

철도터널구간에서 공간다이버시티 기법을 이용한
통신채널 모델에 관한 연구

**A Study on the Communication Channel Model Using the Space
Diversity Technique in Railroad Tunnel Section**

이상혁[†]
Lee, Sang-Hyeok

김민석*
Kim, Min-Seok

전태현**
Jeon, Taehyun

이종우***
Lee, Jong-Woo

ABSTRACT

Transmitting correct train control information is important in a train control system which demands safety. The train control information includes the maximum speed of trains, position of preceding trains, incline of tracks and curve sections etc. A radio frequency-communication based train control system is influenced by the noise and interference because the train control information is transmitted by wireless between a on-board system and wayside system. The radio frequency-communication based train control system is a mobile communication system due to moving trains. The inter symbol interference(ISI) occurs by the multipath fading in the mobile communication system. As signal-to-noise ratio(SNR) is decreased by the ISI, the train control information is not received correctly. In case of tunnel section, numerous reflected waves exist. Therefore, the power density of receiver is decreased by difference among the received times, magnitudes, phases through the multipath. So, the train suddenly is stopped by the fail-safe operation in the train control system on account of decreasing the power density of receiver.

In this paper, a line of sight model-(Additive White Gaussian noise(AWGN) channel), rayleigh and rician fading model are presented. Probability density functions which are related to the SNR are derived from the models. The fading phenomenon severely occurs as a result of analyzing the probability density functions. So, the space diversity method is used in order to reduce the fading effect and it is demonstrated by using Matlab program.

key words : AWGN(백색가우시안잡음), Rayleigh fading(레이리히 페이딩), Rician fading(라이시안 페이딩), space diversity(공간 다이버시티), PDF(확률밀도함수)

1. 서 론

철도에서 열차제어시스템은 매우 중요한 부분 중 하나이다. 열차제어시스템의 열차제어 정보는 현재 유선통신과 무선통신이 혼용되어 많이 사용되고 있다. 그러나 분당선과 경량 전철의 경우, 열차제어시스템의 열차제어 정보 전송은 무선 통신기반으로 구성이 되고 있는 경향이다. 따라서 무선 이동통신 시스템에서는 큰 규모의 페이딩과 작은 규모의 페이딩으로 인해 수신측에서 열차제어시스템의 열차제어 정보를 받지 못하는 경우가 발생하고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

† 책임저자 : 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원, 철도전기신호공학과, 석사과정
E-mail : dodary1957@naver.com

TEL : (02)970-6874 FAX : (02)978-6874

* 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원, 철도전기신호공학과, 박사과정

** 비회원, 서울산업대학교 전기공학과, 교수

*** 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원, 철도전기신호공학과, 교수

2장에서는 철도 터널 내에서 작은 규모 페이딩에서의 다중경로 페이딩에 대한 통신 채널모델의 PDF를 설명하였다.⁽²⁾⁽³⁾ 3장에서는 페이딩을 낮추기 위해 공간 다이버시티 기법을 제시하였다. 4장에서는 통신채널 모델의 PDF와 공간다이버시티 기법을 적용한 PDF를 matlab시뮬레이션을 통해 비교 하였다. 5장에서는 결론을 맺었다.

2. 통신 채널 모델의 PDF

2.1 LOS 모델

LOS는 전자파가 직선상으로 도달이 가능하고, 사람의 눈으로 볼 수 있는 거리를 말한다. 그리고 LOS는 다른 통신채널 모델과 달리 송신기와 수신기 사이에 장애물이 존재하지 않고, LOS에 영향을 끼치는 잡음은 주파수 전역에 걸쳐 나타나는 부가적인 백색잡음(AWGN)으로 간주한다.⁽¹⁾⁽³⁾

LOS의 경로에서 수신된 신호는 식(1)이다.

$$r(t) = cs(t) + n(t) \quad (1)$$

식(1)에서 c 는 경로손실 요소, $s(t)$ 는 전송신호, $n(t)$ 는 추가된 채널 잡음이다. 그리고 진폭이 zero-mean Gaussian PDF로 나타낼 수 있으며, 식(2)와 같다.

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma^2}} e^{-x^2/2\sigma^2} \quad (2)$$

식(2)에서 σ^2 는 랜덤변수 x 의 분산(전력)이다.

2.2 Rayleigh 모델

Non-LOS는 LOS와는 달리 수신자가 이동을 할 때 발생하는 현상이다. 수신되는 신호는 직접 전달되지 않거나 각각의 수신신호는 여러 방해요소에 의해서 도착시간이 지연된다. 즉, 서로 다른 방향에서 반사된 많은 신호가 존재하며, 같은 신호가 수신단에서 크기와 위상이 다르게 수신되어 한꺼번에 들어오는 현상이 발생하게 된다.

