

채널 센싱 기반의 무전원 백스캐터 센서 네트워크의 성능

홍승관*, 심이삭*, 황유민*, 김진영*

Performance of Battery-less Backscatter Sensor Networks Based on Good Channel Sensing

Seung Gwan Hong*, Isaac Sim*, Yu Min Hwang* and Jin Young Kim*

요 약

본 논문은 무전원의 백스캐터 통신이 결합된 RF 에너지 하베스팅 시스템에서 주파수 자원의 효율을 높이기 위한 스펙트럼 센싱 알고리즘을 연구했다. 송신기 측에 스펙트럼 센싱 알고리즘을 이용해서 유휴주파수 대역을 찾고, 찾은 유휴주파수 대역 중에서 페이딩 영향이 적은 채널을 선택한다. 알고리즘을 적용한 송신기는 페이딩의 영향이 적은 신호를 송신하여, 수신측에서 수신신호의 간섭을 완화시키고, 수신신호강도를 향상시킬 수 있다. 따라서, 백스캐터 통신이 결합된 RF 에너지 하베스팅에 스펙트럼 센싱 알고리즘이 적용된 송신기를 사용하고, 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 통해 백스캐터 통신의 BER과 수신거리별 수신세기, 그리고 RF 에너지 하베스팅의 성능이 이전보다 향상하는 것을 확인하였다.

Key Words : RF energy harvesting, Backscatter communication, Spectrum sensing, Internet of Things(IoT), White space

ABSTRACT

In this paper, we studied a spectrum sensing algorithm for the efficient use of available spectrum in RF energy harvesting system combined with backscatter communication. We first looked for white spaces and then, selected low fading channel among white spaces using spectrum sensing algorithm at a transmitter. The transmitter employing the algorithm alleviates signal interference and improves the received signal strength indication through signals transmitted by low fading channel. The proposed RF energy harvesting system combined with backscatter communication is used the transmitter employing the algorithm. As a result of computer simulations, we can find the performance improvements of RF energy harvesting, BER of backscatter communication, and the received signal strength per distance of backscatter tag.

I. 서 론

IoT가 기술의 주요한 트렌드로 떠오름에 따라 IoT에 사용되는 수많은 장치들의 전원을 어떻게 해결해야 하는가에 많은 이목이 쏠리고 있다[1]. 따라서 전원 문제를 어떻게 해결하느냐에 중점을 두고, 빈 주파수대역을 이용해 전력을 생산하는 방식을 선택하고, 전력소모가 낮은 백스캐터 통신을 사용하는 연구를 진행하였다. 현재 고비용의 주파수 자원을 활용하여 송신되는 신호의 파워를 사용하여 전력에너지로 저장하여 사용하는 에너지하베스팅에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 RF 에너지 하베스팅기술을 통해 고가의 주파수 자원을 효율적으로 사용하는 방법에 대해 알아보고, 제안한 알고리즘을 통한 저장되는 전력량 향상을 확인한

다. 백스캐터 기술에서는 송신신호의 패킷의 반사유무를 통해 데이터를 전송하는데, 이때 송신단의 신호를 이용하기 때문에 이 신호의 세기를 조절하여 신호의 BER을 향상시킬 수 있다[2]. 따라서 본 논문에서 페이딩에 강한 채널을 파악하여 찾은 채널을 통해 carrier wave를 송신하여 백스캐터 통신의 BER 성능 향상됨을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안한 시스템 모델에 대해 설명하고, III 장에서는 스펙트럼 센싱 알고리즘을 제안한다. VI 장에서는 RF 에너지 하베스팅과 백스캐터 태그의 동작을 알아보고, 마지막으로 V과 VI장에서 본 논문의 시뮬레이션과 결론으로 논문을 맺는다.

* 본 연구는 광운대학교 2016년 교내연구비 지원에 의해 수행된 결과임.

*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 통신 연구실 (mygwan112@kw.ac.kr, dltrk34@kw.ac.kr, yumin@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2016년 7월 15일, 수정완료일자 : 2016년 8월 26일, 최종게재확정일자 : 2016년 9월 23일

II. 시스템 모델

그림 1은 National Instruments(NI)사의 USRP를 이용하여 페이딩에 강한 채널 환경을 찾는 스펙트럼 센싱 알고리즘과 찾은 채널을 이용해 RF 신호 송신을 한 후, 이 RF 신호를 이용하여 센서로부터 얻은 센서 정보를 백스캐터 태그로 전송뿐만 아니라 백스캐터 태그를 통해 저장되는 전력과 송신된 RF 신호를 MCU에서 RF 에너지 하베스팅 하여 에너지를 전력에너지로 저장하는 시스템 모델을 연구하였다.

