

인지 무선 통신 시스템을 위한 다중 상관기 출력값 결합 기반 UWB 신호 검파 기법

정회원 이 영 포*, 준회원 박 종 인*, 종신회원 윤 석 호*

Combining Multiple Correlator Outputs-Based UWB Signal Detection Scheme for Cognitive Radio Communication Systems

Youngpo Lee* *Regular Member*, Jong In Park* *Associate Member*,
Seokho Yoon*^o *Lifelong Member*

요 약

Ultra-wideband (UWB) 신호 에너지는 다중경로 채널의 영향으로 인하여 여러 상관기 출력값에 흩어지게 되며 각 상관기 출력값은 전체 UWB 신호 에너지의 일부분만 가지게 된다. 이에 본 논문에서는 다중 상관기 출력값들을 결합하여 결정 변수로 이용함으로써 다중경로 채널의 영향으로 인해 흩어진 신호 에너지를 모아, 인지 무선 통신 시스템에서 UWB 신호 검파에 이용하는 2단계 신호 검파 기법을 제안한다. 다양한 UWB 채널 환경에서의 모의실험 결과를 통해 제안한 기법은 기존 기법에 비해 약 0.6 dB 정도의 신호 검파 성능 이득이 있음을 확인할 수 있다.

Key Words : acquisition, correlator output, detection, multipaths channel, ultra-wideband

ABSTRACT

Ultra-wideband (UWB) signal energy spreads over multiple correlator outputs due to rich multipaths, making the output of each correlator have only a small portion of the total energy. Thus, in the proposed two-stage UWB signal detection scheme for cognitive radio communication systems, the decision variable is formed by combining multiple correlator outputs, making it possible to collect the signal energy spread by the multipaths. Simulation results show that the proposed scheme can provide a gain of about 0.6 dB over the conventional schemes in various UWB channel environments.

I. 서 론

Ultra-wideband (UWB) 시스템은 매우 넓은 대역폭을 사용하는 통신 시스템으로 높은 데이터 전송률을 실현할 수 있으며 저전력 신호를 사용함으로써 다른 시스템에 간섭을 거의 주지 않으면서 통신이 가능

하다. 이러한 특성 때문에 UWB 시스템은 IEEE 802.15.3a와 IEEE 802.15.4a와 같은 무선 개인 네트워크의 (wireless personal area network) 표준으로 채택되어 있다^[1]. 한편, 최근 무선 통신 환경에서의 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라 광대역 무선 통신 기술들이 본격적으로 연구되고 있

* 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2011-0018046)와 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2011-C1090-1111-0005) 및 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 위성항법 특화연구센터 사업의 연구 결과로 수행되었음.

^o성균관대학교 정보통신공학부 (syoon@skku.edu) (* : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-04-179, 접수일자 : 2011년 4월 12일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 3일

으며^[2], 앞으로 도래할 시대에는 이러한 기술들이 혼재하는 상황으로 인하여 주파수 자원의 희소성이 심화될 전망이다. 이러한 주파수 부족 문제를 해결하기 위한 해결책으로 인지 무선 통신 시스템이 큰 주목을 받고 있다^[3]. 이에 본 논문에서는 UWB 신호가 사용되는 인지 무선 통신 시스템을 고려하였다.

UWB 시스템에서 신호를 올바르게 복조하기 위해서는 수신 신호의 획득이 (acquisition) 복조 이전에 반드시 이루어져야 한다. 따라서 빠른 신호 획득은 UWB 시스템의 중요한 기술적 이슈 가운데 하나이며^[4], 이를 위해 여러 연구가 진행되어 왔다^[5-9]. [5]에서는 다양한 위상 검파 기법들을 적용한 신호 획득 기법들을 소개하였으며, 잡음이 존재하지 않는 상황에서 각 기법들의 평균 신호 획득 시간을 유도하였다. [6]에서는 위상 검사 순서를 비순차적으로 바꿈으로써 빠르게 신호를 획득할 수 있는 기법을 제안하였으며, [7]에서는 [5]에서의 신호 획득 기법들을 tapped-delay-line 및 IEEE 802.15.3a 채널 모델에서 분석하였다. 검사해야 할 위상의 수가 피보나치 수인 경우 피보나치 수열의 특성을 이용하여 빠르게 신호를 획득할 수 있는 기법이 [8]에서 제안되었으며, [9]에서는 UWB 신호 획득을 위한 랜덤화된 위상 검파 기법이 제안되었다. 그러나 이러한 기존 기법들은 신호 획득 과정에서 단일 상관기 출력값을 결정 변수로 사용하였다. 하지만 UWB 신호 에너지는 UWB 채널의 다중경로 영향으로 인하여 여러 상관기 출력값에 흩어지므로, 단일 상관기 출력값을 결정 변수로 사용하는 기존 기법들을 UWB 신호 획득에 적합하지 않다.

