

# 잡음 변화에 강인한 초광대역 다중접속 검파 기법

종신회원 박 소 령\*, 윤 석 호\*\*°

## A Detection Scheme Robust to Noise Variation in UWB Multiple Access Environments

So Ryoung Park\*, Seokho Yoon\*\*° *Lifelong Members*

### 요 약

이 논문에서는 초광대역 다중접속 시스템에서 검파 성능을 높일 수 있도록, 신호 세기가 약할 때 채널의 충격성 변화에 강인한 새로운 검파 기법을 제안한다. 제안한 검파기는 채널 잡음이 정규 분포( $\alpha = 2$ 인 대칭 알파-안정 분포)일 때는 정규 최적 검파기와 결정 기준이 동일하도록, 채널 잡음이 코쉬 분포( $\alpha = 1$ 인 대칭 알파-안정 분포)일 때는 코쉬 국소 최적 검파기와 결정 기준이 동일하도록 설계되었고, 모의실험에서도 각 경우에 비트오류율의 성능이 동일함을 확인할 수 있다. 채널 잡음이 그 밖의  $\alpha$ 를 갖는 대칭 알파-안정 분포일 때에도 제안한 검파기가 정규 최적 검파기나 코쉬 국소 최적 검파기보다 약한 신호를 검파하는 성능이 우수하다는 것을 모의실험을 통해 보인다.

**Key Words** : ultra wideband (UWB) system, multiple access, weak signal detection, impulsive noise

### ABSTRACT

In this paper, we propose a detection scheme for ultra wideband (UWB) multiple access (MA) systems. The proposed detection scheme for weak signals is robust to the variation of impulsiveness which is the general characteristic of channel noise in UWB-MA environments. The proposed detection criterion has been designed in order that it can be equal to the optimum criterion for Gaussian (symmetric  $\alpha$ -stable (S $\alpha$ S) when  $\alpha = 2$ ) noise, and also equal to the locally optimum (LO) criterion for Cauchy (S $\alpha$ S when  $\alpha = 1$ ) noise. Numerical results show that the proposed detector has the same performance as the Gaussian-optimum (GO) detector in Gaussian channel, the same performance as the Cauchy-LO (CLO) detector in Cauchy channel, and better performance than the GO and CLO detector in S $\alpha$ S channel with  $0 < \alpha < 1$  and  $1 < \alpha < 2$  when the signal is of small amplitude.

### 1. 서 론

초광대역(ultra wideband: UWB) 전송 기술은 미국 국방부가 군사적 목적으로 개발한 무선 기술로써, 지난 20년 동안 주로 보안이 요구되는 국방 관련 통신 시스템 및 레이다 등에 사용되었고, 사용 주파수 대역

이 넓어 다른 무선 통신 시스템과 충돌 현상을 일으킬 수 있어 연방통신위원회(Federal Communications Commission: FCC)가 일반 사업자의 사용을 금지해 왔다. 하지만 늘어나는 무선 통신 기기들을 위한 주파수 부족 현상을 보완하기 위하여 2002년 이 기술의 상업적 이용을 허가하였고, 이후 UWB 시스템에서의

※ 이 논문은 2007년 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단 기초연구지원사업의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-D00558).

\* 가톨릭대학교 정보통신전자공학부(srpark@catholic.ac.kr), \*\* 성균관대학교 정보통신공학부(syoon@skku.edu), (° : 교신저자)  
논문번호 : KICS2010-08-409, 접수일자 : 2010년 8월 21일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 15일

다중접속(multiple access: MA) 기술과 그에 따른 신호 검파 기법 등이 연구되어 왔다<sup>1-3)</sup>.

매우 넓은 주파수 영역에서 동작하는 UWB-MA 시스템은 특정 주파수 대역을 사용하는 협대역 통신 시스템에 영향을 주지 않을 정도로 신호의 세기가 매우 작아야 하며<sup>4)</sup>, 이와 동시에 여러 주파수 대역으로부터 무질서하게 섞여 들어오는 간섭 신호들의 영향 속에서 원하는 신호의 정보를 잘 판단할 수 있어야 한다. 또한, UWB-MA 시스템에서 배경 잡음과 간섭을 측정하여 채널 잡음 분포를 분석한 결과, 전체 채널을 충격성 잡음으로 모형화할 수 있고, 간섭이 클수록 잡음의 충격성도 커진다는 사실이 알려졌다<sup>5,6)</sup>. 따라서, UWB-MA 시스템에서는 다양한 충격성 잡음 환경에서 약한 신호를 효율적으로 검파하는 기술이 매우 중요하다 할 수 있다.