다중경로 원인으로는 Doppler 효과, 지연확산, 음영 효과로 나눌 수 있다. Doppler 효과는 이동체가 수신측으로 빠르게 이동하거나, 반대로 멀어지면서 생기는 수신전파의 신호 대역폭 변화를 나타낸다. 지연확산은 전달거리가 멀어지면서 자연스럽게 진폭이 작아지고 지연시간이 길어지는 현상이다. 음영 효과는 수신자가 이동 중에 장애물이 있다 없다 하는 현상으로 유발된다.⁽²⁾⁽³⁾

Rayleigh 모델은 직접파보다 반사파가 우세할 경우에 발생한다. 그러므로 서로 다른 방향에서 반사된 많은 신호가 존재하는 수신신호는 식(3)과 같다.

$$r(t) = \sum_{n=1}^N R_n \cos(2\pi ft - 2\pi f_{D,n} t) \quad (3)$$

식(3)에서 수신신호는 N개의 반사된 신호들로 구성되며, 각각의 경로는 R_n 의 진폭과 반송파 주파수 f 를 가진다. 그리고 주파수 천이 $f_{D,n}$ 는 사용자가 이동할 때 발생하는 Doppler 효과이다.

이동국의 이동방향과 평행하게 진행할 때 주파수 천이는 식(4)와 같다.

$$f_{D,n} = \frac{v}{\lambda} \quad (4)$$

식(3)에서 수신된 신호의 동위상과 직각위상 표현은 식(5)와 같다. $R_I(t)$, $R_Q(t)$ 는 Gaussian 분포를 나타낸다.

$$r(t) = R_I(t)\cos(2\pi ft) + R_Q(t)\sin(2\pi ft) \quad (5)$$

따라서, 신호 식(6)은 Rayleigh 분포를 가진다. $R_I(t)$, $R_Q(t)$ 는 평균이 '0'인 Gaussian random 변수이고, Rayleigh 분포는 식(7)의 확률밀도함수를 나타낸다.

$$R(t) = \sqrt{R_I^2(t) + R_Q^2(t)} \quad (6)$$

$$p(R) = \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} \quad (0 \leq R) \quad (7)$$

realX는 식(8)에서 얻어지는 값으로, 여기서 x 에 대하여 풀면 식(9)를 얻게 된다. 만약 특정구역에서 균일분포를 가지면, 이것은 Rayleigh 분포를 보일 것이라고 추정한 것이다. 이 또한, AWGN에서 사용하였던 $p_X(x) = \frac{n}{N}$ 을 이용하여 추정값을 도출하였다.⁽¹⁾⁽³⁾

$$u = \int_0^x \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} dR = 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

$$x = \sigma \sqrt{-2\log(1-u)} \quad (9)$$

2.3 Rician 모델

랜덤변수 $R_I(t)$, $R_Q(t)$ 의 평균이 '0'이 아니면 큰 전력을 갖는 다중경로 요소나 가시거리 경로가 존재한다. 이때 PDF는 Rician 분포를 갖는다. Rician 모델은 직접파가 반사파보다 우세할 경우 발생한다. 식(10)은 Rician 모델의 확률밀도함수를 나타낸다.

$$p(R) = \frac{R}{\sigma^2} e^{(-R^2 + A^2/2\sigma^2)} I_0\left(\frac{AR}{\sigma^2}\right) \quad (10)$$

A는 직접파 신호의 진폭, $I_0\left(\frac{AR}{\sigma^2}\right)$ 는 1종 0차수의 Bessel 함수를 나타낸다.

$$k = \frac{A^2}{2\sigma^2} \quad (11)$$

Rician 요소 k 는 가시거리 신호의 세기를 나타내며, SNR과 비례한다. 즉, k 가 증가하면 SNR이 좋아지며, 반대의 경우 나빠진다. k 가 무한대로 접근함에 따라 Rician 분포는 델타함수이다. 즉, AWGN 분포와 흡사하게 된다. k 가 '0'에 가까워짐에 따라 Rayleigh 분포가 된다.⁽³⁾

3. 공간다이버시티

다이버시티 수신은 빠르고 깊은 페이딩의 효과를 최소화하는데 가장 유용한 기술 중 하나이다. 다이버시티 방식 중에서 공간 다이버시티 기법은 구현이 용이하고, 추가적인 주파수 대역폭을 필요로 하지 않으므로 널리 사용되고 있다. 실제적인 다이버시티 시스템은 안테나의 수가 증가함에 따라서 성능 개선의 정도가 감소하며 시스템이 더욱 복잡해지기 때문에 안테나 수를 3개 이상을 사용하는 경우는 드물다.