본 논문에서는 다중 상관기 출력값 결합에 기반한 2 단계 UWB 신호 검파 기법을 제안한다. 제안한 기법의 첫 번째 단계에서는 다중 상관기 출력값을 결합함으로써 결정 변수를 생성하며 이 중 가장 큰 값을 갖는 결정 변수를 선택한다. 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 선택된 결정 변수를 형성하는 상관기 출력값들 중 가장 큰 상관기 출력값을 선택하며, 선택된 상관기 출력값에 해당하는 위상을 신호 획득을 위한 위상으로 판단한다. 다양한 UWB 채널 환경에서 상관기 출력값의 최적 결합 개수를 제시하였으며, 모의실험을 통하여 제안한 기법의 검파 성능이 단일 상관기 출력값을 이용하는 기존 기법들에 비해 우수함을 확인할 수 있다.

II. 제안한 기법

2.1 시스템 모델

본 논문에서는 direct sequence (DS)-UWB 시스템

을 고려하며, 신호 획득 과정 동안 데이터가 변조되지 않은 신호가 전송된다고 가정한다. 이 경우 전송된 DS-UWB 신호 $s(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sqrt{E_c} \sum_{i=0}^{N-1} c_i p(t - iT_c), \quad (1)$$

여기에서 E_c 는 전송 신호의 에너지, $c_i \in \{1, -1\}$ 은 N 개의 칩을 주기로 갖는 i 번째 의사잡음 (pseudo noise: PN) 부호, T_c 는 PN 부호 한 칩의 시간 주기, T_c 의 주기를 갖는 $p(t)$ 는 이차 미분된 가우시안 펄스^{[5],[7]} 각각 의미한다. 전송 신호 $s(t)$ 는 다중경로 채널을 통과하여 수신단에 도착하며, 수신단에 도착한 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

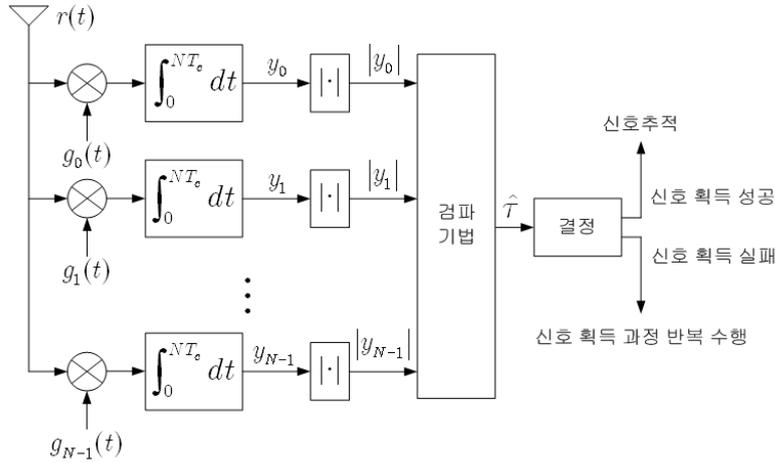
$$r(t) = \sqrt{E_c} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j c_i \cdot p(t - iT_c - jT_c - \tau T_c) + w(t), \quad (2)$$

여기에서 L 은 다중경로의 수, α_j 는 j 번째 다중경로의 채널 계수, τ 는 T_c 로 정규화 된 시간 지연, $w(t)$ 는 전력 스펙트럼 밀도 $N_0/2$ 를 갖는 부가 백색 정규 잡음을 (additive white Gaussian noise: AWGN) 각각 의미한다. α_j 의 평균 전력은 $\frac{1 - e^{-\mu}}{1 - e^{-\mu L}} e^{-j\mu}$ 이며, μ 는 감쇠상수를 의미한다.

