

# Jakes 페이딩 채널 시뮬레이터의 파라미터 결정법

정회원 임 동 민\*

## A Method of Deciding the Parameters of the Jakes' Fading Channel Simulator

Dongmin Lim\* *Regular Member*

요 약

다중경로 페이딩 현상은 건물, 차량 등의 물체에 의한 전파의 반사, 회절, 산란이 발생하는 도심 지역의 이동통신에서 주로 발생한다. 이동통신 시스템의 성능분석을 위한 다중경로 페이딩 채널에 대한 모의실험에는 정현파를 합성하는 Jakes 방식이 널리 이용되어 왔다. 본 논문에서는 Jakes 방식에서 정현파의 진폭 및 위상에 관련된 파라미터를 결정하는 새로운 방법을 제안하고 그 통계적 특성을 페이딩 신호의 확률밀도함수, 자기상관함수, 상호상관함수, 레벨 교차율, 평균 페이드 기간 등으로 나타내어 이론적인 등방향성 산란 모델과 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식의 특성과 비교하여 분석한다. 제안된 파라미터 결정법을 사용하는 경우 기존의 파라미터를 사용하는 경우에 비하여 통계적 특성이 보다 이론적인 특성에 근접하여 성능이 개선됨을 확인하였다.

ABSTRACT

The multipath fading phenomena occur in the urban area mobile communications where the radio wave propagation experiences reflection, diffraction, and scattering due to the obstacles such as buildings, vehicles, etc. The Jakes' method of summing the sinusoids has been widely used for simulating the multipath fading channels in the performance analysis of the mobile communication systems. In this paper, we propose a new method of deciding the parameters related to the amplitude and the phase of the sinusoids in the Jakes' method. The statistical properties of the Jakes' method with the parameters by the proposed method are presented in terms of probability density functions, autocorrelation functions, crosscorrelation functions, the level crossing rate, and the average fade duration of the fading signals, and are analyzed and compared with the properties of the theoretical isotropic scattering model and with the properties of the Jakes' method with the conventional parameters. The improvement of the statistical properties by the proposed method was confirmed in that they agree more closely with the theoretical properties than do the properties with the conventional parameters.

### 1. 서 론

산란에 의해 발생하는 신호의 다중경로 페이딩 현상은 도심지역의 이동통신에서 신호의 전송품질 저 건물, 차량 등의 물체에 대한 전파의 반사, 회절, 하시키는 중요 요소 중의 하나이다. 이동통신에서 신호의 전송품질 향상을 위한 변복조, 채널등화, 채널코딩, 다이버시티 합성 등의 분야에서 새로운

기술개발을 위한 연구에는 실제적인 이동통신 채널 특성을 재현하는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현된 페이딩 채널 시뮬레이터가 널리 이용되어 왔다. 다중경로 페이딩 채널의 모의실험에는 Jakes의 정현파 합성 방식,<sup>[1]</sup> 백색 가우시언 랜덤 프로세스를 시간 영역에서 필터링하는 방식,<sup>[2],[3]</sup> 가우시언 랜덤변수를 이용하여 주파수 영역에서 U 자형 도플러 전력 스펙트럼을 형성한 후 푸리에 역변환을 이용하

\* 경상대학교 전자공학과 (dmlim@gsnu.ac.kr)

논문번호: 00287-0726, 접수일자: 2000년 7월 26일

는 방식<sup>[4]</sup> 등이 가장 보편적으로 이용되고 있으며 이 방식들은 모두 Clark가 제시한 등방향성 산란 (isotropic scattering) 모델<sup>[1]-[4]</sup>에 기초를 두고 있다. 본 논문에서는 Jakes 정현파 합성 방식에서 정현파의 진폭 및 위상에 관련된 파라미터를 결정하는 새로운 방법을 제안하며 컴퓨터 모의실험을 통하여 그 통계적 특성을 기존의 파라미터 값을 이용한 경우의 특성 및 등방향성 산란 모델의 이론적 특성과 비교하여 제안된 방법의 정확성을 검토한다.

