

논문 2014-51-12-2

IEEE 다중경로 채널에서 다중접속 M 진 변조 초광대역 시스템을 위한 개선된 Rake 수신기

(Advanced Rake Receiver for Multiple Access M -ary Modulation UWB
System in the IEEE Multipath Channel)

안진영*

(Jinyoung An[©])

요약

본 논문에서는 다중사용자 간섭이 존재하는 M -ary TH-PPM 시스템에서 확률분포 모델에 기반하는 개선된 초광대역 Rake 수신기법이 연구되었다. Rake 수신기의 성능 향상을 위해서 다중사용자 간섭과 잡음의 혼합 분포를 유연하게 근사할 수 있는 확률모델이 필요하며, 본 연구에서는 라플라스분포와 첨두치 경합(kurtosis matching) 기법이 적용된 일반화된 정규 라플라스 모델이 고려되었다. 각 확률분포에 기반하는 Rake 수신기의 성능이 IEEE 다중 경로 페이딩 채널에서 평가되었고 종래의 Rake 수신기와 비교 되었다. 제안된 접근법은 종래의 Rake 수신기보다 더 우수한 BER 성능을 보인다.

Abstract

In this paper, an advanced UWB (ultra wideband) Rake receiving technique based on the statistical distribution model is studied in the M -ary TH-PPM system with multiple access interference (MAI). In order to improve the performance of the Rake receiver, the stochastic model, which can flexibly express the behavior of MAI-plus-noise, is required and the Laplace distribution and the generalized normal Laplace (GNL) model applied by the kurtosis matching method are considered. The performance of Rake receiver based on each probability distribution is evaluated in the IEEE multipath fading channel and compared to that of the conventional Rake receiver. The suggested approach shows a superior BER performance than that of conventional Rake receiver.

Keywords : M -ary PPM, Stochastic Model, Rake, Generalized Normal Laplace (GNL), kurtosis matching

I. 서론

초광대역 (UWB: ultra wideband) 통신은 단거리 무선 시스템의 고속 데이터 전송을 위한 해결책으로 많은 연구가 이루어지는 분야이다^[1~3]. 비동기 초광대역 통신

에서는 다중사용자간의 신호 간섭을 줄이기 위해 Time Hopping (TH) 방식을 사용할 수 있으며, UWB 펄스의 모양이나 전송 대역의 변화없이 전송률을 개선하기 위해 M -ary TH-PPM (pulse position modulation) 신호 전송 방식이 사용될 수 있다^[4]. 상기 UWB 응용 펄스는 Binary-PPM (BPPM) 전송 방식에 비해 $\log_2 M$ 배의 속도 향상 효과를 얻을 수 있다^[4].

최근 비동기 다중사용자 UWB 시스템 분야에서는 다중접속간섭 (MAI: multiple access interference) 신호 제거를 위해 MAI 신호를 특정 확률 분포로 근사하고, 이에 기반한 수신기를 설계하여 성능을 개선시키는 연

* 정회원, 울산대학교 자동차조선 전자융합기술 사업단 (Automobile/Ship Electronics Convergence Center, University of Ulsan)

© Corresponding Author(E-mail: jyan14@ulsan.ac.kr)

접수일자: 2014년09월17일, 수정일자: 2014년10월28일

게재확정: 2014년11월27일

구가 진행되고 있다^[5-9]. 기존의 가우시안 근사법을 이용한 MAI 신호 분석은 다소 부정확한 결과를 보이며, 라플라스 분포에 기반하여 설계된 SL (soft-limiting) 수신기는 MAI 신호가 강한 제한된 통신 환경에서 우수한 신호 검출 능력을 보인다^[5]. 한편 일반화된 정규 라플라스 (GNL: gneralized normal Laplace) 분포는 UWB 환경의 MAI 분포를 유연하게 잘 나타낼 수 있어, 비-가우시안 환경 시뮬레이션을 위한 적합한 후보 모델로 보고되고 있다^[6-8]. 특히 신호 분포의 kurtosis (첨두치) 값을 이용하는, GNL-KM(kurtosis matching) 모델은 신호 대 잡음 비(SNR: signal to noise ratio)가 높은 영역에서도 확률 분포 중심의 충격성(impulsive characteristic)과 긴 꼬리의 특성을 유연하게 잘 나타낼 수 있어, 이상적인 단일경로 채널환경에서 다중접속 이진 UWB 시스템의 수신기 개선을 위한 적합한 확률 분포 모델로 분석 되었다^[10]. 한편 실제 실내 무선 환경은 수많은 반사파의 조합으로 이루어져 있으며, 좀 더 현실적인 수신기 설계를 위해 다중경로 환경에서의 수신기 성능 평가가 요구된다.

