

# 레이레이 페이딩 채널에서 STTD 시스템의 일반화된 오수신확률

## Generalized Outage Probability of STTD System in Rayleigh Fading Channel

남우춘\* · 한영열\*\*

U-Chun Nam\* · Young-Yearl Han\*\*

### 요약

본 논문에서는 레이레이 페이딩과 AWGN 환경에서 STTD(Space Time Transmitter Diversity)기법을 적용한 시스템에서 오수신확률을 유도한다. 라플라스 변환을 이용하여 L개의 독립적이고 동일분포의 다중간섭신호에 대한 새로운 확률밀도함수를 유도하고, 신호대 간섭성분신호의 평균전력의 비와 신호대 잡음의 비로 오수신확률을 나타낸다. 또한 셀룰러 시스템에서 중요한 설계 요소인 주파수 재사용거리에 대하여도 분석한다.

### Abstract

In this paper, we derive the outage probability of cellular mobile system with STTD(Space Time Transmitter Diversity) scheme where the received radio signals and interferers experience Rayleigh fading and AWGN. The new probability density function of L independent identically distributed interferers is derived using Laplace transforms. We express the probability of outage as a function of the average-signal to average-interference power ratio and the signal to noise ratio. In addition, the frequency reuse distance which is one of the key parameters in the design of cellular systems is analyzed.

### I. 서론

이동통신 기술의 발전과 무선인터넷보급의 확산으로 사용자들에게 이동 중에 음성뿐만 아니라 다양한 데이터 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 이동 무선 채널상에서 신호는 페이딩을 겪게 되므로 이를 보상하기 위하여 수신측에서 다이버시티 기법을 비롯하여 다양한 방법을 이용하여 전송용량을 증가시키는 여러 방법이 연구되고 있다.<sup>[1]</sup> 그러나 다이버시티 수신기법은 수신기 회로의 복잡도를 증가시켜 단말기의 부담을 초래한다. 무선인터넷서비스에

서는 역 방향링크보다 순방향링크에서 데이터전송이 고속으로 이루어지므로 단말기의 부담을 줄이면서 페이딩에 의한 성능저하를 보상해 줄 수 있는 STTD기법이 소개되었다.<sup>[2],[3]</sup>

셀룰러 이동 무선 시스템의 설계에서 주파수 재사용 개념은 중요하며 동일채널간섭에 의한 오수신확률 해석에 대한 연구가 많이 수행되었다.<sup>[4],[5]</sup> 본 논문에서는 레이레이 페이딩과 잡음이 혼재한 환경에서 STTD 기법을 적용한 셀룰러 이동 무선 시스템의 일반화된 오수신확률을 유도한다. II장에서 STTD 기법을 소개하고 III 장에서는 레이레이 페이

\* 주성대학 디지털정보통신공학과(Dept. of Digital Information and Communication Engineering, Juseong College)

\*\* 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부(Division of Electronic and Computer Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 20010730-103

· 수정완료일자 : 2001년 9월 8일

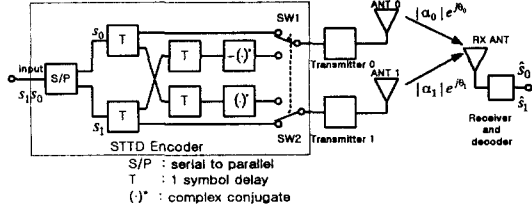


그림 1. STTD 시스템의 블록도  
Fig. 1. Block diagram of STTD scheme.

당과 가우시안 잡음 환경에서 수신신호의 전력밀도 함수를 구하고, IV장에서 동일채널 다중간섭성분의 확률밀도함수를 유도하여, V장에서 오수신 확률을 유도하고 주파수재사용에 대하여 분석한다.