논문의 구성은 서론에 이어 제 2절에서 다중경로 페이딩 채널 특성의 비교분석에 기준이 되는 이론적인 등방향성 산란 모델의 통계적인 특성에 대하여 기술한다. 제 3절에서는 Jakes 방식에서 이용되는 정현파의 진폭 및 위상에 관련된 파라미터를 결정하는 새로운 방법을 제안한다. 제 4절에서는 페이딩 신호 생성에 이용된 컴퓨터 모의실험 과정 및 환경을 기술한 후 페이딩 신호의 확률밀도함수, 자기상관함수, 상호상관함수, 레벨 교차율, 평균 페이딩 시간 등의 통계적인 특성을 도출하여 결과를 분석한다. 마지막으로 제 5절에 결론을 정리한다.

## II. 등방향성 산란 모델

다중경로 페이딩 현상에 대한 이론적인 해석에는 이동체를 포함하는 평면상에서 전파가 이동체의 수신기에 모든 방향에서 균등히 도착한다고 가정하는 등방향성 산란 모델이 널리 적용되고 있다.<sup>[1]-[4]</sup> 이러한 전파의 전파 (propagation) 과정은 도심지에서의 건물, 차량 등에 의한 전파의 반사, 회절, 산란 등에 의해 발생된다고 해석할 수 있다. 여러 방향에서 다수의 전파가 이동체에 도달하는 경우 수신되는 전파는 중앙극한정리 (central limit theorem)에 의해 식 (1)과 같이 표현되는 복소 가우시언 랜덤프로세스로 근사화할 수 있다.<sup>[3]</sup>

$$r(t) = r_I(t) + jr_Q(t) \quad (1)$$

식 (1)에서  $r(t)$ 는 수신 전파의 저주파 등가 신호 (lowpass equivalent signal)에 해당하며 동위상 성분 (in-phase component)  $r_I(t)$ 와 직교위상 성분 (quadrature component)  $r_Q(t)$ 는 평균이 0이고 분산이  $\sigma_0^2$ 인 연관성이 없는 (uncorrelated) 동일한 특성의 가우시언 랜덤프로세스를 나타낸다.  $r(t)$ 의 통계적 1차 특성으로 한 시점에서의 절대값  $z(t)$ 와 위상  $\theta(t)$ 는 각각 Rayleigh 확률분포와 균일

(uniform) 확률분포를 따르며 그 확률밀도함수 (probability density function: PDF)  $f_z(x)$ 와  $f_\theta(x)$ 는 각각 식 (2)와 식 (3)과 같이 표시된다.<sup>[3]</sup>

$$f_z(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma_0^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_0^2}\right), & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$f_\theta(x) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi}, & |x| < \pi \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$r(t)$ 의 통계적 2차 특성으로 자기상관함수 (autocorrelation function: ACF), 상호상관함수 (crosscorrelation function: XCF), 전력밀도함수 (power spectral density: PSD)는 다음과 같이 구할 수 있다.<sup>[3]</sup>

$$\begin{aligned} \phi_{r_I r_I}(\tau) &= \phi_{r_Q r_Q}(\tau) \\ &= E[r_I(t)r_I(t+\tau)] \\ &= \sigma_0^2 J_0(2\pi f_d t) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\phi_{r_I r_Q}(\tau) = -\phi_{r_Q r_I}(\tau) = 0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \phi_{rr}(\tau) &= \frac{1}{2} E[r^*(t)r(t+\tau)] \\ &= \phi_{r_I r_I}(\tau) + j\phi_{r_I r_Q}(\tau) \\ &= \sigma_0^2 J_0(2\pi f_d t) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} S_{rr}(f) &= F[\phi_{rr}(\tau)] \\ &= \begin{cases} \frac{\sigma_0^2}{2\pi f_d} \frac{1}{\sqrt{1-(f/f_d)^2}}, & |f| < f_d \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (4)~(7)에서  $f_d = \nu/\lambda$  ( $\nu$ 는 이동체 속도,  $\lambda$ 는 전파의 파장)는 도플러 주파수를 나타내며  $J_0(\cdot)$ 는 0차 제 1종 베셀함수 (0-th order Bessel function of the first kind)이다.