따라서 본 연구는 다중경로 채널환경에서 M -ary TH-PPM 펄스를 사용하는 UWB 시스템의 성능 향상을 위해 확률분포 모델에 기반하는 개선된 수신기를 설계하고, 그 성능을 분석한다. IEEE 다중경로 채널에서 MAI 신호 분포는 가운데가 뾰족하고(sharp) 측면이 가늘고, 꼬리가 긴 특징을 가지며, 이를 정확히 모델링하기 위해 Laplace 분포와 GNL-KM 분포를 사용 한다. 상기 확률 분포에 기반하여 M -ary TH-PPM 신호 검출을 위한 새로운 Rake 수신기가 제시되었고, 그 성능이 종래의 Rake 수신기와 비교 평가 되었다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 N_u 명의 비동기 통신을 위해 M -ary TH-PPM UWB 펄스를 사용한다. v 번째 사용자를 위한 전송 신호 $s^{(v)}(t)$ 는 다음과 같이 표기된다^[4,9].

$$s^{(v)}(t) = A_v \sqrt{E_s/N_s} \times \sum_{k=-\infty}^{\infty} p(t - kT_s - c_k^{(v)}T_c - \delta d_{\lfloor k/N_s \rfloor}^{(v)}) \quad (1)$$

여기서 v 번째 사용자의 k 번째 전송 데이터는 $d_{\lfloor k/N_s \rfloor}^{(v)} \in \{0, 1, \dots, M-1\}$ 로 정의한다. $\lfloor k/N_s \rfloor$

는 k/N_s 의 가까운 정수로의 내림 연산을 의미하며, m 번째($m = 0, \dots, M-1$) 심볼은 PPM 이동 성분 δ 에 의해 $m\delta$ 만큼 이동한다. (1)의 각 파라미터는 다음과 같이 정의 한다: A_v 는 v 번째 사용자의 채널이득; E_s 는 심볼 에너지; N_s 는 심볼 반복수; $p(t)$ 는 지속시간이 T_p 이고 단위 에너지를 가지는 2차 가우시언펄스; T_s 는 프레임 시간; $c_k^{(v)} \in \{0, \dots, N_h - 1\}$ 는 v 번째 사용자의 k 번째 TH 코드; N_h 는 프레임당 칩 개수; T_c 는 칩 지속 시간을 의미한다. M -ary TH-PPM 시스템에서 펄스 이동 시간은 $\delta \geq T_p$ 로 정의하며, T_c 는 $T_c > M\delta$ 이고 하나의 데이터 전송을 위해 $N_s T_s$ 의 시간을 사용한다^[4,9].

이제 각 사용자로부터 전송된 신호는 다음과 같은 IEEE 이산 채널 응답 모델을 통과하게 된다^[11-14].

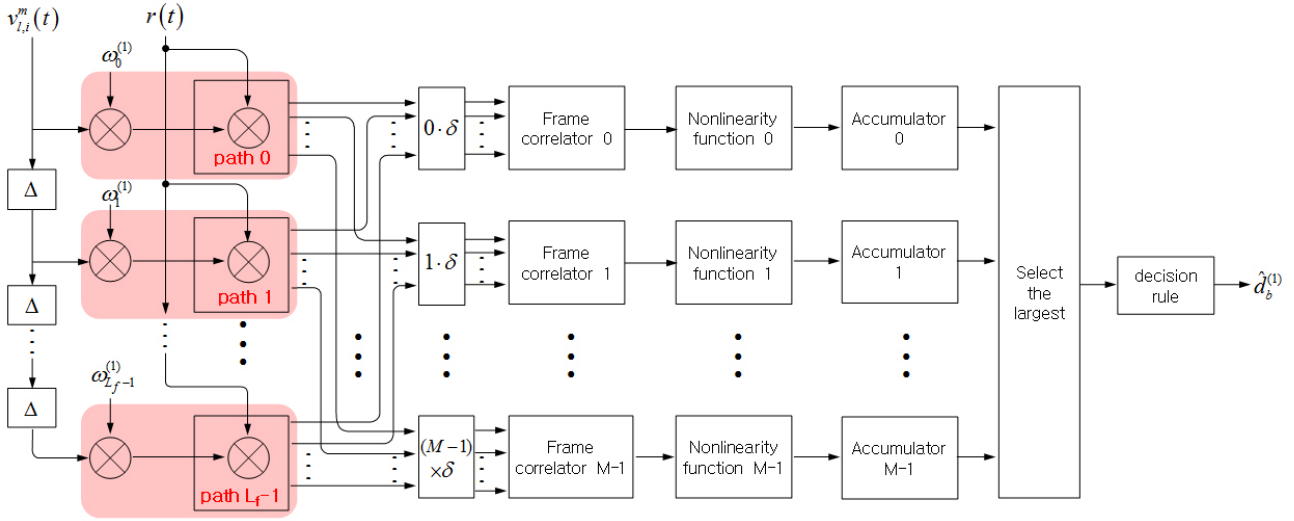
$$h^{(v)}(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l^{(v)} \delta(t - \tau_v - l\Delta) \quad (2)$$

