

논문 2007-44IE-4-7

Rayleigh 및 Rician 페이딩 이동 채널 모델링

(Modelling of Rayleigh and Rician Mobile Fading Channel)

남 기 진*

(Gi Jin Nam)

요 약

본 논문에서 이동 대 이동 Rayleigh 및 Rician 페이딩 채널 상에서 시뮬레이션 모델의 성능이 분석되고 그 결과가 비교된다. Clarke의 페이딩 모델의 수신 신호 및 Clarke의 페이딩 모델에서 위상 천이된 수신 신호에 근거한 자기 상관 함수 및 상호 상관 함수를 유도하고, 그 시뮬레이션 모델의 결과를 구하였다. 또한 이동 대 이동 Rician 페이딩 채널에 이 두 모델을 적용하고, 복소 포락선 수신 신호의 자기 상관 함수 결과는 통계적 특성이 이론값과 매우 일치하고, $N=8$ 인 작은 수에서도 빨리 수렴함을 보였다.

Abstract

In this paper, the performance of simulation model in mobile to mobile Rayleigh and Rician fading channel is analyzed and simulation results are compared. The auto-correlation and cross-correlation functions of Rayleigh fading channels not only based on received signals of Clarke's fading model and but also based on received signals of phase shifted Clarke's fading model are derived and their simulation results are found. The two models are also applied to mobile to mobile Rician fading channel models and their numerical results of auto-correlation functions of complex envelop received signals shows the statistical properties match the theoretical values very well and rapidly converge with the small number such as $N=8$.

Keywords: Mobile to mobile Rayleigh fading, Mobile to mobile Rician fading, auto-correlation, cross-correlation

I. 서 론

시뮬레이터는 시스템 테스트와 평가가 가능하고 현장 시험에 비하여 정확도는 떨어지지만 비용이 덜 들고 생산적이어서 연구소에서 많이 사용된다. 지난 30년간 이동 무선 채널의 모델링 및 시뮬레이션에서 여러 방법이 제시되어왔다. 이 방법 중에서 Clarke에 의한 기준 모델^[1]과 Jakes의 간단화 모델^[2]이 Rayleigh 페이딩 채널에 최근까지 폭넓게 사용되어 왔다. Jakes 시뮬레이터는 결정적(deterministic)인 모델의 하나로 주파수 선택적 페이딩과 다중 입출력(MIMO) 채널에 대하여 다중 비상관 페

이딩 파형 생성이 어려워 Jakes 시뮬레이터의 다른 수정 형태가 여러 논문에서 발표 되었다^[3~4]. Pop과 Beaulieu는 논문 [5]에서 Jakes의 시뮬레이터는 페이딩 채널의 물리적 앙상블(ensemble) 평균시 광의 비정적(Wide-Sense Non-Stationary) 성질을 갖게 되어, 정적(stationary) 문제 제거를 위하여 저주파 발진기에 랜덤 위상 천이를 도입하였다. 그러나 이 개선된 모델도 직교(quadrature) 성분과 포락선(envelope)의 2차 통계 특성이 원하는 특성과 일치하지 않았고 더욱이 정현파의 합이 무한대의 경우에도, 직교 성분의 자기 상관과 교차 상관관계 및 포락선 제곱의 자기 상관관계 특성이 원하는 특성과 일치하지 않았다. Zheng과 Xiao^[6~7]는 이러한 문제점 개선을 위하여 개선된 Jakes 모델에서 계수 C_n 에 랜덤 변수의 위상을 도입하여 새로운 통계적(statistical)이고 광의 비정적(WSS) 페이딩 모델을 제안하였다.

* 정희원, 두원공과대학 정보통신과
(Doowon Technical College, Dept. of Information and Communications)