수신 신호의 크기  $z(t)$ 에 대한 평균적인 페이딩 특성 지표로는 신호의 크기가 일정 수준 이하로 떨어지는 빈도수를 나타내는 레벨 교차율 (level crossing rate: LCR)과 신호의 크기가 일정 수준 이하에 머무르는 평균기간을 나타내는 평균 페이드 기간 (average fade duration: AFD)이 보편적으로 이용된다. 신호 크기의 수준을  $R$ , 그 실효치를  $R_{ms}$ , 상대적 신호 수준을  $\rho = R/R_{ms}$ 로 표시하면 LCR  $L_R$ 과 AFD  $\bar{t}$ 는 다음과 같이 구해진다.<sup>[3]</sup>

$$L_R = \sqrt{2\pi} f_d \rho \exp(-\rho^2) \quad (8)$$

$$\bar{t} = \frac{\exp(\rho^2) - 1}{\rho f_d \sqrt{2\pi}} \quad (9)$$

### III. 파라미터 결정 방법

등방향성 산란 모델을 기초로 하는 Jakes의 정현파 합성 방식에서 페이딩 채널의 입력 신호  $x(t)$ 와 출력 신호  $y(t)$ 에 대한 페이딩 이득  $\kappa(t)$ 는 식 (10), 식 (11)과 같이 표시된다.<sup>[1],[3]</sup>

$$y(t) = \kappa(t) \cdot x(t) \quad (10)$$

$$\kappa(t) = r_I(t) + jr_Q(t)$$

$$r_I(t) = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \cos \beta_n \cos 2\pi f_n t + \sqrt{2} \cos \alpha \cos 2\pi f_n t \quad (11)$$

$$r_Q(t) = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \sin \beta_n \cos 2\pi f_n t + \sqrt{2} \sin \alpha \cos 2\pi f_n t$$

식 (10)과 식 (11)에서  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $\kappa(t)$ 는 모두 저주파 등가 신호로 표시되었으며 정현파 주파수  $f_n = f_a \cos(2\pi n/N)$ ,  $N = 2(2N_0 + 1)$ ,  $N_0$ 는 정현파의 수와 관련된 파라미터를 표시한다. 식 (11)에서  $N_0$ 가 증가함에 따라  $r_I(t)$ 와  $r_Q(t)$ 는 가우시언 분포에 접근해 가며 등방향성 산란 모델에서와 같이, 동일한 특성을 가지며 상관성이 없기 위한 필요조건인 식 (12)를 만족하도록 파라미터  $\alpha$ 와  $\beta_n$ 를 결정하여야 한다.

$$\overline{r_I^2(t)} = \overline{r_Q^2(t)}, \quad \overline{r_I(t)r_Q(t)} = 0 \quad (12)$$

식 (12)에서  $\overline{(\quad)}$ 는 시간 평균을 나타낸다. 식 (11)을 이용하여 식 (12)의 특성을 구하면 다음과 같이 정리된다.<sup>[1],[3]</sup>

$$\begin{aligned} \overline{r_I^2(t)} &= 2 \sum_{n=1}^{N_0} \cos^2 \beta_n + \cos^2 \alpha \\ &= N_0 + \cos^2 \alpha + \sum_{n=1}^{N_0} \cos 2\beta_n \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \overline{r_Q^2(t)} &= 2 \sum_{n=1}^{N_0} \sin^2 \beta_n + \sin^2 \alpha \\ &= N_0 + \sin^2 \alpha - \sum_{n=1}^{N_0} \cos 2\beta_n \end{aligned} \quad (14)$$

$$\overline{r_I(t)r_Q(t)} = \sum_{n=1}^{N_0} \sin 2\beta_n + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \quad (15)$$