여기서 L 은 총 다중경로 수이고, $\alpha_l^{(v)}$ 는 v 번째 사용자의 l 번째 경로 이득이고, τ_v 는 v 번째 사용자의 지연 시간이며, 시간 영역 $[0, N_s T_s)$ 에서 균일 분포한다. 상기 채널모델은 IEEE 802.15.3a 표준 UWB 채널 모델의 이산시간 등가 채널 응답이며, Δ 는 이산 경로의 시간 간격을 의미한다^[11]. 그러면 IEEE 채널을 통과한 수신 신호는 다음과 같다^[12].

$$r(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l^{(1)} s^{(1)}(t - \tau_1 - l\Delta) + \sum_{v=2}^{N_u} \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l^{(v)} s^{(v)}(t - \tau_v - l\Delta) + n(t) \quad (3)$$

여기서 $n(t)$ 는 분산이 $N_0/2$ 인 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN: additive white Gaussian noise)이다.

이제 전송된 신호 검출을 위해, 먼저 M 개의 상관기를 사용하여 각 m 번째 상관기의 출력을 얻는다. 일관성 있는 시스템 성능 분석을 위해 첫 번째 사용자의 b 번째 신호, $d_b^{(1)} = 0$, 검출을 가정한다. 바람직한(desired) 사용자 신호의 프레임별 동기가 정확히 일치하고 수신기에서 바람직한 사용자의 채널 정보를 정확히 알고 있다고 가정할 경우, 참조 상관펄스 $v_{l,i}^m(t) = \sqrt{N_s/E_b} p(t - iT_s - c_i^{(1)}T_c - m\delta - l\Delta)$ 를 사용하는 각 m 번째 상관기의 i 번째 프레임의 l 번째 경로에서

그림 1. GNL분포에 기반하는 새로운 M -ary Rake 수신기Fig. 1. Novel M -ary Rake Receiver based on the GNL distribution.

상관 출력 신호는 다음과 같다^[4,9].

$$R_{l,i}^m = \int_{l\Delta + iT_s}^{(l+1)\Delta + iT_s} r(t)v_{l,i}^m(t)dt \quad (4)$$

$$= \begin{cases} S_{l,i} + I_{l,i}^m + N_{l,i}^m & \text{if } m = 0, \\ I_{l,i}^m + N_{l,i}^m & \text{if } m \neq 0, \end{cases} \quad m = 0, \dots, M-1$$

여기서 $S_{l,i}$, $I_{l,i}^m$, $N_{l,i}^m$ 은 각각 참조신호 $v_{l,i}^m(t)$ 와의 상관 출력에서 바람직한 사용자신호, MAI, 잡음 출력 신호를 의미한다. UWB 펄스 $p(t)$ 와 시간 x 만큼 이동한 $p(t)$ 의 자기 상관 함수를 $R(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p(t-x)p(t)dt$ 로 정의할 경우, (4)에서 $S_{l,i} = A_1\alpha_l^{(1)}R(0)$ 이고, $N_{l,i}^m$ 은 평균이 0, 분산이 $N_sN_0R(0)/2E_s$ 인 상관 출력 잡음신호이다. m 번째 상관기에서 부분 상관 출력 MAI 신호는 이산 IEEE 다중경로 모델^[11, 13]과 M -ary PPM 단일 경로 상관출력^[4]을 이용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$I_{l,i}^m = \sum_{v=2}^{N_u} A_v \left\{ \sum_{l_1} \alpha_{l_1}^{(v)} R(T_k^{(v,1)} + (d_{\lfloor k/N_s \rfloor}^{(v)} - m)\delta + \beta^{(v)}) + \sum_{l_2} \alpha_{l_2}^{(v)} R(T_{k-1}^{(v,1)} + (d_{\lfloor k-1/N_s \rfloor}^{(v)} - m)\delta + \beta^{(v)}) \right\} \quad (5)$$

여기서 두 개의 덧셈(sum)항은 각각 바람직한 사용자의 i 번째 프레임의 참조신호와 v 번째 사용자의 k 번째 (현재) 프레임과의 상관 출력과 v 번째 사용자의 $k-1$ 번째(이전) 프레임과의 상관 출력을 의미한다. v 번째

