

# 인지무선통신 기반의 이중 분류법 알고리즘을 적용한 백스캐터 통신의 성능

김도균\*, 홍승관\*, 김진영\*

## Performance of Backscatter Communications Using Two-Level Classification Algorithm Based on Cognitive Radio Sensor Networks

Do Kyun Kim\*, Seung Gwan Hong\*, and Jin Young Kim\*

### 요 약

백스캐터 신호는 신호의 세기가 미약하여 신호 간섭과 채널 영향에 큰 영향을 받는다. 본 논문에서는 백스캐터 통신을 위한 주파수 대역을 찾는 인지 무선 통신 시스템 기반의 이중 알고리즘을 제안한다. 이중 알고리즘은 유휴 채널과 에너지 효율에 대한 정보와 주파수 채널의 상태를 파악하여 최적의 주파수 채널을 제공한다. 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 백스캐터 통신의 성능을 확인하고, 백스캐터 통신에서 제안한 알고리즘의 성능향상을 입증한다.

**Key Words** : Backscatter Communications, Cognitive Radio, Two-level Classification algorithm, Interference, Idle Frequency Channel

### ABSTRACT

The backscatter signals are very weak so they can be easily interfered by signal interferences and channels. In this paper, we propose a two-level classification algorithm for backscatter communications which chooses the idle frequency channel based on cognitive radio systems. The two-level classification algorithm provides an optimal idle frequency channel by obtaining informations about idle frequencies, fading of the channels, and the channels' usage state by primary users. Our simulation results show the improvement of BER and received power performance in backscatter communications by using the proposed algorithm, and the improvement of the algorithm's performance in backscatter communications.

## I. 서 론

IoT가 각광받고 있는 시대에, 최근 주파수 대역을 효율적으로 활용하는 것에 대한 관심이 높아지고 있다. 그에 따라 주변 환경으로부터 빈 대역을 찾는 시스템에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 특히 인지무선통신을 이용한 시스템 연구가 많이 이루어지고 있다. 인지무선통신을 통하여 데이터 통신을 하려면 유휴주파수 대역을 탐지하는 일이 중요하며, 이에 따라 스펙트럼 센싱 및 접속이 매우 중요해졌다. 스펙트럼의 효율적인 사용을 위해서 Federal Communication Commission(FCC)는 secondary user(SU)를 위해 primary user(PU)의 통신을 보장하는 조건으로 스펙트럼을 공유할 수 있도록 허락하였다[1]. 이것을 dynamic spectrum

access(DSA)[2]라고 하며 이에 적합한 기술은 인지 무선 통신이다. 인지 무선 통신은 최적화된 스펙트럼 센싱 방법을 통해 유휴 채널을 효과적으로 찾아낸다. 이렇게 찾아낸 유휴 채널을 통해서 RF 에너지 하베스팅 뿐만 아니라, 다른 용도로도 이 채널을 활용할 수 있게 되며 스펙트럼 활용 효율이 증대된다[2]. 본 연구는 인지 무선 통신 기술을 이용한 알고리즘을 통해 유휴 채널을 찾고, 이 유휴 채널을 통해 에너지를 수집하여 백스캐터 태그의 동작에 활용을 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안한 시스템 모델에 대해 설명하고, III 장에서는 이중 노드 분류법 및 채널 페이딩 비교 알고리즘을 제안한다. VI 장에서는 RF 에너지 하베스터와 백스캐터 태그의 동작을 알아보고, 마지막으로 V과 VI장에서 본 논문의 시뮬레이션과 결론으로 논문을 맺는다.

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

\*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 통신 연구실 (kyun0580@gmail.com, mygwon112@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2016년 12월 5일, 최종게재확정일자 : 2016년 12월 26일

## II. 시스템 모델

### 1. 시스템 모델

본 연구에서는 인지 무선 센서 네트워크를 기반으로 한 백스캐터 통신을 한다. Carrier Emitter를 이용하여 채널을 센싱하고, 이 채널의 주파수 대역이 태그의 지원 대역과 맞는지 파악하며, 주변에 PU가 있는지 확인하고, PU가 사용하지 않고 있는 유휴 주파수 대역을 찾는 역할을 하고, 유휴 상태에 있는 채널의 정보를 PC에 전달한다. PC는 채널들의 온오프 상태 정보를 관리하며[3], 이 정보는 Carrier Emitter에 전달되어, Carrier Emitter는 받은 정보를 통해 알 수 있는 유휴 채널을 이용하여 데이터 통신을 한다. 각 채널들은 가동 시간과 전송 효율을 최대화하기 위해서 TX 모드와 NA(Non-Active) 모드로 나뉘게 된다[3]. TX 모드인 채널은 할당된 채널을 이용하여 하베스터에 무선 전력 전송을 하고, NA 모드인 채널은 작동을 중지한다.

