

인지통신 환경에서 주변 후방산란 통신의 성능 향상

Performance Improvement of Ambient Backscatter Communications in Cognitive Radio Environments

김 미 지 · 한 지 윤 · 김 수 민

Mi Ji Kim · Ji Yoon Han · Su Min Kim

요 약

본 논문은 기존 무선주파수(RF) 신호를 이용하여 데이터를 변조 및 전송하는 주변후방산란 통신을 무선 인지통신 환경에 적용하여 비트 오류율과 데이터 전송률 성능을 향상시키는 연구이다. 세부적으로 2차 주변후방산란 통신 시스템에 스펙트럼 센싱 기능을 가진 파워비콘 노드를 추가하여 기존 RF 신호를 생성하는 1차 시스템의 스펙트럼을 센싱하고, 1차 시스템의 전송 유무에 따라 2차 시스템의 파워비콘 노드의 동작모드 결정한다. 이를 통해 1차 시스템이 전송 중일 때는 1차 시스템의 RF 신호를 이용하여 전송하고, 유휴 상태일 때는 2차 시스템 파워비콘을 이용하여 추가적인 전송이 가능하도록 한다. 시뮬레이션을 통해 2차 시스템 비트오류율과 전송률 관점에서 성능을 평가하고, 그 결과, 센싱 기능이 있는 2차 시스템 파워비콘의 동작모드를 활용하여 2차 시스템의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있음을 보인다.

Abstract

This study analyzes a method to improve the performance of an ambient backscatter communication system by exploiting the existing radio frequency(RF) signals in cognitive radio environments. More specifically, we propose a power-beacon-assisted method based on spectrum sensing, which determines an operation mode according to the sensing results of a primary system generating the existing RF signals. Through this power beacon, the secondary system transmits using the RF signals of the primary system when it is active, whereas the secondary power beacon works as the RF source and the secondary system transmits using this signal when the primary system is inactive. The proposed method is evaluated based on the bit error and achievable data rates through extensive simulations and is shown to provide significant performance improvement compared to the conventional scheme without the power beacon.

Key words: Ambient Backscatter Communication, Cognitive Radio, Internet of Things, Successive Interference Cancellation

I. 서 론

Internet of things(IoT) 기술이 급속도로 성장함에 따라 IoT 환경을 구축하기 위한 무선 통신 기기의 수도 급증하

고 있다. 이로 인해 IoT 무선 통신을 위한 주파수 대역의 부족 현상이 매우 심각해지고 있다. 따라서 이를 해결하기 위해 대규모 통신을 위한 주파수 효율성 증대에 관한 연구들이 진행되고 있다.

「이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1059125).」

한국산업기술대학교 전자공학부(Department of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University)

· Manuscript received November 12, 2019 ; Revised December 30, 2019 ; Accepted January 21, 2020. (ID No. 20191112-008S)

· Corresponding Author: Su Min Kim (e-mail: suminkim@kpu.ac.kr)

최근, 추가적인 무선 주파수 자원 없이 기존 RF 신호를 이용하여 통신하는 주변 후방산란 통신(ambient backscatter communication) 방식이 제안되었고^[1], 주파수 부족 문제와 함께 배터리 문제도 해결할 수 있는 대안으로 활발히 연구가 진행되고 있다^[2]. 주변 후방산란 통신은 태그 내부의 안테나 임피던스값을 변화시켜 주변 RF 신호를 흡수하면 ‘0’이 변조되고, 주변 RF 신호를 반사하면 ‘1’이 변조되도록 하여 비트를 전송하는 방식이다. 기존 RF 신호를 사용하여 데이터를 전송하기 때문에 효율적인 주파수 사용이 가능하다. 이러한 장점 때문에 주변 후방산란 통신시스템의 핵심 부분인 신호 검출을 위한 연구가 진행되고 있고^{[3],[4]}, 시스템의 성능향상을 위한 비트 오류율을 감소시키는 연구도 꾸준히 진행되고 있다^{[5],[6]}.