### II. STTD 시스템

그림 1은 STTD 기법을 적용한 시스템의 블록도이다. 스위치 1, 2(SW1, SW2)는 심볼 주기(T) 간격으로 스위칭이 연동으로 이루어지고 시간 t에서 각 안테나에서 송출된 신호가 겪는 페이딩이 연속적인 두 심볼 동안 일정하다고 하면 채널은

$$h_0(t) = h_0(t+T) = h_0 = |\alpha_0|e^{j\theta_0} \quad (1 \text{ a})$$

$$h_1(t) = h_1(t+T) = h_1 = |\alpha_1|e^{j\theta_1} \quad (1 \text{ b})$$

로 표현할 수 있다.<sup>[3]</sup>

각 송신안테나에서 송출된 신호,  $s_0, s_1$ ,가 페이딩을 겪고 수신 안테나에 도래한 신호,  $x$ ,는 식 (2)와 같다.

$$x_0 = x(t) = h_0s_0 + h_1s_1 + n_0 \quad (2 \text{ a})$$

$$x_1 = x(t+T) = h_1s_0^* - h_0s_1^* + n_1 \quad (2 \text{ b})$$

여기서, \*는 공액복소,  $n_0, n_1$ 은 가산성 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.

송신신호,  $s_0, s_1$ , 에 대한 수신기에서 처리된 신호,  $\hat{s}_0, \hat{s}_1$ ,는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\hat{s}_0 = h_0^*x_0 + h_1x_1^* = (|\alpha_0|^2 + |\alpha_1|^2)s_0 + h_0^*n_0 + h_1n_1^* \quad (3 \text{ a})$$

$$\hat{s}_1 = -h_1x_0^* + h_0^*x_1 = (|\alpha_0|^2 + |\alpha_1|^2)s_1 + h_1^*n_0 - h_0n_1^* \quad (3 \text{ b})$$

식 (3)에서 결과가 최대 비 합성방법(Maximal Ratio Combining)과 동일함을 알 수 있다.

### III. 레일레이 페이딩 환경에서의 수신신호의 확률밀도함수

두 송신 안테나로부터 송신된 신호는 서로 상관관계가 있으므로 레일레이 페이딩 환경 아래에서 수신기에 수신된 신호의 전력을 각각  $u_0, u_1$ 이라 하면 이것에 대한 결합 확률 밀도 함수는 참고문헌<sup>[6]</sup>에 의해 식 (4)와 같다.

$$f(u_0, u_1) = \frac{1}{r^2(1-\rho^2)} e^{-\frac{u_0+u_1}{r(1-\rho^2)}} I_0\left(\frac{2\rho\sqrt{u_0u_1}}{r(1-\rho^2)}\right),$$

$$u_0 > 0 \quad \text{그리고} \quad u_1 > 0. \quad (4)$$

여기서,  $\bar{r}$ 는 수신 신호의 평균전력,  $\rho(0 < \rho < 1)$ 는  $u_0$ 와  $u_1$ 에 대한 전력상관계수,  $I_0(\cdot)$ 는 제1종 0차 변형 베셀 함수이다.

수신안테나에 도래한 신호의 합성신호( $u = u_0 + u_1$ )에 대한 새로운 확률밀도는 다음과 같이 구한다.<sup>[7]</sup>

$$f(u) = \int_0^u f(u_0, u-u_0) du_0 = A \int_0^u J_0\left(\sqrt{\left(\frac{iBu}{2}\right)^2 - \left(Biu_0 - \frac{iBu}{2}\right)^2}\right) du_0 \quad (5)$$

여기서,  $J_0(\cdot)$ 는 제1종 0차 베셀 함수,

$$A = \frac{1}{r^2(1-\rho^2)} e^{-\frac{u}{r(1-\rho^2)}}, \quad B = \frac{\rho}{r(1-\rho^2)},$$

$i$ 는 복소수이다.

식 (5)를 계산하기 위하여  $z = \frac{iBu}{2}$ 와  $t = iBu_0 - \frac{iBu}{2}$ 로 변수 변환을 하고, 다음 관계공식<sup>[8, p.671]</sup>

$$\int_0^z J_0(\sqrt{z^2 - t^2}) dt = \frac{1}{2i}(e^{iz} - e^{-iz}) \quad (6)$$

을 이용하여 풀면 합성신호의 전력에 대한 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(u) = \frac{1}{2\rho r} \left[ e^{\frac{-u}{r(1+\rho)}} - e^{\frac{-u}{r(1-\rho)}} \right] \quad (7)$$

여기서,  $\bar{r}$  는 일반적으로  $2\sigma_a^2$  을 갖지만 STTD 방식에서는 기지국에서 전력이 2분배되므로 평균 전력은  $\bar{r} = \sigma_a^2$  와 같고,  $u = \alpha^2$  에서 수신 신호의 진폭에 대한 확률밀도 함수는 다음과 같다.