다이버시티 시스템에서 여러 개의 안테나에서 수신된 페이딩 신호들 사이의 상관관계를 안테나간 거리의 함수로써 수식화 하였을 경우, 0.7이상의 큰상관 계수를 갖게되면, 성능의 열화는 상대적으로 적음을 알 수 있다. 따라서, 신호간 상관관계를 완전히 없앨 필요가 없다. 현재 이동체의 수신단에서 다이버시티 수신을 위한 안테나간의 거리는 $0.5[\lambda]$ 정도가 사용된다. 공간 다이버시티 수신 기법은 공간적으로 충분히 떨어진 2개 이상의 수신 안테나를 사용하는 방법이다. 수신국이 이동국일 경우, 사용하는 주파수의 $1/2[\lambda]$ 이 정수 배로 안테나를 분리할 때, 서로 상관하지 않은 독립된 페이딩 수신파를 받는다.

공간 다이버시티 방식은 수신된 신호를 합성하는 방법에 따라 최대비 합성, 등이득 합성, 선택 합성 다이버시티 등이 있다.

본 논문에서는 이중 성능 향상이 가장 큰 것으로 알려진 선택 합성과 최대비 합성 다이버시티에 대해서 해석한다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾

3.1 Rayleigh

3.1.1 선택 합성 다이버시티

이번 장에서는 다이버시티 수신들 사이에서 최대 SNR의 분포를 관하여 시불변 채널의 결과로 평균을

냄으로써 선택 합성 다이버시티를 통해서 심볼 에러 확률을 구하였다. 독립동일분포 다이버시티 경로들의 L 을 통해서 최대 선택 SNR의 확률밀도함수는 잘 알려져 있다. z 는 최대 SNR을 의미한다. 각 신호의 평균은 γ_b 은 동등하다고 가정한다. 위의 조건하에 PDF를 나타낼 수 있다.⁽⁶⁾

$$p_z(z) = \frac{L}{\gamma_b} (1 - e^{-z/\gamma_b})^{L-1} e^{-z/\gamma_b} = \frac{L}{\gamma_b} (-1)^k \binom{L-1}{k} e^{-(k+1)z/\gamma_b} \quad (12)$$

3.1.2 최대비 합성 다이버시티

사각 신호집합은 오직 간주되어야 한다. 신호의 형태로, $M=2^k$ 신호는 k 가 짝수일 때 대칭적인 형태의 결과로 나타난다. 쿼드러처 반송파 위상은 의도된 두 개의 다른 펄스 진폭 변조 신호로 보여진다. AWGN 채널에서 심볼 에러의 확률은 표현될 수 있다.⁽⁷⁾

$$p_{non} = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{3k}{2(M-1)} \frac{E_b}{N_o}} \right\} \times \left[1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \times \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{3k}{2(M-1)} E_b} \right\} \right] \quad (13)$$

$$\operatorname{erfc}(X) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-t^2) dt \quad (14)$$

주파수 비선택적 채널은 전송된 신호의 승산성 왜곡을 야기한다. 채널이 느리게 쇠퇴되는 조건은 승산성 진행이 적어도 하나의 신호 간격 동안에 계속해서 간주되어야 하는 것을 의미한다. 고정감쇠 α 를 통해서 식(13)이 식(15)로 다시 나타낼 수 있다.

$$p_{non}(\gamma_b) = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{3k}{2(M-1)} \gamma_b} \right\} \times \left[1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \times \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{3k}{2(M-1)} \gamma_b} \right\} \right] \quad (15)$$

$$\gamma_b = \alpha^2 \frac{E_b}{N_o} \quad (16)$$

식(15)는 조건부 심볼 에러 확률을 나타낸다. 여기서 α 는 고정 조건이다. α 가 랜덤일 경우 에러 확률을 구할 수 있다. γ_b 의 PDF에 관한 평균은 p_{non} 이다.

$$p_{fad} = \int_0^\infty p_{non}(\gamma_b) p(\gamma_b) d\gamma \quad (17)$$

α 가 랜덤일 경우 $p(\gamma_b)$ 는 γ_b 의 확률 밀도 함수이다. 수신된 신호는 Rayleigh 페이딩 포락선을 갖는 것을 가정한다. 수신 안테나 주위에 많은 산란에 의해서 반사된 전송 신호의 경우는 위의 가정이 성립된다. 또한, L 이 다른 안테나들로부터 오는 신호는 독립동일분포가 랜덤 과정에 통계적인 것을 가정한다. 이 가정은 어떤 두 개의 안테나 사이의 공간 분리는 반송파 신호의 $1/2[\lambda]$ 보다 크다면, 사실일 수 있을 것이다. 그리고 채널당 평균 SNR은 전체 채널이 동일하다는 것을 가정한다. 이 조건들 하에 $p(\gamma_b)$, PDF는 다음과 같이 나타난다.⁽⁷⁾

$$p(\gamma_b) = \frac{1}{\Gamma(L)\bar{\gamma}_b} \gamma_b^{L-1} e^{-\gamma_b/\bar{\gamma}_b} \quad (18)$$

$\bar{\gamma}_b$ 는 채널당 평균 SNR이고, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수이다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

3.2 Rician

3.2.1 선택 합성 다이버시티

[그림 1]는 선택 합성 다이버시티 기법의 기본적인 구조를 나타낸다. 위상 검출기가 필요 없고, 동일한 신호를 2개 이상의 가지(branch)로 수신하였을 때 주기적으로 각 가지의 입력 순시 신호 전력 대 잡음 전력 비를 비교하여 페이딩의 영향을 적게 받은 신호를 선택하는 방법이다. 즉, 검파 후 합성 다이버시티 기법으로 수신 구조가 다른 기법에 비해 간단하다는 장점이 있어 현재 가장 많이 사용되고 있다.