식 (12)의 특성을 근사적으로 만족시키는  $\alpha$ 와  $\beta_n$  값의 선택에는 여러 가지 경우가 존재하며 다음과 같은 세 가지 경우가 문헌에 소개되어 있다.<sup>[1],[3],[5]</sup>

i)  $\alpha = 0, \beta_n = \pi n / N_0$

$$\overline{r_I^2(t)} = N_0 + 1, \quad \overline{r_Q^2(t)} = N_0, \quad \overline{r_I(t)r_Q(t)} = 0 \quad (16)$$

ii)  $\alpha = 0, \beta_n = \pi n / (N_0 + 1)$

$$\overline{r_I^2(t)} = N_0, \quad \overline{r_Q^2(t)} = N_0 + 1, \quad \overline{r_I(t)r_Q(t)} = 0 \quad (17)$$

iii)  $\alpha = \pi/4, \beta_n = \pi n / N_0$

$$\overline{r_I^2(t)} = \overline{r_Q^2(t)} = N_0 + 1/2, \quad \overline{r_I(t)r_Q(t)} = 1/2 \quad (18)$$

식 (12)의 특성을 정확히 만족시키는  $\alpha$ 와  $\beta_n$  값은 다음과 같이 구할 수 있다. 식 (13)~(15)로부터 식 (12)의 특성을 만족시키는  $\alpha$ 와  $\beta_n$ 에 대한 방정식은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{N_0} \cos 2\beta_n &= -\frac{1}{2} \cos 2\alpha \\ \sum_{n=1}^{N_0} \sin 2\beta_n &= -\frac{1}{2} \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (19)$$

식 (19)을 만족하는  $\beta_n = b \cdot n$  형태의 해를 구하는 경우 식 (19)는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{-\sin b + \sin[(2N_0 + 1)b]}{2 \sin b} &= -\frac{1}{2} \cos 2\alpha \\ \frac{\cos b - \cos[(2N_0 + 1)b]}{2 \sin b} &= -\frac{1}{2} \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (20)$$

식 (20)의 해는 수치해석으로 구할 수 있다.

식 (12)의 특성을 근사적으로 만족시키는 또 다른  $\alpha$ 와  $\beta_n$  값은 다음 관계식을 이용하여 선택할 수 있다.

$$\sum_{n=1}^{N_0} \cos 2\beta_n = -\frac{1}{2}, \quad \text{if } \beta_n = \frac{\pi kn}{2N_0 + 1} \quad (21)$$

$k$  : integer except multiples of  $2N_0 + 1$

$\alpha = 0, \beta_n = 2\pi n / (2N_0 + 1)$ 로 선택하면 식 (12)의 특성은 다음과 같이 주어진다.

$$\overline{r_i^2(t)} = \overline{r_Q^2(t)} = N_0 + 1/2, \tag{22}$$

$$\overline{r_i(t)r_Q(t)} = -\frac{1}{2} \tan \frac{\pi}{2N_0 + 1}$$

식 (22)의 특성을 앞에서 언급한 식 (18)의 경우와 비교해 보면  $N_0 > 1$ 의 범위에서  $\overline{r_i(t)r_Q(t)}$ 의 절대값은 식 (18)의 1/2보다 작아져 특성이 개선됨을 알 수 있다.

#### IV. 컴퓨터 모의실험

컴퓨터 모의실험에서 선택한 이동통신 채널의 도플러 주파수  $f_d = 100$  Hz (이동체 속도 120 km/h, 반송파 주파수 900 MHz의 경우에 해당)이며 페이딩 신호에 대한 샘플링 주파수는 10,000 samples/sec로 선정하였다. 이 경우 정규화된 도플러 주파수  $f_d/f_s = 0.01$ 이 되어 이동통신 채널에서의 일반적인 범위에 속하게 된다. 페이딩 신호  $r(t)$ 의 통계적 특성 비교에는 신호 크기  $z(t)$ 의 확률밀도함수  $f_z(x)$ , 신호 위상  $\theta(t)$ 의 확률밀도함수  $f_\theta(x)$ , 동위상 성분  $r(t)$ 의 자기상관함수  $\phi_{r,r}(t)$ , 직교위상 성분  $r_Q(t)$ 의 자기상관함수  $\phi_{r_Q,r_Q}(t)$ , 동위상 성분과 직교위상 성분 사이의 상호상관함수  $\phi_{r,r_Q}(t)$ ,  $r(t)$ 의 자기상관함수  $\phi_{rr}(t)$ , 레벨 교차율, 평균 페이드 기간 등을 이용하였다. Jakes 방식의 파라미터 선정에서는  $N_0 = 16$ 으로 선택하였으며  $\alpha$ 와  $\beta_n$ 의 경우 일반적으로 사용되고 있는 기존의 파라미터 값  $\alpha = 0$ ,  $\beta_n = \pi n / (N_0 + 1)$ 과 본 논문에서 제안된 방법인 식 (20)의 해를 수치해석으로 구하여 그 중 자기상관함수  $\phi_{r,r}(t)$ ,  $\phi_{r_Q,r_Q}(t)$ 와 상호상관함수  $\phi_{r,r_Q}(t)$ 의 특성이 상대적으로 우수한 파라미터 값  $\alpha = 0.507400$ ,  $\beta_n = 1.538091\pi n$ 을 선정하였다.