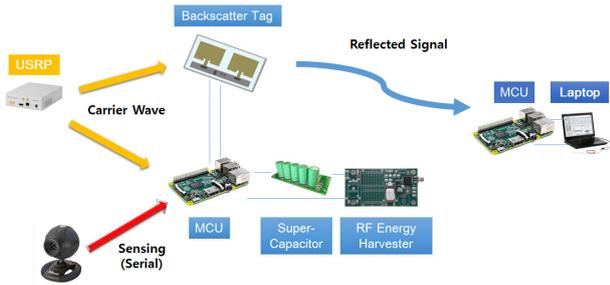


그림 1. 시스템 모델

RF 에너지 하베스팅 측에서는 USRP가 페이딩에 강한 채널을 이용하여 전력전송을 하게 되는데, 페이딩은 수신 전력의 감쇄를 일으키는데, 페이딩에 강한 채널을 이용하여 RF 신호를 전송하였을 때, 전력 감쇄의 영향이 낮아져 보다 효율적으로 RF 에너지 하베스팅을 수행할 수 있다. 따라서 MCU에 더 강한 전력을 제공하여 더 빠르게 슈퍼 캐패시터를 충전할 수 있으며, 충전된 전력은 센서와 연결된 MCU의 전원이 된다.

백스캐터 태그는 센서와 연결된 MCU와 연결되고, USRP로부터 오는 전파를 반사하여 센서의 정보를 전달한다. 백스캐터 통신의 장점 중 하나인 무전원은 수신되는 RF 신호를 이용하여, 반사 혹은 흡수하여 통신하기 때문에 따로 전원이 필요없다. 그리고 백스캐터 통신은 RF 신호를 이용하여 신호를 반사하여 데이터를 전송하는데, 페이딩의 간섭이 없는 채널을 이용할 경우 백스캐터 통신이 더 나은 성능을 보일 수 있다. 센서의 정보는 이미지, 온도, 위치 등 다양한 내용의 정보를 포함하며, 본 논문에서는 문자, 숫자 등의 데이터 전송을 기준으로 한다.

III. 스펙트럼 센싱 알고리즘

3.1 스펙트럼 센싱 알고리즘

본 논문에서 구현된 알고리즘은 다음과 같다. 사용하지 않는 주파수 대역에서 어느 주파수 대역이 제일 최적의 에너지 전송효율을 내는지 찾고, 그 부분을 USRP로 RF 에너지 하베스터와 백스캐터 태그에 전송하여, 효율적인 성능향상을 목표로 한다.

제안한 알고리즘은 2 가지에 중점을 두었는데, 첫째는 최적의 효율, 가장 많은 전력효율을 내기위한 주파수검색을 목표하고 있고, 둘째는 지금 다른 사용자가 통신하고 있는 주파수대역을 절대적으로 피해 하베스팅과 백스캐터 통신 도중에도 기존의 시스템에 오류가 생기지 않도록 하는 것에 중점을 두고 있다. 즉, 제안한 시스템은 기존 통신사용자들에게 피해를 주지 않으면서, 사용하지 않는 주파수대역에서 가장 전송효율이 좋은 주파수대역 골라 전력을 생산하는 것이다.

본 논문은 첫째로 주파수대역에서 현재 어느 부분이 사용되고 있지 않는지를 알기위해서 usrp로 주파수 스펙트럼 센싱을 수행하고 임계값을 정해 통신하고 있지 않은 부분의 주파수 대역을 찾아낸다. 그리고 RF 에너지 하베스터에 전력을 저장하기 위해 송신할 때 쓸 대역폭만큼 넓지 않은 부분을 걸러줘 의미 없는 값들을 미리 제거해준다. 그 다음으로 독자적인 RF 송신기를 이용해 USRP로 분석했던 주파수대역에 신호를 송신한다. 이과정은 임계값로 구분한 주파수 대역의 실제 Received Signal Strength Indication(RSSI)를 비교해 좋은 주파수 대역을 찾아내기 위해 하는 과정이다.