사용자의 k 번째 또는 $k-1$ 번째 프레임의 l_q ($l = 0, 1, \dots, L-1$, $q = 1, 2$) 번째 경로에 대한 각 상관 출력은 완전 중첩 (full overlap) 또는 부분 중첩 (partial overlap) 형태로 발생 한다. $T_k^{(v,1)}$ 과 $T_{k-1}^{(v,1)}$ 은 각각 $T_k^{(v,1)} = (c_k^{(v)} - c_i^{(1)})T_c + (l_1 - l)\Delta$ 와 $T_{k-1}^{(v,1)} = (c_{k-1}^{(v)} - c_i^{(1)})T_c - T_s + (l_1 - l)\Delta$ 를 의미하고, $\beta^{(v)}$ 는 바람직한 사용자와 v 번째 사용자의 지연 시간차, $\tau_v - \tau_1 = i^{(v)}T_s + \beta^{(v)}$ 에서 유도하였다. 여기서 $i^{(v)}$ 는 바람직한 사용자의 i 번째 프레임에 가장 인접한 v 번째 사용자의 프레임 인덱스이고, $k + i^{(v)} - i = 0$ 을 만족하며, $\beta^{(v)} = \text{mod}((\tau_v - \tau_1), T_s)$ 이고, $[0, T_s)$ 구간에서 균일 분포한다. 이제 MAI 신호와 잡음의 혼합 성분은 하나의 비-가우시안 잡음으로 해석할 수 있으며 $Y_{l,i}^m = I_{l,i}^m + N_{l,i}^m$ 로 정의한다.

III. M -ary TH-PPM 시스템을 위한 개선된 Rake 수신기

기존의 이전 TH UWB 시스템에서는 효과적인 MAI 성분 제거를 위해, 실제 MAI 분포를 특정한 확률 분포로 근사하고, 상기 확률 분포를 로그 가능성 비(log-likelihood ratio)에 의해 설계한 개선된 수신기를 사용하였다^[5-8]. 예로 라플라스분포에 기반한 SL(soft-limiting) 수신기, GNL(generalized normal Laplace) 분

포에 기반하는 GNL 수신기는 TH-BPSK UWB 시스템에서 CMF 수신기 보다 우수한 BER 성능을 보인다^[5, 8].

M-ary TH-PPM 시스템 또한 성능 개선을 위해 상기 확률 분포에 기반하여 수신기를 설계할 수 있다. 성능 향상을 위한 새로운 Rake 수신기 구조는 그림 1과 같으며, 경로별 신호출력과정, M개의 상관기, M개의 비선형 함수, M개의 누산기, 큰 신호 선택기로 구성되어 있다. 수신된 신호는 먼저 경로별($l = 0, \dots, L_f - 1$)로 완벽하게 분리됨을 가정하며, M개의 상관기로 입력되어 각각 부분 상관 출력된다. 다음으로 비선형함수를 통해 간섭신호 성분을 확률적으로 감소시키며, 누산기에서는 연관성 신호 검출을 위해 각 프레임에서 경로 출력 신호를 결합한다. 최종 검출 신호는 큰 신호 선택기를 통해 누산기 출력 중 가장 큰 값을 선택하여 다음과 같이 검출한다^[4].

$$\hat{d}_b^{(1)} = \arg_{m \in \{0, 1, \dots, M-1\}} \max(D_m) \quad (6)$$

여기서 D_m 은 m번째 누산기의 출력 $D_m = \sum_{i=1}^N \sum_{l=0}^{L_f-1} \omega_l^{(1)} z(R_{l,i}^m)$ 이며, $\omega_l^{(1)}$ 은 경로별 가중치이다. $z(R_{l,i}^m)$ 은 아래식과 같이 M-ary TH-PPM 시스템에서의 비선형함수 출력이고, 사용된 확률밀도함수 (PDF: probability density function) $f_{PDF}(R_{l,i}^m)$ 의 로그 가능성비에 의해 정의된다^[9].

$$z(R_{l,i}^m) = \ln \left[\frac{f_{PDF}(R_{l,i}^m - S_{l,i})}{f_{PDF}(R_{l,i}^m)} \right] \quad (7)$$

여기서 확률 분포 $f_{PDF}(R_{l,i}^m)$ 을 라플라스 분포^[5] 또는 GNL-KM 분포^[10]로 근사할 수 있으며, 각각의 PDF는 다음과 같다.

$$f_{SL}(x) = \frac{1}{2c_x} \exp\left(\frac{-|x - \mu_x|}{c_x}\right) \quad (8)$$

$$f_{KM}(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \text{Re} \{ \phi_{GNL}(w) \exp(jwx) \} dw \quad (9)$$

수식 (8)에서 μ_x 와 c_x ($2c_x^2 = \text{var}(x)$)는 각각 상관기 출력 신호 (4)의 평균과 분산에서 유도하며, (9)에서 ϕ_{GNL} 은 GNL 특성방정식, $\phi_{GNL} = \exp(-\rho\sigma^2 w^2/2) \times \exp(j\rho\mu w)(\alpha\beta)^\rho / ((\alpha - jw)(\beta + jw))^\rho$ 을 나타낸다

^[6-8]. GNL 파라미터는 MME (method of moment estimation) 방법을 통해 얻을 수 있으며^[6], μ 는 분포의 평균, σ^2 은 GNL분포의 퍼짐정도를 나타낸다. α 와 β 는 분포의 꼬리(tail) 모양을 결정하며, 본 연구에서는 대칭 분포($\alpha = \beta$)를 가정하였다. 파라미터 ρ 는 분포의 중앙에서 뾰족한 정도(sharpness)와 꼬리의 모양에 영향을 주며, 값이 감소할수록 분포의 중앙이 더욱 날카로워지고, 측면이 가늘어 진다. GNL 분포는 특별한 경우를 제외하면, 현재까지 닫힌 형식(closed form)의 PDF 수식이 발견되지 않았으며, 수식 (9)와 같이 특성방정식의 수치상 반전(numerical inversion)을 통해서 PDF를 구할 수 있다^[6-8].