그림 1에는 페이딩 신호의 크기  $z(t)$ 의 확률밀도함수를 이론적인 등방향성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식의 경우에 대하여 도시하였다. 선택된  $N_0$ 의 값은 비교적 큰 경우에 해당하여<sup>[6]</sup> 기존의 파라미터를 사용한 경우나 제안된 파라미터를 사용한 경우 모두 이론적인 Rayleigh 분포와 거의 일치하는 결과를 보여주고 있다. 그림 2에는 페이딩 신호의 위상  $\theta(t)$ 의 확률밀도함수를 각각의 경우에 대하여 도시하였다. 기존의 파라미터를 사용한 경우에는 식 (17)에서 알 수 있듯이 직교위상 성분의

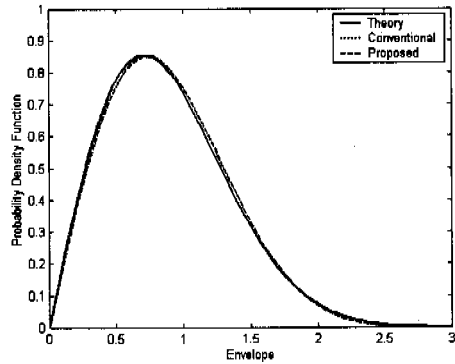


그림 1. 이론적인 등방향성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호의 크기  $z(t)$ 의 확률밀도함수

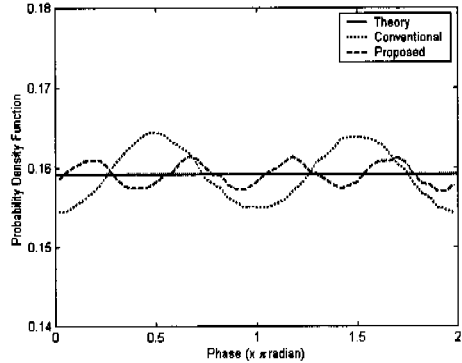


그림 2. 이론적인 등방향성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호의 위상  $\theta(t)$ 의 확률밀도함수

전력이 동위상 성분의 전력 보다 조금 크며 따라서 그림 2와 같이  $\pi/2$ 와  $3\pi/2$  방향에서 확률밀도함수가 증가하는 결과를 보여준다. 이에 비해 제안된 파라미터를 사용한 경우에는 기존의 파라미터를 사용한 경우에 비해 이론적인 균일 확률분포에 근접해 있음을 알 수 있다. 그림 1과 그림 2의 결과는 100,000 샘플 길이의 페이딩 신호를 1,000번 반복하여 실험한 데이터로부터 구하였다.