RF송신기가 신호를 송신하고 있는 도중 USRP로 주파수 스펙트럼 센싱을 다시 하여 처음 임계값의 아래 있던 부분의 주파수 대역만 RSSI를 알아내기 위해 진폭값을 갱신한다. 우리는 이 주파수와 진폭을 높은 순으로 배열하여 어느 주파수 대역이 가장 RSSI가 좋고 가장 효율이 좋은 주파수 대역 인지 찾는다.

3.2 White space 검출 알고리즘

3.1 절에서 언급한 스펙트럼 센싱 알고리즘은 크게 두 영역으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 기존 통신 사용자가 사용하지 않는 주파수 대역, 즉 White Space를 찾는 것이다.

두 번째는 앞서 찾은 White Space 정보를 이용하여, 페이딩에 강한 주파수 대역을 얻는 것이다. 이번 절에서는 스펙트럼 센싱 알고리즘에서 USRP 스펙트럼 센싱 부분인 White Space를 찾는 알고리즘에 대해 상세히 다룰 것이다.

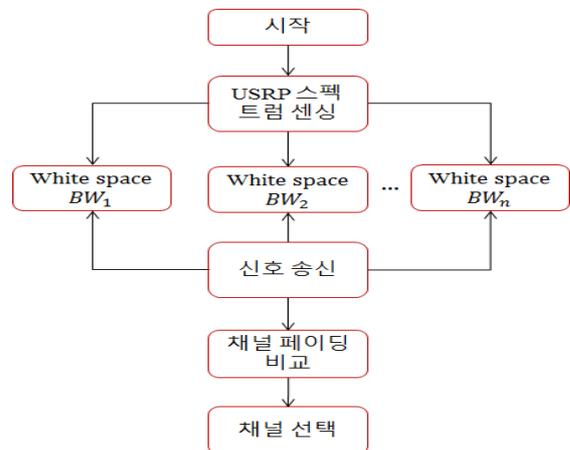


그림 2. 스펙트럼 센싱 알고리즘

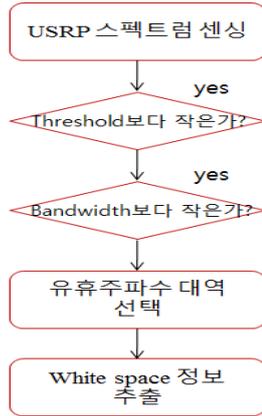


그림 3. White space 검출 알고리즘

그림 2는 전체 알고리즘이고, 그림 3은 전체 알고리즘에서 USRP 스펙트럼 센싱 부분의 알고리즘이다. 가장 먼저 USRP 장비를 이용하여 일정 주파수 대역(약 100MHz)의 스펙트럼을 확인한다. 그리고 각 주파수에서의 amplitude값을 임의로 지정한 임계값과 대소비교를 실시한다. 임계값은 실험을 통해서 아무도 통신하지 않는 환경에서 RF power(약 -90dBm)의 값으로 설정하였다.

그 다음 임계값 보다 작은 주파수 대역들 중에서 대역폭 보다 작은 구간은 제거하고 대역폭보다 큰 구간만을 white space로 지정한다. 여기서 대역폭은 최종적으로 전력 전송을 위한 채널에 해당되는 크기로 설정한다. 마지막으로, RSSI가 가장 좋은 대역을 찾기 위해 실시되는 두 번째 알고리즘을 실행하기 위해 얻어낸 white space 정보를 추출하여 전달한다.

3.3 채널 페이딩 비교 알고리즘

그림 4는 채널 페이딩 비교 알고리즘이며, 전체 알고리즘에서 신호 송신 부분의 알고리즘이다. RF송신기에서 찾은 white space(BW_n)에 RF신호를 송신을 하고, USRP에서 다시 신호를 sensing한 뒤, 찾은 구간(white space부분)에서 다시 진폭 부분을 평균을 낸다. 여기서 진폭의 평균을 내는 이유는 그림 5의 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 평균낸 값이 가장 높은 white space를 찾아 백스케터 통신과 RF 에너지 하비스팅에 사용할 carrier wave의 주파수 채널로 선택한다.