접수일자: 2007년7월18일, 수정완료일: 2007년11월29일

이 모델은 N의 적은 수로 직교(quadrature) 성분의 자기 상관과 교차 상관관계 및 복소 포락선의 자기 상관관계 특성이 원하는 특성과 일치함은 물론, 포락선과 위상의 확률 밀도 함수(PDF), 레벨 교차율(LCR; Level Cross Rate), 평균 페이딩 지속 시간(AFD; Average Fade Duration) 등의 변수도 신속히 원하는 값에 수렴함을 보였다. 이동 대 이동(mobile to mobile) 통신 시스템은 지능형 수송 시스템(ITS) 또는 모바일 ad hoc 시스템에서 응용되고 있으며 기존의 셀룰러 시스템에서 기지국과 이동 단말 사이의 고정 대 이동 개념 채널 모델 개념을 직접 적용할 수 없다. 이러한 이동 대 이동 통신 채널에 대한 이론적 연구는 Akki 와 Harber가 1986년도에 연구한 바 있다^[8]. 그 이후 이동 대 이동 통신 채널 모델링 연구에서 이산 라인 스펙트럼 방법, IFFT 필터링 방법, SOS(Sum of Sinusoid) 방법 등이 제안되었으나^[6~7, 9~10], Rayleigh 페이딩 채널에 SOS 방법이 복잡한 적분없이 빠른 속도로 수렴됨을 보였다^[10]. 또 Wang과 Cheng은 이동 대 이동 Rician 페이딩 채널에 대한 모델을 연구하였다^[11]. 본 논문에서는 이동 대 이동 통신 시스템에서 Clarke의 수신 신호 수식을 기준으로 하는 모델과 이 모델에 위상 차를 도입하여 더욱 폭넓게 적용할 수 있는 수신 신호 수식 모델을 기반으로 한 Rayleigh 페이딩 채널의 자기 및 교차 상관관계를 유도하였고, 성능을 비교, 분석하며, 또한 두 모델을 Rician 페이딩 채널 신호에 적용하여 복소 포락선의 자기 상관관계 값에 대한 성능을 비교 검토한다.

II. 이동 대 이동 Rayleigh 페이딩 채널에서 시스템 모델링

송, 수신이 모두 이동 환경에서는 저 양각의 안테나가 사용된다. 따라서 둘 모두는 로컬 스캐터러(scatterer)에 의하여 둘러 싸여 있으므로 이를 로컬 산란 환경이라 한다. 따라서 산란기를 셀룰러 채널에 대하여 이동국(MS) 주위에 놓인 것으로 정의하는 단일 링을 이중 링으로 확장할 수 있다. 이중 링 모델^[10]은 Tx, Rx 주위에 균일하게 배치된 한 링의 스캐터러를 정의하여, 그림 1과 같은 등방성 로컬 산란과를 발생시킨다. 양단에 무지향성 안테나와 등방성 2차원 산란과를 고려하면, Tx 안테나로부터의 파는 예를 들어 경로 1-a, 2-b와 같이 Tx 종단 링에 위치한 스캐터러 각각에 도달한다. 이러한 스캐터러를 가상 기지국으로 간주할 때, 종래의 셀룰러 기지국(BS)에서 이동국(MS) 링

크와 마찬가지로 이러한 스캐터러 각각에서 Rx로의 링 크로 다음과 같은 이중 링의 형태로 모델링할 수 있다. 여기서 f_1, f_2 는 각각 최대 도플러 주파수이다.

1. 모델 1

먼저 이동 대 이동 Rayleigh 페이딩 채널에 대한 정편과 합(SOS) 방법을 검토한다. 이 때 수신 신호는 다음과 같이 모델화할 수 있다.

$$g_1(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \exp [j(2\pi f_1 \cos(\alpha_n)t + 2\pi f_2 \cos(\beta_m)t + \theta_{nm})] \quad (1)$$

여기서 n은 송신기에서 Tx 종단 링에 위치한 N 스캐터러로 가는 진행 경로를, m은 Rx 상의 스캐터러에서 Rx 링까지의 가는 진행 경로를, α_n 과 β_m 은 각각 Tx, Rx 속도 벡터를 기준으로 측정된 n 번째 스캐터링 경로의 출발각과 m 번째 스캐터링 경로의 도달각이다.

여기서 Tx의 속도는 각각 v_1 , Rx의 속도는 v_2 이다. 이러한 이중 링으로 인한 이중 반사 효과로 수식 1에서 이중 합이 된다. 이러한 이중 링 모델은 이동 대 이동 통신을 위한 MIMO 시스템 연구와 채널 모델링 및 시뮬레이션시 매우 유익하다.