검파기의 구조와 성능은 잡음의 분포에 따라 정해지는 특성이 있다. 일반적으로 검파기가 최적이라는 것은 특정 잡음 분포에서 최대 비슷함 검파 기준을 적용하여 얻은 검파기를 일컫는다. 그러므로 한 가지 잡음 분포에서 최적이라 하더라도, 잡음 분포가 달라지면 더 이상 최적의 성능을 보장할 수 없으며, 심지어 성능이 매우 나빠질 수도 있다. 이 논문에서는 간섭의 영향이 거의 없는 정규 잡음 환경에서부터 간섭의 영향이 두드러지는 강한 충격성 잡음 환경에 걸쳐 전반적으로 신호 검파 성능이 우수한 판단 영역 기준을 제안하고, 그 성능을 기존의 검파기 성능과 비교한다. 2장에서는 이 논문에서 다루는 UWB-MA 시스템의 모형을 살펴보고, 3장에서 제안한 검파 기법을 소개한다. 4장에서 모의실험을 통해 제안한 검파 기법과 기존 검파 기법의 비트 오류율 성능을 비교하며, 마지막으로 5장에서는 이 논문의 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모형

이 장에서는 제안하는 검파 기법이 적용될 UWB-MA 시스템의 송수신기 모형과 채널 모형을 설명한다.

### 2.1 송수신기 모형

이 논문에서는 펄스 폭이 칩 폭  $T_c$ 보다 매우 짧은 UWB 펄스를 이진 펄스 위치 변조(pulse position modulation: PPM)하여 송신하는 시스템을 가정한다.

이제, 단위 에너지 UWB 펄스를  $q(t)$ 라고 하면,  $l$  번째 사용자 신호는 다음과 같다.

$$s^{(l)}(t) = \tilde{\theta} \sum_{k=0}^{N_s-1} q(t - kT_f - c_k^{(l)}T_c - d_i^{(l)}T_c/2). \quad (1)$$

여기서,  $\tilde{\theta}$ 는 보낸 신호의 세기,  $N_s$ 는 주어진 심볼로 변조된 UWB 펄스 수,  $T_f$ 는 프레임 시간(전체 심볼 구간  $T_s$ 를  $N_s$ 로 나눈 값)이고,  $\{c_k^{(l)}\}_{k=0}^{N_s-1}$ 는  $l$  번째 사용자의 시간 뎀(time-hopping) 수열로써 주기가  $N_c$  이고  $0 \leq c_k^{(l)} \leq N_h$ 이며,  $d_i^{(l)}$ 은 이진 PPM의 시간 뎀 정보로써  $d_1^{(l)} = 0$ 이고  $d_2^{(l)} = 1$ 이다. 지연 퍼짐으로 생기는 심볼간 간섭과 내부 심볼 간섭을 줄이고자 프레임 시간  $T_f$ 가 충분히 크다. 곧,  $T_f > (N_h + 1)T_c$  이라고 둔다. 이때,  $T_f - (N_h + 1)T_c$ 를 보호 시간이라 부른다. 그림 1에서는 위에서 설명한 심볼 시간, 프레임 시간, 칩 주기의 구조를 보여주고 있고, 그림 2에서는 사용자 신호의 보기를 보여준다.