$$f_\alpha(\alpha) = \frac{\alpha}{\rho\sigma_a^2} \left[ e^{\frac{-\alpha^2}{\sigma_a^2(1+\rho)}} - e^{\frac{-\alpha^2}{\sigma_a^2(1-\rho)}} \right], \alpha \geq 0, 0 \leq \rho \leq 1 \quad (8)$$

가산성 백색 가우시안 잡음  $n(t)$  가 포함된 수신 신호  $v(t)$  에 대하여 고려해 보자.

$$\begin{aligned} v(t) &= \alpha \cos \omega_c t + n_c \cos \omega_c t - n_s \sin \omega_c t \\ &= \sqrt{(\alpha + n_c)^2 + n_s^2} \cos(\omega_c t + \tan^{-1} \frac{n_s}{\alpha + n_c}) \\ &= \sqrt{x^2 + y^2} \cos(\omega_c t + \theta) \\ &= V \cos(\omega_c t + \theta) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,

$$\begin{aligned} x &= \alpha + n_c = V \cos \theta, \\ y &= n_s = V \sin \theta, \end{aligned}$$

이고,  $v$  는 포락선,  $\theta = \tan^{-1} \frac{n_s}{\alpha + n_c}$  는 위상오류,  $n_c$  와  $n_s$  는 서로 독립이고 평균이 0이며 분산이  $\sigma_n^2$  인 백색 가우시안 잡음이다.

$\alpha$  와  $n_c$  는 서로 독립이므로  $x$  에 대한 확률밀도 함수는 두 확률밀도 함수의 컨벌루션이 된다.

$$\begin{aligned} f(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} f_\alpha(\alpha) f_{N_c}(x - \alpha) d\alpha \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2\rho\sigma_a^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_n^2}} \\ &\quad \times \int_0^{\infty} (\alpha e^{-\frac{1}{\sigma_a^2(1+\rho)}\alpha^2 + \frac{x\alpha}{\sigma_a^2}} - \alpha e^{-\frac{1}{\sigma_a^2(1-\rho)}\alpha^2 + \frac{x\alpha}{\sigma_a^2}}) d\alpha \end{aligned} \quad (10)$$

서로 독립인  $x$  와  $y$  의 두 결합 확률밀도 함수는 두 확률밀도 함수의 곱이 된다.

$$\begin{aligned} f(x, y) &= f(x)f(y) \\ &= \frac{1}{2\pi\rho\sigma_a^2\sigma_n^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_n^2}} \left[ \int_0^{\infty} \alpha e^{-\left\{\frac{1}{\sigma_a^2(1+\rho)} + \frac{1}{2\sigma_n^2}\right\}\alpha^2 + \frac{x}{\sigma_n^2}\alpha} d\alpha \right. \\ &\quad \left. - \int_0^{\infty} \alpha e^{-\left\{\frac{1}{\sigma_a^2(1-\rho)} + \frac{1}{2\sigma_n^2}\right\}\alpha^2 + \frac{x}{\sigma_n^2}\alpha} d\alpha \right] \quad (11) \end{aligned}$$

$f(x, y)$  를  $V$  와  $\theta$  의 결합확률 밀도 함수로 변환하면 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} f(v, \theta) &= \frac{v}{2\pi\rho\sigma_a^2\sigma_n^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma_n^2}} \left[ \int_0^{\infty} \alpha e^{-\left\{\frac{1}{\sigma_a^2(1+\rho)} + \frac{1}{2\sigma_n^2}\right\}\alpha^2 + \frac{v\cos\theta}{\sigma_n^2}\alpha} d\alpha \right. \\ &\quad \left. - \int_0^{\infty} \alpha e^{-\left\{\frac{1}{\sigma_a^2(1-\rho)} + \frac{1}{2\sigma_n^2}\right\}\alpha^2 + \frac{v\cos\theta}{\sigma_n^2}\alpha} d\alpha \right] \quad (12) \end{aligned}$$

포락선  $V$  에 대한 확률밀도 함수는 식 (12)의  $\theta$  의 전구간에 대하여 적분하여 구한다.

