

Rayleigh Fading Channel Model에 관한 연구

원인재* · 박재현* · 김창희**

*명지대학교 전자공학과 · **명지대학교 컴퓨터공학과

A Study On the Rayleigh Fading Channel Model

In-Jae Won* · Jae-Hyun Park* · Chang-Hee Kim**

*Department of Electronic, Myong-ji University · **Computer Engineering, Myong-ji University

E-mail : echosound@mju.ac.kr · jhpark@mju.ac.kr · area88@mju.ac.kr

요 약

무선 통신에서 다중 전파 경로에 의하여 발생하는 Rayleigh 신호의 페이딩 현상에 대한 시뮬레이션은 정현파의 합으로 구성된 수학적 모델을 사용하여 구현될 수 있다. Jakes 모델 역시 이러한 정현파의 합에 근거한 매우 간단한 페이딩 채널 모델로서 널리 사용되어 왔다. 그러나 Jakes 모델은 시뮬레이션을 통하여 얻어지는 시간적 관계 특성이 통계적인 특성과 일치 하지 못하는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 Jakes 페이딩 채널 모델의 통계적 특성과 시간적 특성의 차이점을 비교 분석하고 새로운 시뮬레이션 모델을 제안한다.

ABSTRACT

Rayleigh signal fading phenomena due to multipath propagation in wireless communication can be simulated using the sum-of-sinusoids channel model. Jakes' fading model is very simple simulator based on the sum-of-sinusoids and has been widely used. However, It has some short-comings. Its time correlation properties based on the simulated waveform do not correspond to the statistical ones. In this paper, the difference between statistical and time properties of Jakes' fading channel model is examined and new simulator is proposed.

키워드

Fading channels, Rayleigh channels, simulation and mobile communications.

1. 서 론

무선 통신이나 이동 통신에서 통신 채널은 무선으로 연결되며 수신된 신호는 많은 감쇠와 페이딩의 영향을 받아 주파수의 계속적인 변화와 시간에 따른 진폭과 위상의 변화를 수반하는 Fading Effect를 수반한다[1]. 즉 전송되는 신호의 대역폭이 동기 대역폭보다 크다면, 이 페이딩 채널은 주파수 선택적 페이딩 채널이 된다. 또한 채널의 전달 함수가 시간에 따라 변화 한다면, 수신된 신호는 페이딩의 영향을 받은 신호가 된다. 중심극한정리(Central Limit Theorem)에 의해 Rayleigh Fading의 경우, 발생된 신호의 확률적인 분포는 복소 가우시안 랜덤 과정이며 통계적 독립이 된다

[2]. 이 독립 복소 가우시안 랜덤 과정은 다음과 같은 특성을 가진다. 첫째, 각 복소 과정의 in-phase 성분과 quadrature 성분들은 자기 상관함수 또는 동일한 PSD를 가지는 평균 '0'인 독립 가우시안 랜덤 과정이다. 그 결과 포락선의 분포는 Rayleigh 분포, 위상의 분포는 Uniform 분포를 한다. 둘째, 각 복소 과정의 in-phase 성분들과 quadrature 성분들의 상호 상관함수는 '0'이 된다. 무선 통신 채널을 통과한 수신된 신호는 수신 시스템의 이동에 의한 Doppler Effect와 수신점 근처에 존재하는 사람, 차량, 빌딩과 같은 장애물에 의하여 직접파는 거의 존재하지 않으며 인접 장애물에 의해 반사된 신호들이 합성되어 수신 신호의 진폭과 위상이 랜덤하게 변화한다. 본 논문은 소규모 페이딩 중직

접과 성분이 없이 다중 경로를 통하여 수신되는 신호로서 확률적인 특성으로 포락선의 분포는 Rayleigh 분포, 위상의 분포는 Uniform 분포를 하는 경우에 대해서 분석하였다[1]. 본 논문은 소규모 페이딩 신호를 발생시키는데 응용되는 SOS 페이딩 채널 모델 중 Jakes 모델을 이용하였으며, 발생된 신호들의 특성을 통계적인 관계와 시간적인 관계를 통하여 분석하였다.

