음은 고려하지 않은 경우이다.

모델의 정확성을 보이기 위하여 2장에서 설명한 이론상의 페이딩 신호 통계치를 채널 모델을 통한 수신 신호에서 얻은 것과 비교하였다. 먼저 (그림 6)은 1차 통계치를 Rayleigh와 Rician fading의 경우를 나타낸 것이다. 확률 밀도 함수에서 Rician의 경우 직접파 성분이 다중파 성분에 더해지므로 Rayleigh의 경우보다 직접파 성분의 평균치만큼 증가함을 알 수 있다.

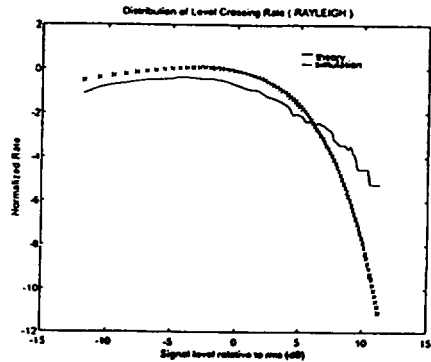


(a) Rayleigh fading

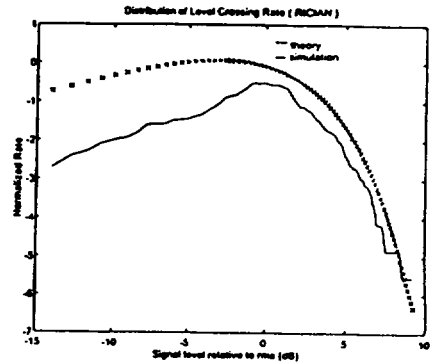


(b) Rician fading

(그림 6) 1차 통계치  
(Fig. 6) First order statistics

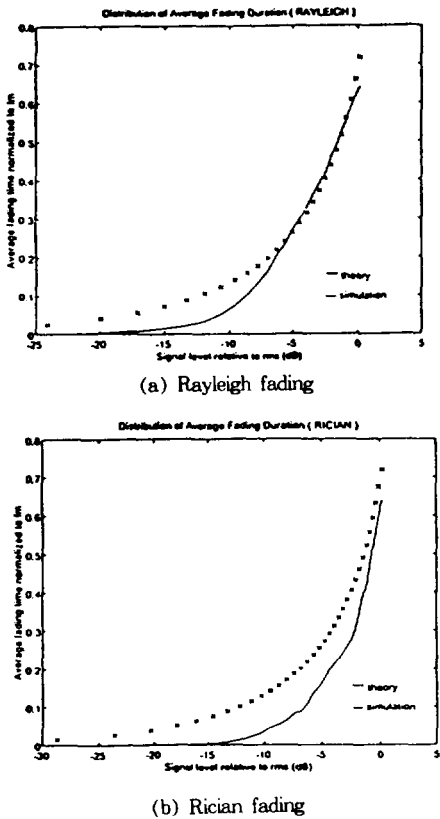


(a) Rayleigh fading



(b) Rician fading

(그림 7) 2차 통계치(레벨 교차율)  
(Fig. 7) Second order statistics(LCR)



(그림 8) 2차 통계치(평균 페이딩 지속 시간)  
(Fig. 8) Second order statistics(AFD)

(그림 7, 8)은 2차 통계치를 나타낸 것으로써 수신 신호의 레벨 교차율과 평균 페이딩 지속 시간의 분포를 Rayleigh와 Rician fading의 경우로 나누어 이론치와 비교하여 나타낸 것이다. 2차 통계치의 분석 결과 Rayleigh fading의 경우 이론치와 근사하였으며 Rician fading의 경우 이론치보다 양호한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있는데 이는 이론치로써 Rayleigh 분포의 경우를 이용하였기 때문이다. 또한 신호의 레벨이 2차 통계치에 미치는 영향은 Rayleigh의 경우가 Rician의 경우보다 큼을 알 수 있는데 Rayleigh의 경우 0 dB 이상이 되는 경우 이론치보다 양호한 반면 그 이하에서는 열악한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 직접파가 존재하지 않는 이동 통신에서 데이터를 전송하는 경우 신호 레벨의 변동이 시스템의 성능에 미치는 영향이 매우 크게 되므로 이에 대한 대책이 필요하게 된다.

#### 4. 결 론

최근 무선 전화, 셀룰라 전화등 무선 전파의 사용이 급증하면서 이를 이용하는 통신 시스템에서의 송신 전력, 전송 속도, BER계산 등의 성능 분석과 통신 시스템을 설계하는 경우에는 반드시 무선 채널에서 일어나는 잡음, 간섭, 페이딩등의 영향을 고려하여야 한다. 이와 같은 요인중에서 잡음, 간섭은 기술적으로 극복이 가능하지만 페이딩은 자연적인 현상으로써 극복이 불가능하며 이를 경감하기 위하여 다이버시티, 적응 등화기 등이 사용되고 있다.