두 가지 수식 모델에 대하여 이동 대 이동 산란 환경에서 자기상관 관계의 함수식을 유도한다. 먼저 Clarke가 제안한 모델 수식(1)에 대하여 수식을 전개한다.

$$g_1(t) = g_{1i}(t) + jg_{1q}(t) \quad (2)$$

$$g_{1i}(t) = \frac{1}{\sqrt{NM}} \sum_{n,m=1}^{N,M} \cos [(2\pi f_1 \cos(\alpha_n^i)t + 2\pi f_2 \cos(\beta_m^i)t + \phi_{nm}^i)] \quad (3)$$

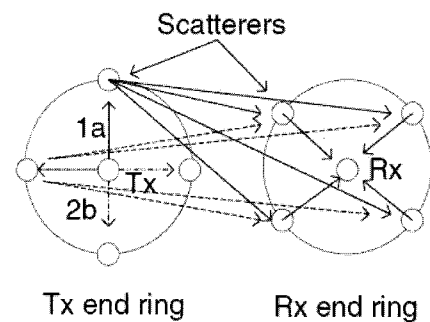


그림 1. 이동 대 이동 이중 링 산란 모델
Fig. 1. Scattering model of mobile to mobile dual ring.

$$g_{1q}(t) = \frac{1}{\sqrt{NM}} \sum_{n,m=1}^{N,M} \sin [(2\pi f_1 \cos (\alpha_n^q)t + 2\pi f_2 \cos (\beta_m^q)t + \phi_{nm}^q)] \quad (4)$$

여기서 ϕ_n^i, ϕ_m^q 는 통계적으로 독립이고 $-\pi$ 와 $+\pi$ 에서 균등 분포하며, 출발각과, 도달각 α_n^i, β_m^q 는 원하는 자기 상관관계를 생성하기 위하여 적절히 선택하여야 하며, 가능한 선택 중 하나로 다음 식이 적용된다.

$$\alpha_n^i = \frac{2\pi n - \pi + \theta_i}{4N} \quad (5)$$

$$\alpha_n^q = 2\left(\frac{2\pi m - \pi + \phi^q}{4M}\right) \quad (6)$$

분석을 쉽게 하기 위하여 먼저 수신 신호의 등위상 성분(i)만 고려하고, 따라서 i, q 첨자를 제거하면, 함수 $g_{1i}(t)$ 의 자기 상관관계 $R_{1g_i}(\tau)$ 는

$$\begin{aligned} R_{1g_i}(\tau) &= E[g_i(t+\tau)g_i(\tau)] \\ &= \frac{1}{NM} \sum_{n,m=1}^{N,M} \sum_{p,k=1}^{N,M} E[\cos(2\pi f_1 \cos(\alpha_n) + 2\pi f_2 \cos(\beta_m))(t+\tau) + \phi_{nm}] \\ &\quad \cos[(2\pi f_1 \cos(\alpha_p) + 2\pi f_2 \cos(\beta_k))t + \phi_{pk}] \\ &= \frac{1}{2NM} \sum_{n,m=1}^{N,M} E[\cos(2\pi f_1 \cos(\alpha_n) + 2\pi f_2 \cos(\beta_m))\tau] \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 E는 기대치 연산자이고, 이 수식은 다음과 같이 간단화된다^[10].

$$\begin{aligned} R_{1g_i}(\tau) &= \frac{1}{2NM} E\left[\sum_{n=1}^N \cos(2\pi f_1 \cos(\alpha_n)\tau) \sum_{m=1}^M 2\pi f_2 \cos(\beta_m)\tau\right] - \left[\sum_{n=1}^N \sin(2\pi f_1 \cos(\alpha_n)\tau) \sum_{m=1}^M 2\pi f_2 \sin(\beta_m)\tau\right] \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos(2\pi f_1 \cos(\alpha)\tau) d\alpha \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \cos(2\pi f_2 \cos(\beta)\tau) d\beta \\ &\quad - \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin(2\pi f_1 \cos(\alpha)\tau) d\alpha \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(2\pi f_2 \cos(\beta)\tau) d\beta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\int_0^{\pi} \sin(2\pi f_2 \cos(\beta)\tau) d\beta \\ &= \frac{1}{2} J_0(2\pi f_1 \tau) J_0(2\pi f_2 \tau) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $J_0(t)$ 는 제1종 0차 베셀 함수이다. $g(t)$ 의 직교성분도 마찬가지로 구하면 식(8)과 같다. 또한 등위상 성분과 직교 위상 성분의 자기상관관계는 ϕ_{nm} 과 ψ_{nm} 의 통계적 독립성과 $-\pi$ 와 $+\pi$ 에서 균등 분포 성질로 인하여 모든 시간 지연에 상관없이 비 상관관계(uncorrelated)를 갖는다. 따라서

$$\begin{aligned} R_{1g_q}(\tau) &= 0 \\ R_{1g_g}(\tau) &= \frac{J_0(2\pi f_1 \tau) J_0(2\pi f_2 \tau)}{2} \end{aligned} \quad (9)$$

