

배경잡음이 부가된 도심지역 이동무선시스템의 Outage 확률분석

Outage Probability Analysis for Mobile Radio System Added Background Noise in Urban Area

신관호* · 김해기** · 안치훈** · 김 남** · 전형구***

Kwan-Ho Shin* · Hae-Ki Kim** · Chi-Hoon Ahn** · Nam Kim** · Hyung-Ku Jeon***

요 약

본 논문은 레일라이 페이딩과 로그노말 새도우잉에 의한 영향뿐 아니라 도심지역에 존재해 있는 인공잡음을 고려하여 이동 무선 채널과 전파특성을 분석하였다. 잡음의 존재 여부가 이동 무선 시스템에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서 기존의 모델링과 outage 확률값을 비교하였다. 도심지역의 효과적인 무선 전파의 분석을 위해서 페이딩과 새도우잉 그리고 잡음을 복합적으로 고려하였다. $N=0.000001$ 인 조건에서 잡음을 고려하지 않은 경우 outage 확률값은 5.624×10^{-6} , 페이딩만을 고려한 경우는 3.1976×10^{-4} , 잡음을 고려한 모델에서는 6.0×10^{-3} 을 나타냈다. 잡음을 무시한 채널 모델링과 해석은 시스템의 성능평가에 상당한 오류를 야기될 수 있음을 밝혔다.

Abstract

In this paper, considering the Rayleigh fading, the lognormal shadowing, and the man-made noise which is occurred in urban area randomly, the mobile radio channel and the radio propagations are analyzed. The system affected by the noise is compared to other modelings. The fading, shadowing, and background noise are wholly considered to evaluate the mobile radio propagation effectively. For $N=0.000001$, the outage probability in the absence of noise is 5.264×10^{-6} , in the fading only 3.1796×10^{-4} , and in the presence of noise 6.0×10^{-3} . The analysis with the presence of noise is very important for the performance evaluation of mobile radio system.

I. 서 론

이동 무선채널에는 페이딩과 새도우잉, 다중경로 또는 도플러 확산, 부가적인 잡음 등과 같은 다양한 손실요소들이 존재한다. 이와 같은 무선환경의 정확한 분석을 위해서는 다양한 손실요소들에 대한

영향과 이들 요소들간의 복합적인 연관성을 고려하여 채널 특성을 수식적으로 표현할 필요가 있다. 채널 모델링에 대한 이러한 노력은 채널 구성요소를 어떻게 원하는 통신환경에 적합하도록 일반화하는가에 중점을 두어 지속적으로 발전되어 오고 있다. 전파모델은 크게 이론적인 모델(closed form)과 실험적인 모델(field measurements)로 구분될 수 있

* 국방과학연구소(Agency for Defense Development)

** 충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Information and Communication, Choongbuk Nat'l Univ.)

*** 한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문번호 : 980130-012

· 수정완료일자 : 1998년 5월 25일

다. 실험적인 모델에서는 많은 변수들이 고려되어 지며, 이 모델은 아주 복잡한 형태를 띄게 된다. 그러나 이론적인 모델방법에서는 많은 가정들을 설정하여 수식적으로 간단히 표현함으로써 근사화 시키는 방법이다.

Suzuki는 1977년에 신호에 대한 협대역 신호 침투치의 통계적 동작을 신호의 평균 전력이 주어졌을 때 신호 침투치의 확률밀도 함수와 로그노말 확률밀도 함수와의 곱에 대한 적분으로 표현된다는 가설을 수립하였으며 이러한 가설은 1980년에 Lorenz가 Suzuki의 식을 이용하여 레일라이-로그노말 모델이 광역 셀룰라(macro-cellular) 전송에 적합하다는 것을 입증하였다^[1]. 1985년에 Loo는 이러한 환경을 보다 정밀히 분석할 수 있도록 로그노말 및 레일라이 요소를 부가한 혼합모델을 제시하였으며, 최근에는 1994년에 Corraza와 Vatalaro에 의해 Suzuki 및 Lorenz의 모델을 직접적으로 확장한 Rice-Lognormal(RLN) 모델이 제안되었다^{[2],[3]}.

채널 모델링에 있어 다른 한 편으로 고려해야 할 사항은 다중접속에 관한 부분이다. 다중접속 무선 시스템에서 네트워크의 처리량을 향상시키기 위해 여러 가지 상이한 변조포맷과 랜덤 액세스 기법들이 제안되었다^[4]. 실제 환경에서 간섭 및 랜덤접속 프로토콜이 매우 연관되어 있으므로 이들을 모두 고려한 최적화를 통해 네트워크의 처리량을 향상시킬 수 있다. 다중접속이 고려된 환경에서의 분석을 위해서는 간섭자들의 위치, 로그노말 새도우잉 효과에 의한 랜덤핑 감쇄, 레일라이 페이딩과 같은 랜덤효과들이 고려되어야 한다. 간섭은 여러 개의 송수신기가 있을 때, 몇 명의 사용자가 같은 채널을 사용하고 있거나 또는 다른 사용자가 인접 채널을 사용하고 있을 때 발생하며 크게 동일채널 간섭과 인접채널 간섭으로 구분한다. 본 논문에서는 이러한 통신채널에 간섭을 일으키는 사용자들의 위치에 따른 랜덤특성들이 함께 고려되었으며 이를 수식화하고 수치해석에 유용하도록 변환하였으며 네트워크 측면에서 링크성능 및 outage 확률에 관한 분석을 실시하였다^[5]. II장에서 전파와 간섭에 대한 채널의 모델링과 outage 확률 계산을 하였고, III장에서는 모델링한 채널에 대한 outage 확률 분석결과를 제시하였으며, IV장에서는 여러 가지 파라미터

들에 대해 수치해석을 통한 해석과 그에 대한 결론을 나타내었다.