그림 3~6은 동위상 성분의 자기상관함수, 직교위상 성분의 자기상관함수, 동위상 성분과 직교위상 성분 사이의 상호상관함수, 페이딩 신호  $r(t)$ 의 자기상관함수를 각각 도시하고 있다. 그림의 그래프를 통하여 제안된 파라미터를 사용한 경우 기존의 파라미터를 사용한 경우 비하여 보다 이론적인 값에 근접한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 페이딩

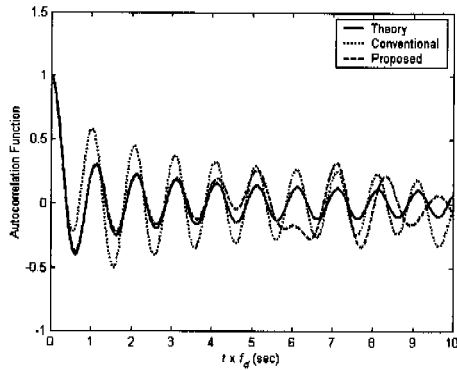


그림 3. 이론적인 등방형성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호의 동위상 성분  $r_I(t)$ 의 자기상관함수

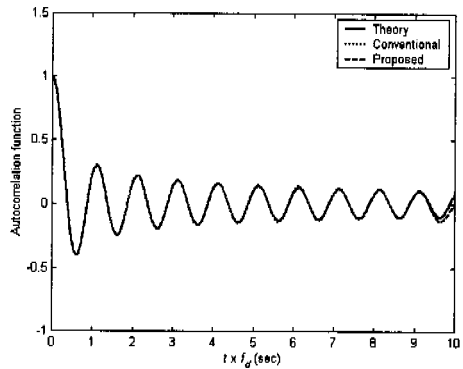


그림 6. 이론적인 등방형성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호  $r(t)$ 의 자기상관함수

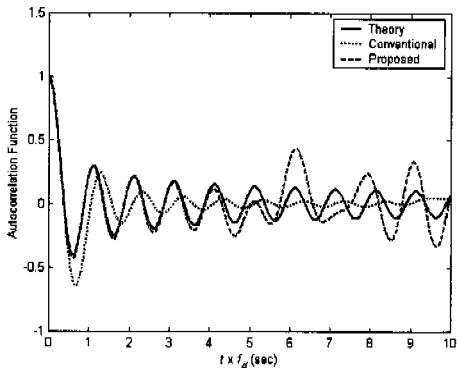


그림 4. 이론적인 등방형성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호의 직교위상 성분  $r_Q(t)$ 의 자기상관함수

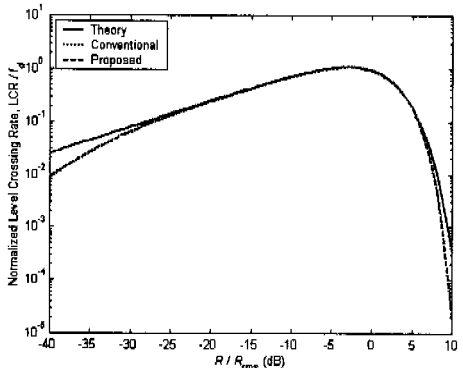


그림 7. 이론적인 등방형성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호의 크기  $z(t)$ 의 레벨 교차율

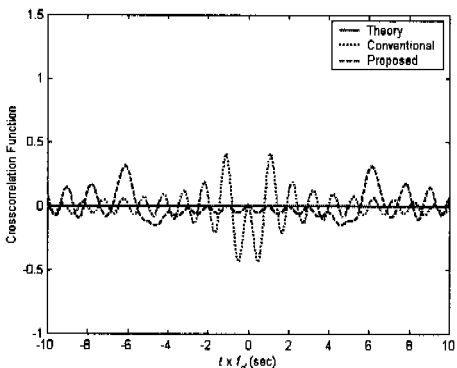


그림 5. 이론적인 등방형성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호의 동위상 성분  $r_I(t)$ 와 직교위상 성분  $r_Q(t)$  사이의 상호상관함수

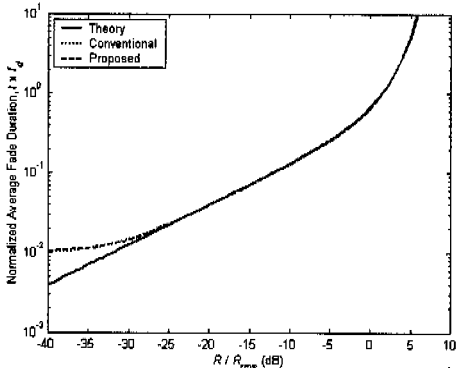


그림 8. 이론적인 등방형성 산란 모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호의 크기  $z(t)$ 의 평균 페이드 기간

신호  $x(t)$ 의 자기상관함수의 경우에는 두 경우 모두 이론적인 값과  $t \cdot f_d < 9$ 의 범위에서 거의 일치하는 결과를 보이고 있다. 그림 3~ 6의 결과는 100,000 샘플 길이의 페이딩 신호를 생성하여 구하였다.