2. 모델 2

모델 2는 클라크의 모델에 위상차를 도입한 것으로 이 경우 빠른 속도로 수렴한다. 본 논문에서는 이 수식 모델을 적용하여 이동 대 이동 산란 환경에서 Rayleigh 페이딩에서 자기 상관관계 함수를 유도한다.

$$g_2(t) = g_i(t) + jg_q(t) \quad (10)$$

$$g_{2i}(t) = \frac{1}{\sqrt{NM}} \sum_{n,m=1}^{N,M} \cos \zeta_n \cos [(2\pi f_1 \cos(\alpha_n^i)t + 2\pi f_2 \cos(\beta_m^i)t + \phi_{nm}^i)] \quad (11)$$

$$g_{2q}(t) = \frac{1}{\sqrt{NM}} \sum_{n,m=1}^{N,M} \sin \zeta_n \cos [(2\pi f_1 \cos(\alpha_n^q)t + 2\pi f_2 \cos(\beta_m^q)t + \phi_{nm}^q)] \quad (12)$$

(7) 식과 마찬가지로 유도하면

$$\begin{aligned} R_{2g_i}(\tau) &= E[g_{2i}(t+\tau)g_{2i}(\tau)] \\ &= \frac{1}{NM} \sum_{n,m=1}^{N,M} \sum_{p,k=1}^{N,M} E[\cos \zeta_n \cdot \cos [(2\pi f_1 (t+\tau) \cos(\alpha_n) + 2\pi f_2 (t+\tau) \cos(\beta_m) + \phi_{nm})] \cdot \cos \zeta_p \cdot \cos [2\pi f_1 \tau \cos(\alpha_p) + 2\pi f_2 \tau \cos(\beta_k) + \phi_{pk}]] \\ &= \frac{1}{NM} \sum_{n,m=1}^{N,M} \sum_{p,k=1}^{N,M} E[\cos \zeta_n \cdot \cos \zeta_p \cdot \cos [(2\pi f_1 (t+\tau) \cos(\alpha_n) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2\pi f_2(t+\tau)\cos(\beta_m) + \phi_{nm} \}} \cdot \\
& + \cos 2\pi f_2\tau \cos(\beta_k) + \phi_{pk} \}} \\
& = \frac{1}{NM} \sum_{n,m=1}^{NM} \sum_{p,k=1}^{NM} E[\cos \zeta_n \cdot \cos \zeta_p] \cdot \\
& \quad [\cos(2\pi f_1\tau \cos(\alpha_p))] \\
& \quad \left(\frac{1}{2}\right) E[\cos(2\pi f_1 \cos(\alpha_n) + 2\pi f_2 \cos(\beta_m))\tau] \\
& = \frac{1}{2} \cdot \frac{J_0(2\pi f_1\tau)J_0(2\pi f_2\tau)}{2} \\
& = \frac{J_0(2\pi f_1\tau)J_0(2\pi f_2\tau)}{4} \quad (13)
\end{aligned}$$

따라서

$$\begin{aligned}
R_{2g_g}(\tau) &= 0 \\
R_{2gg}(\tau) &= \frac{J_0(2\pi f_1\tau)J_0(2\pi f_2\tau)}{4} \quad (14)
\end{aligned}$$

III. Rician 페이딩 채널에서 이동 대 이동 모델링

Patel은 송, 수신기가 모두 이동할 때 LOS 성분을 수식으로 표현하는 것은 복잡하므로, 이를 기지국대 단 말과의 관계로 축소하고 상대 이동 개념을 도입하여 이중 링 구조로 간주하여 Rayleigh 페이딩 채널을 분석한 바 있다^[10]. 또 이러한 개념을 유사하게 이용하여 Wang은 가시거리(LOS) 통신에 적용되는 Rician 페이딩 채널에 이 개념 모델을 적용하여 정현파의 합으로 수식 모델을 적용하였다^[11]. LOS 성분은 매우 상관관계가 커서 Wang은 이를 상관관계형 이중 링 모델로 불렀다. 이 때 가시거리(LOS:Line Of Sight) 성분은

$$LOS = \sqrt{K} \exp(j(2\pi f_3 t \cos(\theta') + \phi_0)) \quad (15)$$

여기서 K는 반사 대 산란 전력비이고 ϕ_0 는 $-\pi, +\pi$ 사이에서 균일 분포된 초기 위상이다.

