

# 스펙트럼 센싱을 적용한 인지 무선 기반 백스캐터 네트워크의 주파수 선택 기법

홍승관\*, 이선의\*, 김진영\*

## Frequency Selection Methods in RF-Powered Backscatter Cognitive Radio Networks with Spectrum Sensing

Seung Gwan Hong\*, Sun Yui Lee\*, and Jin Young Kim\*

### 요 약

이 논문에서는 백스캐터 통신에 기반한 인지 무선 센서인 보조 사용자의 성능을 향상시키기 위해 인지 무선 기반 백스캐터 네트워크를 연구한다. 제안된 모델에서, 캐리어 이미터를 추가하고 스펙트럼 센싱 정보를 활용하기 위해 이중감쇄를 피하는 것을 고려한다. 기본 채널이 사용 중일 때 보조 사용자는 Hybrid-Access Point(H-AP)와 캐리어 이미터를 통해 채널에서 RF 에너지를 수집할 수 있다. 채널이 유휴 상태가 되면 보조 사용자는 수확된 에너지를 사용하여 무선 센서를 작동시키고 스펙트럼 센싱 후, 캐리어 이미터를 통해 백스캐터 통신을 수행한다. 따라서 우리는 다수의 태그가 존재하는 백스캐터 채널을 deterministic과 멀티소스 요소로 수학적 모델링한다. 제안한 통신 환경에서 WiFi 신호를 활용한 백스캐터 통신의 BER 성능을 보인다.

**Key Words** : backscatter communications, cognitive radio, spectrum sensing, RF energy harvesting, secondary user

### ABSTRACT

In this paper, we study RF-powered backscatter cognitive radio networks to improve the performance for the secondary user which is backscatter radio based wireless sensors. In our proposed model, we consider an avoiding the doubly round-trip attenuation to add a carrier emitter and utilization of spectrum sensing information. When the primary channel is busy, the secondary user is able to harvest RF energy from the channel through a hybrid-access point (H-AP) and a carrier emitter. When the channel becomes idle, the secondary user will be use the harvested energy to operate wireless sensors, to use the sensing and to backscatter through the carrier emitter. We model mathematically the deterministic and multisource elements of a number of tagged channels. In the proposed communication environment, we show the BER performance of the backscatter communication using WiFi signal.

## I. 서 론

최근에 스펙트럼 무선 자원의 이용을 향상시키는 인지 무선 네트워크 (Cognitive Radio Network)의 무선 전력 통신 네트워크 (WPCNs)가 연구되고 있다[1]. 특히 많은 양의 분산 센서에 배터리 없이 동작하기 위한 RF 에너지 수확을 효율적으로 제공하기 위해, 인지 무선에서 WPCN에 후방 산란 통신을 적용하는 인지 무선 기반 백스캐터 네트워크가 연구되어왔다. 이러한 네트워크에서 보조 사용자는 주 채널이 사용 중일 때 RF 에너지를 수집하고 후방 산란 모드를 사용하

여 데이터를 전송하고 주 채널이 유휴 상태 일 때 데이터를 전송하기 위해 에너지를 사용한다[2].

그러나 RF 동력 형 후방 산란인지 형 무선 네트워크의 경우 채널 바쁜 간섭이 높을 때 (즉, 채널이 주로 1 차 신호로 점유되는 경우), 2 차 사용자는 후방 산란의 이중 왕복 감쇄를 가지므로 결과적으로 낮은 전송 속도가 발생한다. 따라서, 이러한 단점을 극복할 필요 가있다[3].

인지 무선 기술에서 보조 사용자는 주기적인 감지 동작으로 주사용자의 부재를 결정할 수 있으며 보조 사용자 사이의 협력 감지는 중요한 감지 성능 향상을 가져온다[4]. 본 논문

\* 본 연구는 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2014R1A5A1011478).