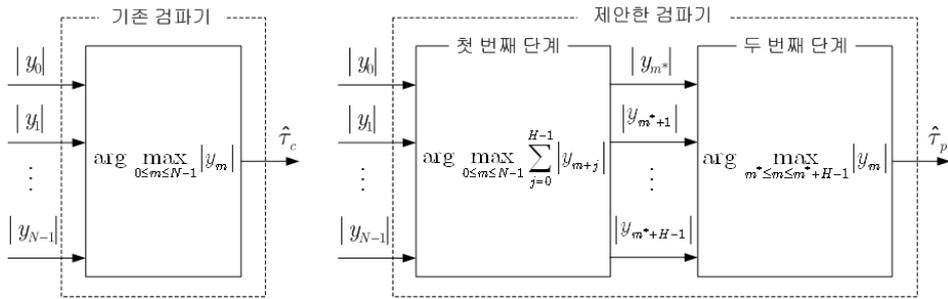
본 논문에서는 그림 1(a)에 표현된 병렬 신호 획득 수신기를 고려하며, 수신기에서는 상관시간 NT_c 동안 수신신호 $r(t)$ 와 템플릿 신호 $g_m(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_n p(t - (n+m)T_c)$ 와의 상관과정을 통해 m 번째 상관기 출력값인 y_m 을 얻으며 (단, $m = 0, 1, \dots, N-1$), 채널의 영향으로 신호가 반전될 수 있으므로 y_m 의 절대값을 취한다. 이 후, $\{|y_m|\}_{m=0}^{N-1}$ 에 기반하여 시간 지연 τ 의 추정치인 $\hat{\tau}$ 을 구하며, $\hat{\tau}$ 가 아래와 같이 정의되는 hit set S_h 에 포함되었는지를 조사한다^[4].

$$S_h = \{\hat{\tau}: P_c(\hat{\tau} - \tau) \leq \lambda_d\}, \quad (3)$$

여기에서 $P_c(\hat{\tau} - \tau)$ 는 $\hat{\tau}$ 에서 신호가 획득되었을 때 복조 과정에서의 비트 오류율, λ_d 는 복조 과정에서 목표로 하는 비트 오류율을 각각 나타낸다. 만약 $\hat{\tau}$ 가 hit



(a) UWB 신호 획득을 위한 병렬 수신기



(b) 기존 신호 검파기 및 제안한 신호 검파기의 구조

그림 1. UWB 신호 획득을 위한 기존 기법과 제안한 기법의 병렬 수신기 구조

set에 속한다면 $\hat{\tau}$ 는 신호 추적 단계로 전달되며, 그렇지 않다면 신호 획득 단계는 반복 수행된다.

기존 기법에서 시간 지연 추정치 $\hat{\tau}$ 는 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 다음 수식을 통해 얻을 수 있다.

$$\hat{\tau}_c = \arg \max_{0 \leq m \leq N-1} |y_m|. \quad (4)$$

즉, 기존 기법들은 단일 상관기 출력값을 이용하여 결정 변수 $\{z_m\}_{m=0}^{N-1} = \{|y_m|\}_{m=0}^{N-1}$ 을 얻으며, 결정 변수들 중 최대값을 선택함으로써 시간 지연 추정치를 구한다. 그러나 UWB 채널에서는 다중경로 채널의 영향으로 신호의 에너지가 여러 상관기 출력값에 흩어져서, 단일 상관기 출력값에는 신호 에너지의 일부분만이 포함되므로, 단일 상관기 출력값을 결정 변수로 이용하는 기존 기법은 UWB 신호 획득에 적합하다고 볼 수 없다.

2.2 2단계 검파 기법

다중경로 채널의 영향으로 여러 상관기에 흩어져 있는 신호 에너지를 효율적으로 결합하기 위하여 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 다중 상관기 출력값에 기반한 2단계 신호 검파 기법을 제안한다.