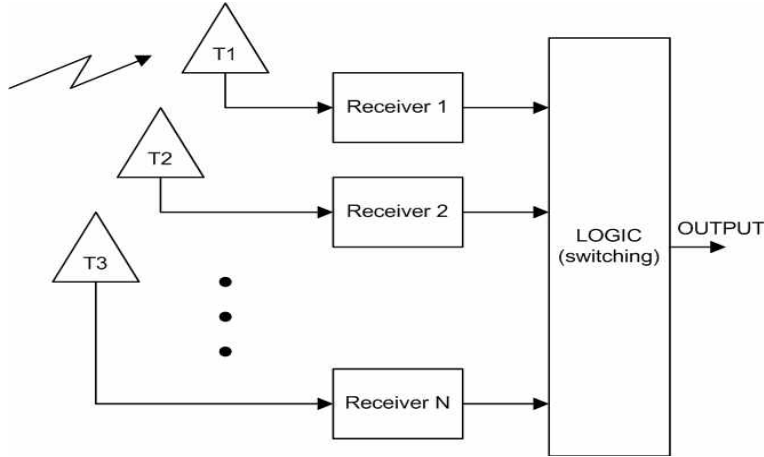


그림 1. 선택 합성 다이버시티 기법의 기본적인 구조

Rician 페이딩 채널에서 열화된 수신 신호가 B_s -branch의 수신 안테나에 들어오는 경우, 각 가지의 입력 신호는 서로 독립이고 무상관으로 가정한다. 이 경우 선택 합성 다이버시티 기법으로 신호를 수신할 때 다이버시티 출력 순시 신호 전력 대 잡음 전력비는 식(19)와 같다.

$$\gamma = \max(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N) \quad (19)$$

여기서, γ_N 는 N-번째 가지의 입력 순시 신호 전력 대 잡음 전력비이다. 따라서 라이시안 페이딩 환경하에서 선택 합성 다이버시티 수신시, 출력 순시 신호 전력 대 잡음 전력비 식(20)의 확률밀도함수이다.

$$f_{SC}(\gamma) = B_s \left(\frac{K_R + 1}{\Gamma_{Sav}} \right) \cdot \exp \left[- \frac{(K_R + 1)\gamma}{\Gamma_{Sav}} - K_R \right] \cdot I_0 \left(\sqrt{\frac{4K_R(K_R + 1)\gamma}{\Gamma_{Sav}}} \right) \cdot \left\{ 1 - \exp(-K_R) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K_R^n}{n!} \frac{\Gamma \left(n+1, \frac{(K_R + 1)\gamma}{\Gamma_{Sav}} \right)}{\Gamma(n+1)} \right\}^{(1-B_s)} \quad (20)$$

B_s 는 SC 다이버시티 가지수, K_R 은 라이시안 페이딩 파라미터, γ 는 순시 신호대 잡음 전력비, Γ_{Sav} 는 SC 다이버시티의 평균 신호대 잡음 전력비, $I_0(\cdot)$ 는 0차의 제1종 변형 베셀 함수, $\Gamma(\cdot, \cdot)$ 는 불완전 감마함수, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수이다. 또한, 라이시안 페이딩 채널에서 선택 합성 다이버시티의 출력 순시 신호의 확률밀도함수를 정규화하여 나타내면 식(21)와 같다.⁽⁵⁾

$$f_{SC}(\rho) = \left| \frac{d\gamma}{d\rho} \right| f_{SC}(\gamma) = 2\rho B_s (K_R + 1) \exp(-K_R) \quad (21)$$

$$\exp(-(K_R + 1)\rho^2) I_0 \left\{ 2\rho \sqrt{K_R(K_R + 1)} \right\} \cdot \left\{ 1 - \exp(-K_R) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K_R^n}{n!} \frac{\Gamma(n+1, (K_R + 1)\rho^2)}{\Gamma(n+1)} \right\}^{B_s - 1} \quad (22)$$

$$\rho^2 = \gamma / \Gamma_{Sav}$$

3.2.2 최대비 합성 다이버시티

[그림 2]는 최대비 합성 다이버시티 기법의 기본적인 구조를 나타낸다. 수신기 앞단에 위상 검출기가 있고, 각 다이버시티 가지 입력의 위상이 동상으로 되도록 조정한다. 그리고 각각의 포락선에 비례하여 신호 대 잡음 전력비가 클수록 증폭기의 증폭 가중치를 크게 하고, 신호 대 잡음 전력비가 작은 것은 가중치를 적게 하여 합성하는 검파전 최대비 합성 다이버시티 수신 기법이다.