주파수 효율성을 높이는 대표적인 방안으로 허가 주파수 자원을 사용하는 1차 시스템의 스펙트럼을 감지하고, 비어 있는 주파수 대역을 사용하는 무선 인지통신(cognitive radio) 연구도 활발히 진행되고 있다^{[7]~[9]}.

본 논문에서는 무선 인지통신 환경에 주변 후방산란 통신시스템을 적용하여 비트 오류율과 데이터 전송률 성능을 향상시키는 기법을 제안한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 1차, 2차 시스템이 공존하는 무선 인지통신 환경에서 2차 주변 후방산란 통신시스템을 나타낸다. 1차 시스템은 RF 신호를 생성하는 송신기와 1차 수신기로 구성되어 있고, 2차 시스템은 추가 RF 신호를 송신하는 2차 파워비콘과 2차 수신기인 후방산란 리더와 후방산란 태그로 구성되어 있다. 1차 시스템의 활성(active) 상태와 유허(idle) 상태는 활성화도 ν 에 의해 구분할 수 있다. 여기서 활성화도는 1차 시스템이 동작하는 상태를 의미하며, 1차 시스템이 항상 동작하였을 때를 1로 보았을 때, 1차 시스템이 동작하는 비율이다. 1차 시스템이 활성 상태인 경우, 1차 시스템의 RF 신호를 변조하여 데이터를 전송하고, 1차 시스템이 유허 상태인 경우, 2차 시스템 데이터 전송이 불가능하기에 추가 RF 신호를 생성하는 2차 파워비콘을 활용하여 주변 후방산란 통신시스템이 데이터를 전송하도록 한다.

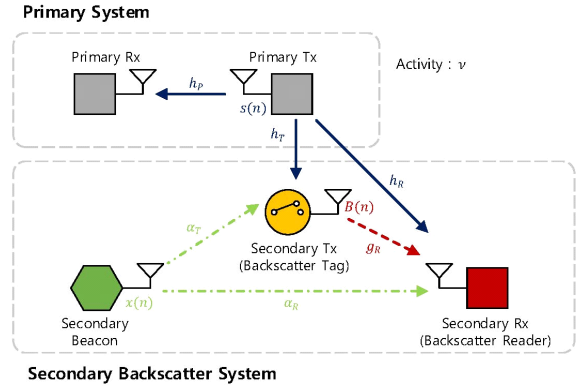


그림 1. 인지통신 환경에서 주변 후방산란 통신 시스템
Fig. 1. Ambient backscatter communication system.

채널 h_R , h_T , α_R , α_T , g_R 는 각각 1차 RF신호와 리더, 1차 RF 신호와 태그, 2차 파워비콘과 리더, 2차 파워비콘과 태그, 태그와 리더 사이의 채널이며, 본 논문에서는 레일레이 블록 페이딩을 겪는 것으로 가정한다^{[10]~[12]}.

그림 2는 프레임 구조를 나타낸다. 훈련구간에서는 비트 판단 문턱값인 Φ_0 와 Φ_1 을 계산하기 위해 프리앰블 신호를 전송한다. Φ_0 는 $B(n) = 0$ 일 때의 수신 에너지 평균값, Φ_1 는 $B(n) = 1$ 일 때의 수신 에너지 평균값이다. 데이터 프레임은 감지 구간, 채널 추정 구간, 데이터 전송 구간으로 구분된다. 감지 구간에서는 2차 파워비콘이 에너지 센싱 기반으로 1차 시스템을 센싱한다. 이를 기준으로 1차 시스템의 활성 상태와 유허 상태를 판단하고, 채널 추정 구간에서는 채널 h 와 α 를 추정한다. 데이터 전송 구간에서는 데이터를 전송하고, Φ_B 값과 Φ_0 와 Φ_1 의 값을

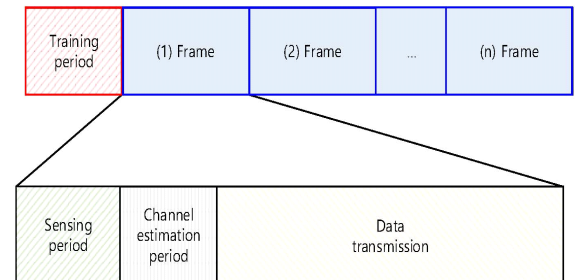


그림 2. 주변 후방산란 통신 프레임 구조
Fig. 2. Frame structure.