전체 사용자가  $N_u$ 명이고, 각 사용자가 (1)과 같은 신호를 송신하였을 때, 첫 번째 사용자 수신기의 수신 신호  $r(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = A_1 s^{(1)}(t - \tau_1) + n(t). \quad (2)$$

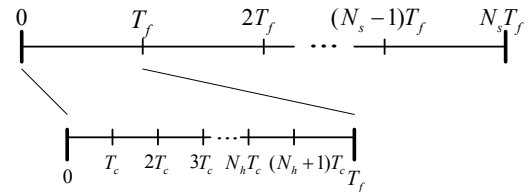


그림 1. UWB-MA 심볼 구조

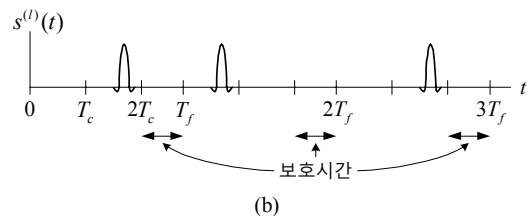
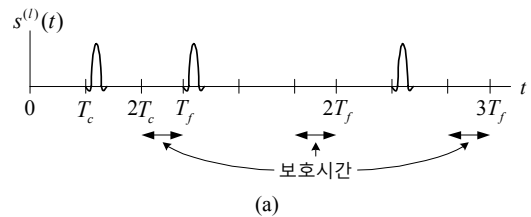


그림 2.  $N_c = 2$ ,  $N_h = 1$ ,  $N_s = 3$ 이고,  $(d_0^{(l)}, d_1^{(l)}) = (1, 0)$  일 때,  $l$  번째 사용자 신호 (a)  $i = 1$  일 때; (b)  $i = 2$  일 때;

여기서,  $A_l$ 과  $\tau_l$ 은 각각  $l$ 째 사용자 신호의 크기 감쇠와 시간 지연이며, 전체 간섭  $n(t)$ 는 다음과 같이 다른 사용자의 신호와 덧셈곱 잡음  $\tilde{n}(t)$ 의 합으로 나타낼 수 있다.

$$n(t) = \sum_{l=2}^{N_u} A_l s^{(l)}(t - \tau_l) + \tilde{n}(t). \quad (3)$$

시간 지연을 바르게 추정하였다고 가정하였을 때, 복조 과정에서 얻은 관측 벡터  $\mathbf{r} = (r_1, r_2, \dots, r_{2N_s})$ 의 성분은 다음과 같다.

$$r_{2k+1} = \int_{T_k^{(1)}}^{T_k^{(1)} + T_c} r(t) q(t - T_k^{(1)}) dt, \quad (4)$$

$$r_{2k+2} = \int_{T_k^{(1)}}^{T_k^{(1)} + T_c} r(t) q(t - T_k^{(1)} - T_c/2) dt. \quad (5)$$

여기서,  $T_k^{(l)} = kT_f + c_k^{(l)} T_c + \tau_l$ 이고,  $k = 0, 1, \dots, N_s - 1$ 이다. 첫째 사용자가 보낸 정보가  $d_1^{(1)}$ 이라는 가설을  $H_1$ , 보낸 정보가  $d_2^{(1)}$ 이라는 가설을  $H_2$ 라고 하면, 각 가설은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$H_1: \begin{cases} r_{2k+1} = \theta + n_{2k+1}, \\ r_{2k+2} = n_{2k+2}. \end{cases} \quad (6)$$

$$H_2: \begin{cases} r_{2k+1} = n_{2k+1}, \\ r_{2k+2} = \theta + n_{2k+2}. \end{cases} \quad (7)$$

여기서,  $\theta = A_1 \tilde{\theta}$ 는 수신 신호의 세기이고,

$$n_{2k+1} = \int_{T_k^{(1)}}^{T_k^{(1)} + T_c} n(t) q(t - T_k^{(1)}) dt, \quad (8)$$

$$n_{2k+2} = \int_{T_k^{(1)}}^{T_k^{(1)} + T_c} n(t) q(t - T_k^{(1)} - T_c/2) dt \quad (9)$$

는 관측 벡터  $\mathbf{r}$ 의 간섭 성분이다.

