

안테나 스위칭을 위한 에너지 검파 기반의 백스캐터 신호 검출 기법

심이삭*, 황유민*, 이선의*, 김진영*

A Scheme for Energy Detection Based Backscatter Signal Detection for Switching Antenna

Isaac Sim*, Yu Min Hwang*, Sun Yui Lee*, and Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 백스캐터 통신 주파수의 검파한 에너지의 평균을 이용하여 신호를 판단하는 법을 제안한다. Bistatic scatter radio 구조에 해당 모델을 적용시켜 Radio Frequency(RF) 에너지 하베스팅을 수행한다. RF 에너지 전송 시 태그가 모든 RF 신호를 하나의 Frequency Shift Keying(FSK) 대역폭으로 모두 반사하여, 수신기에서 하베스팅 신호와 백스캐터 신호의 차이를 판별할 수 있게 된다. 수신기는 이를 이용해 최적의 안테나 선택을 할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 적절한 파라미터 설정을 통해 효과적으로 신호를 검출할 수 있는 것을 확인하였다.

Key Words : Sensor network, Bistatic scatter radio, Backscatter, RF Energy Harvesting, Rectenna.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a scheme for signal detection based on average of detected energy of frequencies for backscatter communications. We applied this scheme on the bistatic backscatter radio architecture for RF energy harvesting. Tags reflected entire RF signals on a same bandwidth when transmitted energy signals. Receivers can optimal switching antenna by this scheme. Simulation results show that the proposed scheme can precisely detect signals from tag with properly calculated parameters.

I. 서 론

센서 기술 및 IT기술의 획기적인 진보로 인해 대규모의 무선 센서 네트워크 기술이 등장하고 있다. 소형 센서 및 컴퓨터 도구들은 일상생활에서 볼 수 있는 물건에 실시간으로 물건의 현재 상태에 대한 통신을 수행할 수 있게 부착되고 있다.[1]-[2]. 이러한 센서 네트워크의 소형 태그에 필요한 전력을 기존의 배터리나 유선전력 방식을 이용하면 낮은 단가와 편의성이 요구되는 무선 센서 네트워크 환경에 적합하지 않게 된다. 이를 보완하기 위해 기존 무선통신 환경에 항상 존재하는 RF 에너지를 수확하여 이를 통신에 사용하는 RF 에너지 하베스팅과, 에너지를 수확하지 않고 반사시키는 방법으로 통신을 수행하는 백스캐터 기술이 주목받고 있다 [3].

센서 태그는 기본적으로 RF 반송파 발생기에서 발생하는 신호를 반사시키는 수동소자만으로 구성되어 수신기에 전보를 전송하고 있기 때문에, 효율적인 통신 및 하베스팅을 위해선 태그가 현재 백스캐터를 수행하는지 RF 에너지 하베스팅을 수행하는지 수신기에서 판단하는 방법이 필요하다.

본 논문에서 사용한 Bistatic scatter radio 구조는 백스캐터를 수행하는 센서 네트워크에서 통신거리 확보를 위해 사용되는 구조이다. 현재 연구되고 있는 Bistatic scatter radio는 백스캐터만을 수행하는 네트워크에만 적용되고 있고, Binary Frequency Shift Keying(BFSK) 변조방식을 이용하고 있다.

본 논문에서는 기존의 Bistatic scatter radio 구조에 추가적인 변조방법과 RF 에너지 하베스팅 및 시간-교환 렉테나(time-switching rectenna) 기법을 적용하여 수신기에서 현

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

*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 통신연구실 (dltkr34@kw.ac.kr), (yumin@kw.ac.kr), (sunnyul22@kw.ac.kr), (jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2016년 06월 16일, 수정완료일자 : 2016년 06월 24일, 최종게재확정일자 : 2016년 06월 27일

제 센서 태그의 상태를 검출하는 모델을 제시한다. 센서 태그의 수동 특성을 고려하여 수신기에서 태그가 사용하는 주파수 대역의 평균에너지를 검출하여 태그의 상태를 판별할 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 시스템 모델에서는 본 논문의 기존 구조인 Bistatic scatter radio 구조에 대해 간략히 설명하고, 본 논문에서 새롭게 제시한 채널의 평균에너지를 이용한 선택 모델을 이용해 수신단에서 태그가 현재 하베스팅과 백스캐터 중 어떤 것을 수행하는 지 판별하는 방법에 대해 기술한다. 3장 시스템 성능 분석에서는 본 논문에서 제시한 판별 모델의 판별오류율(Decision Error Rate, DER) 및 3가지 파라미터인 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR), C_t , t_a 에 따른 성능을 시뮬레이션한다. 4장 결론에서는 본 논문이 기여한 부분과 향후 센서 네트워크 분야에서 앞으로 해결해야 할 문제들에 대해 서술한다.

