

다중 경로 페이딩 채널의 디지털 필터 모델링에 관한 연구

正會員 林承珏*, 陳庸玉*

A STUDY ON THE DIGITAL FILTER MODELING OF MULTIPATH FADING CHANNEL

Seung Gag Lim*, Yong Ohk Chin* Regular Members

要 約

본 논문에서는 다중 경로 페이딩이 존재하는 무선 채널을 디지털 필터로 모델링하였다. 모델링을 위한 수신 신호의 획득은 통계적으로 도착 시간의 분포를 고려한 페이딩 채널 모델을 이용하였다. 송신 신호와 수신 신호를 이용하여 parametric ARX (AutoRegressive Exogenous input) 모델링을 수행하였으며 모델링 결과 최소 위상 (minimum phase)과 안정된 디지털 필터 특성을 얻었다. 송신측에서 모델링된 필터 특성의 역수를 취한 후 신호를 왜곡시켜 전송하므로써 채널에서 발생하는 찌그러짐과 간섭 현상을 줄일 수 있으며 전체 통신 시스템의 성능을 개선할 수 있는 유용성이 있다.

ABSTRACT

In this paper, digital filter modeling of the radio channel is studied. For acquisition of the received signal in the modeling, fading channel model that the statistical distribution of arrival time is consider is used. We do the parametric ARX modeling using the transmitted signal and received signal, and as a result of the modeling, the minimum phase and stable digital filter characteristics are obtained.

By transmitting the signal that is distorted after the inverse of the modeled filter characteristics is taken in the sending side, it is possible to reduce the distortion and interference which is occurred in the channel, and is expected that overall communication systems' performance can be improved.

* 경희대학교 전자공학과
論文番號 : 95170-0508
接受日字 : 1995年 5月 8日

1. 서 론

최근 무선 전파를 사용하는 통신 서비스의 수요가 급격하게 증가하면서 한정된 전파 자원의 효율적인 이용 및 정보를 고속으로 전송하기 위한 무선 전송 채널에 대한 연구가 널리 수행되고 있다. 한정된 무선 채널의 효율적인 이용을 위하여 다윈 접속 기술과 협대역 변/복조 기술 등을 들 수 있으며 정보의 고속 전송을 위하여 채널의 특성을 보상하는 적응 등화기가 있으며, 특별한 경우에는 전치 보상기⁽¹⁾⁽²⁾ (precompensator)를 들 수 있다. 무선 전송의 경우 채널에서 발생하는 찌그러짐의 원인은 채널의 대역 통과 특성과 부가되는 잡음 등을 들 수 있으나 이들보다 더욱 중요한 것은 복수개의 전파 경로를 통한 신호 성분이 수신측에서 불규칙적으로 합성되어 발생하는 다중 경로 페이딩 현상을 들 수 있다. 다중 경로파 중에서 직접파 성분은 송신점과 수신점을 잇는 프로파일상에서 가장 적은 지연 시간과 짧은 전파 경로를 갖으며 지면 등에 의하여 반사되는 다중파는 직접파에 비하여 상대적으로 긴 지연 시간과 전파 경로를 갖게 되므로 이들이 수신될 때는 수신 신호의 진폭뿐만 아니라 위상까지도 불규칙적으로 변화되는 페이딩 현상을 동반하게 된다. 이를 다중 경로 페이딩이라고 하며 현재 페이딩 현상을 완전히 억압할 수는 없지만 수신측에서 다이버시티 방법과 적응 등화기를 사용하여 그 영향을 경감하고 있다⁽⁷⁾. 그러나 이와 같은 방법들은 음성 전송의 경우에 사용 가능하며 통신 서비스의 고도화에 따른 고속의 데이터 서비스를 제공하기 위해서는 새로운 대책의 수립이 필요하게 된다. 무선 전송에서 발생하는 페이딩의 특성으로는 직접파 (LOS : Line Of Sight)의 존재 여부에 따라 진폭과 위상의 확률적 분포 특성이 상이하게 된다. 즉 직접파와 다중파가 공존하는 경우 진폭은 Rician 분포, 위상은 균등 분포하므로 Rician 채널이라고 하며 직접파가 없고 다중파 성분만 존재하는 경우 진폭은 Rayleigh 분포, 위상은 균등 분포하므로 Rayleigh 채널이라고 한다⁽¹¹⁾⁽¹²⁾. G. A. ARREDONDO, K. FEHER 등은 Rayleigh 채널에서 사용 가능한 모델을 제안하여 레벨 교차율과 페이딩 지속 시간 등의 성능을 이론치와 비교하였으며⁽⁸⁾ M. A. BLANCO 는 Rician 채널에서 비트 착오율 (BER : Bit Error Rate)의 분포를 다이버시티 방식의 사용 여부에 따라 제시하였으나⁽¹⁴⁾ 이들의 모델에서는 전파 과정에서 발생되

는 지연 시간의 통계적 분포를 고려하지 않았다. 또한 HOWARD, HEWITT 등은 다중 경로 채널의 모델링을 위하여 FFT 를 이용한 시스템의 입력과 출력 스펙트럼의 차이를 구하는 비파라미터 방법을 이용한 후 Prony 알고리즘을 적용함으로써 파라미터 모델링을 수행하였다⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾.

본 논문은 무선 채널을 통한 고속의 데이터 서비스를 위하여 송신측에서 채널의 특성을 사전 보상하기 위한 페이딩 채널의 디지털 필터 모델링에 관한 것이다. 페이딩의 영향을 받은 수신 신호를 얻기 위하여 Rayleigh 와 Rician 페이딩 채널 모델을 이용하였으며 채널 모델은 기존의 모델을 개선하여 확률적으로 poisson 분포의 지연 시간을 갖도록 구성하였다. 이의 적합성을 제시하기 위하여 Rayleigh 와 Rician 환경에서 동일한 성능 분석 파라미터를 사용하여 이론치와 비교하였으며 시스템의 필터 모델링은 송신 신호와 수신 신호를 이용하여 직접 파라미터 디지털 필터 모델링을 수행하였다. 2 장에서는 수신 신호의 수학적 모델과 특성 파라미터 및 이를 나타내는 페이딩 채널 모델의 구성도를 설명한 후 3 장에서는 디지털 필터 모델링에 대하여 설명한다. 4 장에서는 채널의 성능 분석 결과와 필터 모델링의 결과를 제시한 후 5 장에서 결론을 내리겠다.