1. 모델 1

이동 대 이동 Rician 페이딩 채널 모델의 수신된 복소 신호 $h_1(t)$ 는 Rayleigh 페이딩 신호에 반사 성분을 고려한 것이므로, 따라서 $g_1(t)$ 성분에 LOS 성분을 합한 값으로

$$h_1(t) = \frac{g_1(t) + \sqrt{k} \exp(j(2\pi f_3 t \cos(\theta') + \theta_0))}{\sqrt{1+k}} \quad (16)$$

$h_1(t)$ 는 $g_1(t)$ 와 마찬가지로 등위상과 직교 성분으로 분해할 수 있다.

$$h_1(t) = h_{1c}(t) + jh_{1s}(t) \quad (17)$$

여기서 $h_c(t), h_s(t)$ 는 각각 식(18)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
h_{1c}(t) &= \frac{g_{1c}(t) + \sqrt{k} \cos(2\pi f_3 t \cos(\theta) + \theta_0)}{\sqrt{1+k}} \\
h_{1s}(t) &= \frac{g_{1s}(t) + \sqrt{k} \sin(2\pi f_3 t \cos(\theta) + \theta_0)}{\sqrt{1+k}} \quad (18)
\end{aligned}$$

다음 $h_1(t)$ 의 통계적 특성을 구하는 과정에서, 수식 표현의 용이성을 위하여 다음과 같이 표기한다.

$$q(t) = K \exp(j2\pi f_3 t \cos(\theta)) \quad (19)$$

$$q_c(t) = K \cos(2\pi f_3 t \cos(\theta)) ,$$

$$q_s(t) = K \sin(2\pi f_3 t \cos(\theta)) \quad (20)$$

페이딩 신호 $h_c(t), h_s(t)$ 의 자기 상관과 교차 상관 관계 함수 및 신호 $h(t)$ 의 복소 포락선의 자기 상관 관계 함수는 다음과 같다^[11].

$$\begin{aligned}
R_{1h_c}(\tau) &= E[h_c(t)h_c(t+\tau)] \\
&= \frac{J_0(2\pi f_1\tau)J_0(2\pi f_2\tau) + q_c(\tau)}{2 + 2K} \quad (21)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{1h_s}(\tau) &= E[h_s(t)h_s(t+\tau)] \\
&= \frac{K \sin 2\pi f_3 \tau \cos(\theta)}{2 + 2K} \quad (22)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{1h_s}(\tau) &= E[h_s(t)h_c(t+\tau)] \\
&= \frac{-K \sin 2\pi f_3 \tau \cos(\theta)}{2 + 2K} \quad (23)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{1hh}(\tau) &= E[h_1(t)h_1(t+\tau)] \\
&= \frac{J_0(2\pi f_1\tau)J_0(2\pi f_2\tau) + q(\tau)}{1 + K} \quad (24)
\end{aligned}$$

2. 모델 2

II.2 모델과 마찬가지로 수식(1) ~ 수식(4)를 기본으로 하여 여기에 위상차 ζ 를 두어 수식 g(t)로 전개하

여 이동 대 이동 Rician 채널에 전개한 모델의 페이딩 신호 $h_c(t), h_s(t)$ 의 자기 상관과 교차 상관관계 함수 및 신호 $h(t)$ 의 복소 포락선의 자기 상관관계 함수를 유도하면,

$$R_{2h,h_c}(\tau) = E[h_c(t)h_c(t + \tau)] = \frac{\frac{1}{2}J_0(2\pi f_1\tau)J_0(2\pi f_2\tau) + q_c(\tau)}{2 + 2K} \quad (25)$$

$$R_{2h,h_s}(\tau) = E[h_s(t)h_s(t + \tau)] = \frac{K\sin 2\pi f_3\tau \cos(\theta)}{2 + 2K} \quad (26)$$

$$R_{2h,h_c}(\tau) = E[h_s(t)h_c(t + \tau)] = \frac{-K\sin 2\pi f_3\tau \cos(\theta)}{2 + 2K} \quad (27)$$

$$R_{2hh}(\tau) = E[h_2(t)h_2(t + \tau)] = \frac{\frac{1}{2}J_0(2\pi f_1\tau)J_0(2\pi f_2\tau) + q(\tau)}{1 + K} \quad (28)$$

IV. 성능 평가

IV장에서는 II, III장에서 두 수신 신호 $g(t), h(t)$ 에 대하여 이동 대 이동 산란시 Rayleigh 페이딩과 Rician 페이딩에서 몇 가지 경우에 대한 자기 상관관계 성능을 비교한다. 본 시뮬레이션에서 송, 수신 도플러 주파수는 100, 20 Hz, 캐리어 주파수는 2.2 GHz로, θ 에서 $\theta_{send} = \theta_{diff} = \frac{\pi}{2}$ 로 가정한다.