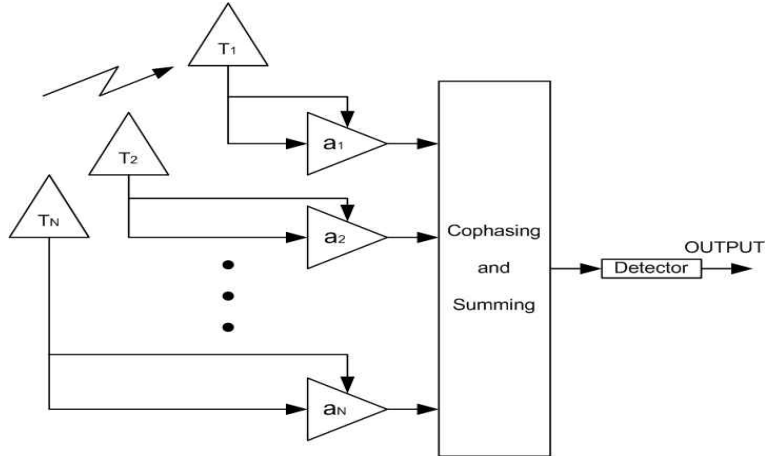


그림 2. 최대비 합성 다이버시티 기법의 기본적인 구조

서로 독립적인 B_M -번째 가지의 다이버시티의 수신과가 무상관일 때 라이시안 페이딩 환경에서 최대비 합성 다이버시티 수신시 출력 순시 신호 대 잡음 전력비 γ 는 식(23)과 같다.

$$\gamma = \sum_{N=1}^{B_M} \gamma_N \quad (23)$$

여기서 γ_N 은 N-번째 가지의 입력 순시 신호 대 잡음 전력비이다. 따라서 라이시안 페이딩 환경하에서 최대비 합성 다이버시티 수신시 출력 순시 신호 대 잡음 전력비의 확률밀도함수는 식(24)와 같다.

$$f_{MRC}(\gamma) = \frac{K_R + 1}{\Gamma_{Mav}} \left(\frac{K_R + 1}{K_R B_{MRC} \Gamma_{Mav}} \right)^{\frac{B_{MRC} - 1}{2}} \cdot \exp \left[-\frac{(K_R + 1)\gamma}{\Gamma_{Mav}} - K_R B_{MRC} \right] \cdot I_{B_{MRC} - 1} \left(2 \sqrt{\frac{B_{MRC} K_R (K_R + 1)}{\Gamma_{Mav}}} \right) \quad (24)$$

B_M 는 MRC 다이버시티 가지수, K_R 은 라이시안 페이딩 파라미터, γ 는 순시 신호대 잡음 전력비, Γ_{Mav} 는 MRC 다이버시티의 평균 신호 대 잡음 전력비, $I_n(\cdot)$ 는 n차의 제1종 변형 베셀 함수이다. 또한, 라이시안 페이딩 환경하에서 최대비 합성 다이버시티의 출력 순시신호의 확률밀도함수를 정규화하면 식(25)과 같다.⁽⁵⁾

$$f_{MRC}(\rho) = \left| \frac{d\gamma}{d\rho} \right| f_{MRC}(\gamma) = 2\rho^{B_M} (K_R + 1)^{(B_M + 1)} / 2 (K_R + B_M)^{-(B_M - 1)/2} \quad (25)$$

$$\exp \left\{ -K_R B_M - \rho^2 (K_R + 1) \right\} \cdot I_{B_M - 1} \left(2 \sqrt{K_R (K_R + 1) B_M} \right) \quad (26)$$

$$\rho^2 = \gamma / \Gamma_{Mav}$$

4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 철도터널환경에서의 통신모델인 AWGN과 Rayleigh 및 Rician의 PDF를 계산하였다. 철도터널환경의 시뮬레이션 조건은 [표 1]이다.

표 1. 철도터널구간에서 시뮬레이션 조건

구분	특성값
랜덤변수	3000
편차	1
직접파의 진폭	0.75
다이버시티 차수	5
평균 SNR	45[dB]
선택 합성 다이버시티 가지수	2
최대비 합성 다이버시티 가지수	2
Rician 페이딩 변수	1.778

[표 1]을 기준으로 철도터널환경에서의 PDF값이 0.8이상 나와야 열차제어정보전송에 문제가 발생되지 않는다.