2. 본 론

2.1 신호의 모델

Rayleigh 페이딩의 경우 경로 i 를 통해 수신되는 신호는 경로 손실을 0 으로 가정하면 다음과 같다.

$$e_i(t) = \text{Re}\{Z_i(t) \exp j(\omega_c t + \omega_i t + \omega_c \tau_i)\} \dots (1)$$

여기서 ω_i 는 페이딩 주파수를 말하며 $Z_i(t)$ 는 경로 i 를 통해 수신되는 신호의 포락선을 나타내며 이는 전파 경로 l_i 를 통하여 수신되므로 포락선의 위상을 θ_i , 안테나의 입사각을 ϕ_i 라고하면 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$Z_i(t) = R_i \exp j[-2\pi \frac{l_i - \beta \cos \phi_i}{\lambda} + \theta_i] \dots (2)$$

여기서 $R_i = 1$ 로 놓고 수신기에는 N 개의 다중파가 수신되므로 총 수신 신호는 식 (1)의 총합으로 표현된다.

$$e = \sum_{i=1}^N e_i(t) = \text{Re} \left[\sum_{i=1}^N Z_i(t) \exp j(\omega_c t + \omega_i t + \omega_i \tau_i) \right] \dots\dots(3)$$

식 (3)의 실수부를 취하여

$$s = \text{Re}(e) = X \cos \omega_c t - Y \sin \omega_c t$$

$$X = Z_i(t) \sum_{i=1}^N \cos(\omega_i t - \omega_i \tau_i) \dots\dots\dots(4)$$

$$Y = Z_i(t) \sum_{i=1}^N \sin(\omega_i t - \omega_i \tau_i)$$

가 되며 X 와 Y 는 inphase, quadrature 성분을 나타낸다. 식 (4) 에서 다중 경로의 수 n이 클수록 central limit theorem 에 의하여 X와 Y는 현대역 gaussian process 로 분포하게되며 이를 복소 함수로 표시할때 포락선의 통계적 분포는 Rayleigh 분포를 하며 위상은 균등 분포하게 된다⁷⁾. Rician 페이딩의 경우 직접파는 채널에서 포락선이 log normal 분포를 하므로 이를 나타내기위하여는 0 과 1 사이에서 균등 분포하는 process 를 식 (5) 와 같은 비선형 변환을 통하여 발생시킨다¹⁹⁾.

$$x_p = \sqrt{2} \ln \mu \cos 2\pi\theta \dots\dots\dots(5)$$

$$A = \exp(x_p)$$

식 (5) 에 의하여 발생되는 직접파 성분이 식 (4) 에 더해져야 하므로 수신되는 신호는 식 (6) 과 같이 된다.

$$s = \text{Re}(e) = (A+X) \cos \omega_c t - Y \sin \omega_c t \dots\dots(6)$$

가 된다.

2. 2 다중 경로 채널의 특성 파라미터

페이딩 포락선은 수신기의 성능을 결정하는 중요한 요소이므로 페이딩의 정도를 나타내는 특성 파라미터가 필요하게 된다. 페이딩 포락선은 일종의 random process 로 고려할 수 있으며 이의 특성을 나타내기 위해서는 통계적인 기법이 필요하게 되는데 페이딩 채널에서 고려되는 기법으로는 1차와 2차 통계치가 있다. 1차 통계치의 경우 process 의 확률 밀도 함수 (PDF : Probability Density Function)와 누적 분포 함수 (CDF : Cumulative Distribution Function)가 있으며 2차 통계치의 경우에는 레벨 교차율 (LCR : Level Crossing Rate)와 평균 페이딩 시간 (AFD : Average Fading Duration)등이 있다¹⁵⁾.

2. 2. 1 first order statistics

수신 신호의 포락선 변동을 확률적으로 나타내는 기법으로써 특정 레벨의 점유를 확률적으로 나타내는 pdf와 pdf의 누적합으로 표현되는 cdf의 2 가지가 있다. Rayleigh 페이딩의 경우 수신 신호를 복소 함수로 표현하면 식 (7), Rician 페이딩의 경우를 식 (8)에 각각 나타내었다.

$$e = R \exp [j(\omega t + \theta)], R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\text{and } \theta = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) \dots\dots\dots(7)$$

$$e = R \exp [j(\omega t + \theta)], R = \sqrt{(A+X)^2 + Y^2}$$

$$\text{and } \theta = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{A+X} \right) \dots\dots\dots(8)$$

식 (7) 의 포락선 R의 확률 밀도 함수는

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp \left(-\frac{r^2}{2\sigma^2} \right) \dots\dots\dots(9)$$

가 되며 식 (8)은

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp \left(-\frac{r^2 + A^2}{2\sigma^2} \right) I_0 \left(\frac{rA}{\sigma^2} \right) \dots\dots\dots(10)$$

와 같이 된다. 여기서 σ 는 신호의 표준 편차를 말하며 I_0 는 0 차 수정 베셀 함수를 말한다. 또한 위상 θ 의 분포는 $[0, 2\pi]$ 범위내에서 균등 분포한다.

2. 2. 2 second order statistics

(1) 레벨 교차율 (LCR : Level Crossing Rate)
레벨 교차율은 단위 시간내에 페이딩 포락선이 특정 레벨을 정 (+) 의 방향으로 교차하는 평균 횟수를 말한다. 페이딩 신호의 스펙트럼을 S(f) 라고할때 무지향성 안테나를 사용하여 신호를 수신할때 다음과 같이 된다⁵⁾.

$$S(f) = \frac{K'}{2\pi f_m} [1 - (\frac{f}{f_m})^2]^{-0.5}, f \leq f_m \dots\dots(11)$$

식 (11)에서 f_m 는 페이딩 주파수 (페이딩율)를 말하며 S(f)의 n 차 적분을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$b_n = (2\pi)^n \int_0^c S(f) f^n df \dots\dots\dots(12)$$

식 (9), (11), (12) 에서 특정 레벨을 교차하는 레벨 교차율은

$$N_r = \sqrt{\frac{b_2}{\pi b_0}} \rho \exp^{-\rho^2} \dots\dots\dots(13)$$

가 된다. 여기서 ρ 는 실요치 레벨과 비교 레벨과의 상대비를 나타낸다. 식 (11), (12) 를 이용하면 페이딩 주파수는 다음과 같이 된다.

$$f_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2b_2}{b_0}} \dots\dots\dots(14)$$

(2) 평균 페이딩 지속 시간

(AFD : Average Fading Duration)

평균 페이딩 지속 시간은 LCR과 유사한 개념으로 페이딩 포락선이 특정 레벨 이하로 떨어지는 시간의 평균치를 말하며 τ_i 를 i 번째 페이딩의 시간이라고하면 전체 관찰 구간 T 초동안 $r < R$ (특정 레벨)이 되는 총시간의 확률은

$$P(r < R) = \frac{1}{T} \sum \tau_i = \int_0^R p(r) dr \dots\dots\dots(15)$$

$$= 1 - \exp(-\rho^2)$$

가 되므로 평균 페이딩 지속 시간은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\bar{\tau} = \frac{1}{TN_R} \sum \tau_i = \frac{1}{N_R} P(r < R) \dots\dots\dots(16)$$

식 (15), (16) 를 조합하면 평균 페이딩 지속 시간은 다음과 같이 된다⁽¹¹⁾⁽¹²⁾.

$$\bar{\tau} = \sqrt{\frac{\pi b_0}{b_2}} \frac{1}{R} [\exp(R^2) - 1] \dots\dots\dots(17)$$

2.3 페이딩 채널 모델

페이딩 채널의 필터 모델링을 위해서는 수신 신호가 필요하며 이를 위하여 페이딩 포락선을 발생하는 채널 모델을 이용하였다. 기존의 모델은 Rayleigh 환경에서 무선 채널의 특성을 컴퓨터로 나타낸것으로 여기서는 협

대역 가우시안 process 를 이용하여 원하는 페이딩 특성을 얻은 후 적당한 도플러 주파수를 차단 주파수로 하는 필터를 통과시켜 균등 분포하는 위상 변화를 준 후 이를 복수개 합성하므로써 다중 경로에 의한 페이딩 특성을 얻었다⁽⁶⁾.