$$\begin{aligned} f_V(v) &= \int_{-\pi}^{+\pi} f(v, \theta) d\theta \\ &= \frac{v}{2\pi\rho\sigma_a^2\sigma_n^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma_n^2}} \left[ \int_0^{\infty} \alpha e^{-\left\{\frac{1}{\sigma_a^2(1+\rho)} + \frac{1}{2\sigma_n^2}\right\}\alpha^2} \pi \frac{v\alpha\cos\theta}{\sigma_n^2} d\theta d\alpha \right. \\ &\quad \left. - \int_0^{\infty} \alpha e^{-\left\{\frac{1}{\sigma_a^2(1-\rho)} + \frac{1}{2\sigma_n^2}\right\}\alpha^2} \pi \frac{v\alpha\cos\theta}{\sigma_n^2} d\theta d\alpha \right] \quad (13) \end{aligned}$$

식 (13)을

$$\int_0^{\pi} e^{\pm\beta\cos x} dx = \pi J_0(i\beta), \quad (14)$$

$$\int_0^{\infty} x e^{-\beta x^2} J_0(\gamma x) dx = \frac{1}{2\beta} e^{-\frac{\gamma^2}{4\beta}}, \quad (15)$$

식 (14)와 (15)를 이용하여 정리하면 상관된 레이레이 페이딩환경에서 백색 가우시안 잡음을 고려한 수신 신호의 포락선에 대한 분포함수는 다음 식과 같다.

$$f_V(v) = \frac{1+\rho}{\rho} \frac{v}{\sigma_n^2(1+\rho) + 2\sigma_n^2} e^{-\frac{v^2}{\sigma_n^2(1+\rho) + 2\sigma_n^2}} - \frac{1-\rho}{\rho} \frac{v}{\sigma_n^2(1-\rho) + 2\sigma_n^2} e^{-\frac{v^2}{\sigma_n^2(1-\rho) + 2\sigma_n^2}} \quad (16)$$

전력에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_R(r) = \frac{1+\rho}{2\rho} \frac{1}{\sigma_n^2(1+\rho) + 2\sigma_n^2} e^{-\frac{r}{\sigma_n^2(1+\rho) + 2\sigma_n^2}} - \frac{1-\rho}{2\rho} \frac{1}{\sigma_n^2(1-\rho) + 2\sigma_n^2} e^{-\frac{r}{\sigma_n^2(1-\rho) + 2\sigma_n^2}} \quad (17)$$

#### IV. 레일레이 페이딩과 잡음 환경에서의 동일채널 다중간섭의 확률밀도함수

독립적이고 균일분포의 간섭성분이 동일한 평균 전력으로  $L$ 개가 있고, 각 간섭성분은 동일한 가우시안 잡음의 영향을 받는다고 가정하자. 셀룰라 시스템에서는 모든 간섭성분이 같은 거리에 있기 때문에 이 가정은 타당하다.<sup>[4]</sup> 간섭 성분들은 서로 독립이므로 다음과 같이 표현된다.

$$I = \sum_{i=1}^L (I_i + N_i) \quad (18)$$

여기서,  $I_i$  와  $N_i$  는 랜덤 변수이다. 합성된 다중 간섭신호의 확률밀도함수를 구하기 위하여 먼저 하나의 간섭신호에 대하여 식 (19)와 같이 라플라스 변환을 한다.

$$\mathcal{L}\{f_I(y)\} = \int_0^\infty e^{-sy} f_I(y) dy = \left(\frac{2\sigma_n^2}{A'B'}\right) \frac{\left(s + \frac{1}{2\sigma_n^2}\right)}{\left(s + \frac{1}{A'}\right)\left(s + \frac{1}{B'}\right)} \quad (19)$$

여기서,  $A' = \bar{y}(1+\rho) + 2\sigma_n^2$ ,  $B' = \bar{y}(1-\rho) + 2\sigma_n^2$  이고  $\bar{y}$  는 하나의 간섭성분의 평균전력이다.