‘광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 (mygwan112@kw.ac.kr),(yumin@kw.ac.kr),(sunnyuil22@naver.com),(jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2017년 9월 21일, 최종게재확정일자 : 2017년 9월 27일

에서는 인지 무선 기반 백스캐터 네트워크에 대한 주파수 점유 대역을 스펙트럼 센싱하여 주파수를 이동해 통신하는 시스템 모델을 분석한다. 주요 목표는 인지 무선 기반 백스캐터 네트워크의 전반적인 전송 속도를 향상시키는 것이다. 우리는 채널이 바쁠 때 에너지 수확 및 후방 산란 통신을 수행하기 위한 최적의 시간을 얻기 위한 최적화 문제를 공식화한다. 따라서 최적화의 방법을 사용하여 전체적으로 최적의 솔루션을 얻을 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 솔루션이 기본 방법과 비교하여 제한한 네트워크의 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II 장에서는 시스템 모델과 인지 무선 기반 백스캐터 통신의 기본 개념 및 에너지 효율의 공식화 된 유틸리티를 제안한다. III 장에서 인지 무선 통신의 스펙트럼 센싱을 이용한 백스캐터 채널을 공식화한다. IV 장에서는 시뮬레이션 결과를 제시하고, V 장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

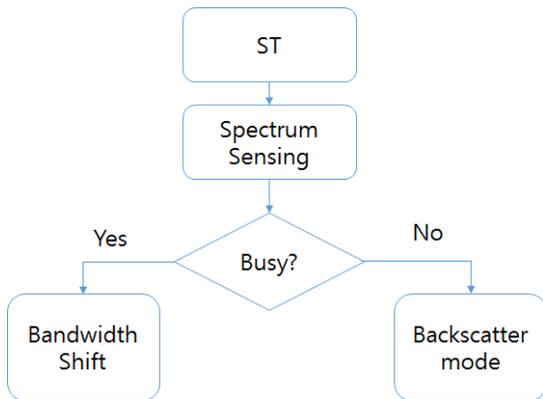


그림 1. 제안된 시스템 모델의 순서도.

스펙트럼 센싱을 이용한 주파수 대역 선택 방식은 연속 파워 웨이브 (CW) 신호를 받아서 인접 대역으로 주파수를 변화시키기 때문에 CW 신호와의 간섭을 피할 수 있다. 또한 변화시킬 채널을 선택할 수 있기 때문에 노이즈가 적은 채널을 선택하여 통신을 할 수 있다. 이 특성은 같은 주파수 채널에서 통신하기 발생하는 페이즈 켈레이션 문제를 근본적으로 피할 수 있는 장점이다. 그리고 태그는 주변 주파수 환경에서 다수의 태그가 통신하는 환경에서 각각 다른 주파수를 사용하여 간섭을 피하고 주파수 대역의 활성화 변화따라 사용 대역을 변화시킬 수 있는 것이 큰 장점이다. 그림 1은 백스캐터 통신 환경에서 다수의 태그가 동작하는 환경의 스펙트럼 센싱 시스템 모델을 설명한다.

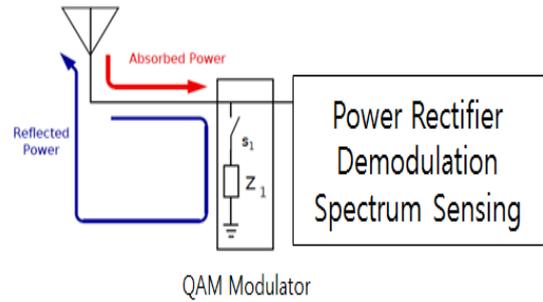


그림 2. 기존 백스캐터 태그 모델의 모듈레이션 회로구조.

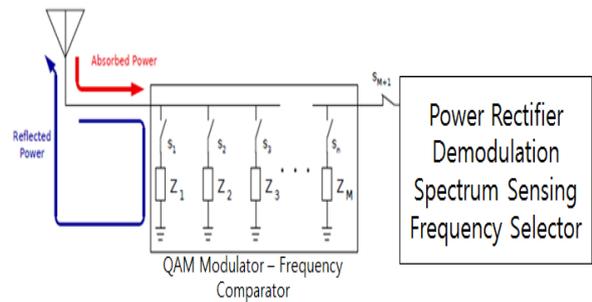


그림 3. 제안된 스펙트럼 센싱 백스캐터 태그 모델 구조.

CW 파워가 전달되는 주파수에서 태그가 단순히 로드와 페이즈 만을 모듈레이션하여 통신을 수행하면 페이즈 켈레이션 문제가 발생한다[5]. 이 문제를 해결하기 위해서 다양한 연구에서 최대한 겹치는 페이즈(페이즈 다양성)를 줄이게 하거나 안테나 다양성을 높이는 방법으로 태그의 성능을 증가시켰다[6]. 하지만 이러한 시스템은 태그가 1:1로 통신하는 상황을 가정하기 때문에 동일 주파수에 통신하는 태그가 여러개 존재할 경우 성능이 저감될 수 있다. 그림 2는 기존의 스펙트럼 센싱을 적용했을 때 모듈레이션 구조이고 그림 3은 스펙트럼 센싱 후 태그가 주파수를 선택하여 백스캐터 통신을 수행하는 제안된 시스템 모델이다.