그림 2는 K=1에서 각각 N=M=4, N=M=8, N=M=∞인 경우 Rayleigh 페이딩에서 $g_1(t)$ 복소 포락선에 대한 자기 상관관계 함수 $R_{1gg}(\tau)$ 의 실수부를 표시한다. 여기서 N=M=8인 경우 N=M=∞인 경우에 더 근접하고, N=M=4인 경우 τ 의 초기 값(0 ~ 0.1)에서 $R_{1gg}(\tau)$ 의 실수부 나머지 두 경우에 비하여 약간 차이 나지만 τ 가 커지면 유사해짐을 알 수 있고, 10 이하의 N과 M 값에서 비교적 빨리 이상적인 값에 수렴함을 알 수 있다.

실수부 나머지 두 경우에 비하여 약간 차이 나지만 τ

가 커지면 유사해짐을 알 수 있고, 10 이하의 N과 M

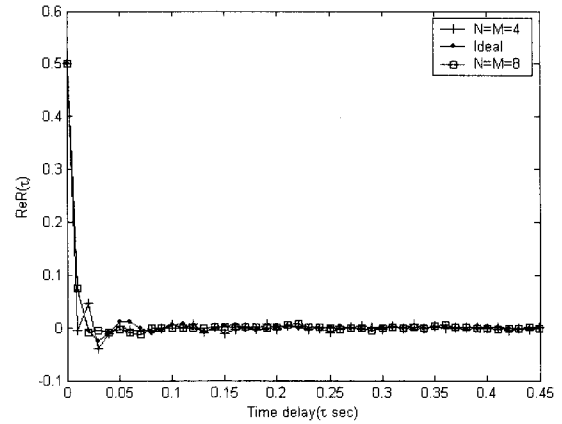


그림 2. Rayleigh 페이딩에서 $g_1(t)$ 복소 포락선 $R_{1gg}(\tau)$ 의 실수부

Fig. 2. Real part of $R_{1gg}(\tau)$ of the complex envelop $g_1(t)$ in Rayleigh fading.

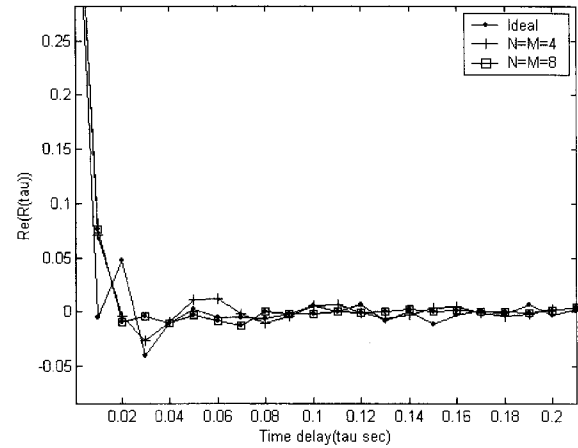


그림 3. K=1인 Rayleigh 페이딩에서 $g_1(t)$ 복소 포락선 $R_{2gg}(\tau)$ 의 실수부

Fig. 3. Real part of $R_{2gg}(\tau)$ of the complex envelop $g_1(t)$ in Rayleigh fading with K=1.

값에서 비교적 빨리 이상적인 값에 수렴함을 알 수 있다. 그림 3은 그림 2와 동일한 경우에서 Rayleigh 페이딩에서 $g_2(t)$ 복소 포락선에 대한 자기 상관관계 함수 $R_{2gg}(\tau)$ 의 실수부를 표시한다. 식(14)와 식 (9)를 비교하면, $R_{2gg}(\tau)$ 의 실수부 값은 $R_{1gg}(\tau)$ 값에 1/2이므로 그림 3은 그림 2와 유사하나 크기만 반 값임을 알 수 있다.