합성된 다중간섭성분에 대한 결합확률밀도함수는 식 (20)과

$$\mathcal{L}\{f_I(y)\} = \int_0^\infty e^{-sy} f_I(y) dy = \prod_{i=1}^L \mathcal{L}\{f_{I_i}(y)\} = \left(\frac{2\sigma_n^2}{A'B'}\right)^L \frac{\left(s + \frac{1}{2\sigma_n^2}\right)^L}{\left(s + \frac{1}{A'}\right)^L \left(s + \frac{1}{B'}\right)^L} \quad (20)$$

라플라스 역변환공식을 이용하여 구하면 다음과 같다.<sup>[부록]</sup>

$$f_I(y) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=0}^l \frac{L(L+l-k-1)!}{(L-l-1)!k!(l-k)!(L-k)!} \left(\frac{1}{2\rho}\right)^{L-k+l} \times \left(\frac{A'B'}{y}\right)^l y^{L-l-1} \left\{ (-1)^{l-k} e^{\frac{-y}{A'}} \left(\frac{1+\rho}{A'}\right)^L \left(\frac{2\sigma_n^2}{(1+\rho)B'}\right)^k + (-1)^L e^{\frac{-y}{B'}} \left(\frac{1-\rho}{B'}\right)^L \left(\frac{2\sigma_n^2}{(1-\rho)A'}\right)^k \right\} \quad (21)$$

식 (21)은 레일레이 페이딩과 가우시안 잡음이 혼재한 환경에서 동일채널에 대한  $L$  개의 다중간섭성분에 대한 확률밀도함수가 된다. 확률밀도함수로서의 타당함의 검정은  $\int_0^\infty f_I(y) dy = 1$  임을 보이면 된다.

식 (20)에서  $s=0$  인 경우는 이것에 해당되므로 1 이 됨을 알 수 있다.

$\alpha_n^2 = 0$  는 잡음이 없는 경우로 먼저,  $k=0$  으로 두고  $\alpha_n^2 = 0$  을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$f(y) = \frac{1}{\Gamma(L)} \left(\frac{1}{2\rho y}\right)^L \sum_{l=0}^{L-1} \frac{(L-1+l)!}{l!(L-1-l)!} \left(\frac{\bar{y}(1-\rho^2)}{2\rho}\right)^l y^{L-l-1} \times \left[ (-1)^l e^{\frac{-y}{1+\rho}} + (-1)^L e^{\frac{-y}{1-\rho}} \right] \quad (22)$$

#### V. 레일레이 페이딩 환경에서의 오수신확률

$L$  개의 동일채널 간섭이 있을 때의 오수신확률은 다음과 같이 정의된다.<sup>[4]</sup>

$$P_{out} = P\left(\frac{S+N}{I} < q\right) = P\left(I > \frac{S+N}{q}\right) = \int_0^\infty f(r) \int_{r/q}^\infty f(y) dy dr \quad (23)$$

여기서,  $N$ 은 가우시안 잡음이고,  $q$ 는 기준값 (power protection ratio)이며,  $L$ 는 식 (18)에 정의되어 있다.

평균 신호전력 대 잡음전력비( $SNR_r$ )와 평균 단일 간섭전력 대 잡음전력비( $SNR_y$ )를  $SIR$ 라 하며 다음과 같이 정의한다.

$$SIR = \frac{SNR_r}{SNR_y} = \frac{\bar{r}/\alpha_n^2}{y/\alpha_n^2} = \frac{\bar{r}}{y} \quad (24)$$

식 (17)과 식 (21)을 식 (23)에 대입하여 식을 정리하면 신호와 간섭신호가 모두 가우시안 잡음과 레이레이 페이딩을 겪을때의 일반화된 오수신확률을 구할 수 있다.

$$P_{out} = \sum_{k=0}^{L-1} \sum_{l=0}^L \frac{L(L+l-k-1)!}{k!(l-k)!(L-k)!} \left(\frac{1}{2p}\right)^{L+l-k} \times \left\{ (-1)^{l-k} (1+p)^{l-k} \left( 1-\rho + 2SIR/SNR_r \right)^l \left( \frac{2}{2+(1-\rho)SNR_r/SIR} \right)^k \times \left[ \frac{\frac{1-\rho}{2p}}{\left(1+q\frac{(1+\rho)SNR_r/SIR+2}{(1-\rho)SNR_r+2}\right)^{L-l}} - \frac{\frac{1+\rho}{2p}}{\left(1+q\frac{(1+\rho)SNR_r/SIR+2}{(1+\rho)SNR_r+2}\right)^{L-l}} + 1 \right] + (-1)^l (1-\rho)^{l-k} \left( 1+\rho + 2SIR/SNR_r \right)^l \left( \frac{2}{2+(1+\rho)SNR_r/SIR} \right)^k \times \left[ \frac{\frac{1-\rho}{2p}}{\left(1+q\frac{(1-\rho)SNR_r/SIR+2}{(1-\rho)SNR_r+2}\right)^{L-l}} - \frac{\frac{1+\rho}{2p}}{\left(1+q\frac{(1-\rho)SNR_r/SIR+2}{(1+\rho)SNR_r+2}\right)^{L-l}} + 1 \right] \right\} \quad (25)$$