다수의 태그가 존재하는 제안된 시스템 모델에서는 태그가 주파수를 검색하여 주변에 사용하지 않는 인접 채널로 주파수를 이동시켜 통신하는 Frequency shift spectrum sensing method를 사용한다. 태그는 Tx 안테나, Rx 안테나, CW 안테나, 시스템 모델의 안테나는 4종류를 사용한다. 스펙트럼 센싱 안테나는 백스캐터가 동작하는 넓은 대역의 수신 감도를 가지고 내부에 사용하는 가드밴드 채널 정보가 담긴 비교기로 이루어져 있다. 이 비교기들은 태그 주변에 사용중인 가드밴드를 탐지하여 그 대역을 태그가 사용하지 않게 한다. 이 시스템 모델은 태그가 가지고 있는 사용 가드 밴드 정보에 따라 순차적으로 사용가드 밴드를 정하게 되고 새로 추가되는 태그는 다른 채널 할당 솔루션이 없이 즉시 통신이 가능한 장점이 있다.

와이파이의 경우 상당량의 통신 트래픽이 있더라도 인접 채널과의 간섭을 피하기 위해서 14개의 할당 채널 중 11개만 사용된다[7].

제안된 시스템 모델은 높은 파워가 존재하는 채널을 태그에 사용 중인 것을 자동으로 파악하여 주파수를 이동시켜 좋은 채널 환경을 선택할 수 있다. 따라서 스펙트럼 센싱을 통한 비사용 중인 인접 대역으로 백스캐터 신호를 이동시켜 시스템의 성능을 증가시킬 수 있다.

### Ⅲ. 채널 모델

태그 1과 태그 2가 CW로 부터 수신한 신호의 파워는 [8] Friis'equations 에서 소개된 수식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{CW \rightarrow T_1} = \frac{P_{CW} G_{CW} G_{T_1} \lambda^2}{(4\pi d_1)^2}, \quad (1)$$

$$P_{CW \rightarrow T_2} = \frac{P_{CW} G_{CW} G_{T_2} \lambda^2}{(4\pi d_2)^2}, \quad (2)$$

여기서  $P_{CW}$  는 태그가 주 에너지원으로 사용하는 CW 신호의 방출 파워;  $G_{CW}$ ,  $G_{T_1}$  과  $G_{T_2}$  는 CW, 태그 1과 태그 2의 각각이 갖는 안테나의 수신 이득;  $\lambda = \frac{c}{f}$  는 신호의 파장;  $f$  는 신호의 주파수;  $c$  는 빛의 속도; 그리고  $d_2$  과  $d_1$  은 CW 신호로부터 태그 1과 태그 2의 각각 수신 거리이다. Tag 1이 방출하는 백스캐터 파워는

$$P_{T_1} = k_{T_1 \rightarrow T_2}^2 P_{CW \rightarrow T_1}, \quad (3)$$

여기서  $k_{T_1 \rightarrow T_2}^2$  는 태그 1의 실수 값의 반사율계수. 태그 1로 부터 태그 2가 수신하는 백스캐터 파워는

$$P_{T_1 \rightarrow T_2} = \frac{P_{T_1} G_{T_1} G_{T_2} \lambda^2}{(4\pi d_3)^2}. \quad (4)$$

수신 백스캐터 신호  $r(t)$  는 수학적으로 deterministic complex baseband channel과 주파수 변환의 컨벌루션으로 표현한다.

$$h_{RX}(\tau) = \sum_{l=1}^{K_{RX}} \alpha_{l, RX} \delta(\tau - \tau_{l, RX}) + \nu_{RX}(\tau), \quad (5)$$

여기서  $\alpha_{l, RX} \in \mathbb{C}$  is 복소수 진폭,  $\tau_{l, RX} = \frac{1}{c} \|p_l - p_{RX}\|$  태그로부터 도달하는 신호 딜레이,  $p_l - p_{RX}$  는 송신기부터 리시버까지의 거리,  $\nu_{RX}$  는 태그 신호가 도달하는 확산 다중 경로이다.