II. Jakes 모델

본 논문에서는 페이딩 현상에 대한 시뮬레이션을 위하여 Jakes 모델을 사용하였다. 그림 1은 Jakes 모델의 블록도를 나타낸다[3].

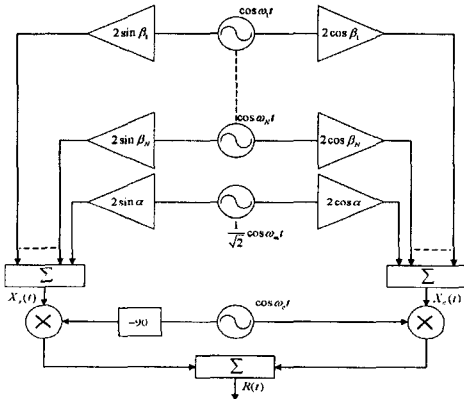


그림 1 Jakes 모델 블록도

그림 1은 다중 경로를 거쳐서 수신기에 모아진 다중 경로 페이딩의 예를 블록화 한 것으로 볼 수 있다. 그림 1을 정규화된 신호로 표현하면 식(1)과 같이 표현할 수 있다(단, 다중 경로 지연은 '0'일 때).

$$\tilde{y}(t) = \sqrt{2} \sum_{n=1}^N C_n \cos(\omega_c + \omega_n t \cos A_n + \phi_n) \quad (1)$$

또한 그림 1의 모델의 경우 저주파발진기의 수를 줄이는 목적으로 식(2)와 식(3)과 같이 가정한다[3].

$$C_n = \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$A_n = \frac{2\pi n}{N}, \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

식(2)와 식(3)을 이용하여 식(4)와 같이 저주파발진기의 개수 N_0 를 선택한다[3].

$$N_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{2} - 1 \right) \quad (4)$$

출력되는 신호는 식(5), 식(6), 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{y}(t) = \tilde{X}_c(t) \cos \omega_c t + \tilde{X}_s(t) \sin \omega_c t \quad (5)$$

$$\tilde{X}_c(t) = \sum_{n=1}^{N_0} \cos \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \cos \alpha \cos \omega_m t \quad (7)$$

$$\tilde{X}_s(t) = \sum_{n=1}^{N_0} \sin \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \sin \alpha \cos \omega_m t \quad (8)$$

상관 함수가 식(9)와 식(10)을 만족시키기 위해서 Jakes 모델에서는 식(11)과 같이 결정하였다[3].

$$\langle \tilde{X}_c^2 \rangle = \langle \tilde{X}_s^2 \rangle \quad (9)$$

$$\langle \tilde{X}_c \tilde{X}_s \rangle \approx 0 \quad (10)$$

$$\alpha = 0, \quad \beta_n = \frac{n\pi}{N_0 + 1} \quad (11)$$

III. 통계적인 특성

수학적인 페이딩 모델은 식(12)~식(14)와 같이 표현된다.

$$y(t) = X_c(t) \cos \omega_c t + X_s(t) \sin \omega_c t \quad (12)$$

$$X_c(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N \cos(\omega_n t + \phi_n) \quad (13)$$

$$X_s(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N \sin(\omega_n t + \phi_n) \quad (14)$$

이 수학적 페이딩 모델의 앙상블의 2차 정상성은 다음과 같이 식(15)~식(17)을 만족한다[4].

$$R_{X_c}(\tau) = E[X_c(t)X_c(t+\tau)] = J_0(\omega_n \tau) \quad (15)$$

$$R_{X_s}(\tau) = J_0(\omega_n \tau) \quad (16)$$

$$R_{X_c X_s}(\tau) = R_{X_s X_c}(\tau) = 0 \quad (17)$$

Jakes 모델의 앙상블의 2차 정상성은 식(18)~식(20)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} X_c(\tau) &= E[X_c(t)X_c(t+\tau)] \\ &= \frac{2}{N} \left[\left(2 \sum_{n=1}^M \cos \omega_n \tau + \cos \omega_m \tau \right) \right. \\ &\quad \left. + \left(2 \sum_{n=1}^M \cos \omega_n (2t+\tau) + \cos \omega_m (2t+\tau) \right) \right] \quad (18) \end{aligned}$$