4.2 통신채널 모델에서의 PDF

[표 1]을 기준으로 AWGN, Rayleigh 및 Rician의 PDF를 비교한다. [그림 3]은 완만한 곡선을 그리고 있는 선은 AWGN의 이론적인 PDF를 나타낸다. 그리고 이론적인 PDF 분포를 비슷하게 각을 그리며 따라가는 것이 수신된 값을 추정하여 구현한 PDF이다.

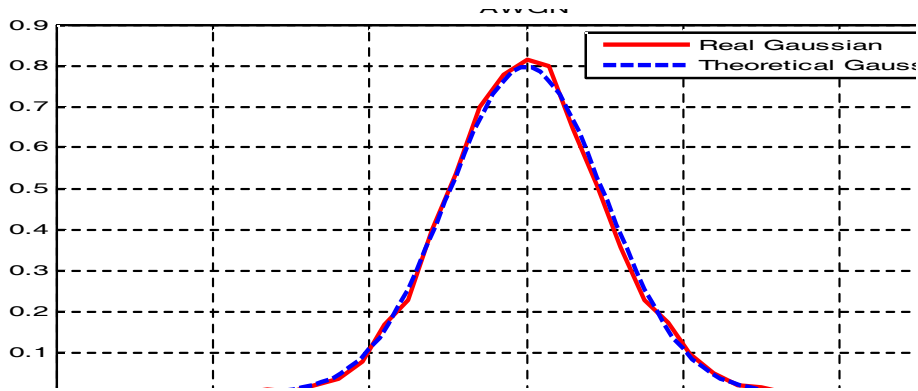


그림 3. 철도터널구간에서 AWGN PDF

[그림 3]을 보면 철도터널환경에서 AWGN의 PDF는 0.8이상으로 해석되었다. 즉, 철도터널환경에서 AWGN에 대한 영향은 거의 없다.

[표 1]을 기준으로 [그림 4]는 Rayleigh의 PDF를 나타내고, [그림 5]은 Rician의 PDF를 나타낸다. AWGN에 비하여 수신된 값이 천이 된 것을 알 수 있다. 완만한 곡선이 이론적 PDF를 뜻하고, 각진 그래프는 추정치를 통하여 구현한 PDF이다.

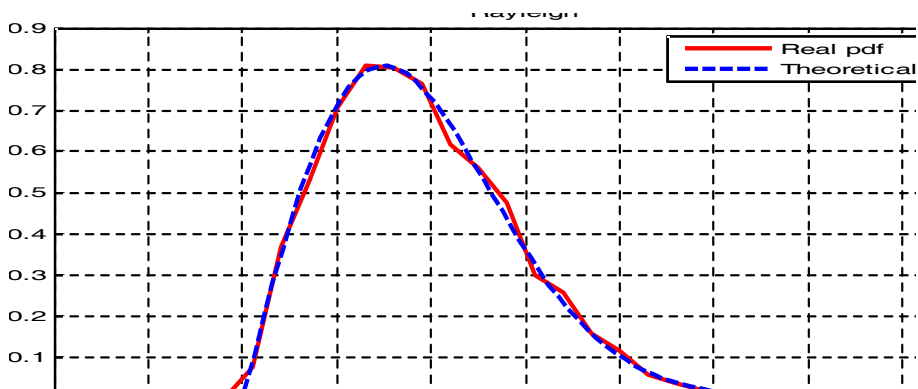


그림 4. 철도터널구간에서 Rayleigh PDF

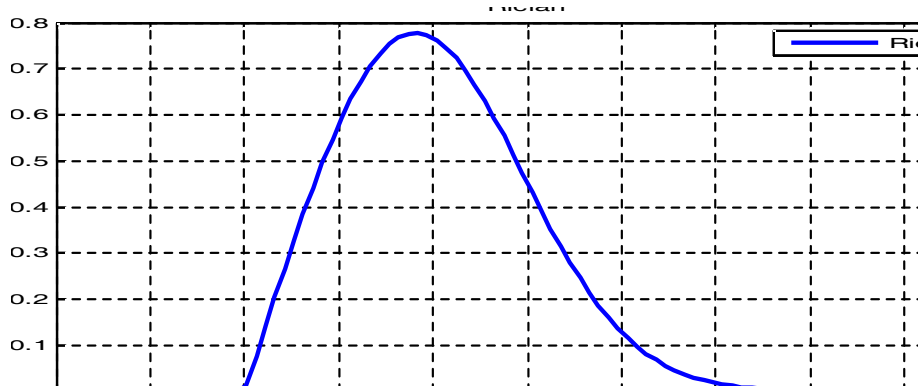


그림 5. 철도터널구간에서 Rician PDF

[그림 4]와 [그림 5]에서 보듯이 Rayleigh보다 Rician이 더 낮게 해석되었고, 모두 0.8이하로 해석되었다. 그러므로 다이버시티 기법을 통해 PDF 값을 기준치 이상으로 올려야 한다.