II. 채널 모델링

2-1 채널 모델링

도시지역의 일반적인 전파특성은 주로 새도우잉 영향과 다중경로 전파효과, 그리고 부가적인 잡음 특성의 영향을 받는다. 신호들은 랜덤한 크기와 위상치를 가지고 모든 방향으로부터 도달하며 수 마이크로초 정도의 도달 확산시간을 갖는다. 따라서 이러한 수신신호를 결정론적 모델(deterministic model)로써 표현하기는 불가능하며 몇 가지 모델이 복합적으로 고려되어야 한다^[6]. 본 논문에서는 이와 같이 복잡한 도시환경에서 전파특성의 표현을 위해 레일라이 페이딩과 경로손실, 로그노말 새도우잉과 부가잡음 등을 고려하였으며, 다른 단말기들에 의한 간섭영향을 표현하기 위해 Poisson 분포를 이용하였다.

도심지역에서 무선환경은 건물에 의한 반사나 혹은 여러 물체에 의한 반사파 등으로 인해 다중경로가 존재하며 대부분의 신호가 가시경로가 거의 없고 반사요인들에 의해 존재하게 되는데, 일반적으로 이러한 영향들은 레일라이 페이딩으로 표현될 수 있다. 이동 무선채널에서 flat 페이딩 신호 또는 다중경로 신호의 침투치는 시간적 변화에 따라 통계적으로 표현하였다. 따라서 수신된 각 신호들은 그 침투치를 레일라이 랜덤변수가 되도록 두 개의 직교 가우시안 성분들의 중첩으로써 모델링하였고 이들은 신호전력에 대해 지수함수 분포를 가진다. 페이딩 뿐만 아니라 경로손실에 대한 측면도 고려의 대상이다. 무선신호의 크기는 거리가 증가함에 따라 평균 수신전력이 로그함수적으로 감쇄하게 되며, 임의의 송수신기 사이의 경로손실은 다음과 같이 표현된다^[7].

$$P_L(dB) = P_L(r_0) + 10\eta \log\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (1)$$

여기서 η 는 경로손실 지수이고 거리에 따른 경로손실의 증가비율을 나타내며 r_0 는 기준거리이며 송신

기에서 가장 가까운 기준점이 된다. 이 기준거리는 측정에 의해 얻어지며 주어진 전파환경에 적합하도록 기준거리를 설정하는 것은 매우 중요하다. 도시 환경에서 경로손실은 표 1을 참고하여 도시지역에 적합하도록 경로손실 지수 η 를 3~5 정도로 하였다 [7]. 도시지역에서 수신신호의 평균레벨은 페이딩에 의해서 변하게 되지만 레일라이 페이딩 그 자체로 인한 것보다는 급격히 변하지 않는다. 이러한 변화는 무선신호의 경로 안에서 물질에 의해 반사되는 새도우잉에 의한 것이다. 이 새도우잉은 표준편차가 4 dB에서 9 dB로 근사적인 로그노말 확률분포 함수의 형태를 띄게 된다. 이 현상을 로그노말 새도우잉이라 하며 신호의 침투치가 거리에 대해 가우시안 분포를 가지게 되어 새도우잉에 의한 랜덤특성은 다음과 같은 수식으로 표현된다[7].

$$P_L(r) = P_L(r) + X_\sigma = P_L(r_0) + 10\eta \log\left(\frac{r}{r_0}\right) + X_\sigma \quad (2)$$

여기서 X_σ 는 표준편차가 σ 이며 단위는 dB값이 영-평균 가우시안 분포가 되는 랜덤변수이다. 도시환경에서는 특히 주변환경 변화에 따라 경로손실 지수가 크게 달라질 수 있으므로 로그노말 새도우잉이 반드시 고려되어야 한다. 따라서 도시지역의 채널 특성에서 이동체들은 대부분 비가시거리에 존재하며, 평균값이 식 (1)로 주어지고 표준편차가 6~13 dB인 로그노말 모델로서 표현 가능하다. 여기서, 로그노말 랜덤변수는 신호전력의 지수분포에 대한 평균값이며, 이때 신호전력은 레일라이 페이

표 1. 여러환경의 경로손실 지수

Table 1. Path loss exponents for different environments

환경	경로손실 지수, η
자유 공간	2
도시지역 셀룰라 무선	2.7~3.5
새도우된 도시 셀룰라 무선	3~5
빌딩내 가시거리	1.6~1.8
빌딩에 의한 방해	4~6
공장에 의한 방해	2~3

딩에 기인한다[8]. 식 (1)은 거리의 함수이고 송신기들이 지상에 랜덤하게 분포하고 있으므로 평균값은 랜덤변수가 된다. 모든 단말기들은 동일 캐리어 주파수로 전송된다고 가정하였으며 서로 r_0 만큼 떨어진 거리에서 무선통신을 하는 한 쌍의 무선 송수신기에 대해 다른 모든 송신기들은 간섭으로 간주하고 특정지역 내에서 랜덤하게 분포된다고 가정하였다. 이때 단말기들은 변수 λ' (단위 면적 당 단말기의 평균수)를 갖는 Poisson 분포로서 다음과 같이 표현된다[11].

$$P[\text{지역 } R \text{에서 } k \text{개의 단말기의 분포}] = \frac{e^{-\lambda' A} (\lambda' A)^k}{k!} \quad (3)$$

여기에서 k 는 단말기를 나타내며 R 은 지상에서의 거리, A 는 분포영역을 나타낸다. P 가 송신 중인 단말기의 수에 대한 확률을 나타낸다면 간섭들을 Poisson 분포로 모델링할 수 있으며 변수 $\lambda = p\lambda'$ 로 대체할 수 있다. 이후 간섭자들의 분포를 나타내기 위해 λ 를 λ' 로 대체한 식 (3)을 사용하였다. 간섭자들은 무한대까지 전 지역에 분포한다고 가정하였으며 이러한 간섭원들을 가우시안 랜덤처리로서 모델링하였다.