그림 1은 논문에서 사용된 모델을 나타낸것으로 기존의 모델을 개선하여 직접파와 다중 경로 파가 공존하는 경우에도 사용 가능하며 전파 지연을 고려하기 위한 delay line 에서의 지연 시간은 평균 도착률을 고려하여 poisson variate 에 따라 결정하였다. 평균 도착율을 라고 할때 지연 시간을 결정하는 지연수 N은 식 (18)에 나타내었으며 U는 0과 1 사이의 균등 분포 random variable을 나타낸다.

$$\prod_{i=1}^N U_i \leq \exp(-\lambda) \dots\dots\dots(18)$$

그림에서는 3 개의 경로를 갖도록 나타냈다. 경로 1의 경우 delay line 에서 지연 시간을 0으로 하여 직접파의 inphase, quadrature 성분을 얻는데 사용하였으며 경로 2, 3의 경우 delay line에서 poisson variate 에 따라 적당한 지연 시간을 준 후 2 개의 다중 경로파를 얻는데 사용한다. 각 branch는 2 개의 승산기로 구성되어 먼저 A, B, C는 Rayleigh 또는 Rician fading 특성을 얻기위하여 사용되는 random process 를 말하며 H(A), H(B), H(C)는 각 process A, B, C의 hilbert 변환치를 나타낸다.

3. 페이딩 채널의 디지털 필터 모델링

페이딩 채널의 시스템 모델링 또는 식별은 시스템이 갖는 임펄스 응답을 구하는 과정을 말하며 임펄스 응답은 이론적으로 펄스의 폭이 좁은 임펄스 신호를 발생하여 송신한 후 수신측에서 이를 수신하므로써 얻을 수 있지만 이와같은 신호를 발생하기는 매우 어려우므로 상호 약정된 형태의 데이터를 송신한 후 수신 신호를 분석하므로써 채널의 응답을 얻는 방법이 널리 사용되고 있다. 이를 위하여 사용되는 방법에는 비파라미터와 파라미터 방법이 있으며 이들은 시스템의 특성을 나타내기위한 파라미터의 유무에 의하여 나뉘어진다. 비파라미터 방법은 중첩의 정리에 의하여 송신과 수신 신호의 스펙트럼 변화에 의하여 채널의 특성을 알 수 있으며 상관과 스펙트럼 해석 방법이 있다. 파라미터 방법은 시스템의 특성을

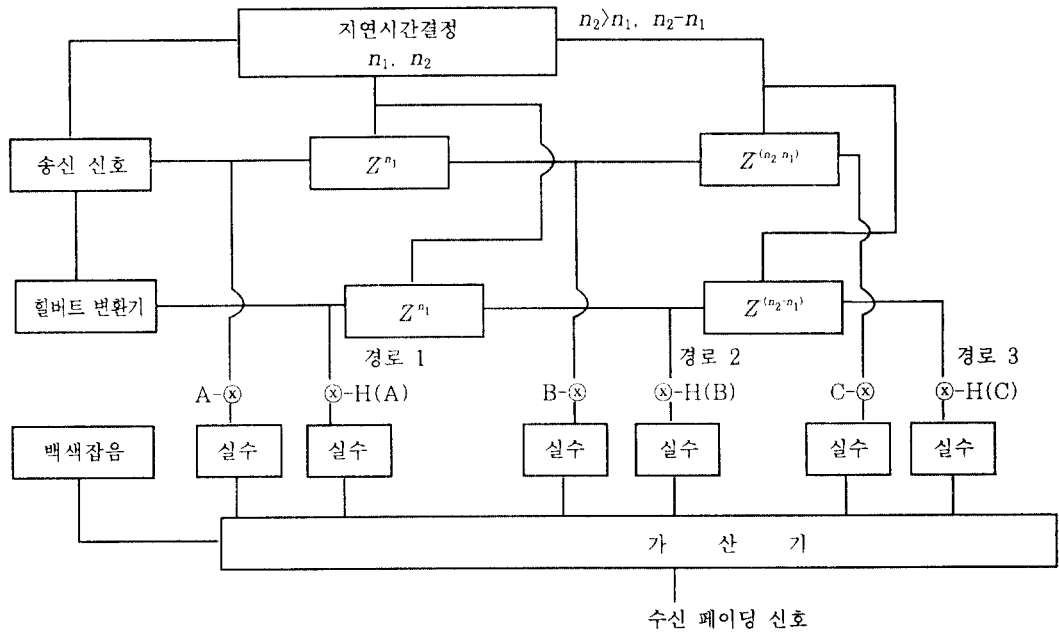


그림 1. 채널 모델
Fig. 1. channel model

나타내는 디지털 필터의 계수와 같은 유한개의 파라미터가 있으며 ARX, ARMAX, Box-Jenkinson 등의 방법이 있다⁽³⁾⁽⁴⁾. 본 논문에서는 시스템 모델링을 위해 널리 사용되는 ARX 방법을 사용한다. 페이딩 채널에 인가되는 입력 신호와 출력 신호를 각각 $x(n)$, $y(n)$ 라고하면

$$y(n) = h(n) * x(n) + v(n) \dots\dots\dots(19)$$

가 된다. 여기서 * 는 convolution 을 나타내며 $v(t)$ 는 백색 잡음 $e(t)$ 중 대역 통과되는 성분을 나타낸다. 입력과 출력 신호의 z 변환치를 각각 $X(Z)$, $Y(Z)$ 라고 하면 식 (19)는

$$Y(Z) = H(Z)X(Z) + V(Z) \dots\dots\dots(20)$$

가 된다. $h(t)$ 를 페이딩 채널의 임펄스 응답, $H(Z)$ 를 채널의 전달 함수라고하며 $Z = \exp(j\omega)$ 에서의 Z변환은 채널의 주파수 전달 함수를 의미한다. 또한 $v(n)$ 는 대역 제한 백색 잡음을 나타내는데 대역 제한 필터로는 $h(n)$ 가 사용되므로

$$V(Z) = H(Z)B(Z) \dots\dots\dots(21)$$

로 표현되며 $c(n)$ 가 분산 λ 인 백색 잡음이라면 $v(n)$ 의 스펙트럼은 다음과 같다.

$$P_v(e^{j\omega}) = \lambda |H(e^{j\omega})|^2 \dots\dots\dots(22)$$

식 (22) 와 (24) 를 조합하면 출력 신호는

$$y(n) = h(n) * x(n) + h(n) * c(n) \dots\dots\dots(23)$$

가 된다. 파라미터 방법을 사용하여 $H(Z)$ 을 구하는 시스템 식별은 주어진 입력과 출력을 이용하여 식 (23)에서 다음과같은 오차 신호를 최소화하는 방법으로 이를 구한다.