### 2.2 채널 모형

충격성 채널을 모형화할 때는 정규 분포보다 꼬리 가 긴 모양을 가지는 분포를 사용한다. 꼬리의 모양이

다른 긴 꼬리 분포보다 좀더 UWB 채널 모형에 알맞으면서 충격성의 정도에 따라 꼬리 길이를 조절할 수 있는 분포로 확률밀도함수가 다음과 같이 정의되는 대칭 알파-안정(symmetric alpha-stable: S $\alpha$ S) 분포가 있다<sup>[5-7]</sup>.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\pi \gamma^{1/\alpha}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k-1}}{k!} \Gamma(\alpha k + 1) \\ \quad \times \sin\left(\frac{k\alpha\pi}{2}\right) \left(\frac{|x|}{\gamma^{1/\alpha}}\right)^{-\alpha k - 1}, & 0 < \alpha \leq 1 \\ \frac{1}{\pi \alpha \gamma^{1/\alpha}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(2k)!} \Gamma\left(\frac{2k+1}{\alpha}\right) \\ \quad \times \left(\frac{x}{\gamma^{1/\alpha}}\right)^{2k}, & 1 \leq \alpha \leq 2 \end{cases} \quad (10)$$

여기서,  $\alpha$ 는 특성 지수로서 값이 작을수록 분포의 꼬리 길이가 길다(충격성이 크다).  $\alpha = 2$ 일 때는 정규 분포와 동일하고,  $\alpha = 1$ 일 때 코쉬(Cauchy) 분포와 동일하다.  $\gamma$ 는 퍼짐 매개변수로서 분산과 비슷한 역할을 하며,  $\alpha = 2$ 일 때는 분산이  $2\gamma$ 이다. S $\alpha$ S 분포는  $x = 0$ 을 중심으로 대칭이고,  $\alpha$ 가 변하더라도 항상 종(bell) 모양을 유지한다.

이 논문에서는 간섭 성분  $n_{2k+1}$ 과  $n_{2k+2}$ 가 서로 독립이고 분포가 같으며, 그 분포가 S $\alpha$ S 분포라고 가정한다. 그림 3에  $\alpha$ 에 따라 달라지는 간섭 성분의 시간에 따른 모양을 보기로 들었다.

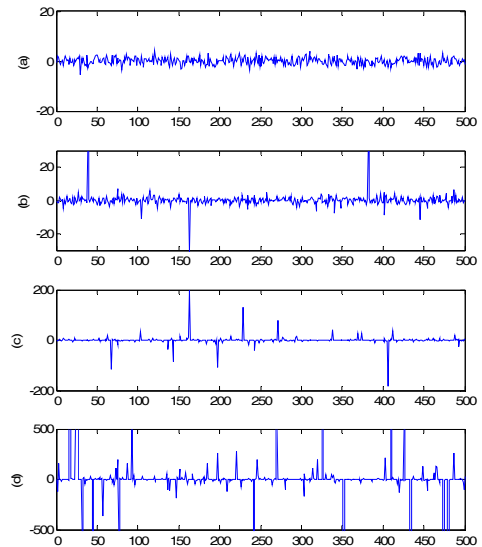


그림 3.  $\alpha$ 에 따른 간섭 성분의 보기 (a)  $\alpha = 2.0$ ; (b)  $\alpha = 1.5$ ; (c)  $\alpha = 1.0$ ; (d)  $\alpha = 0.5$ ;

### III. 검파 기법

가설  $H_1$ 을 선택하는 결정 영역  $D_1$ 을 고려하자. 이진 시스템을 가정하고 있으므로,  $D_1$ 에 속하지 않으면 가설  $H_2$ 를 선택하는 결정 영역  $D_2$ 라고 할 수 있다.

먼저, 잡음이 정규 분포일 때 최대 비슷함(maximum likelihood: ML) 검파 기준을 적용하여 얻은 정규 최적 검파기의 결정 영역은 다음과 같다.

$$D_{1,ML,G} = \left\{ \mathbf{r} : \sum_{k=0}^{N_s-1} (r_{2k+1} - r_{2k+2}) \geq 0 \right\}. \quad (11)$$

다음으로, 잡음이 긴 꼬리를 갖는 코쉬 분포일 때 약한 신호를 검파하기에 적합한 국소 최적(locally optimum: LO) 검파 기준을 적용하여 얻은 코쉬 국소 최적 검파기의 결정 영역은 다음과 같다<sup>[8]</sup>.