비교하여 전송된 데이터 $B(n)$ 을 추정할 수 있다. 여기서 Φ_B 는 데이터 전송에 대한 수신 에너지이다. 1차 시스템이 유험 상태일 때는 연속간섭제거(successive interference cancellation) 기법을 사용하여 간섭제거가 가능하다.

III. 제안 센싱 기반 파워비콘을 이용한 주변 후방산란 통신 성능향상 기법

1차 시스템이 활성 상태인 경우, 2차 주변 후방산란 통신 시스템의 수신신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y(n) &= h_R s(n) + \eta g_R h_T s(n) B(n) + w(n) \\ &= \begin{cases} h_R s(n) + w(n), & \text{if } B(n) = 0, \\ (h_R + \eta g_R h_T) s(n) + w(n), & \text{if } B(n) = 1, \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $h_R + \eta g_R h_T = \mu_R$, η 는 안테나 효율인자, $s(n)$ 은 1차 RF신호, $B(n)$ 은 후방산란 변조비트, $w(n)$ 은 AWGN 잡음이다.

1차 시스템이 유험 상태인 경우, 2차 파워비콘이 RF 신호를 송신하여 수신신호는 다음으로 정리된다.

$$y(n) = \alpha_R x(n) + \eta g_R \alpha_T x(n) B(n) + w(n). \quad (2)$$

파워비콘신호 $x(n)$ 은 2차 시스템에서 알 수 있고, 완벽한 채널추정을 가정하면 간섭제거가 가능하다^[13].

$$\begin{aligned} z(n) &= y(n) - \hat{\alpha}_R x(n) = \eta g_R \alpha_T x(n) B(n) + w(n) \\ &= \begin{cases} w(n), & \text{if } B(n) = 0, \\ \eta g_R \alpha_T x(n) + w(n), & \text{if } B(n) = 1. \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

$\hat{\alpha}_R$ 은 추정된 채널 이득이며, 여기서 $\hat{\alpha}_R = \alpha_R$ 로 완벽한 채널추정을 가정한다.

2차 수신기에서는 평균 수신 에너지를 비교함으로써 $B(n)$ 을 추정할 수 있다. 2차 수신기는 훈련구간 동안 전송된 프리앰블을 기반으로 Φ_0 와 Φ_1 의 값을 미리 계산한다. Φ_0 와 Φ_1 은 각각 $B(n) = 0$ 과 $B(n) = 1$ 일 때의 수신 에너지 평균값을 의미하며 실제 데이터 전송에 대한 수신 에너지 Φ_B 와 가까운 값으로 판단한다^{[14],[15]}. 여기서 N_0 는 훈련구간에서 프리앰블 신호 비트의 개수이며, N_B 는 전송된 $B(n)$ 비트의 개수, N 은 전체 비트의 개수이다.

$$\Phi_B = \frac{1}{N_B} \sum_{n=1}^{N_B} |y(n)|^2. \quad (4)$$

먼저, 1차 시스템이 활성 상태인 경우, Φ_0 와 Φ_1 는 다음으로 결정된다.

$$\Phi_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^{N_0} [|h_R|^2 P_s + \sigma_w^2 + 2h_R s(n)w(n)], \quad (5)$$

$$\Phi_1 = \frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^{N_0} [| \mu_R |^2 P_s + \sigma_w^2 + 2\mu_R s(n)w(n)], \quad (6)$$

여기서 P_s 는 $s(n)$ 의 전력을 의미하고, σ_w 는 잡음의 전력을 의미한다.