2-2 Outage 확률분석

셀룰러 무선 시스템구조에서 이동통신 시스템의 동작을 측정하기 위한 여러 가지 방법 중 시스템의 주파수 재사용거리를 결정할 수 있는 outage 확률 분석은 중요한 측정수단이 된다. 주어진 시스템의 outage 확률을 분석하기 위해서는 레일라이 페이딩, 로그노말 새도우잉, 그리고 거리에 따른 전파손실 등과 다른 여러 가지 간섭요인들을 고려한 전파 모델이 가장 일반적으로 사용되며 이러한 전파모델을 구현하는 것에 관한 많은 연구들이 진행되었다. 이러한 채널 모델링과 outage 확률분석은 높은 용량성을 지닌 셀룰러 무선통신과 양방향 페이징, 그리고 패킷무선 통신과 그 외의 데이터 네트워크의 주파수 효율과 무선망의 성능을 평가하는 수학적 방법이다[9].

2-2-1 Outage SNR

본 논문에서 다루게 될 성능지표는 수신단에서의 단기간 신호대 잡음비(SNR)가 주어진 임계값 b 보다 작을 확률로서 outage SNR이라고 하며 다음과 같이 표현한다^[10].

$$\psi(b) = P[\text{outage}] = P\left[\frac{P_0}{P_I + W} \leq b\right] \quad (4)$$

여기서 P_0 는 원하는 수신기로부터 수신되는 전력이며, W 는 배경잡음, P_I 는 간섭원의 전력이다.

2-2-2 패킷 성공확률

네트워크 해석에서 중요한 파라미터들 중 하나는 패킷전송 성공확률 P_s 이며 outage 확률과는 반대되는 개념이다. 전송이 성공할 확률은 SNR에 대한 증가함수이고 에러정정의 정도에 따라 달라지며 코딩의 수준이 높아질수록 성공확률은 높아진다. 패킷 성공확률은 다음과 같은 식으로 표현된다^[5].

$$P_s = \int_0^\infty s(x) f_{SNR}(x) dx \\ = \int_0^\infty [1 - F_{SNR}(x)]_s'(x) dx \quad (5)$$

여기서 $f_{SNR}(x)$ 와 $F_{SNR}(x)$ 은 각각 SNR의 확률밀도 함수(pdf)와 누적분포 함수(cdf)를 나타내며 $s(x)$ 는 SNR이 x 와 같다고 주어질 때의 패킷 성공확률을 말한다. 긴 코드를 이용한다면 $s(x)$ 는 계단함수가 되고, $s'(x)$ 는 임계값을 중앙으로 하는 델타함수가 된다^[5]. 이때 식 (5)는 다음과 같이 된다.

$$P_s = 1 - F_{SNR}(b) = P\left[\frac{P_0}{P_I + W} > b\right] \\ = 1 - \psi(b) \quad (6)$$

2-2-3 비트 에러확률

식 (5)를 이용하여 평균 비트 에러확률을 구할 수 있다.

$$P_e = \int_0^\infty F_{BER}(x) f_{SNR}(x) dx \quad (7)$$

$$= \int_0^\infty f_{BER}(x) F_{SNR}(x) dx = \int_0^\infty f_{BER}(x) \psi(x) dx$$

이며, 여기에서 $f_{BER}(x)$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{BER}(x) = -\frac{dF_{BER}(x)}{dx} \quad (8)$$

$F_{BER}(x)$ 는 변조포맷에 의존하며 대부분 대역확산 변조의 경우처럼 가우시안 분포에 의해 개략적으로 근사화될 수 있다. 여기서

$$F_{BER}(x) = \Phi(-\sqrt{x}) \quad (9)$$

$$\Phi(y) = \int_{-\infty}^y \frac{e^{-t^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dt \quad (10)$$

이다. 따라서 평균 비트 에러율은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$P_e = \int_0^\infty \psi(x) \frac{e^{-x/2}}{\sqrt{8\pi x}} dx \quad (11)$$

III. Outage 확률의 조건 및 수식적 전개

Outage 확률은 이미 언급된 바와 같이 채널과 네트워크의 상태가 반영된 표현식이 도출되어야 하므로 먼저 아래 제시된 조건에 대해 조건 outage 확률 $\psi(b; k, l)$ 을 구한 후 셀 반경을 고려하여 outage 확률 계산식을 도출한다. 위의 조건확률에서 k 는 간섭원의 수이며, i 은 각 간섭원들의 link 손실을 가질 때 조건 outage 확률 $\psi(b)$ 를 나타낸 것이다.

첫번째로 $l = (l_0, l_1, \dots, l_k)$ 경우의 조건적 outage 확률 $\psi(b; k, l)$ 이 다음의 가정으로 계산된다. 즉,

- a) k 의 간섭원들이 존재
- b) 신호와 간섭들의 링크 손실들이 고정됨($l_i = 0, 1, \dots, k$)

c) 모든 무선국들은 동일전력 P_T 를 송신

각각의 수신전력은 평균 $P_i = l_i P_T F_i(a)$, 확률밀도 함수 $f_i(a)$, 누적분포 함수 값을 갖는 지수함수 분포의 랜덤변수이다. 처리이득 G 를 갖는 직접 대역확

산 변조방식에 대해 모델을 적용한다고 가정하면 간섭전력은 G에 의해서 감소된다. 역 확산을 실시한 뒤의 배경잡음의 전력을 W라 하면, W는 대역폭 B를 갖는 협대역 정보신호와 관련되며 처리이득 G와는 관계가 없다. 따라서

$$\begin{aligned} \psi(b; k, l) &= P \left[\frac{P_o}{G \sum_{i=1}^k P_i + W} \leq b \right] \\ &= \int_0^\infty da_1 \dots \int_0^\infty da_k F_0 \left(\frac{b}{G} \sum_{i=1}^k a_i + bW \right) \prod_{i=1}^k f_i(a_i) \\ &= 1 - e^{-\frac{bW}{P_o}} \prod_{i=1}^k \frac{1}{1 + \frac{bl_i}{Gl_0}} \end{aligned} \quad (12)$$

$\psi(b; k, l)$ 이 도출된 상태에서 $\psi(b)$ 의 계산은 다음과 같은 절차에 따라 행해진다.