$$D_{1,LOC} = \left\{ \mathbf{r} : \sum_{k=0}^{N_s-1} \left( \frac{r_{2k+1}}{r_{2k+1}^2 + \gamma^2} - \frac{r_{2k+2}}{r_{2k+2}^2 + \gamma^2} \right) \geq 0 \right\}. \quad (12)$$

코쉬 국소 최적 검파기는 신호의 세기가 약할 때 최대 비슷함 검파 기준을 적용한 코쉬 최적 검파기와 성능이 거의 같음이 알려져 있다. 또한, 코쉬 최적 검파기는 신호의 세기  $\theta$ 와 퍼짐 매개변수  $\gamma$ 를 모두 추정해야 하지만, 코쉬 국소 최적 검파기는  $\gamma$ 만을 추정하여 사용할 수 있다.

이 두 결정 영역의 모양을 바탕으로 다음과 같은 결정 영역을 가지는 새로운 검파기를 제안한다.

$$D_{1,prop} = \left\{ \mathbf{r} : \sum_{k=0}^{N_s-1} \left( \frac{r_{2k+1}}{|r_{2k+1}|^{g(\alpha)} + \gamma^2} - \frac{r_{2k+2}}{|r_{2k+2}|^{g(\alpha)} + \gamma^2} \right) \geq 0 \right\}. \quad (13)$$

여기서,

$$g(\alpha) = 2 + \alpha - \alpha^2, \quad 0 < \alpha \leq 2 \quad (14)$$

이다.

제안한 검파기는  $\alpha = 2$ 일 때  $g(\alpha) = 0$ 이 되어

(11)의 정규 최적 검파기와 성능이 같고,  $\alpha = 1$ 일 때  $g(\alpha) = 2$ 가 되어 (12)의 코쉬 국소 최적 검파기와 성능이 같아진다. 또한 충격성이 강한 경우인  $0 < \alpha < 1$ 일 때에는  $2 < g(\alpha) < 2.5$ 의 범위에 있어 코쉬 국소 최적 검파기에 가까운 성능을 보일 수 있다.

따라서, 제안한 검파기의 성능은 충격성이 없거나 약할 때는 정규 최적 검파기와 성능이 비슷하고, 충격성이 강할 때는 코쉬 최적 검파기와 성능이 비슷하므로, 약한 세기의 신호를 검파하는 데에 있어서 채널 잡음의 충격성 변화에 강인한 검파기라고 할 수 있다.

제안한 검파기는 신호의 세기  $\theta$ 를 추정할 필요는 없지만, 코쉬 국소 최적 검파기에서와 같이 (대부분의 검파기가 그러하듯) 퍼짐 매개변수  $\gamma$ 를 추정하여야 하고, (13)에서 보이는 것과 같이  $g(\alpha)$ 에 필요한 특성 지수  $\alpha$ 를 추정하여야 한다. 그러나  $\gamma$ 를 추정하려면 그 과정에서  $\alpha$ 를 항상 먼저 추정하여야 하므로, 추정의 복잡도는  $\gamma$ 만을 추정하는 것과 다르지 않으며,  $\alpha$ 와  $\gamma$ 는 S $\alpha$ S 분포의 표본 평균 및 표본 분산을 사용하여 쉽게 추정할 수 있다<sup>[6]</sup>.

### IV. 성능 비교

먼저, 특성 지수  $\alpha$ 가 변할 때 제안한 검파기와 정규 최적 검파기, 코쉬 국소 최적 검파기의 성능을 비교해보자. 각 검파기 성능은  $N_s = 100$ 일 때의 비트오류율로 나타내었고,  $\alpha$ 와  $\gamma$ 는 정확히 추정되었다고 가정하였다. S $\alpha$ S 분포에서는  $\alpha = 2$ 인 경우를 제외하면 잡음 분산이 정의되지 않기 때문에 일반적인 신호대잡음비(signal to noise power ratio: SNR)를 구할 수 없다. 그 대신, 정보 신호와 잡음의 상대적인 크기를 나타내는 기하학적 신호대잡음비(geometric SNR: G-SNR)를 다음과 같이 정의하여 사용한다<sup>[9]</sup>.

$$G-SNR = \frac{\theta^2}{2C_g^{2/\alpha-1}\gamma^{2/\alpha}} \quad (15)$$

여기서,  $C_g = \exp[\lim_{s \rightarrow \infty} \{\sum_{z=1}^s (1/z) - \ln s\}] \approx 1.78$ 이며,  $\alpha = 2$ 인 정규 분포의 경우에는 (14)가 일반적인 신호대잡음비의 정의와 같음을 알 수 있다.