1차 시스템이 유험 상태인 경우, Φ_0 와 Φ_1 은 다음으로 결정된다.

$$\Phi_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^{N_0} |w(n)|^2, \quad (7)$$

$$\Phi_1 = \frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^{N_0} |\eta g_R \alpha_T x(n) + w(n)|^2. \quad (8)$$

비트오류율은 전송된 $B(n)$ 과 추정된 $\hat{B}(n)$ 을 비교하여 확률로 나타낸 값이며, 아래 식 (9)에서 결정되며, 전송률은 식 (10)에서 결정된다^[16].

$$\begin{aligned} P_b &= P_r(\hat{B}(n) \neq B(n)) \\ &= P_r(\hat{B}(n) = 0 | B(n) = 1) P_r(B(n) = 1) \\ &\quad + P_r(\hat{B}(n) = 1 | B(n) = 0) P_r(B(n) = 0) \end{aligned} \quad (9)$$

$$R_B = R_S \frac{N_B(1 - P_b)}{N} \quad (10)$$

IV. 성능 평가

본 장에서는 시뮬레이션을 통하여 성능 검증을 수행한다. 시뮬레이션에 사용한 파라미터의 값은 안테나 효율인자(η) = 0.1이며, 시스템 활성도 값을 변화시키면서 시뮬레이션한다.

그림 3과 그림 4에서는 1차 시스템 활성도(ν)가 0.9, 0.75, 0.5, 0.25, 0.1로 설정되었을 때, 제안기법의 비트 오

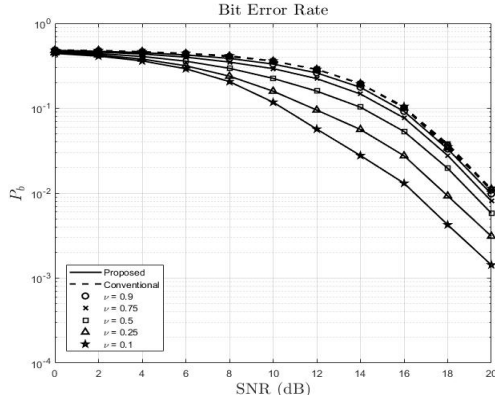


그림 3. 2차 주변 후방산란 시스템의 비트 오류율
Fig. 3. Bit error rate of the secondary system.

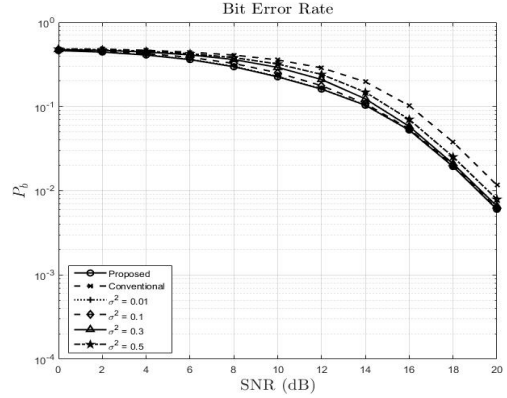


그림 5. 2차 주변 후방산란 시스템의 비트 오류율 ($\nu=0.5$)
Fig. 5. Bit error rate of the secondary system ($\nu=0.5$).

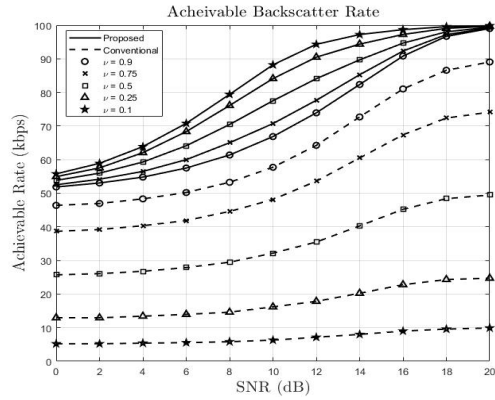


그림 4. 2차 주변 후방산란 시스템의 데이터 전송률
Fig. 4. Data rate of the secondary system.

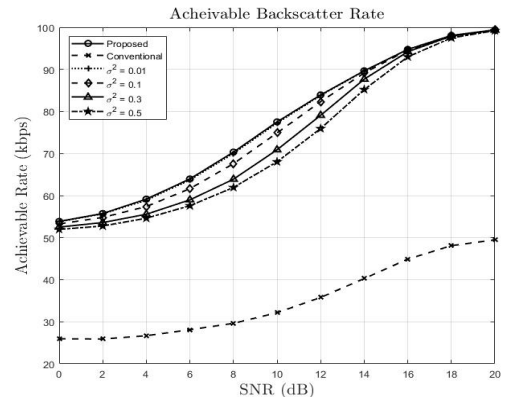


그림 6. 2차 주변 후방산란 시스템의 데이터 전송률($\nu=0.5$)
Fig. 6. Data rate of the secondary system ($\nu=0.5$).