$$E(Z) = H^{-1}(Z) [Y(Z) - X(Z)] \dots\dots\dots(24)$$

ARX 모델링 방법에서는 주파수 변수 w 를 사용하는 대신 pole 과 zero 를 지연 변수 Z^{-1} 의 유리 함수비로 다음과 같이 나타낸다⁽¹⁴⁾.

$$A(Z)Y(Z) = B(Z)X(Z) + E(Z)$$

$$H(Z) = Z^{-k} \frac{B(Z)}{A(Z)}$$

$$B(Z) = b_0 + b_1Z^1 + b_2Z^2 + \dots + b_{nb}Z^{nb}$$

$$A(Z) = 1 + a_1Z^1 + a_2Z^2 + \dots + a_{na}Z^{na} \dots \dots (25)$$

4. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

4.1 페이딩 채널 모델의 특성

그림 1의 컴퓨터 모델을 이용하여 수신 신호를 발생하였다. 모델에서는 직접파와 2 개의 다중 경로파를 고려하여 3 가지 성분이 수신되는 경우를 대상으로 하였다. 경로 1의 직접파는 지연을 0으로 설정하였고 process A는 식 (5)에 의하여 log-normal 성분을 발생한 후 송신 신호에 곱하여 발생하였다. process B, C는 백색 가우시안 잡음을 각기 상이한 차단 주파수를 갖는 필터를 통과시켜 협대역 process를 발생한 후 이들을 더하여 원하는 페이딩 특성을 얻었다. 랜덤 위상

변화를 얻기위한 process a, b, c는 0~수십Hz 정도의 저주파 성분을 발생시켜 사용하는데 논문에서는 고려하지 않았으며 송신 신호는 기저 대역 신호를 사용하였다. 그림 3은 시뮬레이션에 사용된 송신과 수신 신호를 구간 확대하여 나타낸 것으로 이를 이용하여 4.2에서 설명하게되는 채널의 식별을 위한 신호로 사용하였다.

그림 3은 페이딩 신호의 first order statistics 인 확률 밀도 함수를 나타낸 것이다. Rayleigh 분포와 Rician 분포의 경우를 각각 나타낸 것으로 Rician의 경우 직접파 성분의 평균치가 Rayleigh의 경우에 더해져 분포하고 있음을 알 수 있다.

그림 4와 5는 second order statistics를 나타내는 레벨 교차율과 평균 페이딩 지속 시간의 분포를 이론치와 비교하여 나타낸 것으로 x축은 실효값에 대한 신호의 크기를 나타내며 y 축은 정규화된 성능 분석치를 나

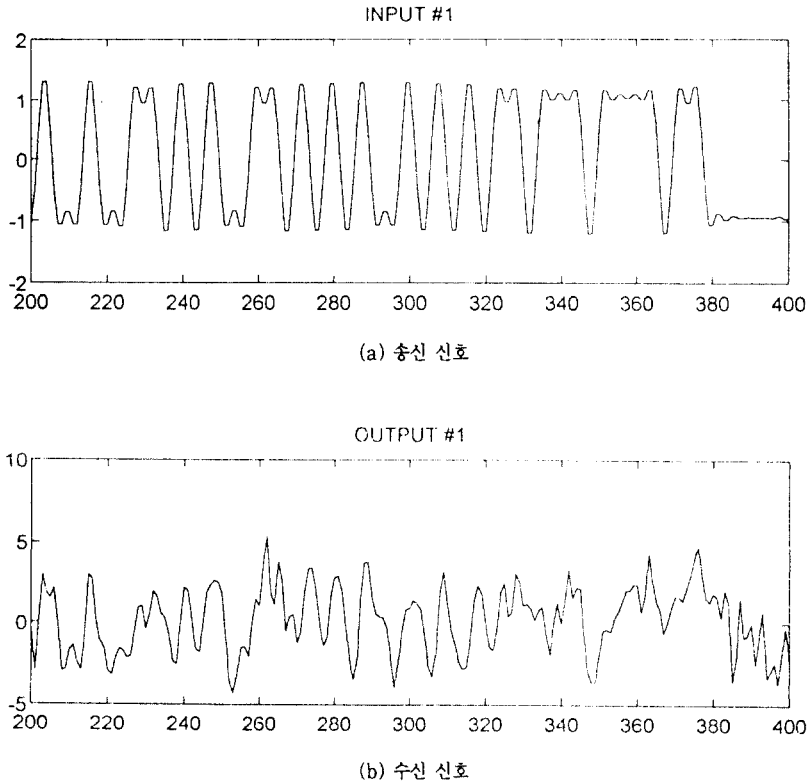
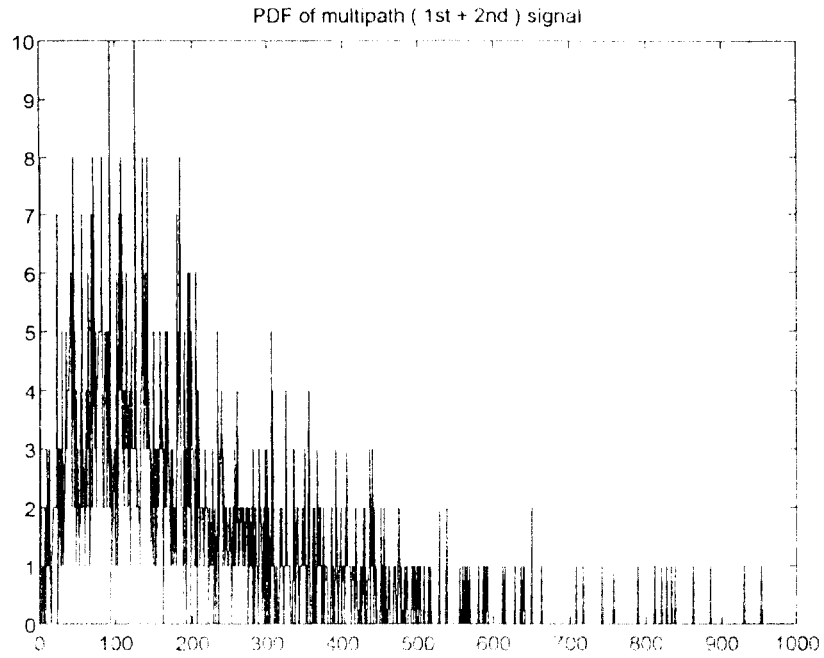
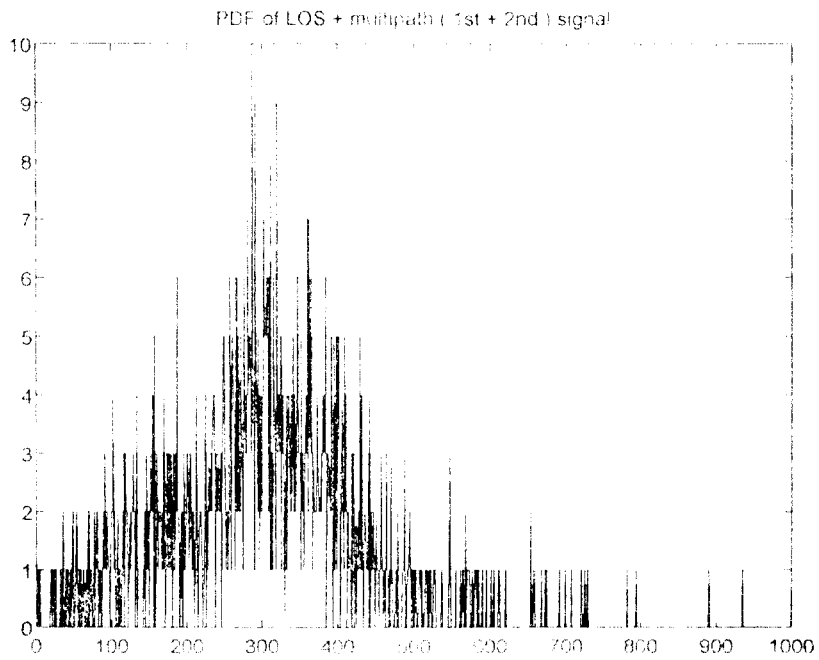