II. 시스템 모델

백스캐터 통신은 기존의 단상태(monostatic) 구조를 이용하면 경로 손실이 급증하기 때문에, 반송파 발생기(carrier emitter)와 수신기(reader)를 분리하고, 다수의 반송파 발생기를 두어 통신을 수행하는 bistatic scatter radio 구조가 연구되고 있다(그림 1)[4]. Bistatic scatter radio 구조는 기존의 단상태 구조보다 최소 50배 이상의 통신 효율을 가진다.[5].

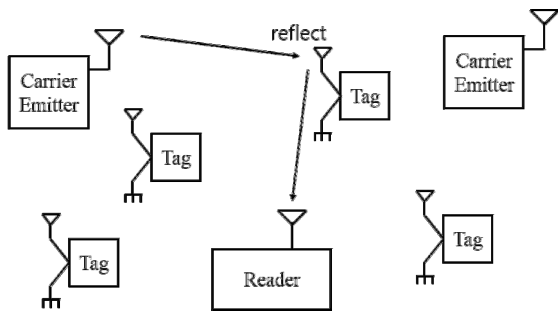


그림 1. Bistatic Scatter Radio 구조도.

본 논문에서는 배터리를 제거하고, 낮은 단가의 단순한 태그를 구현하기 위해 태그의 변조 방식을 BFSK로 정하였다. Amplitude Shift Keying(ASK)은 FSK보다 구조가 단순하나, 여러개의 태그를 동시에 통신할 때 각 태그의 정보를 한계가 있게 된다., Phase Shift Keying(PSK)는 다른 변조방법보다 태그가 처리해야 할 연산량이 커 대규모 센서 네트워크에 적합하지 않다. 본 논문에서는 태그마다 2개의 대역폭을 할당해 보내고자 하는 비트에 따라 다른 대역폭으로 신호를 반사시키는 형태로 통신을 수행하게 된다(그림 2).

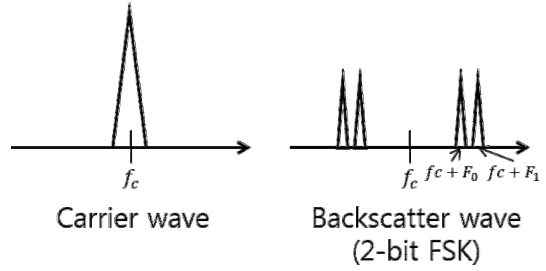


그림 2. 반송파 신호 및 태그에 반사된 변조신호.

Bistatic scatter radio 구조에서는 반송파 발생기와 태그 사이의 h_{CT} , 태그와 수신기 사이의 h_{TR} , 반송파 발생기와 수신기 사의 3가지 채널이 존재하게 된다(그림 3). Bistatic scatter radio 통신이 저용량 통신을 이용하기 때문에 작은 통신 대역폭을 가진다 가정할 때, 이들을 flat-fading 채널로 놓을 수 있다.

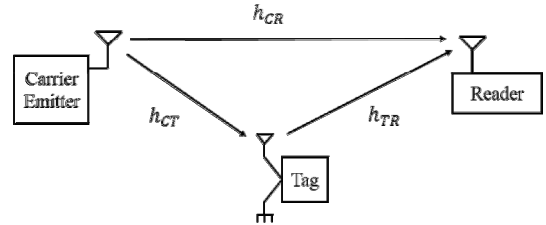


그림 3. Bistatic scatter radio 시스템 모델.

$$h_i = a_i e^{-j\phi_i}, i \in CR, CT, TR, \tag{1}$$

또한 이로 인해 발생하는 위상 차이는 다음과 같다.

$$\phi_i = 2\pi F_i t_i, i \in CR, CT, TR, \tag{2}$$

RF 반송파 발생기에서 상수 신호인 $c(t)$ 를 발생한다 하였을 때, 태그는 h_{CT} 채널을 통해 받은 신호를 다음의 식의 형태로 변조하여 h_{TR} 을 통해 전송하게 된다.

$$x(t) = x_i(t) a_{CT} e^{-j\phi_{CT} c(t)}, \tag{3}$$

위 식에서 변조신호 $x_i(t)$ 는 주파수 F_i 에서 50% 동작 주기를 가지는 구형파 형태의 신호로 모델링 할 수 있다[6].

$$x_i(t) = a_0 + \frac{\Gamma_0 - \Gamma_1}{2} \frac{4}{\pi} \cos(2\pi F_i t + \Phi), \tag{4}$$

위 식에서 a_0 는 안테나의 특성에 의한 상수값, Γ_0, Γ_1 은 F태그의 반사계수, Φ_i 는 임의의 위상값이다.