### 2. 프레임 형식

본 연구에서는 시간에 따른 슬롯 프레임을 제안한다. 각 프레임에는  $Z + 1$  개의 타임 슬롯이 있고,  $Z = Z1 + Z2$ 이며, 각 프레임마다 컨트롤 슬롯, 데이터 슬롯( $Z1$ ), 하베스팅 슬롯( $Z2$ )이 있다. 컨트롤 슬롯에서는 채널의 다양한 정보들을 나타낸다. 정보에는 signal to interference and noise ratio(SINR), 채널이 현재 유휴 상태인지 사용 중인지, 주파수 대역의 에너지 상태는 어떤 지에 대해서 나와 있다. 이 정보들을 PC가 받고, PC는 본 논문에서 제안하는 이중 분류법 알고리즘을 시행하고, 최적의 채널들을 찾아서 로컬 컨트롤에 report\_req 메시지를 전송한다.

carrier emitter가 PC부터 reporting 요구를 받은 후에 센싱 정보를 담은 report\_reply 메시지를 다시 PC로 보낸다[3].

### 3. PU 예측, 유휴 시간과 채널 용량

인지무선통신은 PU가 주로 사용하는 스펙트럼에 접속하는 것이기 때문에, 어떠한 채널  $k$ 를 PU가 사용하고 있는지 정확하게 예측하는 것은 굉장히 중요하다. 우리는 PU의 상태를 ON과 OFF 상태로 나타내고, OFF 상태일 때 우리들이 해당 채널에 전송할 수 있는 기회가 있다. Carrier Emitter는 채널 상태를 센싱하고 이 결과를 PC에 전달하며, PC는 각 채널에서 PU의 최근 ON-OFF 활동 기록( $V$ )을 저장한다. 채널  $k$ 의 유휴 시간은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다 [3].

$$\pi_k = \sum_{r=0}^R \theta_k^r, \tag{1}$$

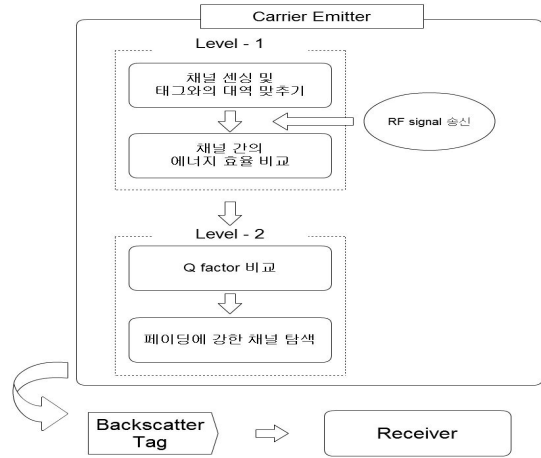


그림 1. 시스템 모델.

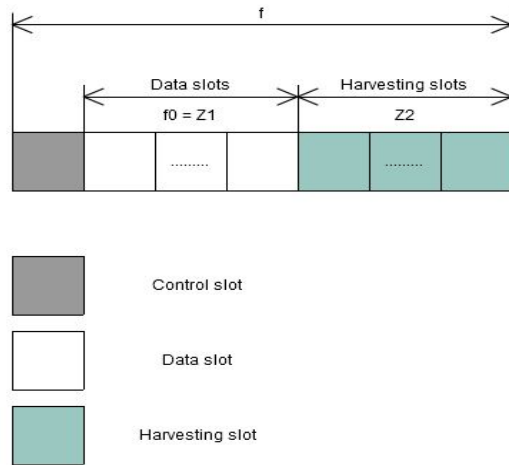


그림 2. 프레임 포맷.