1) 간섭원들이 수신기로부터 반경 a 내에 분포하는 점을 고려하여 동작상태에 있는 간섭자들의 수, 위치 및 새도우잉 등에 대하여 $\psi(b; k, l)$ 을 평균화하여 $\psi(b; a)$ 의 outage 확률을 계산한다.

2) $a \rightarrow \infty$ 로의 극한을 취하여 $\psi(b; a)$ 의 한계치를 계산함으로써 $\psi(b)$ 를 구한다.

즉, $\psi(b) = \lim_{a \rightarrow \infty} \psi(b; a)$ 를 구하면 된다. 이때 $\psi(b; a)$ 는 $\psi(b; k, l)$ 에 대해 새도우잉 간섭자 수, 간섭자 위치 등을 평균화하여 구할 수 있다. 먼저 $\psi(b; a)$ 를 구하면, D_a 를 반경 a 를 갖는 원이라고 하면 $\psi(b; a | D_a \text{내의 } k \text{ 간섭자}) = F_{SNR}(b)$ 이므로, 다음 절차에 의해 계산하면 된다.

i) 새도우잉 및 간섭자 위치에 대해 평균화; $\psi(b; a | D_a \text{내의 } k \text{ 간섭자}) = (\text{새도우잉에 대한 평균화})(\text{간섭자 위치에 대한 평균화})$;

$$\int_0^\infty dl_0 f_0(l_0) \times \left[1 - e^{-\frac{bW}{P_o}} \prod_{i=1}^k \int_0^a \frac{2r_i dr_i}{a^2} \int_0^\infty dl f_i(l_i) \frac{1}{1 + \frac{bl_i}{Gl_0}} \right] \quad (13)$$

ii) 간섭자 수에 대한 평균화 ;

$$\psi(b; a) = \sum_{k=0}^\infty e^{-\lambda' \pi a^2} \frac{(\lambda' \pi a^2)^k}{k!}$$

$$\int_{-\infty}^\infty d\alpha \frac{e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi\sigma}} [1 - e^{-\mu e^{-\alpha}} (I_0(\alpha))^k] \int_{-\infty}^\infty d\alpha \frac{e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi\sigma}} [1 - e^{-\mu e^{-\alpha}} e^{-\lambda \pi a^2 (1 - I_0(\alpha))}] \quad (14)$$

위와 같이 구해진 $\psi(b; a)$ 에 대해 극한치를 취하면 $\psi(b)$ 가 구해지며, $\psi(b) = \lim_{a \rightarrow \infty} \psi(b; a)$ 로 표현한다. 이를 계산하면 다음과 같은 결과식을 얻을 수 있다.

$$\psi(b) = \int_{-\infty}^\infty d\alpha \frac{e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi\sigma}} [1 - e^{-\mu e^{-\alpha} - J(\alpha)}] \quad (15)$$

여기서

$$\mu = bW \frac{r_0^\eta}{K P_T} = \frac{b}{SNR_0} \quad (16)$$

$$SNR_0 = \frac{K r_0^{-\eta} P_T}{W} \quad (17)$$

$$J(\alpha) = \lambda \pi \int_{-\infty}^\infty dx \frac{e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^\infty \frac{2r dr}{1 + \frac{G}{b} e^{a-x} \left(\frac{r}{r_0} \right)^\eta} \quad (18)$$

이다.

새도우잉 확산 σ 는 $\log(l_i)$ 의 표준편차이며, i 에 대해서 독립적이라고 가정하면 식 (18)의 이중적분은 다음과 같이 간단하게 표현된다^[18].

$$J(\alpha) = U \zeta e^{-2\alpha/\eta} \quad (19)$$

$$U = \frac{2\pi}{\eta} \operatorname{cosec} \frac{2\pi}{\eta} e^{2(\sigma/\eta)^2} \quad (20)$$

$$\zeta = N \left(\frac{b}{G} \right)^{2/\eta} \quad (21)$$

$$N = \lambda \pi r_0^2 \quad (22)$$

N 은 송신기보다 수신기에 더 가까운 곳에 위치한

간섭자들의 평균수이다. 앞서 언급했듯이 간섭자의 수는 랜덤변수로서 표현하기 위해 Poisson 랜덤변수를 사용하였고 송수신기 사이의 거리내에 분포하는 간섭원들의 수를 나타내기 위해서 거리 r_0 와 공간분포함수 λ 를 사용하였다. 이러한 간섭자의 수는 outage 확률값과의 연관성을 가지고 분석될 수 있다.