그림 2. 송신 신호와 수신 신호
Fig. 2. Transmitted signal and received signal

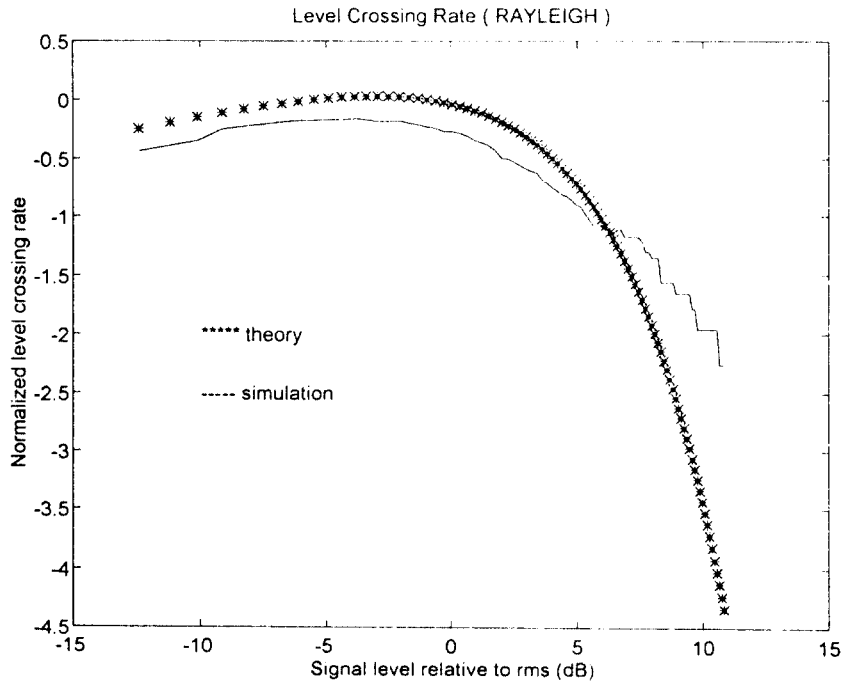


(a) Rayleigh

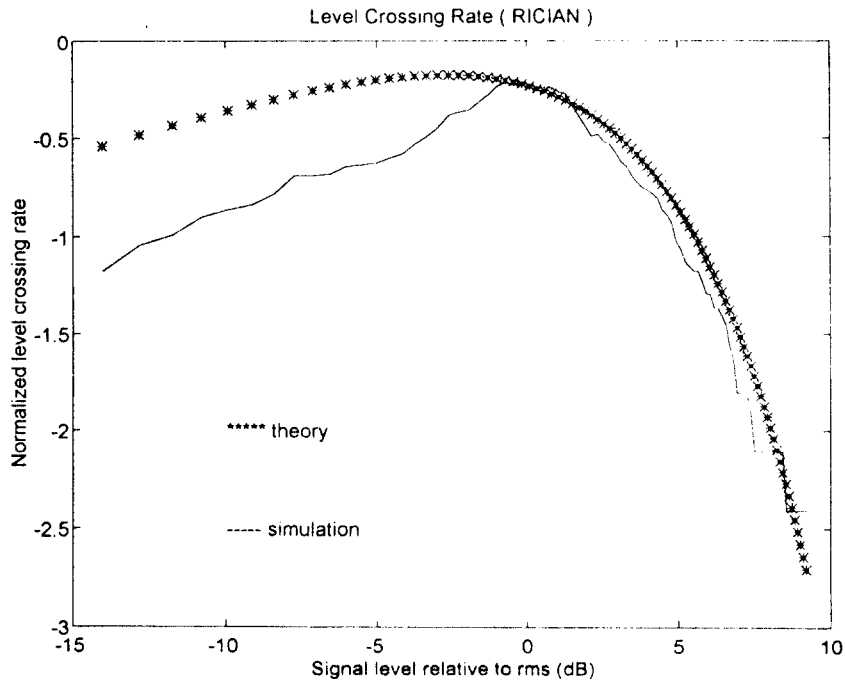


(b) Rician

그림 3. 페이딩 신호의 first order statistics
 Fig. 3 First order statistics of fading signal