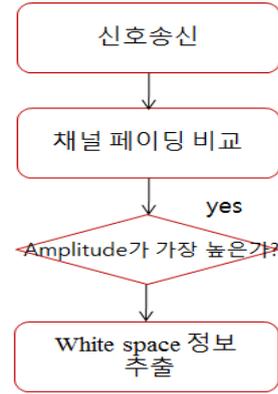


그림 4. 채널 페이딩에 강한 채널 검출 알고리즘

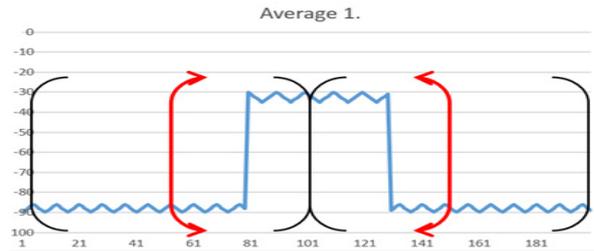


그림 5. 평균을 내는 구간에 따른 효율

IV. RF 에너지 하비스팅과 백스케터 태그 동작

4.1 MCU와 RF 에너지 하베스터 board의 연결과 동작

USRP로부터 전송되는 신호는 하베스터 자체의 capacitor에 저장한다. 이 저장된 에너지는 전압센서로 전압을 측정 후 아두이노 윤을 이용하여 정보를 PC에 전달한다. 이러한 과정을 통해 우리는 하베스터에 저장된 전력을 측정 할 수 있다[3]. 스펙트럼 센싱 후에 USRP로부터 신호가 전송되는 상태에서 실험이 진행된다. 하베스터는 이 신호를 수신하여 슈퍼 캐패시터에 전력을 저장한다. 슈퍼 캐패시터에 저장되는 전력은 식(1)으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_c(t) &= v(t)i(t) \\
 &= Cv(t)\frac{dv(t)}{dt} \\
 &= \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Cv^2\right).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

그 다음 아두이노 윤과 연결된 전압센서를 이용하여 RF 에너지 하베스터에 저장된 전압을 측정한다. 아두이노 윤은 PC와 연결되어있고 전압센서에서 signal port와 -Port는 각각 아두이노 윤의 아날로그 A1핀과 ground 핀에 연결한다. 전압센서의 Vcc와 GND는 각각 RF 에너지 하베스터의 cap과 GND에 연결한다. 그림 6은 하베스터에 저장된 에너지(USRP로부터 전송된 신호)를 측정하기 위한 설계도이다.

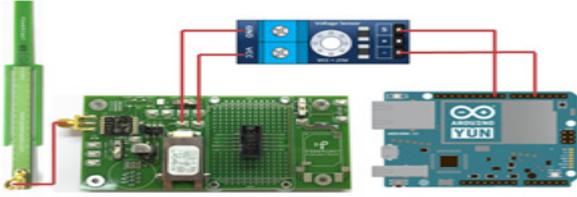


그림 6. RF 에너지 하베스터와 아두이노 연결 모델

측정된 전압 값은 아두이노 윤의 analog pin으로 전송된다. analog pin으로 전달받은 전압 값을 스케치 코드를 이용하여 전력 값으로 변환한다. 환산된 전력 값은 serial monitor로 출력하여 결과를 보여준다.

아두이노에서 몇 가지 살펴봐야할 부분 중에 하나는 Vin과 전압 값을 전력으로 변환하는 식이다. 아날로그 핀에서 전달받은 전압 값을 그대로 사용하지 않고 변환해주는 이유는 전압 센서에서 실제 측정하는 전압 값에서 1/5정도만 전달해 주기 때문이다. 슈퍼 캐패시터의 저장된 전압을 에너지로 바꾸는 식(2)은 식(1)을 적분하여 구하였다.

$$w = \int p(t)dt \tag{2}$$

$$= \frac{1}{2} C v^2.$$

측정된 전압과 스케치 코드를 이용하여 환산한 에너지 값은 Excel로 추출하는 프로그램을 이용하여 데이터를 만들고, 이를 분석 하였다. 실험 조건은 다음과 같다.

- USRP Antenna와 RF 에너지 하베스터의 거리 : 30cm 이내
- Gain of Antenna : 10dB
- Operating(Center) frequency = 915MHz
- Capacitance : 0.1uF

2. 백스캐터 구현 방식

RF 스위치는 안테나의 로드를 두 가지로 바꿔준다. 식(3)에서 보면 로드의 임피던스 Z_i 를 바꿈으로 인해서 반사 계수도 같이 바뀐다.

$$\Gamma_i = \frac{Z_i - Z_a^*}{Z_i + Z_a} \tag{3}$$

Z_a 는 센서의 안테나 임피던스이고 i 는 스위치 상태를 나타낸다. 센서의 컨트롤 유닛이 스위치 상태를 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.