그림 4는 이동 대 이동 Rician 페이딩에서 K=1에서 각각 N=M=4, N=M=8, N=M=∞인 경우 $g_1(t)$ 복소 포락선에 대한 자기 상관관계 함수 $R_{1gg}(\tau)$ 의 실수부

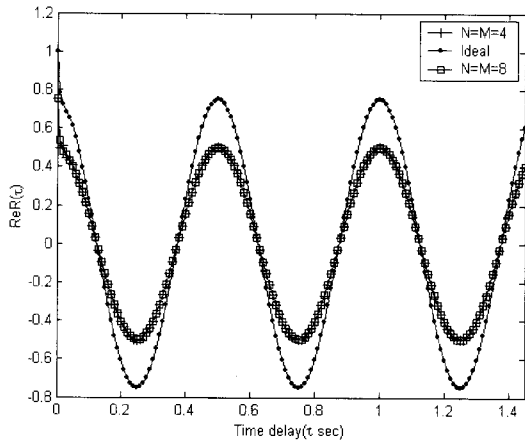


그림 4. K=1, Rician 페이딩에서 $g_1(t)$ 복소 포락선 $R_{1gg}(\tau)$ 의 실수부

Fig. 4. Real part of $R_{1gg}(\tau)$ of the complex envelop $g_1(t)$ in Rician fading with K=1.

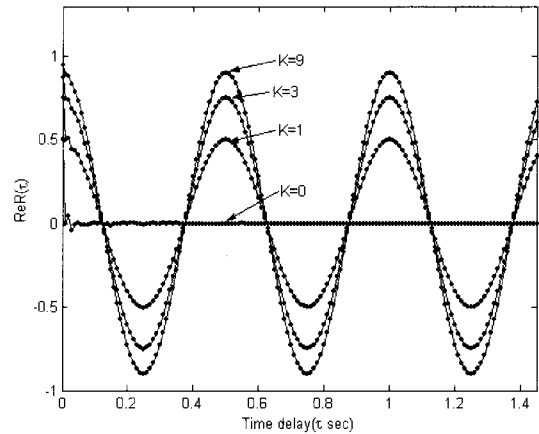


그림 6. K=0 1, 3, 9에서 $g_1(t)$ 복소 포락선의 $R_{1gg}(\tau)$ 의 실수부

Fig. 6. Real part of $R_{1gg}(\tau)$ of the complex envelop $g_1(t)$ in K=0, 1, 3, 9.

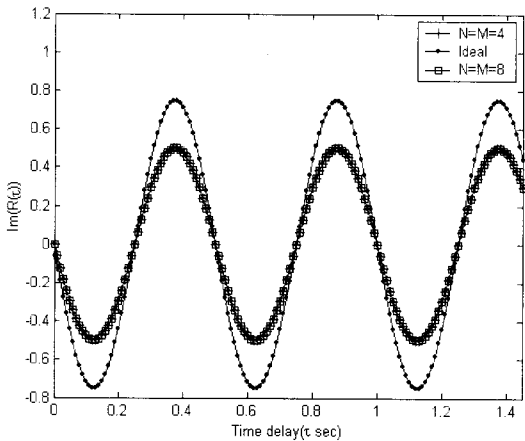


그림 5. K=1인 Rician 페이딩의 $g_2(t)$ 복소 포락선의 $R_{2gg}(\tau)$ 에 대한 허수부

Fig. 5. Imaginary part of $R_{2gg}(\tau)$ of the complex envelop $g_2(t)$ in Rician fading with K=1.

를 표시한다.

그림 5는 이동 대 이동 Rician 페이딩에서 K=1에서 각각 $N=M=4$, $N=M=8$, $N=M=\infty$ 인 경우 $g_2(t)$ 복소 포락선에 대한 자기 상관관계 함수 $R_{2gg}(\tau)$ 의 허수부를 표시한다. 이 그림은 같은 경우에 $g_1(t)$ 복소 포락선에 대한 자기 상관관계 함수 $R_{1gg}(\tau)$ 의 허수부와 유사하다.

그림 6은 K=0(Rayleigh), 1, 3, 9에서 $N=M=\infty$ 인 경우에 $g_1(t)$ 복소 포락선에 대한 자기 상관관계 함수 $R_{1gg}(\tau)$ 의 실수부를 도시한다. 여기서 K의 값이 크면