률율과 전송률을 보여준다. 시스템 활성도가 0.75인 경우에는 1차 시스템이 75 % 동작하고, 2차 시스템이 25 % 동작하게 된다. 따라서 1차 시스템 활성도의 값이 감소하게 되면 2차 시스템의 사용이 증가하게 된다. 1차 시스템 활성도(ν)가 감소함에 따라 기존 후방산란 통신시스템의 비트오류율은 변화가 없고, 1차 시스템의 낮은 활성도로 인해 후방산란 전송률은 심하게 저하된다. 반면, 제안기법은 간섭제거로 인하여 1차 시스템 활성도가 감소함에 따라 비트오류율을 감소시키고, 파워비콘 덕분에 항상 후방산란 데이터를 보낼 수 있어 주변 후방산란 통신시스템의 전송률을 획기적으로 향상시킬 수 있다.

그림 5와 그림 6에서는 1차 시스템 활성도(ν)가 0.5일 때,

채널 추정 오류가 발생했을 경우의 비트 오류율과 전송률을 보여준다. 이때, 추정된 채널은 $\hat{\alpha}_R = \alpha_R + \Delta$ 와 같이 나타내며, Δ 는 가우시안 채널 추정 오류를 의미한다. 즉, $\Delta \sim CN(0, \sigma^2)^{[17]}$. σ^2 이 0.01, 0.1, 0.3, 0.5로 증가함에 따라 채널 추정 오류가 증가한다. 기존 시스템은 채널 추정 오류에 따른 변화가 없지만, 제안기법은 채널 추정 오류가 증가함에 따라 비트오류율이 증가하고, 전송률은 감소한다. 채널 추정 오류가 0.5일 경우, 완벽한 채널추정의 경우보다 성능이 떨어지지만, 기존 주변 후방산란 통신 시스템보다는 여전히 상당한 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법은 데이터 오류율을 감소시키

고, 전송률을 증가시키는 성능 향상을 가져왔다. 하지만 파워비콘을 추가로 사용해야 하므로 오버헤드가 발생하는 문제가 있다. 파워비콘은 일반적인 트랜스미터의 역할이 아닌 파워 역할만 수행하므로 복잡도 및 비용 증가가 일어나지만 간단한 설계가 가능하다. 이러한 추가 설계를 통해 시스템 성능의 효율을 향상시킬 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 인지통신 환경에서 2차 주변 후방산란 통신시스템의 성능을 향상시키는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션의 성능 평가 결과, 제안한 파워비콘을 사용한 주변 후방산란 통신시스템이 기존 주변 후방산란 통신시스템보다 상당히 좋은 성능을 보이며, 완벽한 채널추정을 기반으로 SIC 기법을 적용하면 획기적으로 성능을 향상시킬 수 있었다.

추후 연구로 무선 인지통신 환경에서 다중 태그를 가진 주변 후방산란 통신시스템으로 확장하여 추가적인 성능 향상이 가능하다. 또한, SDR 플랫폼을 이용한 구현 및 실험을 통하여 실제적인 환경에서 성능검증 후속연구가 필요하다.