그럼 4에  $\alpha = 0.5, 1.0$ (코쉬),  $1.5, 2.0$ (정규)인 경우의 검파기 성능들을 나타내었다. III장의 결정 기준에서 예상한 대로,  $\alpha = 1$ 일 때 제안한 검파기의 성능은 코쉬 국소 최적 검파기와 동일하고,  $\alpha = 2$ 일 때는 정규 최적 검파기와 동일함을 확인할 수 있다.  $\alpha = 0.5$

### V. 결론

이 논문에서는 UWB-MA 시스템에 알맞도록 신호 세기가 약할 때 채널 변화에 강인한 검파기를 제안하였다.

UWB-MA 시스템의 전체 채널 환경을 잘 모형화한 잡음 분포로는  $S\alpha S$  분포가 있는데, 이 분포는  $\alpha$  ( $0 < \alpha \leq 2$ )가 0에 가까울수록 충격성이 강해지고,  $\alpha=2$ 에서는 정규 분포와 동일해지는 특성이 있다. 곧, 간섭이 거의 없을 때는 정규 채널과 같고 간섭이 심할 때는 충격성 채널이 되기 때문에,  $0 < \alpha \leq 2$ 인 전체  $S\alpha S$  분포에서 두루 좋은 성능을 보이는 검파기가 UWB-MA 시스템에 알맞은 검파기라고 할 수 있다. 또한, UWB 신호의 특성상 약한 세기의 신호를 잘 가려내는 것도 검파기가 갖추어야 할 조건이다.

제안한 검파기는 잡음이 정규 분포( $\alpha=2$ )일 때는 정규 최적 검파기와 성능이 동일하고, 잡음이 코쉬 분포( $\alpha=1$ )일 때는 코쉬 국소 최적 검파기와 성능이 동일하도록 설계되었고, 모의실험에서도 그 결과를 확인할 수 있었다. 잡음이 그 밖의  $\alpha$ 를 갖는  $S\alpha S$  분포일 때에도 제안한 검파기가 정규 최적 검파기나 코쉬 국소 최적 검파기보다 약한 신호를 검파하는 성능이 우수함을 모의실험 결과를 통해 볼 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] W. Lin, V. Lottici, and T. Zhi, "Maximum likelihood multiple access timing synchronization for UWB communications," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.7, No.11, pp.4497-4501, Nov. 2008.
- [2] S.S. Tan, B. Kannan, and A. Nallanathan, "Performance of UWB multiple-access impulse radio systems with antenna array in dense multipath environments," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.54, No.6, pp.966-970, June 2006.
- [3] A.A. D'Amico, U. Mengali, and L. Taponecco, "Impact of MAI and channel estimation errors on the performance of Rake receivers in UWB communications," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.4, pp.2435-2440, Sept. 2005.
- [4] I. Oppermann, M. Hamalainen, and J. Iinatti, *UWB Theory and Applications*, Wiley, 2004.
- [5] C.L. Nikias and M. Shao, *Signal Processing*

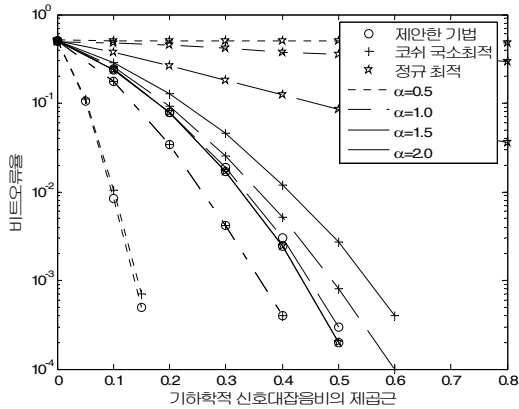


그림 4.  $\alpha$ 가 변할 때, 검파기들의 비트오류율 성능

일 때는  $0 < \alpha < 1$ 인 경우에서 예상했듯이, 제안한 검파기의 성능이 코쉬 국소 최적 검파기와 거의 비슷하거나 조금 나음을 볼 수 있다.  $\alpha=1.5$ 일 때에도 정규 최적 검파기나 코쉬 국소 최적 검파기보다 제안한 검파기의 비트오류율 성능이 더 좋음을 확인할 수 있다.