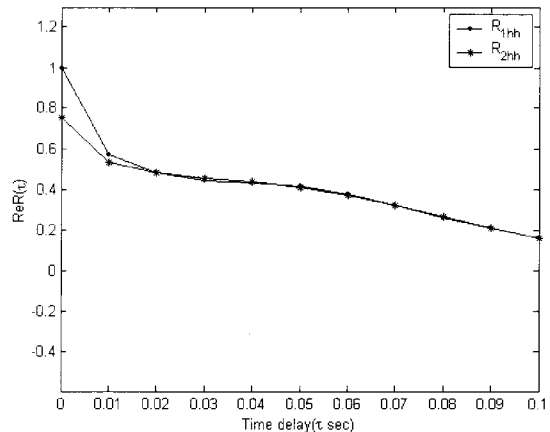


그림 7. $g_1(t)$, $g_2(t)$ $R_{1gg}(\tau)$ 과 $R_{2gg}(\tau)$ 의 실수부
Fig. 7. Real part of $R_{1gg}(\tau)$ and $R_{2gg}(\tau)$ of the complex envelop $g_1(t)$, $g_2(t)$

클수록 자기 상관관계의 파동 값이 커짐을 알 수 있다.

마지막으로 그림 7은 $g_1(t)$, $g_2(t)$ 복소 포락선의 자기 상관관계 $R_{1gg}(\tau)$ 과 $R_{2gg}(\tau)$ 의 실수부를 표시한다. 여기서 τ 가 0.02까지만 $R_{1gg}(\tau)$ 과 $R_{2gg}(\tau)$ 값이 차이가 있고 이 후에는 자기 상관관계 값의 차이가 없음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 대 이동 통신 시스템에서 Clarke의 수신 신호 수식을 기준으로 하는 모델과 이 모델에 위상 차를 도입하여 더욱 폭넓게 적용할 수 있는 수신

신호 수신 모델을 기반으로 한 Rayleigh 페이딩 채널의 자기 및 교차 상관관계를 유도하였고 이 수식을 기반으로 $N=M=4$, $N=M=8$, $N=M=\infty$ 경우에 자기 상관 관계에 대한 성능을 비교한 결과 N 과 M 이 8이하의 값에서 비교적 빨리 이상적인 값에 수렴함을 나타내었고, 또한 이 두 모델을 상관 관계형 이중링 개념을 도입하여 Rician 페이딩 채널 신호에도 적용하여 복소 포락선의 자기 상관관계 값에 대한 성능을 비교하였다(그림 4,5,6). 추후 수신 신호의 PDF, LCR, AFD 등의 변수에 대하여 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] R.H.Clarke, "A statistical theory of mobile radio reception," Bell System Tech. J., pp.957-1000, Jul. 1968.
- [2] W.C Jakes., "Microwave Mobile Communication," Piscataway, NJ: IEEE press, 1994.
- [3] P.Dent, G.E. Bottomly, T.Croft, "Jakes fading model revisited," Electron Letter, vol.29, No.13., pp1062-1163, June 1993.
- [4] M.Patzold, U.Killat, and F.Laue, "On the statistical properties of deterministic simulation models for mobile fading channel," IEEE Trans. on Veh. Tech. vol 47., No. pp.254-269, Feb. 1998.
- [5] M.F.Pop, N.C.Beaulieu, "Limitations of sum of sinusoids fading channel simulators", IEEE trans. on com. vol.49, pp.699-708, Apr. 2001.
- [6] Y.R.Zheng, C.Xiao, "Simulation models with correct statistical properties for Rayleigh fading channels", IEEE Trans. on Com, Vol, 51. No.6, pp.920-928, June 2003.
- [7] Y.R.Zheng, C.Xiao., "A statistical simulation model for mobile radio fading channels", in Proc. IEEE WCNC, Vol. 1, pp.144-149, March 2003.
- [8] A.S.Akki, F. Harber, "A statistical model of mobile to mobile land communication channel", IEEE Tran.on Veh. Tech., Vol.35, No.1, pp2-7, Feb. 1986.
- [9] R.Wang, D.Cox, "Channel modeling for adhoc mobile wireless networks", IEEE VTC vol 1., pp 21-25, May. 2002.
- [10] C.S.Patel, G.L.Stuber, and T.G.Pratt, "Simulation of Rayleigh faded mobile to mobile communication channels", IEEE VTC Vol. No 1, pp163-167, Oct 2003.
- [11] Li Wang, Yun.H. Cheng, "A statistical mobile to mobile Rician fading channel model", IEEE VTC, May. 2005.

저 자 소 개



남 기 진(정회원)

1981년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.

1984년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.

1999년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 박사 졸업.

1984년~1989년 ETRI 연구원

1989년~1993년 LG 전자 선임연구원

1993년~1998년 국립원주대학교(현 강릉대학교)

전자통신과 교수

2007년 현재 두원공과대학 정보통신과 교수

<주관심분야 : 이동통신, 통신망>