잡음이 없는 경우의 오수신확률은 다음과 같다.

$$P_{out} = \sum_{l=0}^{L-1} \binom{L-1+l}{l} \left(\frac{1}{2p}\right)^{L+l} \times \left\{ (-1)^l (1-\rho)^l (1+\rho)^l \left[ \frac{\frac{1-\rho}{2p}}{\left(1+\frac{q}{SIR}\right)^{L-l}} - \frac{\frac{1+\rho}{2p}}{\left(1+\frac{q(1-\rho)}{SIR(1+\rho)}\right)^{L-l}} + 1 \right] + (-1)^l (1-\rho)^l (1+\rho)^l \left[ \frac{\frac{1-\rho}{2p}}{\left(1+\frac{q(1+\rho)}{SIR(1-\rho)}\right)^{L-l}} - \frac{\frac{1+\rho}{2p}}{\left(1+\frac{q}{SIR}\right)^{L-l}} + 1 \right] \right\} \quad (26)$$

여기서,  $\binom{L-1+l}{l} = \frac{(L-1+l)!}{l!(L-1)!}$  이다.

그림 2와 3에 잡음과 레이레이 페이딩이 있는 환경에서 간섭성분이 각각 1개와 6개인 경우 신호대 잡음비( $SNR_r$ )와 신호 대 간섭성분의 비( $SIR/q$ )의 변화에 따른 오수신확률을 나타내었다. 간섭성분의 수가 증가할수록 오수신확률은 더 커짐을 알 수 있고, 신호대 잡음의 비가 나빠질수록 오수신 확률은 증

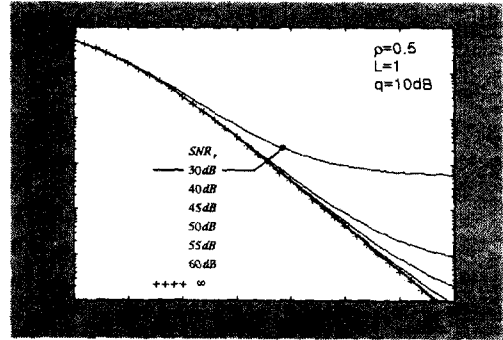


그림 2. 레이레이 페이딩과 AWGN에서  $SNR_r$ 과  $SIR/q$  값의 변화에 따른 오수신확률 ( $p=0.5$ ,  $L=1$ ,  $q=10$  dB).

Fig 2. Variation of outage probability with  $SNR_r$  and  $SIR/q$  in Rayleigh fading and AWGN ( $p=0.5$ ,  $L=1$ ,  $q=10$  dB).

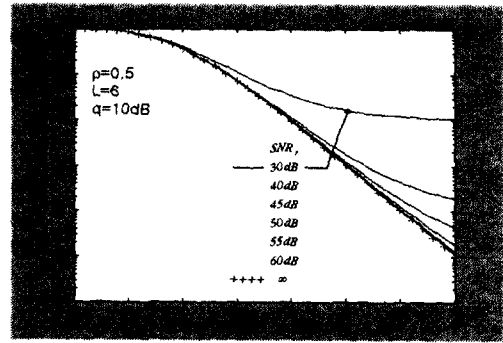


그림 3. 레이레이 페이딩과 AWGN에서  $SNR_r$ 과  $SIR/q$  값의 변화에 따른 오수신확률 ( $p=0.5$ ,  $L=6$ ,  $q=10$  dB).

Fig. 3. Variation of outage probability with  $SNR_r$  and  $SIR/q$  in Rayleigh fading and AWGN ( $p=0.5$ ,  $L=6$ ,  $q=10$  dB).