한편 페이딩 채널에서 실제 간섭 성분의 분포는 SNR이 증가함에 따라 분포의 중앙이 더욱더 날카롭고, 측면이 가늘며, 꼬리가 길어지는 특성이 있다. 본 연구에서는 실제 MAI 분포(날카로운 피크, 긴 꼬리)에 더욱 근접하는 PDF 모델링을 위해 나머지 GNL 파라미터 ($\alpha, \beta, \mu, \sigma$)는 고정하고, ρ 값을 분포의 kurtosis 값에 따라 적용시키는 KM 방법을 사용하며, 사용된 파라미터를 ρ_{KM} 이라고 정의한다^[10]. 개선된 ρ 값을 얻기 위해서는 (10), (11)과 같이 정의되는 실제 kurtosis(κ_{act})와 GNL kurtosis(κ_{GNL})를 정합하여 (12)와 같이 얻을 수 있다^[10].

$$\kappa_{act} = \frac{E[I^4]}{E[I^2]^2} - 3 \quad (10)$$

$$\kappa_{GNL} = \frac{6(\alpha^4 + \beta^4)}{\rho(\sigma^2\alpha^2\beta^2 + \alpha^2 + \beta^2)^2} \quad (11)$$

$$\rho_{KM} = \frac{6(\alpha^4 + \beta^4)}{\kappa_{act}(\sigma^2\alpha^2\beta^2 + \alpha^2 + \beta^2)^2} \quad (12)$$

여기서 $E[\chi]$ 는 χ 의 기댓값을 의미한다. 이제 수식 (8)과 수식 (9)에 기반하여 새롭게 설계한 Rake 수신기를 각각 SL-Rake와 GNL-KM-Rake 라 부른다.

그림 2는 높은 SNR 조건($SNR = 35dB$)에서 방해 성분 샘플의 분포(Simulated)와 근사된 PDF (Gaussian, Laplace, GNL-KM)의 곡선을 보여준다. 앞서 언급하였듯이 실제 MAI 분포는 가운데가 날카롭고, 측면이 가늘며, 꼬리가 긴 특성을 보이며, 기존의 Gaussian 분포는 높은 SNR영역에서 그 특성을 정확히 표현하지 못한

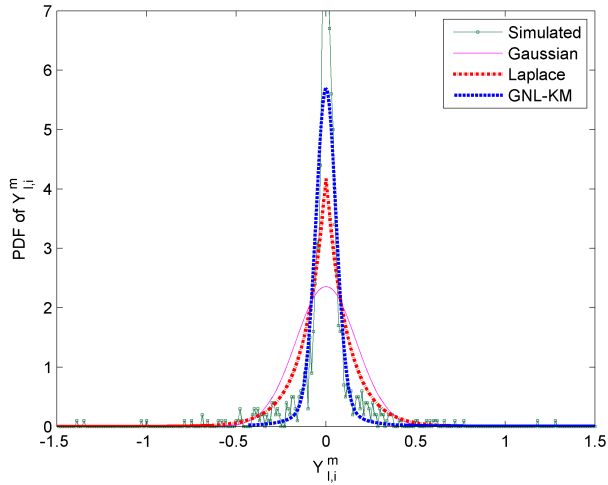


그림 2. MAI 와 잡음 혼합 환경에서 PDF 근사
Fig. 2. PDF approximation in the MAI-plus-Noise environment.

다. 한편 제시된 GNL-KM 접근법은 요구하는 분포 특성을 잘 만족하고, 가장 MAI 분포에 근접함을 알 수 있다.

한편 PDF 근사는 (13)을 이용하는 KL(Kullback-Leibler)-divergence 방법으로 분포의 차이를 수치적으로 분석할 수 있다^[15].

$$D_{KL}(f_1||f_2) = \sum_x f_1(x) \ln \frac{f_1(x)}{f_2(x)} \quad (13)$$

여기서 $D_{KL}(f_1||f_2)$ 은 확률 분포 $f_1(x)$ 과 $f_2(x)$ 사이의 로그 차(logarithmic difference)의 기댓값을 나타낸다. 기댓값은 확률 $f_1(x)$ 을 가중하여 취하며, $f_2(x)$ 가 $f_1(x)$ 에 흡사할수록 0에 가까운 값을 가진다. 표 1은 높은 SNR 영역($SNR = 30 \sim 40$ dB)에서 실제 간섭성분의 분포($f_1(x)$)와 사용된 PDF 모델($f_2(x)$):

표 1. KL-divergence 방법을 이용한 분포의 차이 분석
Table 1. Analysis of the distribution difference using the KL-divergence method.