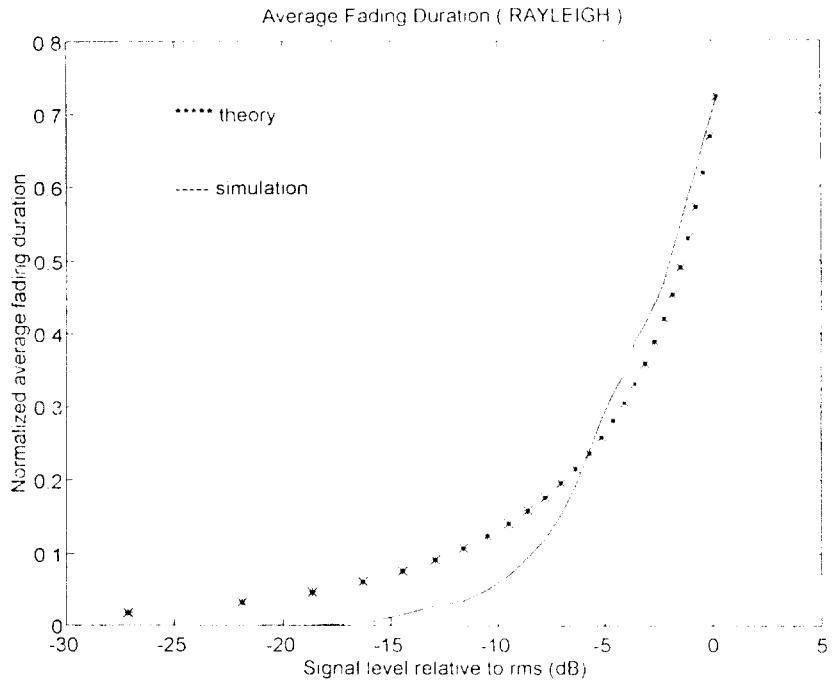


(a) Rayleigh

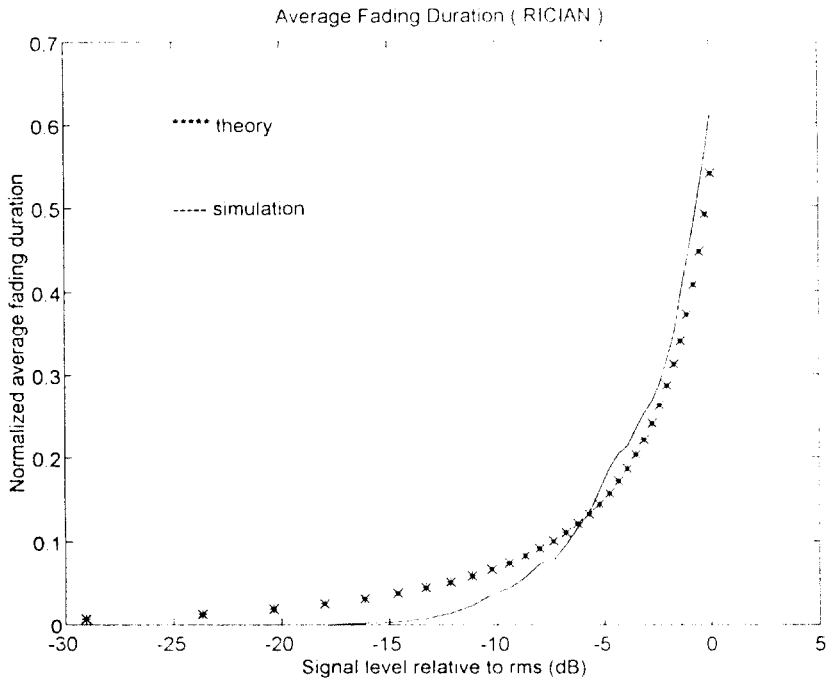


(b) Rician

그림 4. 페이딩 신호의 second order statistics (레벨 교차율)
Fig. 4. second order statistics of fading signal (level crossing rate)



(a) Rayleigh



(b) Rician

그림 5. 페이딩 신호의 second order statistics (평균 페이딩 지속 시간)
 Fig. 5. second order statistics of fading signal (average fading duration time)

타내었다. 레벨 교차율의 경우 Rayleigh 환경에서는 신호의 상대 레벨이 -13 ~ 5 dB 범위내에서 이론치와 유사한 분포를 하고 있으며 Rician 환경에서는 레벨이 0 ~ 5 dB 내에서 이론치와 유사한 분포 결과를 얻을 수 있었다. Rician 의 경우 직접파가 더해지므로 신호의 상대 레벨이 높아지며 그 범위내에서 양호함을 알 수 있다. 평균 페이딩 지속 시간의 경우 Rayleigh 보다는 Rician 에서 더욱 이론치와 유사함을 얻었으며 2 가지 환경에서 신호의 상대 레벨이 떨어질수록 이론치와 차이가 있으나 0~5dB 범위에서는 이론치와 유사함을 알 수 있다.

4.2 채널의 모델링 결과

그림 3의 페이딩 채널 모델을 통과한 신호와 송신 신호 샘플 각각 1000 개를 이용하여 채널의 필터 모델링을 수행하였으며 변/복조 과정은 생략하고 기저 대역에서 직접 수행하였다. 필터 모델링을 위해서는 다음의 과정을 필요로 한다.

- 식별을 위한 신호의 획득
- 신호 처리를 위한 dc 레벨의 제거
- 식별 모델의 선택
- 신호에 대한 최적의 모델과 구조를 정해진 기준에 따라 선택

- 모델의 검증

채널 모델링을 위한 모델은 식 (25)의 ARX 를 사용하였고 이때 고려해야될 사항으로는 모델의 구조를 선택하는 pole과 zero의 차수를 나타내는 na , nb , nk 의 값이다. nk 는 모델링 과정에서 입력과 출력 신호간의 지연수를 나타내며 임의의 na , nb 값을 먼저 설정한 후 데이터에 맞는 최적의 nk 값을 구하였다. na 와 nb 는 값이 클수록 시스템의 식별을 위한 오차가 적어지는 이점을 있으나 무한대로 크게 할 수 없으므로 AIC (Akaike Information Criterion)를 적용하여 값을 결정하였다. 그림 6은 AIC를 적용하기 위한 식 (24)의 제곱을 취한 MSE의 분포 ($\log(e^2(n))$)를 나타낸 것이며 본 시뮬레이션에서는 $na=21$, $nb=3$, $nk=0$ 을 사용하였다.

위에서 정해진 모델의 구조에따라 디지털 필터로의 모델링을 수행하여 식 (25)의 계수 a 와 b 의 값을 구하였다. 또한 모델링된 필터의 pole과 zero 점의 위치를 Z 평면상에서 표시하여 시스템의 최소 위상 시스템의 여부와 필터의 안정도를 판별할 수 있다. 그림 7은 Z 평면상에서 pole과 zero 점을 나타낸 것으로 모든 점들이 단위원내에 존재하므로 최소 위상 시스템이며 모든 pole 점이 단위원내에 존재하므로 안정된 시스템임을 알 수 있다. 표 1은 모델링된 디지털 필터의 계수를 나