$\pi_k$ 는 채널  $k$ 의 유휴 시간을 의미하고,  $V$ 를  $R$ 개의 영역으로 나누고 각각의 영역을  $r$ 이라고 표현한다. 각 영역  $r$ 의 유휴 상태가 되는 횟수를  $\theta^r$ 로 표현한다. 성공적인 패킷 전송을 위해서는 채널의 용량 변화를 알아내는 것이 중요하다.  $\beta_{ik}$ 를 채널  $k$ 에서 얻을 수 있는 데이터 용량이라고 하면 Shannon formula를 이용하여 시간에 따른 채널의 용량 변화는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\beta_k = W_k \log_2(1 + \gamma_k), \tag{2}$$

$W_k$ 는 대역폭이고,  $\gamma_k$ 는  $k$ 채널의 SINR이다.  $\gamma_k$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_k = g_k P^{tx} / \Omega_0 + \sum_{k_0 \neq k} g_{k_0} P_{k_0}, \tag{3}$$

$\Omega_0$ 는 Gaussian noise이고,  $\sum_{k_0 \neq k} (g_{k_0} P_{k_0})$ 는  $k$ 채널에 전송할 때 채널이 다른 채널들로부터 겪는 간섭을 의미한다.

$P^{tx}$ 는 노드가 전송하는 파워(고정값)를 의미한다.  $g_{k0}$ 는 채널  $k$ 에서  $P_{k0}$ 의 파워로 전송하는 다른 채널의 채널 계인을 의미한다.

#### 4. 에너지 소비 모델

$E_b$ 를  $P^{tx}$ 의 파워로 전송을 하는 Carrier Emitter가 처음 가지고 있는 에너지라고 하자.  $T^{tx}$ 를 타임 슬롯  $j$ 를 전송하기 위한 carrier emitter  $i$ 의 전송 시간이라고 하면  $Z_1$  타임 슬롯까지 데이터 패킷을 전송하는데 소비 되는 에너지는 다음과 같은 식으로 표현된다[3].

$$E_i^{tx}(f_0) = P^{tx} T_i^{tx} Z_1, \quad (4)$$

$f_0$ 는 프레임의 데이터 슬롯 부분만을 의미한다.

### III. 이중 분류법 알고리즘

이 섹션에서는 이중 분류법 알고리즘을 제안한다. 처음으로 에너지 기반 level-1 분류법을 소개하고, 그 이후엔 Level-2 최적의 채널을 연결하는 알고리즘에 대하여 설명한다.

#### 1. Level-1 분류법

Level-1 분류법은 Carrier Emitter에 남아있는 에너지와 백스캐터 태그의 지원 주파수 대역을 기반으로 분류한다. 분류된 채널은 TX모드 또는 NAMODE 둘 중 하나의 모드로 결정된다.  $E_i(f)$ 를 프레임 초기  $f$ 에 위치한 carrier emitter  $i$ 의 현재 에너지 레벨이라고 하자.  $f + f_0$ 의 프레임 위치까지 전송했을 때 carrier emitter  $i$ 에 남아있는 에너지는 다음과 같이 표현된다[3].

$$E_i^{exp}(f + f_0) = E_i(f) - E_i^{tx}(f + f_0), \quad (5)$$

$E_i^{exp}(f + f_0)$ 는 Carrier Emitter  $k$ 가  $Z_1$  데이터 슬롯까지 전송한 후에 남아있는 예상 에너지이다. 만약 남아있는 에너지가 기준점( $E_{th}$ )보다 높을 경우 그 채널은 Level-1 분류법을 거친  $TX_1$  mode( $=C_{TX1}$ )가 되고, 기준점보다 낮을 경우엔  $NA_1$  mode( $=C_{NA1}$ )가 된다. 백스캐터 태그의 작동 주파수 대역을  $F_B \pm \frac{1}{2} W_B$ , 각 채널 주파수 대역을  $F_N \pm \frac{1}{2} W_N$ 이라고 하자. 다음은 Level-1 분류법 알고리즘이다.

#### Level-1 분류법 알고리즘

**Require:**

- 총 채널의 수  $N$
- 프레임 인덱스에서의 에너지  $f$   $E_i(f)$
- 백스캐터 태그의 중심 주파수와 대역폭  $F_B, W_B$
- 각 채널의 중심 주파수와 대역폭  $F_N, W_N$

**Ensure:** 집합  $s_1^* = \{C_{TX1}, C_{NA1}\}$

**for** 채널 인덱스  $k$ : 1 to  $N$  **do**

**if**  $(F_N - \frac{1}{2} W_N > F_B + \frac{1}{2} W_B \parallel$

$F_B - \frac{1}{2} W_B > F_N + \frac{1}{2} W_N)$  **then**

$C_{NA1} \leftarrow k$

**else**

$E_i(f) \leftarrow E_b$

식(4)를 이용하여  $Z_1$  데이터 슬롯의

$E_i^{tx}(f + f_0)$ 를 도출

식(5)를 이용하여  $E_i^{exp}(f + f_0)$  도출

**if**  $E_i^{exp} > E_{th}$  **then**  $C_{TX1} \leftarrow k$

**else**  $C_{NA1} \leftarrow k$

**end if**

**end for**

**return**  $s_1^*$

#### 2. Level-2 분류법

Level-2 분류법은 채널 용량과 유휴 시간이 잦고 긴 채널을 분류하는 알고리즘이다.

