

# PN 수열의 반복사용에 기반한 새로운 거리 측정 기법

준회원 이명수\*, 이영포\*, 윤태웅\*, 송정한\*, 이영운\*,  
 종신회원 김윤희\*\*, 윤석호\*

## A Novel Distance Measuring Method Based on Repeated Usage PN Sequences

Myungsoo Lee\*, Youngpo Lee\*, Taewng Yoon\*, Chonghan Song\*,  
 Youngyoon Lee\* Associate Members, Yun Hee Kim\*, Seokho Yoon\*<sup>o</sup> Lifelong Members

### 요약

차량 충돌 위험을 줄이기 위해 거리 측정용 차량 레이더에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Direct sequence-ultra wideband를 (DS-UWB) 이용한 차량 레이더는 고속으로 이동하는 차량들 사이에서 충분한 시간적인 여유를 두어 목표물까지의 거리를 측정한다. 따라서 UWB 파형을 이용하면 수신기는 거리를 빠르게 측정하여, 충분한 시간적인 여유를 둘 수 있다. 이에 대한 연구가 진행된 바 있으나 본 논문에서는 그보다 간단한 시스템을 기반으로 빠른 처리 속도로 거리를 측정하여 차량 충돌 방지를 위한 시간적 여유를 확보할 수 있는 기법을 제안한다. 그리고 모의실험 결과를 통해 기존 기법보다 빠른 처리 속도를 확인할 수 있다.

**Key Words** : PN sequence, DS-UWB, correlation time, ranging error

### ABSTRACT

A vehicle radar has been studied to avoid the collision of vehicles. A vehicle radar using direct sequence-ultra wideband (DS-UWB) measures the distance between a vehicle and an objective with a sufficient time margin. Therefore, the receiver should estimate the distance by processing the short UWB pulse rapidly. There have been several investigations for distance measuring based on DS-UWB signals. In this paper, we propose a novel method for rapid measuring processing time. Simulation results show that the proposed method has a shorter processing time than the conventional method.

### 1. 서론

최근 차량 충돌을 방지하고 안전한 운행을 하기 위해 차량 레이더에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차량 레이더에 사용되는 기술로는 일반적으로 긴 영역 레이더와 (long-range radar: LRR) 짧은 영역 레이더가 (short-range radar: SRR) 있다<sup>[1]</sup>. LRR은 frequency modulation-continuous wave를 (FM-CW) 사용하는 76 GHz 대역과 밀리미터파 대역에서 사용되

어 왔다. 그러나 비싼 가격과 거리 측정에 대한 정확도가 떨어지기 때문에 긴 영역 레이더는 널리 적용되지 못했다. 한편 ultra wideband를 (UWB) 사용하는 차량 레이더는 22~29 GHz 대역인 부 밀리미터파 대역에서 SRR로 정의된다. 이는 LRR에 비해 낮은 가격과 정확한 거리 측정이 가능하므로 상대적으로 많이 사용된다<sup>[2],[3]</sup>.

차량 레이더는 이동하는 경로 상에 존재하는 장애물을 미리 파악하여 속도를 조절하거나 원하는

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.(IITA-2009-C1090-0902-0005)

\* 성균관대학교 정보통신공학부, \*\* 경희대학교 전자정보학부, (° : 교신저자, syoon@skku.edu)

논문번호 : KICS2009-03-104, 접수일자 : 2009년 3월 10일, 최종논문접수일자 : 2009년 5월 15일

위치에 정지하고자 할 때 주변 상황을 고려하여 안전하게 제어할 수 있도록 한다. 이러한 응용 방식은 높은 정확성을 요구하며, 그 결과를 운전자에게 알리거나 직접 장비에 제어 신호를 보냄으로써 속도를 조절한다. 따라서 UWB 레이더를 이용하여 차량, 항공기, 선박 등 이동하는 기기들의 안전을 도모할 수 있을 것으로 기대된다<sup>4)</sup>.