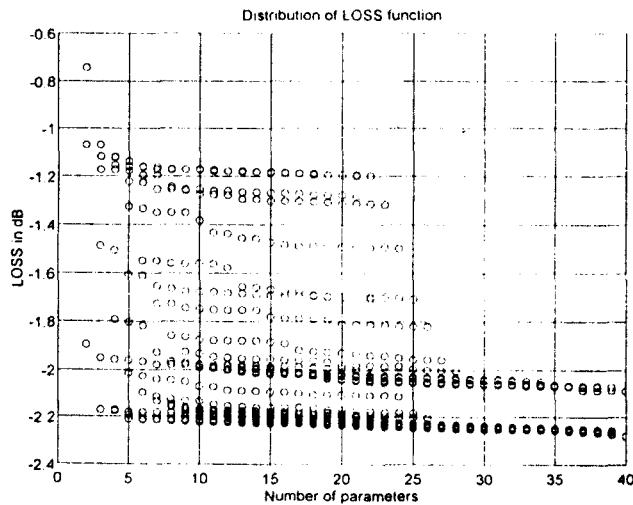


그림 6. 모델 차수와 MSE 분포
Fig. 6. model order and MSE distribution

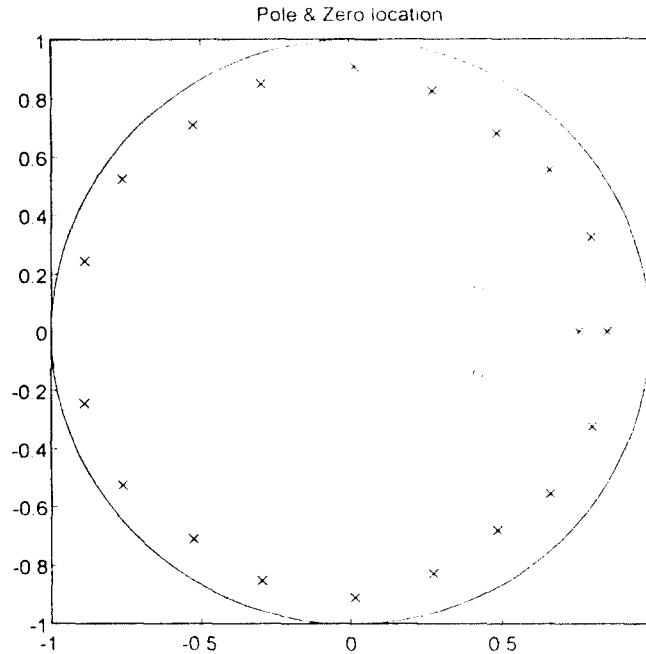


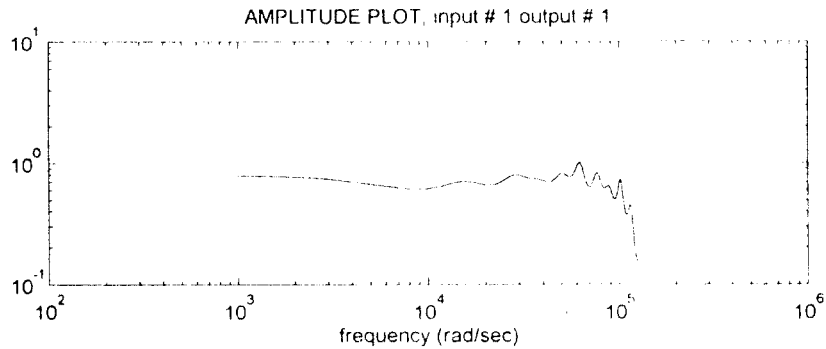
그림 7. pole 과 zero 점의 분포
Fig. 7. distribution of pole and zero point

표 1. 모델링된 디지털 필터의 계수

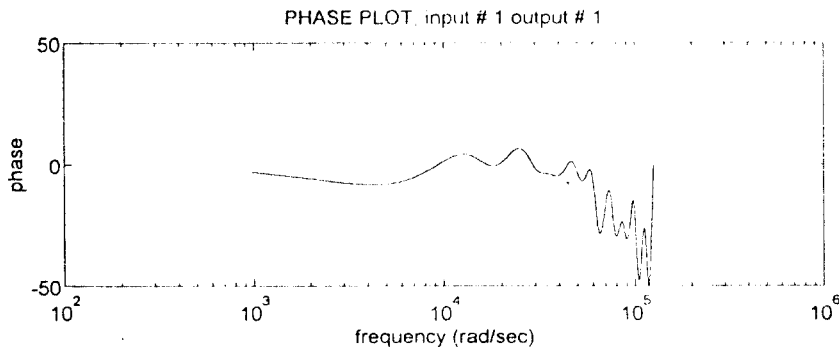
a0	1.000	a14	0.2444
a1	-1.1667	a15	-0.2685
a2	0.8254	a16	0.2264
a3	-0.6039	a17	-0.2355
a4	0.4732	a18	0.2416
a5	-0.4149	a19	-0.1918
a6	0.4080	a20	0.0740
a7	-0.3905		
a8	0.3260		
a9	-0.3170	b1	0.6154
a10	0.2743	b2	-0.5258
a11	-0.2065	b3	0.1253
a12	0.1709		
a13	-0.210		

타내며 그림 8은 필터의 주파수 특성을 진폭과 위상으로 나누어 도시한 것이다.

마지막 단계로 모델의 검증은 모델링된 디지털 필터가 주어진 데이터에 대한 적합성을 보이는 과정을 말하며 입력 신호를 필터에 인가한 후 그 출력을 비교하는 방법과 입력 신호와 모델 출력간의 잔차 신호 (오차 신호)를 비교하는 방법이 있다. ARX 모델링에서는 복수개의 sinusoidal 신호의 가중치 조합에 의하여 출력 신호를 형성하므로 잔차 신호는 백색 잡음과같이 분포하게되며 입력 신호와 잔차 신호간의 상호 상관은 거의 0에 가깝게 된다. 그림 9는 모델의 검증을 위한 것으로 (a)는 모델링을 위한 분석 구간에서 입력을 인가하므로써 필터 모델의 출력과 수신 신호를 나타낸 것이며 (b)는 채널의 시변성에 대한 적합성을 보이기 위하여 다른 분석 구간에서의 필터의 출력 신호와 실제 수신 신호를 나타낸 것이다. (c)는 잔차 신호의 백색성 (whiteness)를 보이기 위하여 자동 상관 함수를 나타낸 것으로 99%의 신뢰 구간을 직선으로 표시하고 있으며 (d)는 신호대 잡음비를 변화시키면서 모델의 출력과 수신 신호와의 MSE를

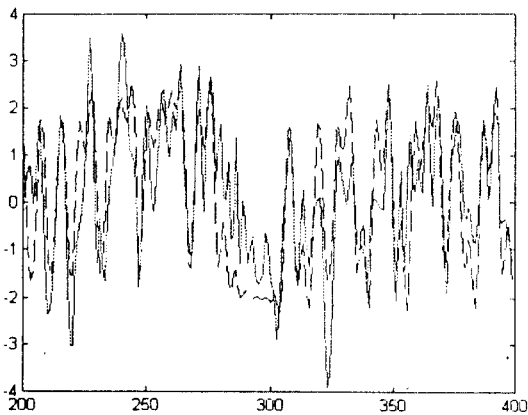


(a) 진폭 응답 특성

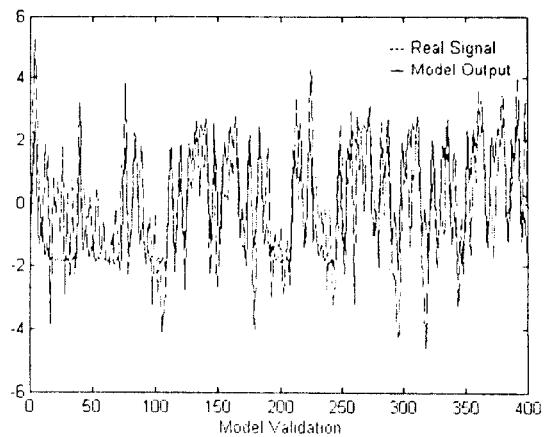


(b) 위상 응답 특성

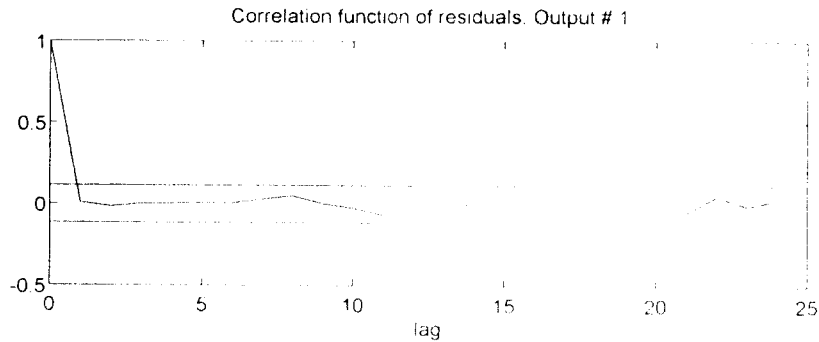
그림 8. 디지털 필터의 주파수 특성
Fig. 8. frequency response of digital filter