4.2 공간다이버시티 기법을 적용한 PDF

[표 1]을 기준으로 공간다이버시티 기법 중 선택 합성 방식을 이용한 Rayleigh 채널 모델에서의 SNR에 대한 PDF를 계산하면 [그림 6]이다.

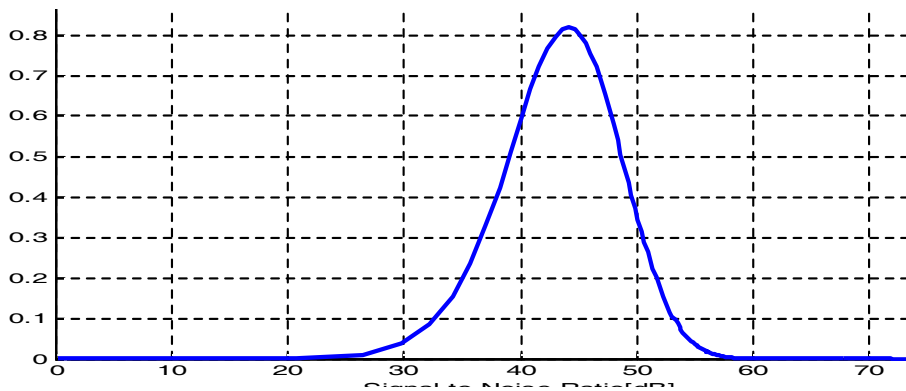


그림 6. Rayleigh 채널 모델에서의 SNR에 관한 PDF

[그림 7]은 [표 1]을 기준으로 최대비 합성 방식을 이용한 Rayleigh 채널 모델에서의 SNR에 대한 PDF이다.

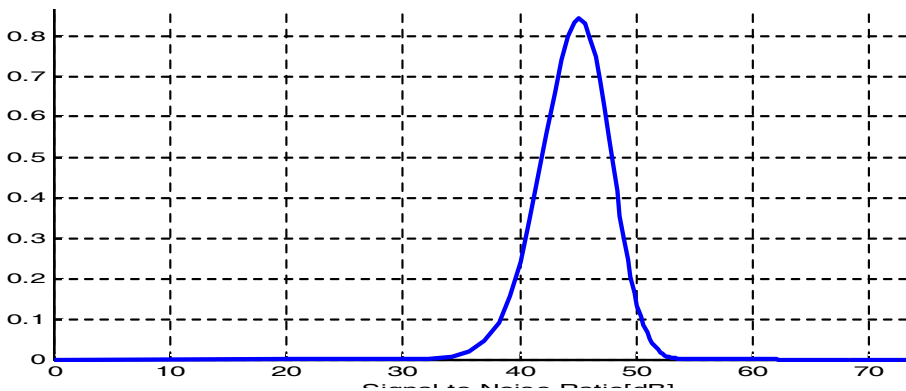


그림 7. Rayleigh 채널 모델에서의 SNR에 관한 PDF

Rayleigh에서 다이버시티 기법을 이용한 [그림 6]과 [그림 7]을 보면 PDF가 모두 0.8이상으로 철도 터널환경에서의 기준값을 만족하였다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

[표 1]을 기준으로 공간다이버시티 기법 중 선택 합성 방식을 이용한 Rician 채널 모델에서의 SNR에 대한 PDF를 계산하면 그림 8이다.

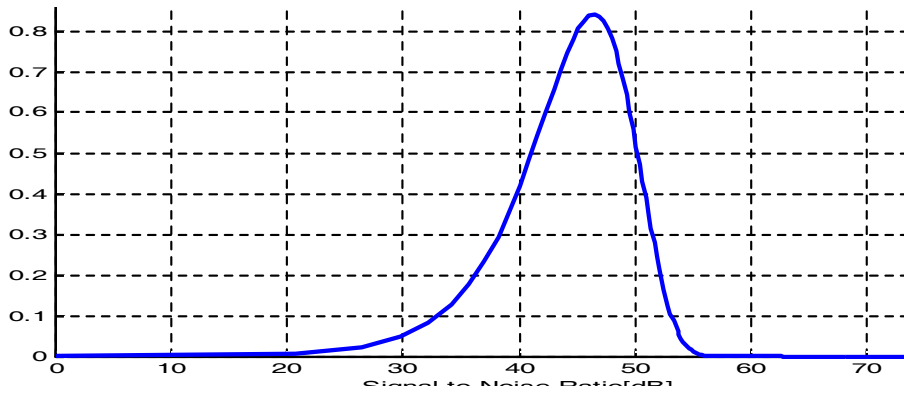


그림 8. Rician 채널 모델에서의 SNR에 관한 PDF

[그림 9]는 [표 1]을 기준으로 최대비 합성 방식을 이용한 Rician 채널 모델에서의 SNR에 대한 PDF이다.