결과적으로 $\psi(b)$ 의 계산은 한 개의 수학적 적분만을 필요로 하며, 매우 신속하게 실행될 수 있다. $\psi(b)$ 는 간섭원들의 공간적 밀도 λ , 송수신기의 거리 r_0 , 출력 임계값 b , 처리이득 G , 새도우잉 확산 σ , 열잡음 레벨 μ 그리고 전파상수 η 에 의존하지만 반드시 서로 독립적이어야 하는 것은 아니다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 1은 새도우잉 확산값의 변화에 대한 outage 확률을 나타낸 것이다. 새도우잉 확산값은 7 dB에서 13 dB까지 변화를 주고 임계값을 15 dB, 전파 손실상수값을 4, 시스템이득 $G=1$ 로 설정하여 분석한 결과이다. 무선 전파경로에 위치하게 되는 건물로 인해 생기는 손실인 새도우잉은 건물로 침투하는 손실과 전체손실 사이의 차만큼 발생하는 손실이다. 따라서 도심지역에서 이러한 손실에 대한 영향을 고찰하기 위해서 $N=0.000001$ 에서 분석한 결

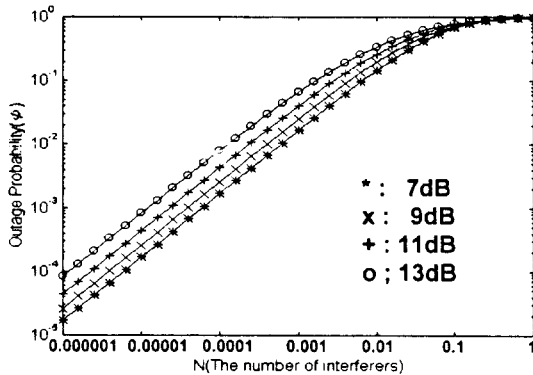


그림 1. 새도우잉 확산 σ 의 변화에 대한 outage 확률 ($b=15$ dB, $\eta=4$, $G=1$, 잡음이 없는 경우)

Fig. 1. Outage probability for various values of the shadowing spread ($b=15$ dB, $\eta=4$, $G=1$, no noise).

과 새도우잉 확산값이 7 dB인 경우 outage 확률은 1.69×10^{-5} 이며 13 dB인 경우 8.294×10^{-5} 으로 새도우잉 확산값이 증가하는 경우 outage 확률값이 증가함을 알 수 있었다.

그림 2는 임계값을 15 dB라고 하고 새도우잉 확산을 11 dB, $G=1$ 이라고 가정하여 전파 손실상수를 변화하면서 outage 확률을 구한 것이다. 전파 손실상수값은 2.5에서 4까지의 변화를 주어 분석하였는데 그림에서도 알 수 있듯이 전파 손실상수값이 커짐에 따라서 outage 확률값이 낮아지게 되었다. $N=0.000001$ 에서 전파 손실상수값이 2.5인 경우 outage 확률은 3.8×10^{-3} 을 나타내었고 4인 경우에는 4.3912×10^{-5} 의 값으로서 경로손실상수값이 무선시스템에 상당한 감쇄요인임을 알 수 있었다. 이러한 분석은 간섭자들이 Poisson 분포를 가진다고 가정하여 근사적으로 이항분포를 가지는 랜덤변수로서도 표현 가능하며 outage 확률값과의 연관성을 가지도록 하였다.

수신기에서의 임계값의 변화에 따른 outage 확률값의 변화를 그림 3에 나타내었다. 새도우잉 확산값을 11 dB로 하고 전파 손실상수값을 4로 하여 간섭자 수에 따른 outage 확률을 구한 결과 수신단에서의 임계값이 작아질수록 수신 가능한 신호들이 많기 때문에 outage 확률값은 낮아진다. 하지만 전파

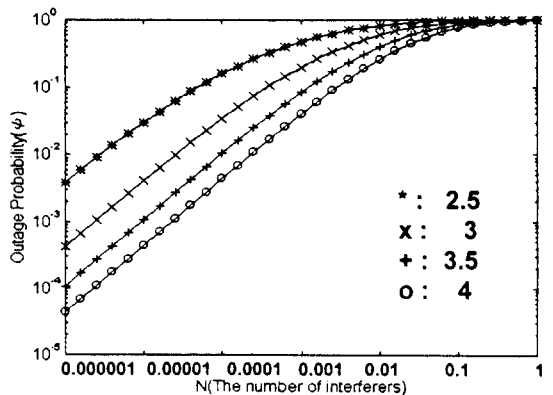


그림 2. 전파 손실 상수 η 의 변화에 의한 outage 확률 ($b=15$ dB, $\sigma=11$ dB, $G=1$, 잡음이 없는 경우)

Fig. 2. Outage probability of the propagation loss factor ($b=15$ dB, $\sigma=11$ dB, $G=1$, no noise).

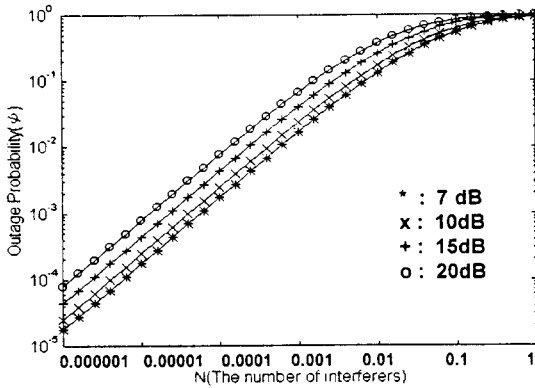


그림 3. 임계값의 변화에 대한 outage 확률($\eta=4$, $\sigma=11$ dB, $G=1$, 잡음이 없는 경우)

Fig. 3. Outage probability of the threshold SNR ($\eta=4$, $\sigma=11$ dB, $G=1$, no noise).

손실상수값의 변화에서보다 그 변화량이 많지 않아 임계값의 변화가 outage 확률에 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 볼 수 있다.