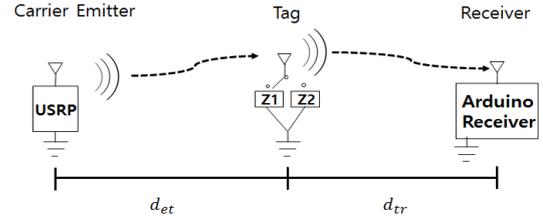


그림 7. 캐리어 신호를 이용한 태그의 동작도

4.2 MCU를 이용한 백스캐터 태그

USRP에서 쏘는 신호는 아두이노에 연결되어 있는 태그에서 백스캐터된다. 태그의 안테나에서 임피던스 매칭이 되어 있으면 RF Signal을 많이 흡수할 것이고, 임피던스 매칭이 되어 있지 않으면 대부분을 반사시킬 것이다. 즉, 임피던스를 control하여 Signal을 흡수하는 정도를 0과 1의 두 bit로 나타내 원하는 정보를 만들어 내는 원리이다. 이때, 0과 1을 제어하여 orthogonal한 2개의 frequency를 이용하는 Binary FSK 변조 방식을 사용한다. 이렇게 태그에서 백스캐터된 신호는 Reader에서 아두이노로 복조하여 정보를 읽어낸다.

따라서 백스캐터 태그가 안테나의 임피던스 변경시켜 다른 두 주파수를 갖는 신호를 만들 수 있다. bit $i \in \{0,1\}$ 에 따른 반사계수 Γ_i 와 이에 상응하는 주파수 F_i 를 통해 백스캐터 신호를 식(4)를 이용해 구할 수 있으며,

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

F_i 와 $\Phi_i \in [0, 2\pi)$ 이고, USRP로부터 오는 신호 $S(t)$ 를 이용해 신호를 전송하므로, 수신되는 신호는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다. 노이즈인 $n(t)$ 는 원형 대칭 복소 가우시안 잡음이다.

$$y_B(t) = S(t)b_i(t)h(t) + n(t). \tag{5}$$

그림 7.에서 d_{et} 는 반송파 송신기와 태그간의 거리를 나타내고, d_{tr} 은 태그와 수신기 사이의 거리를 나타낸다. 반송파 송신기로 전달된 신호는 태그에 의해 복조된 후 다시 분산된 신호를 생성한다. 그 신호는 수신기로 전달이 되고 수신기는 신호를 해석한다. 태그의 아두이노는 switching pulse signal을 생성하고, 태그 내부의 스위칭 소자는 하나의 RF switching transistor(BF1118)로 만들어져있으며, [4]의 논문의 태그 구현을 참고하였다.

4.3 태그/센서 컨트롤 유닛

태그는 이미 대중적으로 널리 구할 수 있는 아두이노를 기반으로 만들었다. 파형 발생기를 이용해서 FSK 신호를 만들 것을 아두이노로 대체하여 신호를 생성한다.

아두이노의 비트 벡터를 이용하여 패킷을 만든다.

이 비트 벡터의 현재 상태를 T_b 초 동안 유지한다.(bit rate of 1/Tb bits per second) 그리고 아두이노에 적절한 지속시

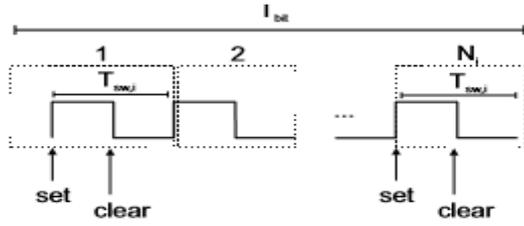


그림 8. 주파수 스위칭과 비트 주기

간으로 F_{sw} 스위칭 주파수를 만들어내는 코드를 넣어 신호를 생성한다.