##### 2.1 Level-2 분류법 알고리즘

최적의 채널을 찾기 위해서 본 연구에서는 Q factor를 이용한 알고리즘을 제안한다. Q factor는 채널의 용량과 유휴 시간을 기반으로 채널의 상태를 나타내며, 다음과 같은 식으로 표현된다[3].

$$Q_k = \omega \pi_k + (1 - \omega) \beta_k, \quad (6)$$

$\pi_k$ 는 채널의 유휴 시간이며,  $\beta_k$ 는 채널 용량을 의미한다.  $\omega$ 는 유휴시간과 채널 용량을 적절히 비교하기 위한 가중치를 의미한다.

##### 2.2 채널 페이딩 비교 알고리즘

그림 3는 채널 페이딩 비교 알고리즘이며, 전체 알고리즘에서 신호 송신 부분의 알고리즘이고, Level-2 알고리즘에 포함된다. Level-2 분류법을 통해서 찾은 채널에 RF신호를 송신을 하고, Carrier Emitter에서 다시 신호를 sensing한 뒤,

찾은 채널에서만 다시 진폭 부분을 평균을 낸다. 여기서 진폭의 평균을 내는 이유는 그림 4의 경우처럼 특정부분만 값이 높은 경우가 존재할 수 있기 때문이다. 이 경우에는 평균을 내지 않고 전체적으로 Sorting을 하게 되면 값이 제일 높은 부분으로 나오겠지만 Tx에서 보내는 대역폭 기준으로 볼 경우 높은 값 근처의 다른 부분은 낮은 값을 가지므로 가장 좋은 주파수 대역으로 볼 수 없기 때문이다. 따라서 진폭을 평균 낸 값이 가장 높은 채널을 찾아 이 채널로 반송파를 송신을 하여 백스캐터 통신을 수행한다. 다음은 Level-2 분류법 알고리즘이다.

**Level-2 최적 채널 분류법 알고리즘**

**Require:**

- Level-1 분류법을 거친 채널 수  $M$
- 채널들의 용량  $\beta_1$  to  $\beta_M$
- 채널들의 유휴 시간  $\pi_1$  to  $\pi_M$
- Level-1 분류법에 의한 채널들의 집합  $s_1^* = \{C_{TX1}, C_{NA1}\}$
- 채널들의 평균 진폭  $A_1$  to  $A_M$

**Ensure:**  $s_4^* = k$

집합  $s_2^* = \{C_{PTX2}, C_{NA2}\}$

집합  $s_3^* = \{C_{TX2}\}$

```

for 채널 인덱스 k: 1 to M do
  if k ∈ {CNA1} then
    CNA2 ← k
  else
    CPTX2 ← s1* - CNA2
  for 채널 인덱스 k: 1 to M do
    식(6)을 이용하여 Qk 도출
    if Qk > Qth then
      CTX2 ← k
    else
  end for
  for 채널 인덱스 k: 1 to M (k ∈ s3*) do
    A1 ~ AM을 도출하기 위해 RF 신호를 채널 k에 송신
    for 채널 인덱스 k: 1 to M do
      for 채널 인덱스 j: k+1 to M do
        if Ak < Aj then
          k 삭제
        else
          채널 k를 최적의 채널로 선정
          s4* = k
        end for
      end for
    end for
  return s4*

```

**IV. 백스캐터 태그 동작**

**1. 백스캐터 동작 방식**

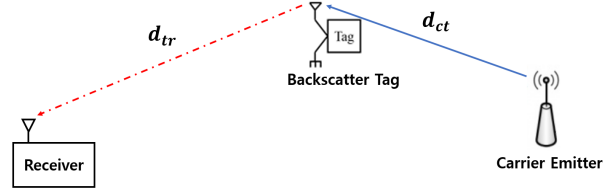


그림 3. 백스캐터 통신의 동작도.