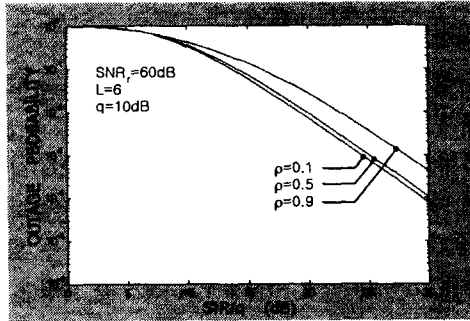


그림 4. 레일레이 페이딩에서  $p$ 와  $SIR/q$  값의 변화에 따른 오수신확률 ( $SNR_r=60$  dB,  $L=6$ ,  $q=10$  dB).

Fig. 4. Variation of outage probability with  $\rho$  and  $SIR/q$  in Rayleigh fading and AWGN ( $SNR_r=60$  dB,  $L=6$ ,  $q=10$  dB).

가하며, 신호대 잡음비가 60 dB 이상이면 잡음이 없는 경우의 오수신 확률과 동일해 짐을 알 수 있다.

그림 4는  $L=6$ ,  $q=10$  dB,  $SNR_r=60$  dB인 경우 전력 상관계수  $\rho$ 의 변화에 따른 오수신확률을 보여 주고 있다. 수신된 두 신호의 상관도가 높을수록 동일 오수신 확률을 얻기 위하여 더 높은  $SIR/q$ 가 요구됨을 알 수 있다.

### VI. 주파수재사용

송신신호의 전력에 대한 수신신호의 상대적 평균 수신전력으로 정의되는 경로손실이  $n \cdot 10$  dB/dec 라고 할 때, 수신전력  $P$ 는

$$P = \alpha R^{-n} \quad (27)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $\alpha$ 는 전파(propagation) 파라미터이고  $R$ 은 이동국과 기지국 사이의 거리,  $n$ 은 전파상수로 자유 공간에서는 2로 정의되고 실제 셀룰라 환경에서 2~5사이로 정의되는데 일반적으로 도시환경에서는 4로 정의된다.<sup>[1]</sup>

셀룰라 이동통신 시스템 환경에서 주파수를 재사용하기 위하여 셀 사이를 일정 간격 이상이격 시켜야 한다. 이동국에서 수신되는 전력,  $\bar{r}$ 와 동일채널 간섭,  $\bar{y}$ 는 식 (28)과 같이 표현된다.

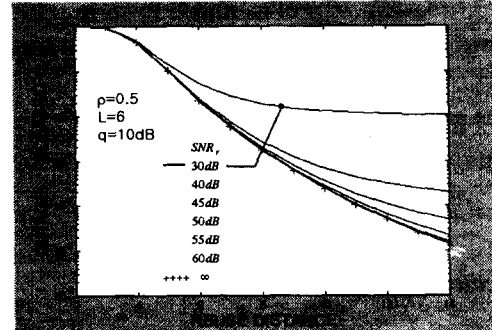


그림 5. 주파수재사용 거리,  $D$ 와  $SNR_r$ 에 따른 오수신확률( $p=0.5$ ,  $L=6$ ,  $q=10$  dB,  $n=4$ ).

Fig. 5. Variation of outage probability versus reuse distance in Rayleigh fading and AWGN ( $p=0.5$ ,  $L=6$ ,  $q=10$  dB,  $n=4$ ).

$$\bar{r} = \alpha d_1^{-n} \quad (28 a)$$

$$\bar{y} = \alpha d_2^{-n} \quad (28 b)$$

여기서,  $d_1$ 은 기지국과 이동국간의 거리이고  $d_2$ 는 이동국과 간섭하는 기지국과의 거리이다. 주파수 재사용거리  $D$ 는

$$D = \frac{d_1 + d_2}{d_1} = 1 + \frac{d_2}{d_1} \quad (29)$$

와 같이 정의되므로 수신전력,  $\bar{r}$ 와 동일채널 간섭 전력,  $\bar{y}$ 의 비를 주파수재사용 거리,  $D$ 로 표현하면 식 (30)과 같다.

$$\frac{\bar{r}}{\bar{y}} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^n = (D-1)^n \quad (30)$$

그림 4는 기준값,  $q$ 가 주어졌을 때 주파수재사용 거리,  $D$ 에 따른 레일레이 페이딩에서의 오수신확률을 보여주고 있다. 간섭성분이 6개 있다고 가정하고 식 (25)에 식 (30)을 대입하고  $n=4$  일 때의 결과이다. 동일한 오수신확률을 얻기 위하여 신호 대 잡음비( $SNR_r$ )가 나뉠수록 주파수 재사용 거리가 증가함을 알 수 있다.