$f_2(x)$ SNR(dB)	Gaussian	Laplace	GNL-KM
30	0.4707	0.1392	0.1350
32	0.4990	0.1491	0.1422
34	0.5512	0.1745	0.1557
36	0.5954	0.2034	0.1860
38	0.6464	0.2350	0.2047
40	0.6866	0.2575	0.2284

Gaussian, Laplace, GNL-KM)과의 D_{KL} 출력을 보여 준다. 표에서 GNL-KM 분포의 D_{KL} 값은 Laplace 분포와 유사하거나 더 작은 값을 가지며, 높은 SNR 영역에서 실제 분포($f_1(x)$)에 좀 더 흡사한 것을 알 수 있다. 실제 간섭성분의 분포와 유사한 PDF 모델에 기반하여 설계된 수신기는 높은 확률로 MAI 성분을 제거할 수 있으며, 제시된 GNL-KM-Rake 수신기의 신호 검출 능력이 기존의 Rake (CMF-Rake, SL-Rake) 수신기보다 더 우수할 것이라 예상할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

IEEE 802.15.3a 다중 경로 채널 환경에서 제안하는 Rake 수신기의 성능 평가를 위해, CMI 채널을 사용하며^[13], 채널이득 중 강한 경로성분을 결합하는 SRake (selective Rake) 방식을 채택한다^[14, 16]. 각 Rake 수신기의 파라미터 추정을 위해 1000개의 훈련비트를 사용하며, SNR은 $SNR = E_s/N_0$ 로 정의한다. 신호 대 간섭 신호의 비(SIR: signal to interference ratio)는 $SIR = A_1^2/A_v^2$ 로 정의하며, 각 간섭 사용자 신호의 크기가 동일함($A_v = A_2 = \dots = A_{N_u}$)을 가정하였다. M-ary TH-PPM 신호 전송을 위해 다음의 시스템 파라미터를 사용 한다: $E_s = 1$, $M = 4$, $N_s = 4$, $N_u = 3 \sim 70$, $L_f = 1, 2, 5$, $N_h = 8$, $T_p = 0.167 ns$, $\delta = 0.9 ns$, $T_c = M \times \delta ns$, $T_s = N_h T_c + T_{m ds} ns$.

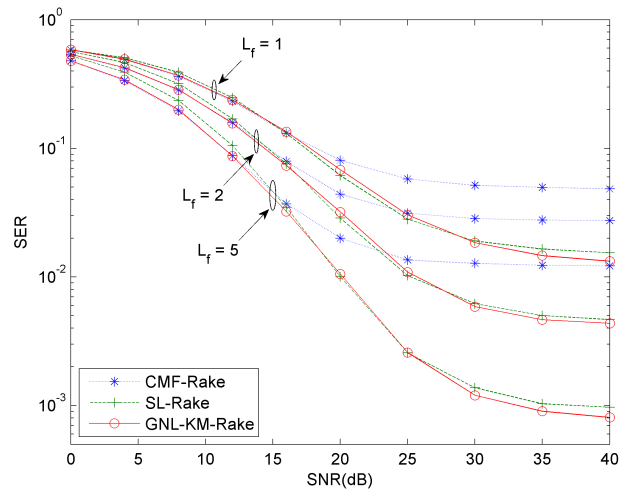


그림 3. SNR 증가에 따른 SER 출력 ($L_f = 1, 2, 5$)
Fig. 3. SER outputs as increasing SNR ($L_f = 1, 2, 5$).

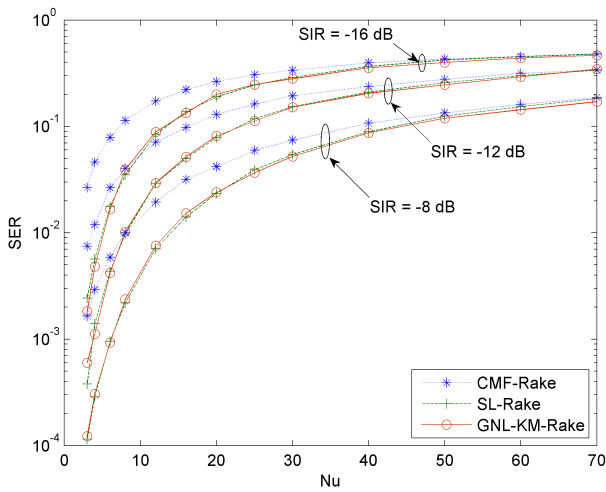


그림 4. 사용자수 증가에 따른 SER 출력
($SIR = -16, -12, -8dB$)
Fig. 4. SER outputs as increasing number of users.
($SIR = -16, -12, -8dB$)

여기서 $T_{m_{ds}}$ 는 채널의 평균지연확산 (mean delay spread) 시간을 의미하며, 프레임 구간마다 $T_{m_{ds}} = 200 \times \Delta ns$ 시간을 두어 심볼 간 간섭을 방지하고 심볼의 폭을 이산 채널 시간 간격과 동일하게 ($T_p = \Delta$) 두어 경로 간 간섭이 없음을 가정한다^[11].