주파수는 핀의 상태를 컨트롤하는 것으로 만들어진다. 그림 8과 같이 핀을 set 상태로 만들고, 그 후에 clear 상태로 만든다. 이때, set 상태가 지속된 만큼 clear 상태를 nop를 이용하여 같게 만들어준다. 초당 $1/T_b$ bit rate를 얻기 위해서는 위와 같은 과정을 N_i 번 반복한다. N_0 와 N_1 의 값은 ± 1 로 한정되어있다. 이는 높은 SNR에서 패킷 에러가 0이 되도록 한다. 이 때 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_i = \frac{T_b}{T_{sw,i}}, i \in \{0, 1\}. \quad (6)$$

백스캐터 통신의 변조방식인 BFSK의 Bit Error Rate(BER)과 이를 유도하기 위한 erfc function은 다음과 같다.

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}}\right). \quad (7)$$

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-z^2} dz. \quad (8)$$

식(7), 식(8)와 같이 BFSK의 BER은 monotonically decreasing function인 erfc function으로 표현할 수 있다. 또한 오직 E_b/N_0 값에 의존한다고 말할 수 있으며, E_b/N_0 값이 증가하면 BER이 감소하게 되고 E_b/N_0 값이 감소하면 BER이 증가하게 된다.

V. 시뮬레이션

5.1 슈퍼 캐패시터에 저장된 에너지 측정

그림 9는 스펙트럼을 분석한 결과, 임계값이 가장 낮은 부분을 채널로 사용할 때와 우리가 제안한 알고리즘을 적용했을 때의 슈퍼 캐패시터에 충전된 에너지를 수식을 통해 시뮬레이션 한 결과이다. 임계값이 가장 낮은 한 지점을 채널로 사용할 경우엔, 인접한 부분 모두 임계값보다 낮다는 보장이 되어 있지 않다.

또한 페이딩에 강한 채널을 선택함에 따라 최종적으로 제일 강한 진폭값을 가지는 신호를 보낼 수 있기 때문에, 충전되는 시간이 그만큼 짧아지는 것을 알 수 있다. 즉 제안한 알

고리즘을 통해 하베스터 보드에 충전시간을 단축시키는 효과를 얻을 수 있다.

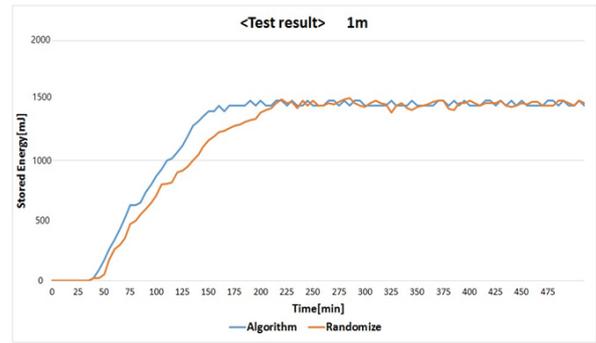


그림 9. Stored Energy 비교 그래프

5.2 Bit error rate 측정

그림 10은 시스템 모델에 스펙트럼 센싱 알고리즘을 적용해 스펙트럼 센싱 했을 때와 기존의 백스캐터 통신의 BER(Bit Error Rate)을 시뮬레이션한 결과이다. 제안한 알고리즘을 이용해 최종적으로 페이딩에 강한 주파수대역을 채널로 사용한다는 점을 고려할 때, 페이딩이 심하지 않은 carrier wave를 백스캐터 태그에 전송할 수 있다. 따라서 페이딩의 의한 수신전력손실이 낮아져, 기존의 신호보다 수신전력이 강해지며, BER이 낮아짐을 알 수 있다. 그림 11에서 SNR이 5dB를 넘어가면서부터 기존 신호 보다 BER이 낮아지고 그 결과 더 향상된 성능의 백스캐터 통신을 확인 할 수 있다.

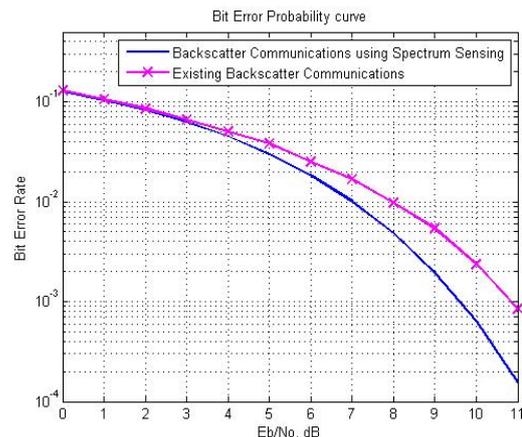


그림 10. BER 비교 그래프

5.4 수신 세기별 통신 커버리지

그림 11은 백스캐터 태그로부터 들어오는 신호를 수신측에서 거리별로 측정한 수신세기이다. 태그와 수신기사이의 거리를 늘리고, -30에서 0dBm의 전력 송신 세기를 바꿔가면서 태그에 수신되는 전력값을 측정하였다. 그 결과 스펙트럼 센싱 알고리즘을 적용하여 carrier wave를 송신하였을