본 논문에서는 direct sequence (DS)-UWB 기술을 고려한다<sup>5)</sup>. DS-UWB 기술의 경우 대역 확산 수열의 길이가 길어질수록 큰 상관 값을 가지게 되어 원거리를 탐지하는 데 적합하다. 따라서 원거리에 있는 목표물에 대해 측정 오차를 줄이기 위해서는 수열의 길이가 길어져야 한다. 그러나 수열의 길이가 길어짐에 따라 수신기에서 요구되는 처리시간이 늘어나므로 거리에 따라 수열의 길이를 적절하게 조절해야 한다.

대역 확산 수열로는 pseudo noise (PN) 수열이 사용된다. PN 수열을 차량 레이더 시스템에 적용할 때, 고속으로 이동하는 차량들 사이에서 거리를 측정해야 하므로 충분한 시간적 여유를 두고 제어해야 한다. 차량 간 거리가 짧고 시간적 여유가 적을 경우, 갑작스런 제어로 인해 사고가 일어날 수 있다. 따라서 상관 함수 처리 시간을 단축시킬 필요가 있다. 본 논문에서는 1개의 PN 수열 생성기로부터 만들어진 짧은 길이의 수열을 반복적으로 사용함으로써 시스템을 간소화하고 상관 함수 처리 시간을 단축시켜 그러한 문제를 해결하는 방법을 제시한다. 또한 시뮬레이션 결과를 통해, 차량 간 거리가 20m 이내인 짧은 거리에서 제안된 기법이 기존 기법과 비교하여 상관 함수 처리 시간 측면에서 우수함을 보이고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 DS-UWB 레이더의 시스템 모형을, III장에서는 제안된 기법의 구조를 설명한다. IV장에서는 거리에 따른 PN 수열들의 길이 및 거리 오차에 관한 모의실험 결과를 통해 기존 기법과 제안된 기법의 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. DS-UWB 레이더의 시스템 모형

그림 1은 DS-UWB 레이더의 시스템 구성을 나타낸다. 송신단에서는 길이  $N$ 의 PN 수열을 이용하여 다음과 같은 신호를 생성한다.

$$s_n(t) = \sum_{j=0}^{nN-1} p_{j \bmod n} \delta(t - jT_c), \quad (1)$$

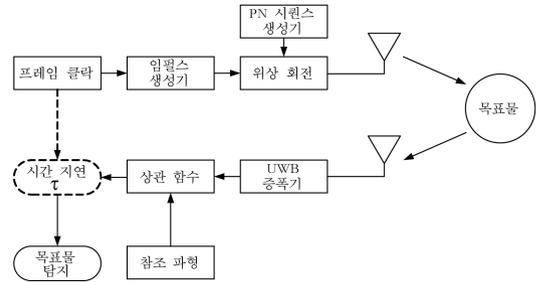


그림 1. DS-UWB 레이더의 시스템 구성

여기서  $n$ 은 수열의 반복 횟수를 나타내며,  $T_c$ 는 하나의 칩 구간을 나타내며,  $\delta(t)$ 는 단위 에너지를 가지는 모노사이클 파형을 나타낸다.

수신단에서는 덧셈곱 백색 정규 잡음 (additive white Gaussian noise: AWGN) 채널과 다중 사용자에 의한 간섭에 의해 다음과 같은 신호를 수신하게 된다.

$$y(t) = \sum_{j=0}^{N-1} r(t - jT_c) + n(t), \quad (2)$$

여기서  $n(t)$ 는 AWGN과 다중 사용자에 의한 간섭 신호를 나타내고,  $r(t - jT_c)$ 는  $j$ 번째 PN 수열에 의한 파형이며, 송신 신호의 시간 지연된 형태로 나타난다.

$$r(t) = s_n(t - \tau), \quad (3)$$

여기서  $\tau$ 는 전송한 파형이 목표물에 반사되고 수신되었을 때 발생한 시간 지연을 의미한다.