그림 3은 $SIR = -12dB$, $N_u = 4$ 인 환경에서 결합된 SRake 수가 $L_f = 1, 2, 5$ 인 경우의 수신기 성능을 보여준다. 결과로부터 SNR이 증가함에 따라 새롭게 제안하는 GNL-KM-Rake 수신기의 SER (symbol error rate) 성능이 기존의 Rake 수신기(CMF-Rake)의 성능보다 우수하며, 적용된 SRake 수가 증가할수록 CMF-Rake 수신기에 비해 더 많은 경로 이득을 얻고 SER 값이 크게 향상됨을 알 수 있다. SL-Rake의 경우 SNR이 낮은 영역(15dB 이하)에서 높은 SER값을 보이며, 적용된 경로 수가 증가할수록 성능열화가 뚜렷해진다. 한편 기존의 Rake 수신기법은 $SNR = 25dB$ 이후부터 SER 곡선이 포화(saturation)되는 반면, GNL-KM-Rake 수신기는 $SNR = 35dB$ 범위까지 성능 향상을 보인다.

그림 4에서는 인접 통신환경 안에서 사용자 수 변화에 따른 SER 성능이 분석되었다. 적용된 Rake 수는 $L_f = 5$, $SNR = 30dB$, $N_u = 3 \sim 70$ 을 제외하면 나머지 파라미터는 앞의 시뮬레이션과 동일하다. $N_u = 20$ 이하인 영역에서 사용자수 증가에 따른 각 Rake 수신기의 성능은 급격한 열화를 보이며, 20명 이

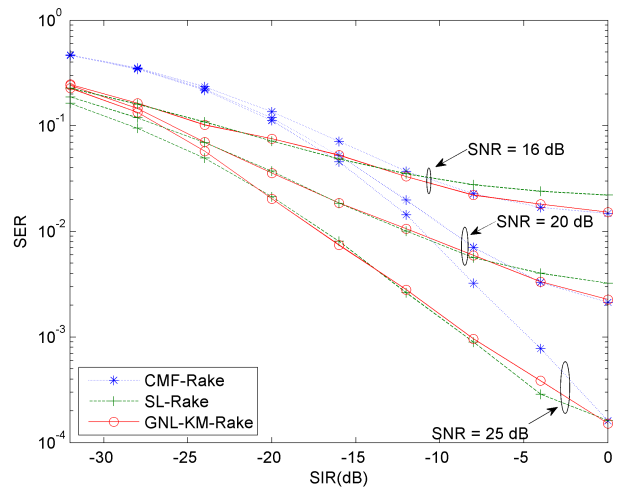


그림 5. SIR 증가에 따른 SER 출력
($SNR = 16, 20, 25dB$)
Fig. 5. SER outputs as increasing SIR.
($SNR = 16, 20, 25dB$)

상인 영역에서는 각 수신기 출력의 곡선 기울기가 완만해지고 수렴하게 된다. 특히 $SIR = -16, -12dB$ 경우의 SL-Rake, GNL-KM-Rake의 각 곡선은 $N_u = 50$ 이상부터 CMF 수신기의 성능에 거의 근접하며, 간섭 성분의 확률 분포는 Gaussian 형태가 됨을 예상할 수 있다.

그림 5는 $L_f = 5$, $N_u = 4$, $SNR = 16, 20, 25dB$ 이고 나머지 조건은 동일한 환경에서 SIR 변화에 따른 SER 결과를 시뮬레이션 하였다. 결과그림에서 SIR이 낮은 영역($SIR = -32dB$)은 MAI 간섭이 지배적인 환경이고, SIR이 높은 영역($SIR = 0dB$)은 가우시안 잡음의 영향이 더 큰 환경이다. 따라서 MAI 성분을 높은 확률로 제거하는 SL-Rake 수신기는 SIR이 낮은 영역에서 다른 수신기보다 뛰어나거나 유사한 SER 성능 보이는 반면, SIR이 높은 영역에서는 SNR 조건이 25dB에서 16dB로 감소함에 따라 성능 열화가 가속화 되는 것을 관찰할 수 있다. GNL-KM-Rake 수신기는 SIR이 낮은 환경에서는 SL-Rake 수신기의 성능에 근접하고, SIR이 높은 환경에서는 Gaussian 잡음에 강한 CMF-Rake 수신기보다 우수하거나 유사한 성능을 보인다. 즉, 제안된 수신기법은 두 가지 극한 환경에서 SL-Rake 또는 CMF-Rake 수신기의 성능 중에서 우수한 수신기의 포락선을 따르며, 유연하게 성능 변화를 보이는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