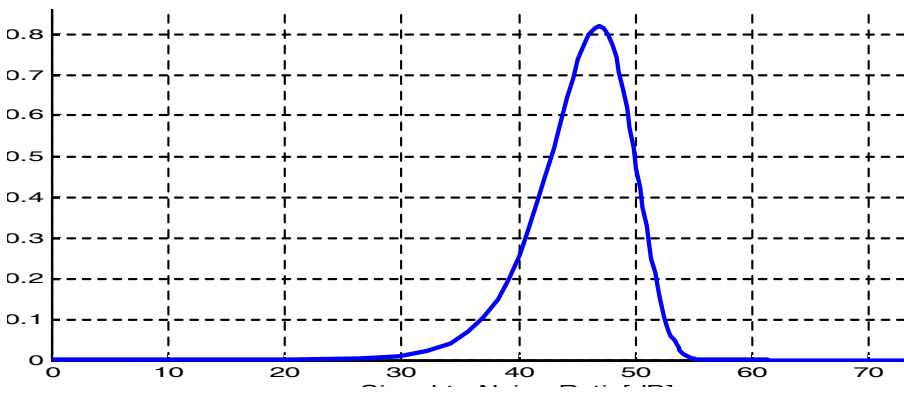


그림 9. Rician 채널 모델에서의 SNR에 관한 PDF

Rician에서 다이버시티 기법을 이용한 [그림 8]과 [그림 9]를 보면 PDF가 모두 0.8이상으로 철도터널환경에서의 기준값을 만족하였다.⁽⁵⁾

5. 결 론

본 논문에서는 철도터널에서의 다중경로 페이딩, Rayleigh 페이딩, Rician 페이딩이 존재한다. 그리고 신호의 수신 성능을 개선하기 위해 공간 다이버 기법을 사용하여, 수신결과를 검토하였다. 공간 다이버시티 기법으로서 선택 합성법과 최대비 합성법을 각각 사용하여 수신율의 개선하였다.

LOS 모델에 적합한 통신의 경우 다중경로 페이딩이 일어나지 않았다. 그러나 Rayleigh 모델과 Rician 모델의 경우는 다중경로 페이딩이라는 고질적인 문제를 안고 있다. 이로 인하여, 무선망의 안전성이 떨어지게 되면 열차제어정보가 끊기는 현상이 발생한다. 특히 Deep 페이딩 발생 현상을 통해 열차제어정보를 단절 예견 할 수 있다. 위의 수식과 이론을 통한 결과를 보면, 통신 모델의 반사파의 영향이 크면 클수록 주파수 천이가 일어남을 알 수 있다. 그러므로 공간 다이버시티 기법을 통해 열차제어정보를 실시간으로 수신하기 위해서 안테나간의 거리는 $0.5[\lambda]$ 정도로 하였고, 공간적으로 충분히 떨어진 2개 이상의 안테나를 사용하여 수신율이 개선되어 짐을 알 수 있었다.

향후 본 논문은 RF-CBTC시스템을 적용하는 경우 참고 할 수 있다. 또한, 터널에서 다른 다이버시티 기법을 이용하여 공간 다이버시티와의 비교할 필요가 있다.

참고문헌

1. Yonghwan Park, "Fundamentals of Mobile communications", Life&Power Press, pp.155-193, 2005.
2. Michel Daoud Yacoub, "FOUNDATIONS of MOBILE RADIO ENGINEERING", CRC Press, pp.128-211, 1993.
3. Gregory D.Durgin, "SPACE-TIME WIRELESS CHANNELS", Prentice Hall, pp.88-105, 2003.
4. Moon Seung Lee, Kill Yong Leem, Lee Jin "Error Rate Performance of FH/MFSK signal with Space Diversity Techniques in the Environments of Interference and Rayleigh Fading", KIEES, vol 5, no. 3, pp.3-13 Sep. 1994.
5. Jae-Sung Roh, Chang-Heon Oh, Eon-Gon Kim, Sung-Joon Cho, "Performance Analysis of Pilot Symbol Assisted Multi-Carrier CDMA BPSK System with Space Diversity in Rician Fading Channels", KICS, vol. 26, no. 6, pp.913-922, Jun. 2001.
6. G.TChi, J.G. Proakis, and C.M.Keller, "On the symbol error probability of maximum-selection diversity reception schemes over a Rayleigh fading", IEEE Trans. Commun., vol.COM-37, no.1, pp.79-83, jan. 1989.
7. J.G. Proakis, "Digital communications", New York : McGraw-Hill, pp.134-145, 1989.
8. J.K. Cavers, "On the validity of the slow and moderate fading models for matched filter detection of Rayleigh fading channels", Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, pp.183-189, Oct. 1992.
9. R. E. Ziemer and R. W. Peterson, "Digital Communications and Spread Spectrum System", New York: Macmilan, pp.101-120, 1985.
10. C. Leung, "Optimized selection diversity for Rayleigh fading channels", IEEE Trans. Commun., vol. COM-30, pp.554-557, Mar. 1982.