수신단에서는 송신단에서 만들어진 PN 수열을 알고 있다고 가정하고, 수신된 신호에 송신 신호와 같은 형태인 템플릿 함수를 곱해서 상관 값을 구한다. 여기서 템플릿 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(t) = s_n(t). \quad (4)$$

템플릿 함수와 수신된 신호 간의 상관 함수는 다음과 같다.

$$R(t') = \int y(t)f(t-t')dt. \quad (5)$$

송신단과 목표물 사이의 거리는 ( $D$ ) 시간 지연  $\tau$ 를 이용해 다음의 과정에 따라 계산될 수 있다<sup>6), 7)</sup>. 송신기에서 임펄스를 만들어 PN 수열과 곱하여 목표물을 향해 전송한다. 그 파형이 목표물에서 반사되어 수신 안테나를 통해 들어오면 증폭기를 거쳐 신호를 증폭한다. 이 때 수신기에서 정합 필터를 이용해 상관 함수 연산을 수행하고,  $\tau$ 를 탐지한다. 이 값을 이용해 송신

단과 목표물 사이의 거리를 계산할 수 있으며, 그 식은 다음과 같다.

$$D = \frac{ct}{2}, \quad (6)$$

여기서  $c$ 는 빛의 속도를 나타낸다.

### III. 제안된 기법의 구조

제안된 기법의 시스템 구조는 그림 2와 같다. PN 수열 생성기는 짧은 길이의 PN 수열을 반복적으로 사용함으로써 다양한 길이의 PN 수열을 생성한다. 그리고 이렇게 생성된 PN 수열은 짧은 길이의 PN 수열부터 길이가 긴 수열까지 차례대로 전송된다. PN 수열이 채널을 통과한 후 수신기에 도착하면, 정합 필터를 통해 상관 값을 계산하고 수열의 길이에 따라 그 결과를 누산기에 누적시킨다. 이렇게 계산된 결과를 이용해 신호가 전파되는 시간을 계산하여 목표물까지의 거리를 측정할 수 있다. 거리 계산기는 계산된 값을 통해 적당한 PN 수열의 길이로 변경하기 위한 제어신호를 가산기에 보낸다. 가산기에서는 제어신호를 통해 짧은 길이의 PN 수열의 반복 회수를 결정한다. 가산기로부터 제어신호를 받은 누산기에서도 반복된 PN 수열의 길이에 따라 정합 필터의 결과 값을 누적시켜 전체 PN 수열의 상관 값을 구한다. 이러한 과정을 통해 거리에 따른 PN 수열의 길이를 결정하게 된다.

그림 3은 거리 측정에 관한 제안된 순서도를 나타낸다. 수신기는 수신된 신호와 한 주기의 템플릿 함수의 상관 값을 구하고 그 값의 피크를 탐지한다. 피크의 총 개수가 정해진 문턱 값보다 적을 경우 상관 함수 연산을 반복하고, 클 경우에는 거리를 계산하여 편차를 구하게 된다. 이 때, 계산된 편차가 요구되는 편차 값보다 큰 경우에는 에러로 판정되

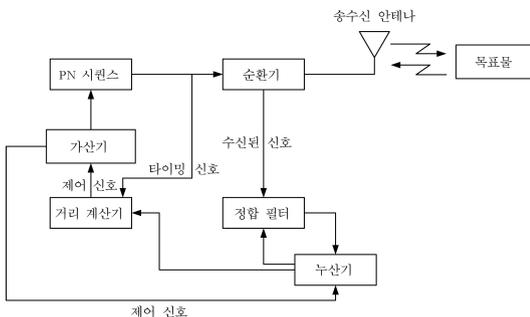
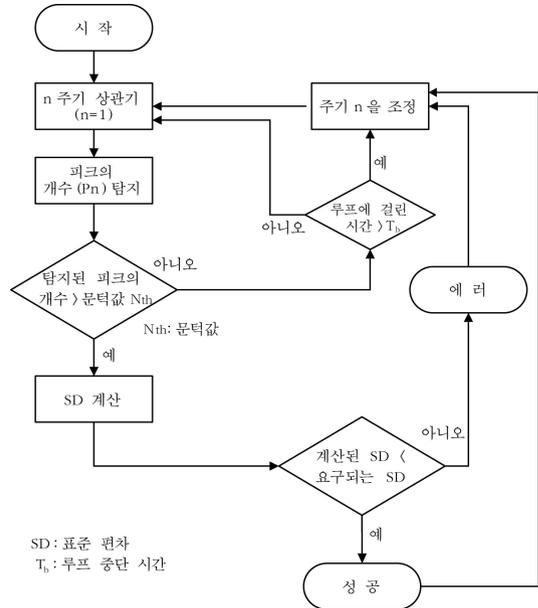