그림 7에는 페이딩 신호가 페이딩 신호의 크기의 실효치로부터 일정한수준 떨어진 점을 교차하는 평균 빈도수인 레벨 교차율을 각각의 경우에 대하여 도시하였다. 그림 8에는 같은 가로축 단위를 적용하여 페이딩 신호의 크기가 일정한 크기 수준 이하에서 머무르는 평균 페이드 기간을 각각의 경우에 대하여 도시하였다. 그림 7과 그림 8에서 기존의 파라미터를 사용하는 경우와 제안된 파라미터를 사용하는 경우 모두 거의 동일한 결과를 보여주고 있다. 두 그림으로부터 실효치에 비해 페이딩 신호의 크기가 약 30 dB 이하가 되는 심한 페이딩 현상은 이론적인 값과 비교하면 보다 드물게 발생하지만 발생하는 경우 보다 오래 지속됨을 알 수 있다. 그림 7과 그림 8의 결과는 100,000 샘플 길이의 페이딩 신호를 100번 반복하여 실험한 데이터로부터 구하였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 다중경로 페이딩 채널의 모의실험에 널리 이용되고 있는 Jakes 방식에서 정현파의 진폭과 위상에 관련된 파라미터를 결정하는 새로운 방법을 제안하였다. Jakes 방식의 기본적인 등방향성 산란모델, 기존의 파라미터를 사용한 Jakes 방식, 제안된 파라미터 결정법을 사용한 Jakes 방식에 의한 페이딩 신호의 통계적 특성을 비교하기 위하여 페이딩 신호의 크기와 위상의 확률밀도함수, 페이딩 신호의 동위상 성분과 직교위상 성분의 자기상관함수와 상호상관함수, 페이딩 신호의 크기의 레벨 교차율과 평균 페이드 기간을 컴퓨터 모의실험으로 분석하였다. 모의실험의 결과를 통하여 본 논문에서 제안된 파라미터 결정법을 사용하는 경우, 기존의 파라미터를 사용하는 경우와 비교하여 페이딩 신호의 위상의 확률밀도함수, 동위상 성분 및 직교위상 성분의 자기상관함수, 동위상 성분과 직교위상 성분 사이의 상호상관함수의 관점에서 통계적 특성이 개선됨을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. C. Jakes, ed., Microwave Mobile Communications (reissued version), IEEE Press: NJ, 1994.
- [2] D. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel, Halsted Press: New York, 1992.
- [3] G. L. Stber, Principles of Mobile Communication, Kluwer Academic Publishers: MA, 1996.
- [4] T. S. Rappaport, Wireless Communications Principles and Practice, Prentice Hall, Inc.: NJ and IEEE Press: NJ, 1996.
- [5] M. C. Jeruchim, P. Balaban, and K. S. Shanmugan, Simulation of Communication Systems, Plenum Press: New York, 1992.
- [6] M. Ptzold and F. Laue, Statistical properties of Jakes' fading channel simulator, in Proc. 48th IEEE Vehi. Tech. Conf. (VTC), Ottawa, Canada, 18-21 May 1998, pp. 712-718.

임 등 민(Dongmin Lim)

정회원



1986년 2월: 서울대학교  
제어계측공학과 (공학사)  
1988년 2월: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과  
(공학석사)  
1992년 8월: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과  
(공학박사)

1992년 9월~현재: 경상대학교 전자공학과 부교수  
<주관심 분야> 이동통신, 디지털 신호처리, 컴퓨터  
통신망 성능분석