### VII. 결 론

본 논문에서는 셀룰라 이동통신환경에서 야기되는 페이딩에 의한 성능의 열화를 줄이는 방법 중에서 단말기의 크기, 회로의 복잡도를 줄일 수 있는 송신 다이버시티기법을 적용한 시스템에서 상관관계를 가지고 수신된 합성신호에 대하여 확률밀도함수를 구하고, 레이레이 페이딩 환경하에서 가산성 백색 잡음을 고려한 경우에, 라플라스변환을 이용하여 동일채널 다중간섭에 대한 레이레이 페이딩 환경에서 확률밀도함수를 유도하고 타당함을 검증하였다. 이것을 이용하여 신호 대 잡음비(SNR)와 신호대 간섭성분의 전력비(SIR/q)에 따른 오수신확률과 간섭성분수에 따른 오수신확률을 분석하였다. 전력상관계수에 따른 오수신확률의 변화를 분석하고, 또한 다중간섭성분(L=6)이 있을 때 주파수재사용 거리에 따른 오수신확률을 신호대잡음비로 분석하였다.

### 참 고 문 헌

[1] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, Wiley John & Sons, 1992.  
 [2] A. Hottinen and R. Wichman, "Transmit diversity techniques for WCDMA", *5'th Annual Smart Antenna Workshop*, Stanford July 23-24, 1998.  
 [3] S. M. Alamouti, "A simple transmit antenna diversity technique for wireless communica-

tions", *IEEE Journal on Selected Areas of Communications*, 1998.  
 [4] A. A. Abu-Dayya and N. C. Beaulieu, "Outage probability of cellular mobile radio systems with multiple Nakagami interferers", *IEEE Trans. VTC*, vol. 40, no. 4, pp. 757-768, Nov. 1991.  
 [5] J. C. Lin, W. C. Kao and Y. T. Su, "Outage and coverage considerations for microcellular mobile radio systems in a shadowed-Rician/shadowed-Nakagami environment", *IEEE Trans. VTC*, vol. 48, no. 1, pp.66-75, Jan. 1999.  
 [6] A. A. Abu-Dayya and N. C. Beaulieu, "Analysis of switched diversity systems on generalized-fading channels", *IEEE Transactions on Communication*, vol. COM-42, pp.2959- 2966, Nov., 1994.  
 [7] 여민기, 한영열, 상관된 레이레이 페이딩채널에서 비동기 송신 다이버시티 시스템 성능분석, 한국전자파학회논문지, 제12권 제2호, pp. 208-216, 2001. 2.  
 [8] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, *Table of Integrals, Series, and Products*, Academic Press, Inc., 1965.  
 [9] Harry Bateman, *Tables of Integral Transforms*, vol. 1, New York: McGraw-Hill, 1954.

### 남 우 춘



1984년 2월: 한양대학교 전자통신 공학과 (공학사)  
 1994년 2월: 한양대학교 전자통신 공학과 (공학석사)  
 1995년 9월~현재: 한양대학교 전자통신공학과 박사과정  
 1984년 1월~1990년 8월: 금성전기(주)기술연구소  
 1990년 9월~1994년 2월: 생산기술연구원  
 1994년 3월~현재: 주성대학 디지털정보통신학과 부교수  
 [주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템

### 한 영 열

1938년 6월 10일생  
 1960년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1976년 5월: Univ. of Missouri 통신공학 (공학석사)  
 1979년 5월: Univ. of Missouri 통신공학 (공학박사)  
 1985년~1987년: 미국 콜랄도 주립대 (교환교수)  
 1981년~1995년: 한국통신학회 (이사, 상임이사, 부회장)  
 1995년~1996년: 미국 오레곤 주립대학 (교환교수)  
 1980년~현재: 한양대학교 전기전자공학부 교수  
 [주 관심분야] 확률/통계통신, 디지털 통신이론, 이동통신 통신 시스템