$$R_{X_c}(t) = \frac{2}{N} \left[\left(2 \sum_{n=1}^M \cos \omega_n \tau + \cos \omega_m \tau \right) + \left(2 \sum_{n=1}^M \cos \omega_n (2t + \tau) + \cos \omega_m (2t + \tau) \right) \right] \quad (19)$$

$$R_{X_c X_c}(t) = R_{X_c}(t) = 0 \quad (20)$$

무선 통신에서 채널의 특성을 분석하기 위하여 많이 응용되는 Jakes 모델의 경우, 식(15)와 식(18)은 상호 상관함수를 나타내며 Jakes 모델의 상호 상관함수가 $(2t + \tau)$ 가 존재하여 수학적인 페이딩 모델과는 다른 광의적인 정상 과정이 아님을 알 수 있다.

IV. 시간적인 특성

식(12)~식(13)에서 표현된 수학적인 페이딩 모델의 시간의 2차 정상성을 표현하면[5],

$$R_{X_c}(t) = \langle X_c(t) X_c(t + \tau) \rangle = J_0(\omega_n \tau) \quad (21)$$

$$R_{X_c}(t) = J_0(\omega_n \tau) \quad (22)$$

$$R_{X_c X_c}(t) = R_{X_c X_c}(t) = 0 \quad (23)$$

식(16)~식(18)과 식(21)~식(23)에서의 표현을 비교하면 수학적인 페이딩 모델은 앙상블의 2차 정상성과 시간의 2차 정상성이 서로 같다. 그러므로 수학적인 페이딩 모델의 경우 엘고딕하다고 할 수 있다. 그러나 Jakes 모델의 시간의 2차 정상성은 식(24)~식(25)와 같이 표현된다.

$$R_{X_c}(t) = \langle X_c(t) X_c(t + \tau) \rangle = \frac{4}{N} \left[\cos^2 \alpha \cos \omega_m \tau + 2 \sum_{n=1}^M \cos^2 \beta_n \cos \omega_n \tau \right] \quad (24)$$

$$R_{X_c}(t) = \frac{4}{N} \left[\sin^2 \alpha \cos \omega_m \tau + 2 \sum_{n=1}^M \sin^2 \beta_n \cos \omega_n \tau \right] \quad (25)$$

$$R_{X_c X_c}(t) = R_{X_c X_c}(t) = \frac{4}{N} \left[\cos \alpha \sin \alpha \cos \omega_m \tau + 2 \sum_{n=1}^M \cos \beta_n \sin \beta_n \cos \omega_n \tau \right] \quad (26)$$

식(18)~식(20)과 식(24)~식(26)을 비교하면 2차 정상성에서 서로 다른 것을 알 수 있다. 그러므로 광의적인 정상과정은 아님과 동시에 엘고딕하지 않다고 말할 수 있다.

V. 결 론

무선 이동 통신 시스템의 모델 중 하나인 Jakes 모델은 다른 모델들과 같이 랜덤 넘버 발생이 전혀 없어서 항상 일정한 결과를 얻었다. 그 결과 앙상블 2차 정상성과 시간 2차 정상성이 서로 다른 광의적인 정상성이 다르고 서로 엘고딕 하지 않은 모델임을 알 수 있다. 그러므로 물리적인 페이딩 채널 분석에 응용되는 Jakes 모델의 개선 방법으로 Pop이 제안한 랜덤한 위상을 삽입하여 앙상블 2차 정상성을 만족시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] J. G. Proakis, Digital communication, 4th ed. McGraw-Hill, 2001.
- [2] A. Papoulis, Probability, random variable, and stochastic process. McGraw-Hill, 4th ed 2002.
- [3] W. C. Jakes, Microwave mobile communications, Wiley, 1974.
- [4] M. F. Pop and N. C. Beaulieu, Limitations of sum-of-sinusoids fading channel simulators, IEEE Trans. Commu., vol. 49, pp. 699-708, Apr. 2001.
- [5] Yunxin Li and Xiaojing Huang, The Simulation of Independnet Rayleigh Faders, IEEE Trans. Commu., vol. 50, pp. 1503-1514, Sept. 2002.