기존 기법에서는 단일 상관기 출력값에 기반하여 결정 변수가 형성되기 때문에 상관기 출력값에 흩어진 신호 에너지가 개별적으로 사용되거나 제안한 기법의 1단계에서는 흩어져 있는 신호의 에너지를 모으기 위하여 연속하는 상관기 출력값들의 절대값을 결합함으로써 결정 변수를 형성한다. 결정 변수를 $\{z_m\}$ 이라고 하였을 때, 다음 수식을 만족하는 초기 추정치 m^* 을 얻는다.

$$\begin{aligned} m^* &= \arg \max_{0 \leq m \leq N-1} z_m \\ &= \arg \max_{0 \leq m \leq N-1} \sum_{j=0}^{H-1} |y_{m+j}|, \end{aligned} \quad (5)$$

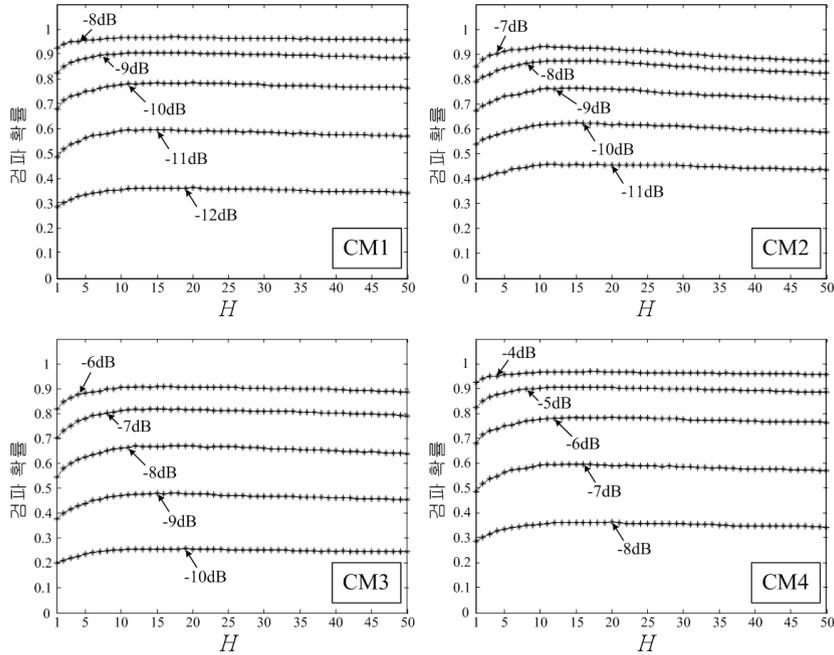


그림 2. IEEE 802.15.3a 채널 모델에서 H 값에 따른 제안한 기법의 검파 확률

여기에서 H 는 수신기에서 미리 결정된 상수이며, H 의 최적치는 신호대잡음비에 (signal-to-noise ratio: SNR) 무관하게 거의 일정한 값을 유지하기 때문에 (이는 다음 장에서 설명된다), 채널 모델이 미리 주어지면 H 값을 미리 결정할 수 있다. 또한 $k=0,1,\dots,H-2$ 에 대해서 $y_{N+k} = y_k$ 라고 가정한다. 1단계에 이어 2단계에서는 1단계에서 얻은 초기 추정치를 다음 식에 적용하여 시간 지연 추정치를 구한다.

$$\hat{\tau}_p = \arg \max_{m^* \leq m \leq m^* + H - 1} |y_m|. \quad (6)$$

수식 (5)와 (6)으로부터 $H=1$ 일 때 기존 기법과 제안한 기법은 서로 같아지므로, 기존 기법은 제안한 기법의 특정한 경우에 해당함을 알 수 있다. 요약하면 기존 기법에서는 다중경로의 영향으로 인하여 흩어진 신호의 에너지가 포함된 상관기 출력값들이 개별적으로 사용되지만, 제안한 기법에서는 신호 검파를 하는 동안 보다 더 신뢰성 있는 상관기 출력값들을 포함하고 있는 신호에 대한 보다 더 정확한 정보를 활용함으로써 흩어진 에너지를 보다 더 효율적으로 결합할 수 있다. 비록 제안한 기법은 H 값을 어떤 값으로 정하느냐에 따라 성능이 달라질 수 있으나, UWB 시스템의 특성 상 이동성을 염두에 두지 않기 때문에 채널이 빠르게 변하지 않는다. 따라서 시스템이 사용될 환경의 평

균적인 채널 정보를 이용하여 H 값을 결정할 수 있다.