도심지역에서 간과할 수 없는 잡음특성 중의 하나가 인공잡음이며 이것은 우리 실생활의 여러 경우에서 존재하게 되므로 이동 무선전파에서 배제할 수 없는 손실요소이다. 이 잡음특성을 고려한 outage 확률 분석을 그림 4에서 비교하였으며 이때의 조건은 임계값을 15 dB, 새도우잉 확산값을 11 dB, 전파 손실상수값을 4, $G=1$ 로 하여 신호대 배경잡음을 20 dB에서 60 dB까지 10 dB씩 증가시키면서 outage 확률을 구한 것이다. 이 그림에서도 확인할 수 있듯이 앞의 그림에서는 잡음이 없다고 가정 한 상태에서 outage 확률을 구한 것보다 확률값이 상당히 높아지게 되었다. 먼저 신호대 배경잡음비가 20 dB인 경우 outage 확률은 0.4134로서 41% 정도의 신호를 수신할 수 없게 되어 무선시스템의 성능이 상당히 좋지 않다고 할 수 있다. 또한 신호대 배경잡음을 10 dB씩 증가시키면서 outage 확률을 분석한 결과 30 dB에서는 0.1539, 40 dB인 경우 3.67×10^{-2} 로 3.7%의 신호가 수신 불가능하다고 평가될 수 있다. 신호대 배경잡음비가 20 dB인 경우의 41%보다는 많이 개선되었지만 여전히 그 성능이 좋다고 평가할 만한 것은 아니다. 신호대 배경잡음비가 50 dB일때는 6.0×10^{-3} 이고 60

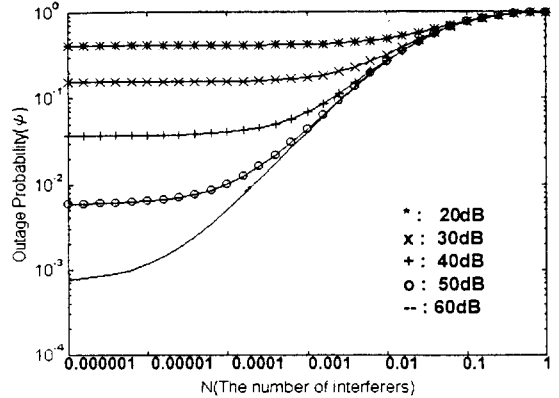


그림 4. 신호대 배경잡음비의 변화에 대한 outage 확률($b=15$ dB, $\sigma=11$ dB, $\eta=4$, $G=1$)

Fig. 4. Outage probability of the signal-to-background noise ($b=15$ dB, $\sigma=11$ dB, $\eta=4$, $G=1$).

dB인 경우에는 7.683×10^{-4} 으로 신호대 배경잡음비가 증가할수록 outage 확률은 개선되었다. 이러한 결과에서도 알 수 있듯이 배경잡음이 이동 무선시스템에 상당히 영향을 미치는 요인이라는 점을 고려한다면 무선시스템 설계시 배경잡음을 간과한다는 것은 엄청난 오차를 가져올 수 있다는 것이다. 그림에서 보면 outage 확률 $\psi(b)$ 는 신호대 잡음비가 증가할수록 신호의 세기가 잡음의 세기에 비해 증가하므로 개선된 $\psi(b)$ 를 나타낸다. 즉, $\psi(b)$ 는 신호대 배경잡음비에 의존한다는 것을 알 수 있다.

다음으로 위에서 얻어진 결과와 기존의 전파 모델들을 고려한 결과를 그림 5에서 비교하였다.

i) 레일라이 페이딩과 로그노말 새도우잉이 모두 고려되지 않은 경우.

ii) 레일라이 페이딩만 고려한 경우

i)의 경우에 outage 확률 $\psi_d(b)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\psi_d(b) = 1 - \text{erfc} \left[\frac{\zeta}{2} \left(\frac{\pi}{1-\mu} \right)^{1/2} \right], \mu < 1 \text{인 경우}$$

$$= 1 \quad \mu \geq 1 \text{인 경우} \quad (23)$$

ii)의 경우에 outage 확률 $\psi_R(b)$ 는

$$\psi_R(b) = 1 - e^{-\mu^{-\zeta r(\eta)}} \quad (24)$$

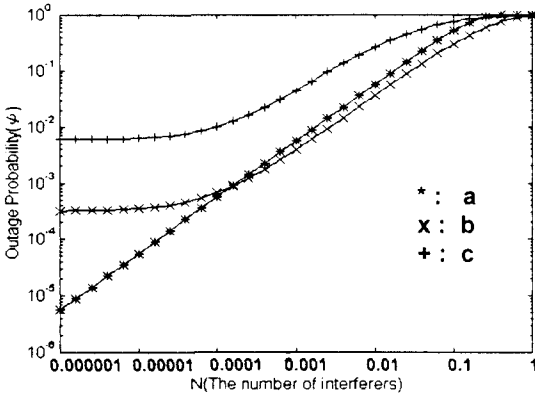


그림 5. 전파모델의 변화에 대한 outage 확률 비교 (SNR₀=50 dB, η=4, σ=11 dB, b=15 dB, G=1)

- a) deterministic 모델
- b) 레일라이 페이딩만을 고려
- c) 레일라이 페이딩과 새도우잉을 고려

Fig. 5. Comparison of outage probability for different propagation models(SNR₀=50 dB, η=4, σ=11 dB, b=15 dB, G=1).

- a) deterministic
- b) Rayleigh fading only
- c) Rayleigh fading & shadowing

와 같이 주어진다. 여기서

$$r(\eta) = \frac{2\pi}{\eta} \operatorname{cosec} \frac{2\pi}{\eta} \quad (25)$$

그림 5에서는 기존의 모델링과 비교를 하여 outage 확률을 나타내었다. 비교된 모델링방법은 deterministic 모델링 방법, 레일라이 페이딩만을 고려한 방법, 그리고 페이딩과 새도우잉을 고려한 종합적인 모델링이다. 전체적인 조건은 새도우잉 확산값을 11 dB로 하고 임계값을 15 dB, 전파손실 상수값을 4, G=1에서 비교를 하였으며, 페이딩과 새도우잉을 고려한 모델링은 신호대 배경잡음비를 50 dB로 잡음을 고려하였다. 해석결과 N=0.00001인 경우 deterministic 모델링에서의 outage 확률값은 5.624×10^{-6} 을 레일라이 페이딩만을 고려한 경우에는 3.1976×10^{-4} , 잡음을 고려한 모델링에

서는 6.0×10^{-3} 을 나타냈다. deterministic 모델링과 잡음을 고려한 모델링에서의 outage 확률값이 대략 10^{-3} 정도의 차이가 있어 시스템의 성능평가지 상당한 오류를 야기할 수 있음을 볼 수 있다. 도심지역의 무선 채널을 모델링 하는 경우에 건물의 영향을 받는 레일라이 페이딩만을 고려하여 채널을 분석하는 것 또한 현실적이지 못하며 페이딩과 새도우잉 그리고 잡음특성을 종합적으로 고려하여 채널을 모델링하는 것이 더욱 실생활에 접근할 수 있는 방법이라 간주된다.