그림 2. 제안된 기법의 시스템 구조



SD: 표준 편차  
T<sub>c</sub>: 무프로 중단 시간

그림 3. 거리 측정에 관한 순서도

고, 그렇지 않은 경우에는 성공으로 판정된다. 각각의 경우에 대해, PN 수열의 길이와 상관 함수의 구간도 달라진다. 에러가 발생하면 주기를 늘리면서 PN 수열의 길이를 늘려 상관 함수의 결과 값을 증가시킨다. 반면 성공 판정이 내려지면 거리에 따라 주기를 조정해준다.

거리에 따라 주기를 바꾸어줄 경우 연산 시간을 절약할 수 있는 효과가 있다. 따라서 충돌에 대비할 수 있는 시간적 여유를 얻을 수 있게 된다. 뿐만 아니라 PN 수열을 반복적으로 사용하여 길이를 가변적으로 조정할 수 있게 됨에 따라 여러 개의 PN 수열 생성기를 가진 효과를 얻을 수 있다. 시스템 복잡도 측면에서 볼 때, 1개의 PN 수열 생성기와 정합 필터를 사용하여 전체적인 시스템 복잡도를 간소화시킬 수 있다.

### IV. 모의실험 결과 및 성능 분석

위에서 소개된 기법에 대한 성능 분석과 기존 기법<sup>[8]</sup>과의 성능 비교를 위해 기존 기법의 실험 환경과 유사한 조건에서 모의실험을 수행하였다. 그에 따라 PN 수열 생성기로 길이가 15인 임의의 수열을 생성하였으며, 수열의 칩 속도는 500 Mchip/sec이며, 피크의 총 개수에 대한 문턱 값은 100으로 설정하였다. PN 수열의 길이는 15부터 그의 배수로 늘렸

으며, 최대 길이는 255로 하였다. PN 수열의 길이가 늘어날수록 잡음에 대해 상대적으로 강하지만, 상관 함수 처리 시간이 오래 걸리게 된다. 따라서 짧은 거리에 대해 처리 시간이 빠르고 거리 측정을 비교적 정확하게 하기 위해 PN 수열의 길이를 15부터 반복하여 사용하였다. 사용된 PN 수열과 상관 함수 처리 시간의 관계는 그림 4와 같다. 이를 바탕으로, 송신 안테나로부터 10m 떨어진 거리에서의 신호대잡음비를 (signal to noise ratio: SNR) -10 dB, -5 dB, 0 dB로 바꾸어가며, 차량 간 거리에 따른 측정 오차에 대한 모의실험을 그림 5와 같이 수행하였다.

그림 4는 기존 기법과 본 논문에서 제안된 기법을 상관 함수 처리 시간 측면에서 SNR과 거리에 따라 비교한 그래프이다. 여기서 상관 함수 처리 시간에 대한 계산 방법은 다음과 같다.

$$T_{co} = 2 \times n \times L \times T_c \times N_{th}, \quad (7)$$

여기서  $n$ 은 수열을 반복하여 사용한 횟수를 나타내며,  $L$ 은 PN 수열 생성기에서의 수열의 길이,  $T_c$ 는 하나의 칩 구간,  $N_{th}$ 는 문턱 값을 나타낸다.