다음 식 (6)은 고려된 채널 환경에서의 태그의 개수  $l$  에 따른 위치의 부분집합이다.

$$\{p_{l, RX} = [x_{l, RX} \ y_{l, RX}]^T\}_{l=1}^{K_{RX}}. \quad (6)$$

$$h_{TX} = \sum_{k=1}^{K_{TX}} \alpha_{k, TX} \delta(\tau - \tau_{k, TX}), \quad (7)$$

$$\tau_{k, TX} = \frac{1}{c} \|p_k - p_{TX}\|. \quad (8)$$

$$h_{BS}(\tau) = h_{TX}^* h_{RX}(\tau). \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^{K_{TX}} \alpha_{k, RX} \delta(\tau - \tau_{k, RX})^* \left[ \sum_{l=1}^{K_{RX}} \alpha_{l, RX} \delta(\tau - \tau_{l, RX}) + \sum_m^{K_{Tag}} \alpha_{m, Tag} \delta(\tau - \tau_{m, Tag}) + \nu_{RX}(\tau) \right] \\ &= \sum_{k=1}^{K_{TX}} \sum_{l=1}^{K_{RX}} \alpha_{k, TX} \alpha_{l, RX} \delta(\tau - \tau_{k, TX} - \tau_{l, RX}) \\ & \quad + \sum_{k=1}^{K_{TX}} \sum_{m=1}^{K_{Tag}} \alpha_{k, TX} \alpha_{m, Tag} \delta(\tau - \tau_{k, TX} - \tau_{m, Tag}) \\ & \quad + \sum_{k=1}^{K_{TX}} \alpha_{k, TX} \nu_{RX}(\tau - \tau_{k, TX}), \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nu_{BS} &= \nu_{TX, DM_{RX}}(\tau) + \nu_{RX, DM_{TX}}(\tau) + \tau_{DM_{TX}, DM_{RX}}(\tau) \\ &= \nu_{TX, DM_{RX}}(\tau) + \tau_{RX}(\tau) \quad (11) \end{aligned}$$

$\nu_{TX}(\tau)$  는 CW 소스의 주파수 이동 때문에 0으로 보고  $\nu_{TX}(\tau)$  과  $\nu_{RX}(\tau)$  는 서로 독립적이라 가정한다. 제안한 백스캐터 채널 모델은

$$\begin{aligned} S_{\nu, BS}(\tau) &= E\{\nu_{BS}(\tau) \nu_{BS}^*(\tau)\} = \\ & E\left\{ \sum_{k=1}^{K_{TX}} \sum_{l=1}^{K_{RX}} \alpha_{k, TX} \alpha_{l, TX}^* \nu_{RX}(\tau - \tau_{k, TX}) \nu_{RX}^*(\tau - \tau_{l, TX}) \right\} \\ &= \sum_{k=1}^{K_{TX}} \|\alpha_{k, TX}\|^2 S_{\nu, RX}(\tau - \tau_{k, TX}), \quad (12) \end{aligned}$$

우리는 송신 태그의 신호를  $s(t) \in \mathbb{C}$  으로 가정한다.

$$s(t) = \left[ \sum_{k=1}^{K_{TX}} \overline{\alpha_{k, TX}} \delta(t + \overline{\tau_{k, TX}}) \right]^* p(t), \quad (13)$$

여기서  $p(t)$  는 단일 펄스 신호,  $\{\overline{\alpha_{k, TX}}, \overline{\tau_{k, TX}}\}$  는  $\overline{p}$  위치에 대한 업 링크 채널 파라미터  $h_{TX}$  모음 집합  $\overline{K}_{TX}$  이다. 위 조건에 따라서 수신 신호를 나타내면 다음과 같다.

$$r(t) = s(t) * h_{BS}(t) + n(t)$$

$$\begin{aligned}
 &= \left[ \sum_{k=1}^{K_{TX}} \sum_{l=1}^{K_{RX}} \sum_{k=1}^{K_{TX}} \alpha_{k, TX} \alpha_{l, RX} \overline{\alpha_{k, TX}^*} \right. \\
 &\quad \left. \delta(t - \tau_{k, TX} - \tau_{l, RX} + \tau_{k, TX}) \right. \\
 &+ \sum_{k=1}^{K_{TX}} \sum_{m=1}^{K_{Tag}} \sum_{k=1}^{K_{TX}} \alpha_{k, TX} \alpha_{m, Tag} \overline{\alpha_{k, TX}^*} \\
 &\quad \left. \delta(t - \tau_{k, TX} - \tau_{m, Tag} + \tau_{k, TX}) \right. \\
 &+ \left. \sum_{k=1}^{K_{TX}} \sum_{k=1}^{K_{TX}} \alpha_{k, TX} \overline{\alpha_{k, TX}^*} \mathcal{V}_{RX}(t - \tau_{k, TX} + \tau_{k, TX}) \right] \\
 &\quad * p(t) + n(t), \quad (14)
 \end{aligned}$$