때, 같은 거리 대비 수신 전력 세기가 더 큰 것을 알 수 있다. 이는 페이딩에 강한 주파수대역을 채널로 사용하여 페이딩에 의한 수신 전력 손실을 줄여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 통신 커버리지가 늘어났음을 확인할 수 있다.

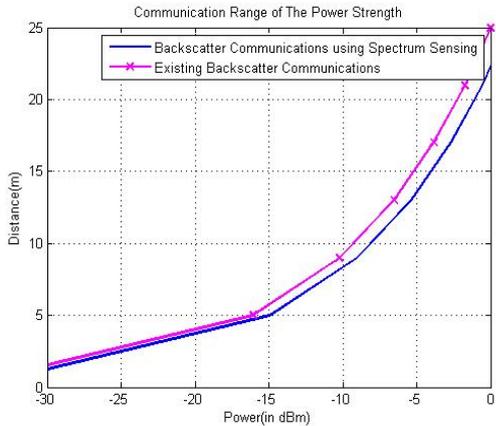


그림 11. 수신 세기별 통신 커버리지

VI. 결론

본 논문에서는 효율적인 주파수 선택 알고리즘을 통한 백스캐터 통신을 실시하고 이를 이용한 RF 에너지 하베스팅 시스템 모델을 연구하였다. 시뮬레이션을 통해 알고리즘을 적용하였을 때, 수신되는 전력값이 포화상태가 되는 시점이 약 50분 정도 빠른 것을 확인하였다. 또한 알고리즘을 적용한 백스캐터 통신의 BER이 11dB에서 약 10배가 차이 나며 성능이 향상된 것을 확인하였으며, 알고리즘을 적용했을 때 수신세기별 통신 커버리지는 15m 거리에서 약 3dBm의 차이를 보이고, 백스캐터 태그에서 더 강한 수신세기를 갖는 것을 알 수 있다. 백스캐터 통신이 결합된 RF 에너지 하베스팅 시스템에 스펙트럼 센싱 알고리즘을 적용했을 때 전체적으로 성능의 개선을 보였다. 하지만 백스캐터 통신의 채널 용량과 RF 에너지 하베스팅 시스템에서의 흡수하는 전력량 향상의 연구가 지속적으로 이루어져야 한다고 생각한다.

참고 문헌

[1] H. Visser, A. Reniers, and J. Theeuwes, "Ambient rf energy scavenging: GSM and WLAN power density measurements," In Microwave Conference, 2008. EuMC 2008. 38th European, pp. 721 - 724, Oct. 2008.

[2] Kellogg, Bryce, et al., "Wi-Fi Backscatter: Internet connectivity for RF-powered devices," Proceedings of the 2014 ACM conference on SIGCOMM. ACM, 2014.

[3] Arif Abdul Aziz, Dimas Tribudi, Lorenz Ginting, Phisca Aditya Rosyady, Dedi Setiawan, kaewon choi, "RF energy transfer Testbed Based on Off-the-shelf Components for

IoT Application", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 40, no.10, 2015.

[4] Georgios Vougioukas, Spyridon-Nektarios Daskalakis, Aggelos Bletsas, "Could battery-less scatter radio tags achieve 270-meter range?," In proceedings of IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC), pp. 1-3, 2016.

저자

홍 승 관(Seung Gwan Hong)

준회원



- 2016년 2월 : 광운대학교 전자융합공학 학사 졸업
- 2016년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박통합과정

<관심분야> : 무선에너지하베스팅, 백스캐터 통신

심 이 삭(Isaac Sim)

준회원



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

<관심분야> : 에너지 하베스팅, 백스캐터 통신

황 유 민(Yu Min Hwang)

준회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학학사 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박통합과정

<관심분야> : 4G 이동통신, 디지털 통신, 가시광통신, D2D, LBS, 인지무선통신.

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



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

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