그림 3는 백스캐터 통신의 동작도를 나타낸 것이다. 백스캐터 통신은 백스캐터 태그의 백스캐터 신호 전송에 사용되어지는 carrier wave를 발생시키는 carrier emitter와 태그 정보를 decode하는 receiver로 구성되어진다. 백스캐터 태그는 안테나의 로드 임피던스를 스위칭하여 신호를 변조한다. 식(7)는 로드 임피던스  $Z_i$ 를 바꿈으로 인해서 반사 계수가 바뀌는 것을 나타내며,

$$\Gamma_i = \frac{Z_i - Z_a^*}{Z_i + Z_a^*}, \tag{7}$$

$Z_a$ 는 센서의 안테나 임피던스,  $i$ 는 스위치 상태를 나타낸다. 센서의 컨트롤 유닛이 스위치 상태에 따라서 특정한 스위칭 주파수  $F_{sw}$  만큼 변경시킨다.  $F_c$ 의 주파수를 가진 반송파 신호가 센서의 안테나에 도달했을 때,  $F_c \pm F_{sw}$ 의 주파수를 가진 두 개의 부반송파가 만들어진다. 이를 통해  $F_{sw,0}$ ,  $F_{sw,1}$ 의 값을 가진 두 가지의 스위칭 주파수를 변경함에 따라서 우리는 BFSK 변조 신호를 만들 수 있다. '0'을 의미하는 부반송파는  $F_{sw,0}$ 에 의한 것이고, '1'을 의미하는 부반송파는  $F_{sw,1}$ 에 의한 것이다.

따라서, 백스캐터 태그에 들어오는 반송파를 통해 백스캐터 신호가 receiver에 전송된다. 임피던스를 조정하여 반송파의 중심주파수를 스위칭시켜 변조하며, 0과 1의 두 bit로 나타내 원하는 정보를 만들어 전송한다. 이때, 0과 1 두가지의 데이터를 보내는 orthogonal한 2개의 주파수를 이용하는 Binary FSK 변조 방식을 사용한다. 태그를 통해서 BFSK 변조된 백스캐터 신호를 수신부에서 아두이노로 복조하여 정보를 읽어낸다[4],[5].

bit 정보를  $i$ 로 나타내고  $i = 0$  또는  $i = 1$ 일 때에 각각의 반사계수를  $\Gamma_i$ , 이에 상응하는 주파수  $F_i$ 이며, 백스캐터 신호를 다음 식(8)를 이용해 구할 수 있다.

$$b_i(t) = (A_s - \frac{\Gamma_0 + \Gamma_1}{2}) + \frac{\Gamma_0 - \Gamma_1}{2} \frac{4}{\pi} \cos(2\pi F_i t + \Phi_i), \tag{8}$$

$F_i$ 와  $\Phi_i \in [0, 2\pi)$  이고, 태그에 전달되는 반송파를 아래 식과 같이 표현하며,

$$c(t) = \sqrt{2P_c} e^{-j(2\pi\Delta F_c t)}. \quad (9)$$

반송파에 백스캐터 신호를 실어 보내므로, 백스캐터 신호는 다음과 같이 나타낸다.

$$x_{B(t)} = s b_i(t) \sqrt{h_{tr}} c(t), i \in 0, 1. \quad (10)$$

백스캐터 통신은 반송파를 반사해 신호를 전송하므로, 수신되는 신호는 식(12)과 같이 나타낼 수 있다. 노이즈인  $n(t)$ 는 원형 대칭 복소 가우시안 잡음이다.

$$y_B(t) = s(t) b_i(t) \sqrt{h_{ct}} + n(t). \quad (11)$$

$h_{ct}$ 는 carrier emitter와 백스캐터 태그 사이의 채널이고,  $h_{tr}$ 은 tag와 receiver 사이의 채널이며, 복소 확률 변수인  $h_{ct}, h_{tr}$ 은 각각 채널 전력 이득  $h_{tr} = |h_{tr}^2|, h_{ct} = |h_{ct}^2|$ 을 가진다.  $s$ 는 반사신호의 감쇄되는 조정 값이다. tag와 carrier emitter 사이는 1m로 설정하고, Rayleigh short-term fading을 적용하였다[6].