다음으로, 제안한 검파기의  $\alpha$ 에 따른 성능 변화와 성능의 상한을 관찰하기 위해  $\alpha$ 의 변화량을 좀더 작게 하며 다양한  $\alpha$ 에 대한 검파기의 비트오류율 성능을 모의실험 하였다.

그림 5를 살펴보면, 제안한 검파기는  $\alpha$ 가 커짐에 따라 비트오류율 성능이 점점 나빠지다가  $\alpha=1.9$  근처에서 최대 비트오류율을 보이고,  $\alpha > 1.9$ 에서 다시 성능이 점차 좋아져서  $\alpha=2$ 일 때는 정규 최적 검파기의 성능과 동일해짐을 볼 수 있다. 이때, 제안한 검파기가  $\alpha=1.9$ 에서 갖는 비트오류율 상한은 코쉬 국소 최적 검파기가  $\alpha=2$ 에서 갖는 비트오류율 상한보다 성능이 좋다는 것을 그림 4와 비교하여 알 수 있다.

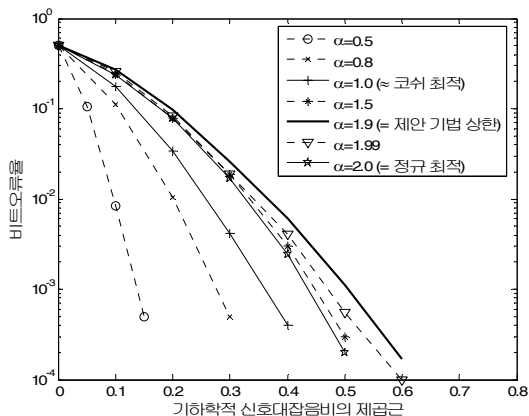


그림 5.  $\alpha$ 가 변할 때, 제안한 검파기의 비트오류율 성능

with Alpha-Stable Distributions and Applications, Wiley, 1995.

- [6] R. Kapoor, A. Banerjee, G.A. Tsihrintzis, and N. Nandhakumar, "UWB radar detection of target in foliage using alpha-stable clutter models," *IEEE Trans. Aerosp. Electr. Syst.*, Vol.35, No.3, July 1999.
- [7] 송익호, 김광순, 박소령, 박철훈, *확률과정의 원리*, 교보문고, 2009.
- [8] I. Song, J. Koo, H. Kwon, S.R. Park, S.R Lee, and B.H. Chung, "A novel detection criterion for weak  $m$ -ary signals and its application to ultra wideband multiple access systems," *IEEE Trans. Veh. Techn.*, Vol.54, No.6, pp.2024-2036, Nov. 2005.
- [9] T.C. Chuah, B.S. Sharif, and O.R. Hinton, "Nonlinear decorrelator for multiuser detection in non-Gaussian impulsive environments," *Elec. Lett.*, Vol.36, pp.920-922, May 2000.

**박 소 령 (So Ryoung Park)**

중신회원



1997년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사  
 1999년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사  
 2002년 3월~2003년 2월 한국

과학기술원 박사후 연구원

2003년 3월~현재 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 전임강사, 조교수, 부교수

2001년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 금상

2007년 IEEE 선임회원

<관심분야> 통계학적 신호처리, 무선통신, 다중접속

**윤 석 호 (Seokho Yoon)**

중신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사(최우등)

1999년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사

2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사

2002년 4월~2002년 6월 MIT 박사후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 하버드대학교 박사후 연구원

2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수, 부교수

2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상

2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재

2007년 IEEE 선임회원

2008년 Marquis Who's Who in World에 등재

<관심분야> 통신이론, 이동통신, 통계학적 신호처리