References

- [1] V. Liu, A. Parks, V. talla, S. Gollakota, D. Wetherall, and J. R. Smith, "Ambient backscatter: Wireless communication out of thin air," in *Proceedings of the ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 43, no. 4, 39-50, Aug. 2013.
- [2] N. V. Van Huyuh, D. T. Hoang, X. Lu, D. Niyato, P. Wang, and D. I. Kim, "Ambient backscatter communications: A contemporary survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 4, pp. 2889-2922, May 2018.
- [3] J. Qian, F. Gao, and G. Wang, "Signal detection of ambient backscatter system with differential modulation," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Shanghai, 2016, pp. 3831-3835.
- [4] C. Chen, G. Wang, F. Gao, and Y. Zou, "Signal detection with channel estimation error for full duplex wireless system utilizing ambient backscatter," in *Proceedings of the International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, Nanjing, 2017, pp. 1-5.
- [5] Y. Liu, Z. Zhong, G. Wang, and D. Hu, "Uplink detection and BER performance for wireless communication systems with ambient backscatter and multiple receiving antennas," in *Proceedings of the International Conference on Communications and Networking in China (ChinaCom)*, Shanghai, 2015, pp. 79-84.
- [6] X. Zhou, G. Wang, Y. Wang, and J. Cheng, "An approximate BER analysis for ambient backscatter communication systems with tag selection," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 22552-22558, 2017.
- [7] A. Ahmad, S. Ahmad, M. H. Rehmani, and N. U. Hassan, "A survey on radio resource allocation in cognitive radio sensor networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 888-917, Feb. 2015.
- [8] H. N. Vu, H. Y. Kong, "Optimal throughput of secondary users over two primary channels in cooperative cognitive radio networks," *Journal of the Korean Institute of Electromagnetic and Science*, vol. 12, no. 1, Mar. 2012.
- [9] J. Kim, "Full-duplex communication technology for performance improvement of cognitive radio," *The Proceedings of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 27, no. 5, pp. 24-29, Sep. 2016.
- [10] J. Y. Han, J. Kim, and S. M. Kim, "Physical layer security improvement using artificial noise-aided tag scheduling in ambient backscatter communication systems," in *Proceedings of the International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, Zagreb, Croatia, Jul. 2019, pp. 432-436.
- [11] G. Yang, Q. Zhang, and Y. C. Liang, "Cooperative ambient backscatter communications for green internet-of-things," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 1116-1130, Apr. 2018.

- [12] Y. Zhang, F. Gao, X. Lei, and G. K. Karagiannidis, "Secure communications for multi-tag backscatter systems," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 8, no. 4, pp. 1146-1149, Aug. 2019.
- [13] S. Ma, G. Wang, R. Fan, and C. Tellambura, "Blind channel estimation for ambient backscatter communication systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no. 6, pp. 1296-1299, Jun. 2018.
- [14] G. Wang, F. Gao, R. Fan, and C. Tellambura, "Ambient backscatter communication system: Detection and performance," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, no. 11, pp. 4836-4846, Nov. 2016.
- [15] X. Zhou, G. Wang, Y. Wang, and J. Cheng, "An

approximate BER analysis for ambient backscatter communication systems with tag selection," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 22552-22558, Jul. 2017.

- [16] K. H. Jang, S. M. Kim, and J. Kim, "Performance analysis of multi-tag multi-reader ambient backscatter communication systems," in *Proceedings of the International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, Zagreb, Croatia, Jul. 2019, pp. 422-425.
- [17] T. Yoo, A. Goldsmith, "Capacity and power allocation for fading MIMO channels with channel estimation error," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, no. 5, pp. 2203-2214, May 2006.

김 미 지 [한국산업기술대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0003-1520-4930>



2019년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학부 (공학사)
 2019년 3월~현재: 한국산업기술대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] Ambient Backscatter Communications, Cognitive Radio 등

김 수 민 [한국산업기술대학교/조교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5951-9208>



2005년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
 2012년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학박사)
 2012년 2월~2012년 8월: 한국과학기술원 정보전자연구소 박사후연구원
 2012년 9월~2012년 10월: 국립경상대학교 해양과학대학 해양과학연구소 박사후연구원
 2012년 11월~2014년 10월: 스웨덴 왕립공과대학교 (KTH) 박사후연구원
 2014년 11월~2015년 2월: 스웨덴 Ericsson 연구소 선임연구원
 2015년 3월~현재: 한국산업기술대학교 전자공학부 조교수
 [주 관심분야] IoT, Ambient Backscatter Communications, Cognitive Radio, 5G, Statistical Signal Processing 등

한 지 윤 [한국산업기술대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0003-1134-379X>



2018년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학부 (공학사)
 2018년 3월~현재: 한국산업기술대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] Ambient Backscatter Communications, Physical Layer Security, Cognitive Radio 등