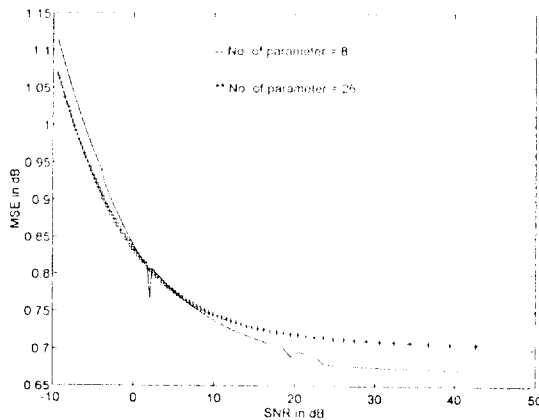
(a) 모델 출력과 수신 신호의 분포 (분석 구간)



(b) 모델 출력과 수신 신호의 분포 (다른 분석 구간)



(c) 잔차 신호의 자동 상관 함수



(d) SNR 대 MSE 분포

그림 9. 모델의 검증
Fig. 9. model validation

나타낸 것으로 신호대 잡음비를 높일 수록 모델링의 오차가 감소하고있다. 모델의 검증 단계 (a), (b)와 (c)에서 양호한 모델링 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

고속, 광대역의 디지털 통신 수요 증가에 맞춰 무선 채널의 이용이 급증하고 있으나 채널의 영향을 보상하기 위하여 수신측의 적응 등화기만으로는 충분한 성능을 얻을 수 없으므로 송/수신국간에 상호 약정된 데이터를 이용하여 송신측에서 채널의 특성을 추정, 이를 보상하여 전송함으로써 기존의 방식보다 더욱 채널의 효과를 줄일

수 있게 될 것이다.

본 논문은 디지털 무선 전송의 경우 채널에서 발생하는 다중 경로 페이딩을 사전 보상하기 위한 채널의 디지털 필터 모델링에 관한 것으로 페이딩 영향을 나타내는 시뮬레이터의 구성과 이를 통과한 신호를 이용하여 디지털 필터로의 모델링 결과를 제시하였다. 논문에서는 먼저 다중 경로 페이딩이 존재하는 채널 모델을 구성한 후 성능 (레벨 교차율, 평균 페이딩 지속 시간 분포)을 이론치와 비교하였으며 실제 페이딩의 영향을 받은 수신 신호와 송신 신호를 이용하여 ARX 모델 알고리즘을 적용함으로써 디지털 필터로의 모델링이 가능함을 보였다. 전파 환경이 열악하지않은 마이크로웨이브와 같은 무선 채널의 경우 송신측에서 채널의 영향을 보상할 수 있음을 보였으나 이동 통신과 같은 환경이 열악한 경우에도 모델링 기법을 사용하여 적절한 보상이 이루어지기 위한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 이종현, 진용옥, "통신로 특성 변화에대한 적응성 부여 방법", 대한전자공학회 논문집, 3월, 1-7페이지, 1992.
2. 이종현, "전송 선로의 전치 보상을위한 전달 함수 추정과 보상 시스템 실현에관한 연구", 경희대학교 대학원 박사 논문, Aug. 1993.
3. R. JOHANSSON, "System Modeling and Identification", Prentice-Hall, 1993.
4. P. EYKHOFF, "System Identification", John Wiley & Sons, 1974.

5. L.L.SCHARF, "Statistical Signal Processing", Addison-Wesley Pub., 1990.
6. R.K.OTNES & L.ENOCHSON, "Digital Time Series Analysis", John Wiley & Sons, 1972.
7. T.A.SEXTON,K.PAHLAVAN, "Channel Modeling and adaptive equalization of indoor radio channel", IEEE Jour. on S.A.C., Vol. 7, No. 1, pp.114-121, Jan. 1989.
8. G.A.ARREDONDO et al, "A Multipath fading simulator for mobile radio", IEEE trans. on V.T., Vol. VT-22, No. 4, pp.241-244, Nov. 1973.
9. E.CASAS,C.LEUNG, "A simple digital fading simulator for mobile radio", IEEE trans. on V.T., Vol. VT-39, No. 3, pp.205-212, Aug. 1990.
10. C.LOO,N.SECORD, "Computer models for fading channels with application to digital transmission", IEEE trans. on V.T., Vol. VT-40, No. 4, pp.700-707, Nov. 1991.
11. W.C.JAKES, "Microwave mobile communication", New York, Wiely 1974.
12. M.D.YACOBUB, "Foundations of mobile radio engineering", CRC Press, 1993.
13. R.L.FREEMAN, "Telecommunication system engineering", John Weley & Sons, 1989.
14. M.A.BLANCO, "A multipath fading model for radio communication systems", Proceeding of the 1993 IEEE V.T. Society, Vol. 2 of 2, pp.1227-1232, 1993.
15. F.DAVARIAN, "Channel simulation to facilitate mobile-satellite communications research", IEEE trans. on COM., Vol. COM-35, No. 1, pp.47-56, Jan. 1987.
16. L.LJUNG, "System Identification: The theory for the user", Prentice Hall, 1987.
17. L.EHRMAN et al, "Real time software simulation of the HF radio channel", IEEE trans. on COM., Vol. COM-30, No. 8, pp.1809-1817, Aug. 1982.
18. A.HEWITT et al, "An Autoregressive approach to the identification of multipath ray parameters from field measurement", IEEE trans. on COM., Vol. COM-37, No.11, pp.1136-1143, Nov. 1989.
19. BYRON J.T.MORGAN, "Element of simulation", Cambridge University Press, 1984.
20. S.J.HOWARD et al, "Autoregressive Modeling of wide-band indoor radio propagation", IEEE trans. on COM.,VOL. COM-40, No. 9, pp.1540-1552, Sep. 1992.
21. R.KUMARESAN, "Identification of rational transfer function from frequency response samples", IEEE trans. on Aero. and Elec. Systems, Vol. 26, No. 6, pp.925-934, Nov. 1990.



林承珪(Seung Gag Lim) 정희원

1983년 8월 : 숭실대학교 전자공학과(학사)
 1985년 8월 : 경희대학교 대학원 전자공학과(석사)
 1985년 10월~1988년 2월 : 한국전자통신연구소 연구원

1988년 10월~1993년 2월 : 삼성전자 정보통신연구소 선임연구원

1993년 10월~현재 : 상지대병설전문대학 사무자동화과
 1991년 8월~현재 : 경희대학교 대학원 전자공학과 박사과정

陳庸玉(Yong Ohk Chin)

정희원

현재 : 경희대학교 전자공학과 교수
 한국통신학회 제20권 제1호 참조