그림 4는 차량 간 거리가 짧을 경우 상관 함수 처리 시간이 빨라야 한다는 점에서 볼 때, 제안된 기법이 더 우수한 성능을 보임을 입증한다. 또한, 기존 기법은 거리를 측정하는 데 긴 수열부터 짧은 수열 순으로 적합한 수열을 찾는 반면, 제안된 기법에서는 짧은 수열부터 긴 수열 순으로 적합한 수열을 찾기 때문에 거리를 탐지하는 데 걸리는 시간이 적게 소요된다. -10 dB의 경우 20m 이내에서 거의 동일한 상관 함수 처리 시간을 보인다. 하지만 20~30m에서 제안된 기법이 더 큰 상관 함수 처리

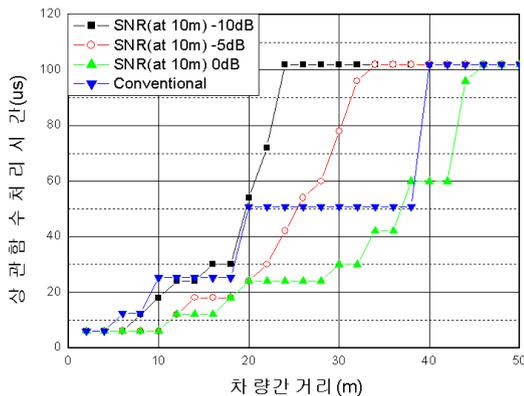


그림 4. 차량 간 거리와 상관 함수 처리 시간

시간을 보이는 데, 이는 요구되는 SD를 최대 60% 이내로 하여 오차가 더 크게 발생하지 않는 범위 내에서 수열의 길이가 늘어나도록 설계했기 때문이다.

다음은 SNR에 따른 거리별 오차의 측면에서 기존 기법과 제안된 기법을 비교한다. 그림 5는 그림 4에서 사용된 수열의 길이를 적용하여 거리에 따라 기존 기법과 제안된 기법의 거리 오차를 비교한 그래프이다. 거리 오차를 측정하는 데, 파형 당 시간 오차를 ( $\tau_{SD}$ ) 이용하며,  $\tau_{SD}$ 를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$\tau_{SD} = ((N_T - N_{th}) \times T_c) / N_{th}, \quad (8)$$

여기서  $N_T$ 는  $N_{th}$ 개의 피크를 수신단에서 수신할 때, 실제로 송신단에서 전송한 피크의 총 개수이다. 따라서  $\tau_{SD}$ 와 식 (6)을 이용하여 측정 거리 오차를 계산할 수 있다. SNR에 따른 3가지 경우에 대해 오차는 크게 차이가 나지 않으나 -5 dB의 경우 12~16m 사이에서 오차가 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이는 제안된 기법에서 사용된 수열의 길이가 더 짧기 때문이다. 짧은 길이의 수열을 사용함에 따라 측정 오차가 6% 이내로 늘어났으나, 소요된 처리 시간은 30~60% 가량 단축되었다.

거리가 멀어질 경우 제안된 기법에서 사용된 PN 수열의 길이와 거리 오차는 기존 기법과 유사하지만, 제안된 기법이 기존 기법에 비해 간단한 시스템으로 구성되며 짧은 거리에서 상관 함수 처리 시간이 기존 기법보다 짧다는 것을 확인할 수 있다. 차량 간 거리가 짧은 상황에서 거리 측정 시간이 적게 소요될수록 좋다는 점을 감안하면 제안된 기법이 더 우수한 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.