본 논문은 디지털 무선 통신을 수행할 때 채널에서 발생하는 다중 경로에 의한 fading 현상을 컴퓨터로 나타내기 위한 채널 시뮬레이터 모델의 구성에 관한 것으로 Rayleigh 환경과 지연 시간을 고려하지 않았던 기존의 모델을 개선하여 지연 시간을 고려하였으며 Rayleigh 환경과 Rician 환경에서도 사용 가능함을 보였다. 제안된 채널 모델의 성능 분석을 위하여 1차, 2차 통계치로써 널리 사용되는 확률 분포 함수, 레벨 교차율, 평균 페이딩 지속 시간의 분포를 이론치와 모델을 통하여 발생된 페이딩 신호의 분포를 상호 비교 하므로써 이의 타당성을 입증하였다. 제안된 채널 모델은 통신 시스템의 설계등에서 현장 시험 등을 통한 전송 속도, BER 예측등의 파라미터 설정시 실험실에서 손쉽게 사용 가능하며 H/W 측면에서도 간단한 구조이므로 경제적으로 구성할 수 있는 장점이 있다. 또한 채널 모델을 통한 송/수신 신호를 이용하면 채널의 특성을 알 수 있으므로 미리 송신측에서 채널 특성의 역수를 취하여 전송하므로써 fading에 의한 영향을 줄일 수 있게 되어 고속, 광대역의 데이터 전송이 가능케 될 것이다. 그러나 송/수신국간의 거리 및 신호 감쇠, 채널의 시변 특성을 고려하지 않았으므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

[1] T. A. Sexton, K. Pahlavan, "Channel modeling and adaptive equalization of indoor radio channel", IEEE Jour. on S. A. C., Vol. 7,

No. 1, pp. 114-121, Jan. 1989.

[ 2 ] G. A. Arredondo, W. H. Chriss, "A multipath fading simulator for mobile radio", IEEE trans. on V. T., Vol. VT-22, No. 4, pp. 241-244, Nov. 1973.

[ 3 ] E. Casas, C. Leung, "A simple digital fading simulator for mobile radio", IEEE trans. on V. T., Vol. VT-39, No. 3, pp. 205-212, Aug. 1990.

[ 4 ] L. Ehrman, L. B. Bates, J. F. Eschle, J. M. Kates, "Real-time software simulation of the HF radio channel", IEEE trans. on com., Vol. COM-30, No. 8, pp. 1809-1817, Aug. 1982.

[ 5 ] C. Loo, N. Secord, "Computer models for fading channels with applications to digital transmission", IEEE trans. on V. T., Vol. VT-40, No. 4, pp. 700-707, Nov. 1991.

[ 6 ] B. Vucetic, J. Du, "Channel modeling and simulation in satellite mobile communication systems", IEEE Jour. on S. A. C., Vol. 10, No. 8, pp. 1209-1218, Oct. 1992.

[ 7 ] F. Davarian, "Channel simulation to facilitate mobile-satellite communications research", IEEE trans. on com., Vol. COM-35, No. 1, pp. 47-56, Jan. 1987.

[ 8 ] S. Gurunathan, K. Feher, "Multipath simulation models for mobile radio channels", Proceeding of the 1993 IEEE V. T. Society, Vol. 1 of 2, pp. 131-134, 1993.

[ 9 ] M. Shafi, "Statistical analysis simulation of a three ray model for multipath fading with applications to outage prediction", IEEE Jour. on S. A. C., Vol. 5, April 1987.

[ 10 ] E. L. Caples, K. E. Massad, T. R. Minor, "A UHF channel simulator for digital mobile radio", IEEE trans. on V. T., Vol. VT-29, No. 2, pp. 281-289, May 1980.

[ 11 ] L. J. Greenstein, B. A. Czekaj, "Modeling multipath fading responses using multitone probing signals and polynomial approximation", B. S. T. J., Vol. 60, No. 2, pp. 193-214, Feb. 1981.

[ 12 ] W. C. Jakes, "Microwave mobile communication", New York ; Wiley, 1974.

[ 13 ] M. D. Yacoub, "Foundations of mobile radio engineering", CRC Press, 1993.

[ 14 ] M. A. Blanco, "A multirician fading model for radio communication systems", Proceeding of the 1993 IEEE V. T. Society, Vol. 2 of 2, pp. 1227-1232, 1993.

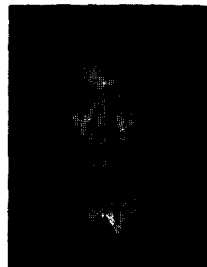
[ 15 ] Byron, J. T. Morgan, "Element of simulation", Cambridge University Press, 1984.



**임 승 각**

1983년 숭실대학교 전자공학과  
 1985년 경희대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1994년 경희대학교 대학원 박사과정 수료  
 1985년~88년 한국전자통신연구소  
 1988년~93년 삼성전자 정보통신연구소

신연구소  
 1993년 정보통신기술사  
 1993년~현재 상지대학병설전문대학 사무자동화과 전임강사  
 관심분야 : 이동통신, 데이터통신.



**김 윤 석**

1989년 경원대학교 전자공학과  
 1991년 경희대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1993년~현재 경희대학교 대학원 박사과정  
 1993년~현재 상지대학병설전문대학 전자과 전임강사  
 관심분야 : 데이터통신, 통신시스템, 신경회로망.