IEEE 802.15.3a 다중 경로 채널 환경에서 M-ary TH-PPM 펄스를 사용하는 UWB 시스템의 성능평가를 위해 확률분포에 기반하는 Rake 수신기를 도입하였다. 제안하는 GNL-KM 분포는 페이딩 환경에서 기존에 연구된 확률분포보다 유연하게 간섭신호의 분포를 잘 근사하고, 이에 기반하여 설계한 GNL-KM-Rake 수신기는 종래의 Rake 수신기보다 뛰어난 경로 이득을 보였다. 특히 MAI의 영향이 큰 환경과 AWGN이 강한 환경에서 각각 최적의 수신기의 성능에 근접함을 알 수 있으며, SNR이 높은 환경에서 뛰어난 신호 검출 능력을 관찰할 수 있었다. 확률분포에 기반하여 UWB Rake 수신기를 설계하고 분석하는 본 실험은 근거리 무선 통신 분야의 주요 도전 과제인 수신기 구조 간소화와 간섭에 강인한 수신기 설계라는 문제를 해결하는데 있어서 의미 있는 연구가 될 것이다.

REFERENCES

- [1] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: how it works," *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 2, no. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [2] J. Lee, G. Yoon, M. Ka, and M. Park, "Ultra Wide Bandwidth Communication System," *IEEK*, vol.28, no. 5, pp.101-106, May 2001.
- [3] J. Bae, Y. Choi, and J. Kim, "Performance Analysis of TWR Positioning Technique with Ultra Wideband in Indoor Channel," *IEEK*, vol.47-TC, no. 7, pp.18-22, July 2010.
- [4] Q. F. Zhou and F. C. M. Lau, "Analytical performance of M-ary time-hopping orthogonal PPM UWB systems under multiple access interference," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 56, no. 11, pp. 1780-1784, Nov. 2008.
- [5] N. C. Beaulieu and B. Hu, "Soft-limiting receiver structures for time-hopping UWB in multiple-access interference", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, pp.810-818, Mar. 2008.
- [6] S. Kim, "Detector for signals in generalised normal-Laplace distributed noise," *IET Electron. Lett.*, vol. 46, no. 10, pp. 683-684, May 2010.
- [7] S. Kim, "Reliability of generalized normal Laplacian distribution model in TH-BPSK UWB systems," *IEICE Trans. Fundamen.*, vol. E94-A, no. 8, pp. 1772-1775, Aug. 2011.
- [8] J. An and S. Kim, "A novel receiving technique for multi-user interference in TH-UWB system," *Proc. IEK Summer Conference*, pp. 15-17, June 2011.
- [9] J. An and S. Kim, "Performance Evaluation of Advanced Receivers for Multi-user at M-ary TH-PPM UWB System," *Proc. IEK Summer Conference*, pp.2557-2559, June 2011.
- [10] J. An and S. Kim, "An improved UWB receiver employing generalized normal-Laplacian distribution model," *IEICE Electron. Express*, vol.8, no. 18, pp. 1505-1510, Sept. 2011.
- [11] D. I. Kim, "Near-Optimal and Suboptimal Receivers for Multiuser UWB Impulse Radio Systems in Multipath," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 57, no. 10, pp. 3001-3011, Oct. 2009.
- [12] H. Shao and N. C. Beaulieu, "An analytical method for calculating the bit error rate performance of rake reception in UWB multipath fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 4, pp. 1112-1120, Apr. 2010.
- [13] J. R. Foerster, "Channel Modeling Sub-Committee Report (final)," *IEEE P802.15-02/490r1-SG3a*, Feb. 2003.
- [14] M. D. Benedetto and G. Giancola, *Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals*, Prentice Hall, NJ, 2004.
- [15] S. Moon, T. Choi, Y. Park, D. Youn, "An Efficient Feature Selection Algorithm Based on Kullback-Leibler Divergence for Music Information Retrieval," *Proc. ITC-CSCC*, pp. 524-525, July 2007.
- [16] M. Z. Win, G. Chrisikos, and N. R. Sollenberger, "Performance of RAKE Reception in Dense Multipath Channels: Implications of Spreading Bandwidth and Selection Diversity Order," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 18, no. 8, pp. 1516-1525, Aug. 2000.

저 자 소 개



안 진 영(정회원)

2007년 2월 동아대학교 전기전자
컴퓨터공학부(전자전공)
학사 졸업.

2009년 2월 동아대학교 대학원
전자공학과 석사 졸업.

2013년 2월 동아대학교 대학원
전자공학과 박사 졸업.

2013년 3월~2014년 3월 동아대학교 정보기술
연구소 박사후과정

2014년 4월~현재 울산대학교 자동차조선
전자융합기술 사업단 연구교수

<주관심분야 : 이동/무선통신, UWB, MIMO,
OFDM>