여기서  $\{\alpha_{m, Tag}, \tau_{m, Tag}\}$  는 태그의 랜덤 위치  $\bar{T}$ 에 대한 업 링크 파라미터  $h_{Tag}$  의 모음 집합  $K_{Tag}(\tau)$  이고  $n(t)$  는 파워 주파수 밀도  $N_0/2$ 에 대한 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다.

#### IV. 시뮬레이션

스펙트럼 센싱을 활용한 주파수 선택 채널 시스템의 성능을 비교하기 위하여 우리는 16QAM 모듈레이션을 통한 BER을 비교하였다. 동일한 모듈레이션 방법으로 기존 시스템과 피드백 채널을 이용한 phase cancellation 문제를 해결한 본 시스템의 성능을 비교한다. 홈 네트워크를 구성하는 실내 채널을 위에 제안한 백스캐터 채널 모델을 활용하여 최대 10개의 백스캐터 모듈이 5m 공간에 있는 것을 가정하였다. 그림 4는 WiFi와 Bluetooth가 사용 중일 때 신호의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

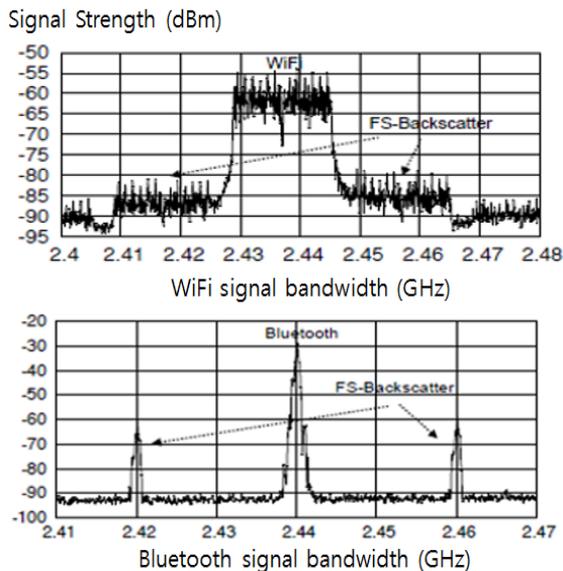


그림 4. WiFi and Bluetooth 주파수 대역.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Parameters	Values
Sampling Rate	1M [S/sec]
Carrier Frequency	2.4[GHz]
CW Power Gain	-60 [dBm]
Number of Guard band	13
Root Raised Cos Filter Alpha	0.8
Symbol Rate	1.25M [symbol/sec]
QAM M-ary	16
Distance	5 [m]
Number of Tag	10

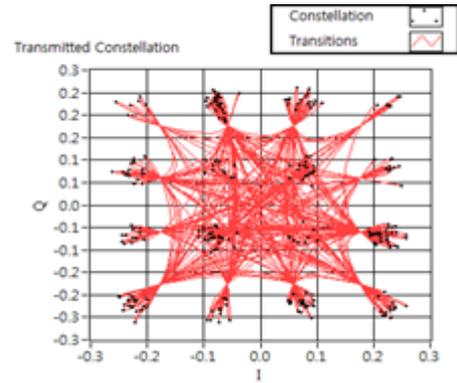


그림 5. WiFi 백스캐터 신호의 16QAM 심벌배치.

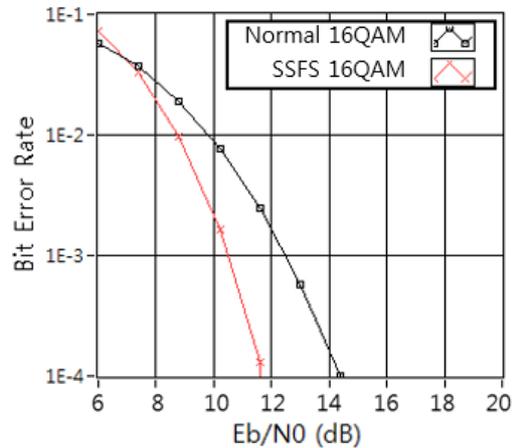


그림 6. SSFS 16QAM과 일반 16QAM의 BER 성능 비교.