III. 모의실험 결과

이 장에서는 제안한 기법과 기존 기법의 신호 획득 성능을 IEEE 802.15.3a 채널 모델에서의 모의실험을 통해 비교한다. IEEE 802.15.3a 채널 모델은 CM1, CM2, CM3, CM4 네 가지 모델로 정의되며, CM1에서 CM4로 갈수록 다중경로들이 보다 더 넓게 분포한다. 각 기법의 신호 획득 성능은 검파 확률로 정의되며, 본 논문에서의 검파 확률은 각 기법의 시간 지연 추정치가 ($\hat{\tau}_c$ 또는 $\hat{\tau}_p$) hit set S_h 에 포함될 확률로 정의된다. PN 부호의 주기 N , 펄스 주기 T_c , 복조 시 목표로 하는 비트 오류율 λ_d 는 각각 255칩, 0.4ns, 10^{-3} 로 설정하였으며, SNR은 E_c/N_0 로 정의한다. 데이터는 이진 위상 편이 변조 (binary phase shift keying: BPSK) 방식을 이용하여 변복조되며 복조 과정을 위해 최대 비 결합이 적용된 10개 핑거를 지나는 RAKE 수신기가 사용된다고 가정하였다.

그림 2는 IEEE 802.15.3a 채널 모델에서 몇몇 SNR 값에 대해 H 값에 따른 제안한 기법의 검파 확률을 나타낸다. 그림 2에서 보는 바와 같이 CM1, CM2, CM3, CM4에서의 검파 확률은 SNR에 상관없이 H 가 각각 10, 11, 12, 12 정도일 때 (최적 H) 가장

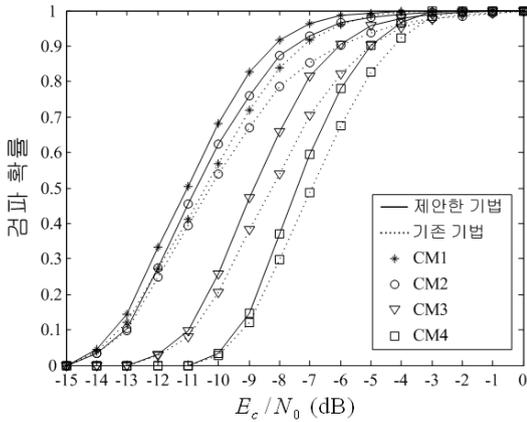


그림 3. IEEE 802.15.3a 채널 모델에서 제안한 기법과 기존 기법의 검파 확률

높음을 알 수 있다. 최적 H 를 넘어서게 되면 H 값이 증가할수록 제안한 기법의 검파 확률이 낮아짐을 알 수 있는데, 이는 최적 H 를 넘어서게 되면 H 값이 증가하더라도 신호성분은 증가하지 않고 잡음 성분만 증가하기 때문이다. 또한 본 모의 실험의 결과로 미루어 볼 때, 채널이 더 열악할수록 최적 H 값은 더 커질 것이라는 것을 짐작할 수 있다.