그림 6은 전파 손실상수값을 변화시키면서 간섭자 수와 연관된 outage 확률을 분석한 것이다. 전파 손실상수가 증가함에 따라서 outage 확률은 낮아짐을 알 수 있다. 또한 N=0.00001인 경우와 N=0.01인 경우에서 전파 손실상수값의 변화에 대한 outage 확률을 비교해 보면 간섭자 수가 많은 경우에서 전파 손실상수값의 변화에 대해 outage 확률이 크게 영향을 받게 되는 것을 알 수 있다.

새도우잉 확산에 대한 민감성을 알아보기 위해 식 (15)에서 η와 N을 고정시키면 그림 7과 같이 ψ(b)와 σ²과의 관계를 표시할 수 있다. 그림을 살펴보면 곡선의 특성은 거의 선형적임을 알 수 있고 관찰 결과 고려된 dB 확산의 범위 내에서 ψ(b)는 대략 10⁻¹ 이하의 크기 변화를 나타내었다.

전체적인 분석은 G=1로하여 outage 확률을 분

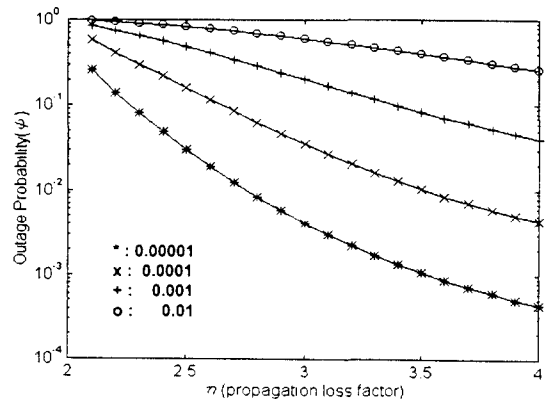


그림 6. 간섭자 수의 변화에 대한 outage 확률(σ=11 dB, b=15 dB, G=1, 잡음이 없는 경우)

Fig. 6. Outage probability vs. the number of users(σ=11 dB, b=15 dB, G=1, no noise).

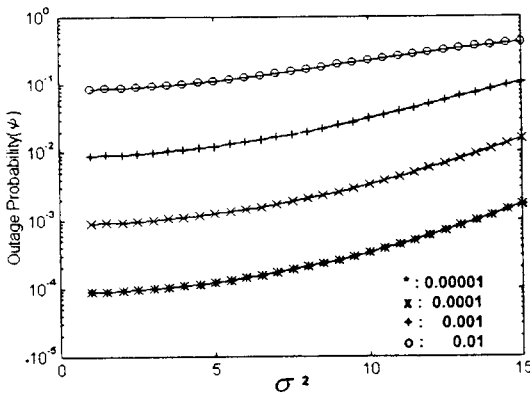


그림 7. Outage 확률과 σ^2 과의 관계($b=15$ dB, $\eta=4$, $\sigma=11$ dB, $G=1$).

Fig. 7. Outage probability vs. σ^2 ($b=15$ dB, $\eta=4$, $\sigma=11$ dB, $G=1$).

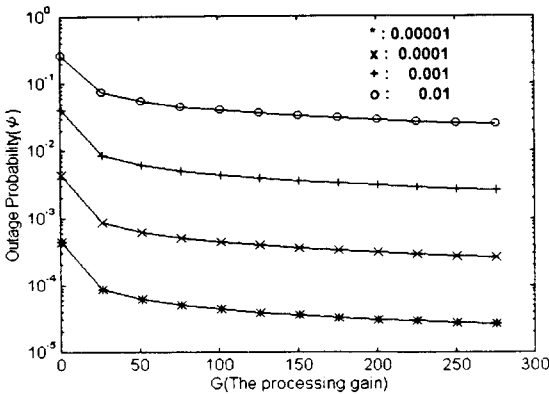


그림 8. 이득 G 의 변화에 대한 outage 확률($b=15$ dB, $\eta=4$, $\sigma=11$ dB).

Fig. 8. Outage probability vs. gain G ($b=15$ dB, $\eta=4$, $\sigma=11$ dB).

석하였다. 만일 이득이 증가한다면 outage 확률은 감소할 것이다. 이러한 이득의 변화와 outage 확률과의 관계를 그림 8에 나타내었다. 결과에서도 알 수 있듯이 이득이 증가하면 전체적인 outage 확률값은 개선이 된다. 특히 이득이 1~25사이에서 N 이 0.00001인 경우 4.3869×10^{-4} 에서 8.611×10^{-5} 으로 개선되었다. 그러나 이득을 25에서 50까지 증가한 경우 outage 확률값은 8.611×10^{-5} 에서 6.1487×10^{-5} 으로 그 개선도는 1부터 25사이의 변화량보다

상당히 작은 변화를 가져왔다. 레일라이 페이딩 채널의 특성상 이득이 증가해도 outage 확률값이 선형적으로 감소하는 것이 아니며, 간섭자 수가 상당히 많은 경우에 이득을 크게 하여도 outage 확률에는 영향을 미치지 않았다.