receiver에 수신되는 power는 다음 식을 통해 구할 수 있으며,

$$y_B(t) = \sqrt{2P_c h_{ct} h_{tr}} s \left( \frac{\Gamma_0 - \Gamma_1}{2} \right) \frac{4}{\pi} \cos(2\pi F_i t + \Phi_i) + n_B(t). \quad (12)$$

식(11)에서 주파수 오프셋  $\Delta F$ 과 DC 값은 백스캐터 신호를 갖고 있지 않으므로, 생략하여 구하였다. 따라서 receiver에 수신되는 power의 값은 다음 식과 같으며,

$$P_B = P_c h_{ct} h_{tr} s^2 (\Gamma_0 - \Gamma_1)^2 \left( \frac{2}{\pi} \right)^2 \\ = P_c (10^{-3})^2 \rho_{ct}^2 \rho_{tr}^2 d_{ct}^{-a} d_{tr}^{-a} s^2 ((\Gamma_0 - \Gamma_1)^2 \left( \frac{2}{\pi} \right)^2), \quad (13)$$

$d_{ct}$ 는 반송파 송신기와 태그간의 거리를 나타내고,  $d_{tr}$ 은 태그와 수신기 사이의 거리를 나타낸다.  $a$ 는 path-loss 지수이고,  $\rho_{ct}, \rho_{tr}$ 은 각각 carrier emitter와 tag 사이, tag와 receiver 사이의 Rayleigh short-term fading을 나타낸다.

식(12)로 구한 파워를 통해 Bit Error Rate를 구할 수 있다. 백스캐터 통신의 변조방식인 BFSK의 Bit Error Rate(BER)과 이를 유도하기 위한 erfc function은 다음과 같다.

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{2N_o}} \right), \quad (14)$$

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-z^2} dz. \quad (15)$$

식(14), 식(15)와 같이 BFSK의 BER은 monotonically decreasing function인 erfc function으로 나타낼 수 있다. 따

라서 carrier emitter로 전달된 신호는 태그에 의해 복조된 후 다시 분산된 신호를 생성한다. 복조된 신호는 수신기로 전달이 되고 수신기는 신호를 해석한다. 백스캐터 태그는 스위칭 펄스 신호를 생성하여 BFSK를 수행한다.

## V. 시뮬레이션

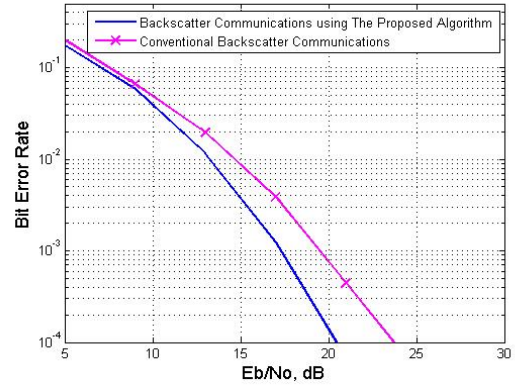


그림 4. BER 측정 비교.

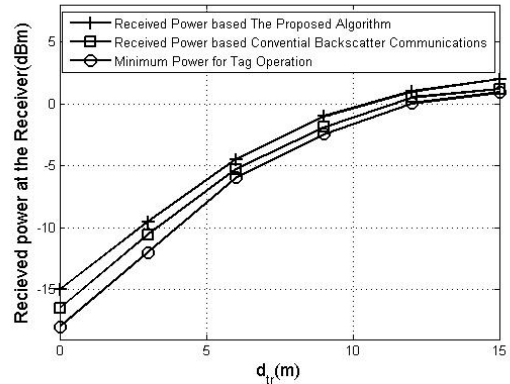


그림 5. 거리에 따른 백스캐터 수신 파워.

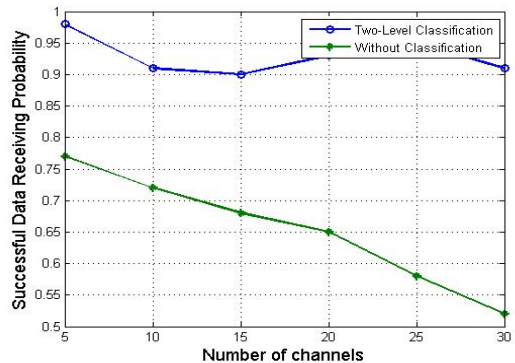


그림 6. 데이터 수신 성공 확률 비교 그래프.