실험 결과 기존 16QAM 보다 약 3dB정도의 에너지 이득을 얻을 수 있음을 보였다. 표 1은 실험에 사용된 파라미터를 나타낸다. CW의 파워를 WiFi 파워와 동일하게 맞추어 실내 환경에서 다수의 태그가 통신하는 것을 시뮬레이션 하였다. 실제 IoT 디바이스가 여러 개 존재할 경우 페이스 캔슬레이션 문제가 발생하는 상황을 가정하기 위해서 ASK, PSK 방식을 모두 사용하는 QAM 방식으로 BER 성능을 비교하였다.

그림 5은 WiFi 신호를 이용한 백스캐터 신호의 16QAM constellation를 나타낸다. 그림 6는 제안한 백스캐터 채널 모델을 이용하여 16QAM 방식과 SSFM (Spectrum Sensing

Frequency Shift) 16QAM 방식의 성능을 분석하였다. 실험에 사용한 SSFS 방식은 태그의 스펙트럼 센싱 채널 안테나를 통하여 사용 중인 대역을 피해서 13개의 유효 주파수 대역을 순차적으로 선택하여 통신하는 것이다.

## V. 결론

본 논문에서는 백스캐터 태그 투 태그 통신의 페이즈 켄슬레이션 문제를 해결하기 위하여 인지 무선 통신의 스펙트럼 센싱을 이용한 주파수 변환 방법을 사용하였다. 실제 실내 환경의 적용하기 위한 다수의 백스캐터 태그 모델을 가정하여 가드 밴드 피드백 채널 모델을 통하여 태그가 사용가능한 주파수를 파악하여 사용하는 솔루션을 제시하였다. 실내 백스캐터 통신에서 사용가능한 채널을 파악하는 안테나를 추가한 시스템의 수학적인 모델을 유도하였다. 주파수를 이동시키기 위해서 사용되는 파워를 고려하여 5m 거리에서의 BER의 변화를 보였고 WIFI 환경에서 주변에 영향을 미칠 수 있는 태그의 숫자가 스펙트럼 센싱으로 기존 통신 시스템의 유효 대역수를 넘지 않으면 성능에 영향을 미치지 않는 것을 보였다. 기존 통신 방식보다 제안된 통신 방법이 동일한 16QAM 모듈레이션일 때 성능이 개선된 것을 시뮬레이션을 통하여 보였다.

## 참고 문헌

- [1] K. W. Choi, L. Ginting, P. A. Rosyady, A. A. Aziz, and D. I. Kim, "Wireless-Powered Sensor Networks: How to Realize," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 221-234, Oct. 2017
- [2] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim, and Z. Han, "Wireless Charging Technologies: Fundamentals, Standards, and Network Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pp.1413-1452, Nov. 2016.
- [3] P. V. Nikitin, S. Ramamurthy, R. Martinez, and K. Rao, "Passive tag-to-tag communication," *Proc. 2012 IEEE International Conference on RFID*, pp. 177 - 184, Apr. 2012.
- [4] G. Marrocco and S. Caizzone, "Electromagnetic models for passive tag-to-tag communications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 11, pp. 5381 - 5389, June 2012.
- [5] J. Kimionis, A. Bletsas and J. N. Sahalos, "Increased range bistatic scatter radio," *IEEE Transactions on communications*, vol. 62, no. 3, pp.1091-1104, Feb. 2014.
- [6] J. Wang and M. Bolic, "Exploiting dual-antenna diversity for phase cancellation in augmented RFID system," *Proc. 2014 International Conference on Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT)*, pp. 1-6, June 2014.
- [7] Z. Shen, A. Athalye and P. Djuric, "Phase Cancellation in

- Backscatter-Based Tag-to-Tag Communication Systems," *IEEE Internet of Things Journal*, pp. 959-970, Feb. 2016.
- [8] J. Wang and M. Bolic, "Reducing phase cancellation effect with ASK-PSK modulated stamp in augmented UHF RFID indoor localization system," *Precedia Computer Science*, vol. 56, pp. 465-470, Sep. 2015.

## 저자

### 홍 승 관(Seung Gwan Hong)

학생회원



- 2016년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2016년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 무선에너지하비스팅, 백스캐터 통신, 5G 이동통신, IoT

### 이 선 의(Sun Yui Lee)

학생회원



- 2013년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

### 김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신