그림 3은 그림 2로부터 얻은 최적 H 를 제안한 기법에 적용했을 때, 기존 기법과 제안한 기법의 검파 확률을 보여준다. 그림 3에서 보는 바와 같이 제안한 기법은 기존 기법에 비해 우수한 검파 성능을 지니며, 평균적으로 0.6 dB 정도의 성능 이득을 지님을 확인할 수 있다. 이는 신호 에너지를 기준으로 생각할 때, 기존 기법과 동일한 검파 확률을 보이기 위해서 제안한 기법은 신호 에너지를 13% 정도 절감하여 사용할 수 있음을 의미한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 인지 무선 통신 시스템에서 UWB 신호 획득을 위한 2단계 신호 검파 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 다중경로 채널의 영향으로 인해 흩어진 신호 에너지를 효율적으로 이용하며, 1단계에서는 다중 상관기 출력값을 결합함으로써 결정 변수를 형성하였으며, 이 중에 가장 큰 값을 갖는 결정 변수를 선택하였다. 2단계에서는 1단계에서 선택한 최대 결정 변수를 형성하는 상관기 출력값들 중에 최대 상관기 출력값을 선택함으로써 시간 지연 추정치를 구했다. 기존 기법과 제안한 기법의 신호 검파 성능을 비교하기 위하여 다양한 UWB 채널 환경에서 모의실

험을 수행하였으며, 그 결과 제안한 기법이 기존 기법에 비해 우수한 신호 검파 성능을 지님을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] E. Bertran, M. S. O'Droma, P. L. Gilabert, and G. Montoro, "Performance analysis of power amplifier back-off levels in UWB transmitters," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, Vol.53, No. 4, pp.1309-1313, Nov. 2007.
- [2] 신재욱, 박애순, "차세대 이동통신 단말 기술," *한국통신학회지 (정보와 통신)*, 25권, 3호, 53-59 쪽, 2008년 3월.
- [3] J. Lundén, S. A. Kassam, and V. Koivunen, "Robust nonparametric cyclic correlation-based spectrum sensing for cognitive radio," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol.58, No.1, pp.38-52, Jan. 2010.
- [4] H. Gharaee and A. Nabavi, "Baseband implementation of OTR-UWB receiver using FPGA," *Int. Journ. Electron. Commun.*, Vol.64, No.3, pp.258-266, Mar. 2010.
- [5] E. A. Homier and R. A. Scholts, "Rapid acquisition of ultra-wideband signals in the dense multipath channel," in *Proc. IEEE Conf. UWB Systems, Technol.*, pp.105-109, Baltimore, MD, May 2002.
- [6] S. Vijayakumaran and T. F. Wong, "A search strategy for ultra-wideband signal acquisition," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.53, No.12, pp. 2015-2019, Dec. 2005.
- [7] I. Ramachandran and S. Roy, "On acquisition of wideband direct-sequence spread spectrum signals," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 5, No.6, pp.1537-1546, June 2006.
- [8] E. Arias-de-Reyna and J. J. Acha-Catalina, "Blind and efficient serial search strategy for ultrawideband signal initial acquisition," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.58, No.6, pp.3053-3057, July 2009.
- [9] W. Suwansantisuk and M. Z. Win, "Randomized search strategies for wideband signal acquisition," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, CDROM, Cape Town, South Africa, May 2010.

[10] A. F. Molisch, J. R. Foerster, and M. Pendergrass, "Channel models for ultra-wideband personal area networks," *IEEE Wireless Commun.*, Vol.10, No.6, pp.14-21, Dec. 2003.

박종인 (Jong In Park)

준회원



2011년 2월 광운대학교 전자공학과 공학사
현재 성균관대학교 정보통신공학부 연구보조원
<관심분야> 통신 이론, 이동통신, 검파 및 추정

이영포 (Youngpo Lee)

정회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
2010년 2월 성균관대학교 휴대폰학과 공학석사
2010년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사 과정
2008년 11월 한국통신학회 하

계종합학술발표회 우수논문상 수상

2009년 12월 IEEE Seoul Section Student Paper Contest 대상 수상

2010년 1월 성균관대학교 정보통신공학부 우수논문상 수상

2010년 12월 아이디어 전자신문 대학(원)생 과학기술&IT 논문공모 대제전 최우수상, 장려상 수상

<관심분야> 통신 이론, 이동통신, 통계학적 신호처리

윤석호 (Seokho Yoon)

종신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학사(최우등)
1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 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 전임 강사, 조교수, 부교수

2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 수상

2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재

2007년 IEEE 준석학회원

2008년 Marquis Who's Who in World에 등재

2009년 한국통신학회 LG 학술상 수상

<관심분야> 통신이론, 이동통신, 통계학적 신호처리