### 5.1 Bit error rate 측정

그림 4는 시스템 모델에 이중 노드 분류법을 적용했을 때와 기존의 백스캐터 통신의 BER(Bit Error Rate)을 시뮬레이션한 결과이다. 제안한 알고리즘을 이용해 전송하는 반송

파는 페이딩에 강한 채널을 이용하게 되기 때문에, 백스케터 태그에 전송되는 신호는 전력 손실이 최소화된다고 볼 수 있다. 따라서 기존의 신호보다 전력이 강해지며, BER이 낮아짐을 알 수 있다. 그림 4에서 BER이  $10^{-3}$ 에서 기존 백스케터 통신과 제안된 알고리즘을 적용하였을 때, SNR의 차이가 3dB차이를 보임으로써, 향상된 성능의 백스케터 통신을 확인 할 수 있다.

### 5.2 거리에 따른 백스케터 수신 파워

그림 5는 태그와 수신기사이의 거리를 늘리면서, 수신단에 전송되는 백스케터 신호의 전력값을 측정하여 그래프를 나타내었다. 기존의 백스케터 통신과 제안된 알고리즘을 적용한 백스케터 통신은 태그 동작에 필요한 최소 파워를 넘기다. 또한 스펙트럼 센싱 이중 분류법 알고리즘을 적용하여 백스케터 신호를 송신하였을 때, 같은 거리 대비 수신 전력 세기가 기존의 백스케터 통신보다 성능이 더 향상되는 것을 알 수 있다. 이는 페이딩에 강한 주파수대역을 채널로 사용하여 페이딩에 의한 수신 전력 손실을 줄여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

### 5.3 데이터 수신 성공 확률

그림 6은 채널 수에 따른 데이터 전송 성공 확률을 의미한다. 존재하는 채널이 많을수록 보낼 채널이 많아지므로, PU가 사용하고 있을 채널이 있을 확률도 증가하므로 올바른 데이터를 수신할 확률도 낮아질 수 있다. 그래프에서 볼 수 있듯이 이중 분류법을 적용하지 않았을 때 채널의 수가 많아짐에 따라서 데이터 수신 확률이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 이중 분류법을 적용하면 빈 채널을 사용하기 때문에 데이터 수신 확률에 큰 변동이 없는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 효율적인 주파수 선택 알고리즘을 통한 백스케터 통신을 실시하였다. 알고리즘을 적용하였을 때 알고리즘을 적용하지 않았을 때보다 신호파워가 더 높았고, BER이 향상 되었으며, 데이터 수신 확률도 올라간 것을 알 수 있다. 또한 데이터 수신 확률은 존재 채널이 30개일 때 약 40%의 확률차이가 있음을 알 수 있다. 백스케터 통신에 이중 노드 분류법 알고리즘을 적용했을 때 전체적으로 성능의 향상을 보였다.

## 참고 문헌

[1] FCC, second report and order memorandum opinion and order 2008, ET Docket No. 08-260.

[2] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," Computer Networks, vol. 50, no. 13, pp. 2127-2159, 2006.

[3] S. Aslam, and M. Ibnkahla, "Optimized node classification and channel pairing scheme for RF energy harvesting based cognitive radio sensor networks," In Proc. Systems, Signals & Devices (SSD), 2015 12th International Multi-Conference on, Mar. 2015.

[4] N. Fasarakis-Hilliard, P. N. Alevizos, and A. Bletsas, "Coherent detection and channel coding for bistatic scatter radio sensor networking," IEEE Trans. Commun., vol. 63, no. 5, pp. 1798-1810, May 2015.

[5] S. H. Choi, and D. I. Kim, "Backscatter radio communication for wireless powered communication networks," in Proc. 2015 21st Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), pp. 370-374, Oct. 2015.

[6] J. Kimionis, A. Bletsas, and J. N. Sahalos, "Increased range bistatic scatter radio," IEEE Trans. Commun., vol. 62, no. 3, pp. 1091-1104, Mar. 2014.

## 저자

김도균(Do Kyun Kim)

학생회원



· 2016년 12월 : 광운대학교 전자융합공학과 학부과정

<관심분야> : 무선에너지하비스팅, 백스케터 통신, 인지무선통신

홍승관(Seung Gwan Hong)

학생회원



· 2016년 2월 : 광운대학교 전자융합공학 학사 졸업  
· 2016년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 무선에너지하비스팅, 백스케터 통신, 5G 이동통신

김진영(Jin Young Kim)

중신회원



· 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사  
· 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크연구소 책임연구원  
· 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

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