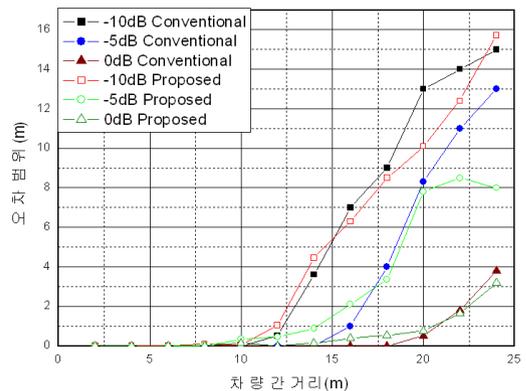


그림 5. 기존 기법과 제안된 기법의 거리에 따른 오차 범위

## V. 결 론

최근 차량 충돌 방지를 위한 차량 레이더가 활발히 연구되고 있다. 차량 레이더 연구에 있어 중요한 것은 빠른 시간 내에 정확한 거리를 측정하여 운전자나 차량으로 하여금 충돌을 미리 방지할 수 있도록 하는 것이다. 본 논문에서는 반복된 PN 수열을 이용한 DS-UWB 레이더 시스템으로 차량 간 거리를 측정하는 데 걸리는 시간을 단축시키는 기법을 제안하였다. 이는 길이가 15인 짧은 PN 수열부터 255까지, 15의 배수로 늘려가며 이동하는 차량들 사이에서 앞 차량과의 거리를 빠르게 갱신할 수 있기 때문이다. 특히 본 논문에서 제안된 기법은 거리를 정확하게 측정하는 데 있어서 기존 기법과 비교하여 유사한 성능을 보이지만 시스템 복잡도 측면에서는 더욱 간소화되었다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. H. Meinel, J. Wenger, H. Henftling, G. Rollman, and H. Dominik, "Automotive radar: From long range collision warning to short range urban employment," in *Proc. MINT MIS2005/TSMW2005*, pp. 244-247, Seoul, Korea, Feb. 2005.
- [2] M. G. M. Hussain, "Ultra-wideband impulse radar-An overview of the principles," *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 13, no. 9, pp. 9-14, Sep. 1998.
- [3] Moe Z. Win and Robert A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, no. 4, pp. 679-689, Apr. 2000.
- [4] I. Gresham, A. Jenkins, R. Egri, C. Eswarappa, N. Kinayman, N. Jain, R. Anderson, F. Kolak, R. Wonhlert, S. P. Bawell, J. Bennelt, and J. P. Lanteri, "Ultra-wideband radar sensors for short-range vehicular applications," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 52, no. 9, pp. 2105-2122, Sep. 2004.
- [5] S. J. Xu, Y. Chen, and P. Zhang, "Integrated radar and communication based on DS-UWB," in *Proc. UWBUS2006*, pp. 142-144, Sevastopol, Ukraine, Sep. 2006.

- [6] M. I. Skolnik, *Radar handbook*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1990.
- [7] M. I. Skolnik, *Introduction to radar systems*, 3rd ed., McGraw-Hill, 2001.
- [8] Y. Nakayama and R. Kohno, "Novel variable spreading sequence length system for improving the processing speed of DS-UWB radar," in *Proc. Int. Conf. Intel. Trans. Sys. Telecommun. (ITST)*, pp. 357-361, Phuket, Thailand, Oct. 2008.

### 이 명 수 (Myungsoo Lee)

준회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사  
2009년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정  
<관심분야> 통계학적 신호처리, 추정 및 검파, 이동통신

### 이 영 포 (Youngpo Lee)

준회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사  
2008년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정  
2008년 11월 한국통신학회 하계종합학술발표회 우수논문상 받음  
<관심분야> 통신 이론, 무선 통신, 통계학적 신호 처리

### 윤 태 응 (Taeung Yoon)

준회원



2008년 2월 성균관대학교정보통신공학부 공학사  
2008년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정  
2008년 11월 IEEE Seoul Section Student Paper Contest 대상 수상

<관심분야> 통신 이론, 통계학적 신호처리, MIMO, 협력 통신

송 정 한 (Chonghan Song)

준회원



2009년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사  
2009년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정  
<관심분야> OFDM, 통계학적 신호처리, 추정 및 검파

윤 석 호 (Seokho Yoon)

중신회원



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 선임회원

2008년 Marquis Who's Who in World에 등재

<관심분야> 통신 이론, 이동통신, 통계학적 신호처리

이 영 윤 (Youngyoon Lee)

준회원



2007년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사  
2009년 2월 성균관대학교 휴대폰학과 공학석사  
2009년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정  
2008년 7월 성균관대학교 우수

논문상 받음

<관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 통계학적 신호처리

김 윤 희 (Yun Hee Kim)

중신회원



1995년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사  
1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
2000년 1월~2000년 4월 UCSD 방문 연구원  
2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과 박사

자전산학과 박사

2000년 9월~2004년 8월 한국전자통신연구원 선임 연구원

2004년 9월~현재 경희대학교 전자정보학부 조교수

2006년 1월~현재 한국통신학회 논문지 편집위원 IEEE 준석학회원

<관심분야> 이동/무선 통신, 통계학적 신호처리와 통신 이론, 부호화 변조, 적응 전송