V. 결 론

본 논문은 이동 무선 시스템에서 레일라이 페이딩과 로그노말 새도우잉을 고려한 채널에 잡음특성을 고려하여 신호대 배경잡음비와 outage 확률과의 관계를 구하였고, 기존의 모델링과 outage 확률분석을 통한 비교를 하였다. 비교된 모델은 deterministic 모델과 레일라이 페이딩만이 존재한다고 가정된 채널 모델, 그리고 잡음특성을 고려하여 레일라이 페이딩과 로그노말 새도우잉이 혼재되어 있다고 가정한 채널모델이다.

$N=0.000001$ 인 경우 이러한 기존의 모델과 outage 확률값을 비교한 결과 배경잡음을 고려한 경우의 outage 확률값은 현저한 차이를 나타내고 있다. 확산은 없다고 가정하고 새도우잉 확산값을 11 dB, 전파 손실상수값을 4, 간섭자 수를 0.000001, 임계값을 15 dB로 한 경우에서 잡음을 고려하지 않은 경우에는 outage 확률값이 4.3912×10^{-5} 이었으며 잡음을 고려하여 신호대 배경잡음비가 40 dB인 조건에서 구한 outage 확률값은 3.67×10^{-2} 으로 그 차이가 현저하게 나타났다. 따라서 이러한 outage 확률을 개선하기 위해서는 신호의 세기를 증가하여 신호대 배경잡음비를 증가시켜 outage 확률을 개선해야 한다. 하지만 신호대 배경잡음비를 증가하기 위해서 신호의 세기를 증가시키는 것은 전력적인 측면에서의 손실을 부가적으로 가져오게 되며 또한 셀내에서 인접사용자들간의 셀내간섭(innercell interference)을 더욱 크게 가져오는 요인이 될 수 있다.

따라서 신호대 잡음비의 세기를 고려한 연구는 전력제어적 측면에서 보다 연구되어야 할 과제이며 이에 따른 연구가 필요하다. 수치해석을 통해 제안된 모델이 도시환경에서의 다중접속 무선시스템 분석에 유용함이 입증되었으나, 향후 확산이득 및 변조 형식 등의 가변을 통해 제안모델에 대한 추가분

석이 필요하다. outage 확률식의 유도를 위한 가정 설정 부분, 즉, 경로손실 및 사용전력등의 고정설정 요소에 대해 융통성을 부여함으로써 실제환경에 더욱 유사한 분석모델의 도출이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 25, no. 7, pp. 673-680, July 1977.

[2] C. Loo, "A statistical model for a land mobile satellite link," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 34, no. 3, pp. 122-127, Aug. 1985.

[3] F. Vatalaro and G. E. Corazza, "Probability of error and outage in a Rice-lognormal channel for terrestrial and satellite personal communications," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 44, no. 8, pp. 921-924, Aug. 1996.

[4] F. A. Tobagi, "Multiple access protocols in packet communication systems," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-28, pp. 468-488, Apr. 1980.

[5] E. S. Sousa and J. A. Silvester, "Optimum transmission ranges in a direct-sequence spread spectrum multihop packet radio network," *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, vol. 8, no. 5, pp. 762-771, June 1990.

[6] K. W. Sowerby and A. G. Williamson, "Outage probabilities in mobile-radio systems suffering cochannel interference," *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, vol. 10, no. 3, pp. 516-522, Apr. 1992.

[7] J. D. Gibson, *The mobile communications handbook*, CRC press, 1996.

[8] R. C. French, "The effect of fading and

shadowing on channel reuse in mobile radio," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 28, no. 3, pp. 171-181, Aug. 1979.

[9] M. G. Linnartz, "Exact analysis of the outage probability in multiple-user mobile radio," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 40, no. 1, pp. 20-23, Jan. 1992.

[10] W. Gosling, "A simple mathematical model of co-channel and adjacent channel interference in land mobile radio," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 29, no. 4, pp. 361-364, Nov. 1980.

[11] M. Zorzi and S. Pupolin, "Outage probability in multiple access packet radio networks in the presence of fading," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 43, no. 3, pp. 604-607, Aug. 1994.

[12] 강창언, 강민구, 김 남, 조형래 공저, 셀룰러 이동통신 공학, 복두출판사, 1997.

[13] 정만영 외 편저, 셀룰러 이동통신 방식 설계, 시그마 프레스, 1996.

[14] Special issue on mobile radio communications, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 37, pp. 3-70, Feb. 1988.

[15] D. L. Shilling et al., "Broadband CDMA for personal communication systems," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 29, pp. 86-93, Nov. 1991.

[16] Akihara Hashimoto, "Outage probability analysis in relocatable wireless access systems under line-of-sight non-Rayleigh fading," *IEICE Trans. Comm.*, vol. E. 80-B, no. 5, pp. 746-752, May 1997.

[17] J. M. G. Linnartz, *Narrowband land-mobile radio networks*, Artech House, 1993.

[18] I. S. Gradshten and I. M. Ryzhik, *Table of integrals, series and products*, NewYork Academic press, 1965.

신 관 호



1981년 2월 : 한양대 전자공학과(공학사)
1985년 1월~1989년 12월 : 대우통신종합연구소
1998년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
1990년 1월~현재 : 국방과학연구소

[주 관심분야] CDMA, 위성통신, 무선전파

김 남



1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
1983년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1988년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1992년 8월~1993년 8월 : 미 Stan-

ford대학 방문교수

1989년 2월~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] DS /CDMA, 전파전파, EMI /EMC, 전자파 해석

김 해 기



1998년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
1998년 3월~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 대학원 석사과정
[주 관심분야] 디지털 이동통신, 위성통신, 무선통신시스템

전 형 구

1987년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
1992년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1987년~현재 : ETRI 이동통신연구단, 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선 시스템 hand off, CDMA

안 치 훈



1996년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
1997년~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 대학원 석사과정
[주 관심분야] 디지털 이동통신, 위성통신, 무선통신 시스템