한 개의 비트의 지속시간 T동안 수신기에서는 반송파 발생기의 신호와 태그에서 변조된 신호 2가지를 동시에 처리하게 된다.

$$y(t) = a_{CR}e^{-j\phi}c_c(t) + a_{TR}e^{j\phi}m_x(t) + n(t). \quad (5)$$

$y(t)$ 에서 첫 번째 항은 RF 반송파 발생기에서 들어온 신호로 정보가 담겨있지 않아 해당 신호는 RF 에너지 하베스팅으로 처리하게 된다.

$$y(t) = h_{CTR}\cos(2\pi F_i t + \Phi_i) + n(t). \quad (6)$$

위 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(t) = \frac{h_{CTR}}{2}(e^{j(2\pi F_i t + \Phi_i)} + e^{-j(2\pi F_i t + \Phi_i)}) + n(t). \quad (7)$$

일반적인 FSK 변조와 달리, 반송파 발생기에서 발생한 f_c 주파수를 중심으로 통과대역 변조를 실시하기 때문에 각 주파수 F_i 에 따라 반사값이 $f_c + F_i$ 대역과 $f_c - F_i$ 2가지 부반송파(subcarrier)에 나타나게 된다. SNR을 위해 수신기에서 FSK 신호를 복조할 때 2가지 부반송파에 나타나는 신호를 모두 이용하여 복조를 수행한다.

본 논문에서는 RF 에너지 하베스팅을 수행하는 렉테나를 수신기에 부착하여, 태그가 백스캐터 통신을 수행할 때 통신을 진행하고, 통신하고 있지 않을 때에는 RF 에너지를 수집하는 RF 에너지 하베스팅을 수행하는 모델을 제시한다. 이를 검출하기 위해 수신기에서 채널의 평균에너지를 계산하여 안테나와 렉테나를 변경하는 새로운 방법을 연구하였다.

태그를 거쳐 변조되는 신호를 통신 신호와, 하베스팅 신호 2가지로 나눌 수 있다. 태그의 복잡도 감소를 위해 하베스팅 신호는 별도의 대역폭을 이용하지 않고, 통신에서 이용하는 2가지 대역폭 중 한가지 대역폭으로만 RF 신호를 모두 반사키도록 설계한다(그림 4).

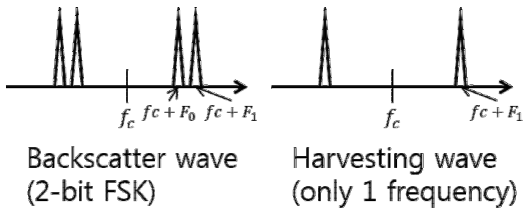


그림 4. 태그의 2가지 변조 신호.

태그에서는 해당 방법을 통해 하베스팅과 통신을 선택적으로 수행할 수 있게 된다. 이에 더해 수신단에서 태그가 하베스팅과 통신 중 어떤 것을 수행하는지 선택하는 모델을 제시하게 된다. 태그가 사용하는 2가지 주파수 대역폭의 시간 t_a 동안 들어오는 신호의 평균에너지인 E_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$E_i = \frac{1}{t_a} \int_T^{T+t_a} z_i dt, \quad i = 0, 1, n = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

위 식에서 z_i 는 $f_c \pm F_i$ 주파수에 들어오는 정보의 양이다. 만약 t_a 의 시간동안 태그가 $f_c \pm F_1$ 주파수에만 백스캐터를 수행하게 되면, $E_1 - E_0$ 의 값은 1에 근접하게 된다. 만약 태그가 일반적인 BFSK 통신을 수행하면, $E_1 - E_0$ 의 값은 0에 근접하게 된다.

본 논문에서는 이 수식을 이용해 수신단에서 태그가 현재 백스캐터 통신과 RF 에너지 하베스팅 중 어떤 것을 수행하는지 선택하는 모델을 제안한다. 태그에서는 통신을 수행할 때는 일반적인 코딩 및 BFSK 변조를 이용하여 백스캐터를 수행하고, 하베스팅을 수행할 때는 $f_c \pm F_1$ 주파수에 모든 신호를 반사하여 보내게 된다. 또한 백스캐터를 수행할 때와, 하베스팅을 수행할 때를 구분하기 위해, 통신을 수행하기 전, $f_c \pm F_0$ 주파수에 모든 신호를 반사하여 보내는 과정을 거친 후 통신을 시작하도록 설계하여 통신을 시작했을 때 통신 신호의 손실 없이 가능하도록 설계한다. 통신과 하베스팅 상태를 전환하는 간격은 t_a 로 설계한다(그림 5,6). 이를 통해 태그는 별도의 추가적인 자원 없이 하베스팅과 백스캐터 통신을 수행하고, 수신기에서는 이를 구분 지을 수 있게 된다.

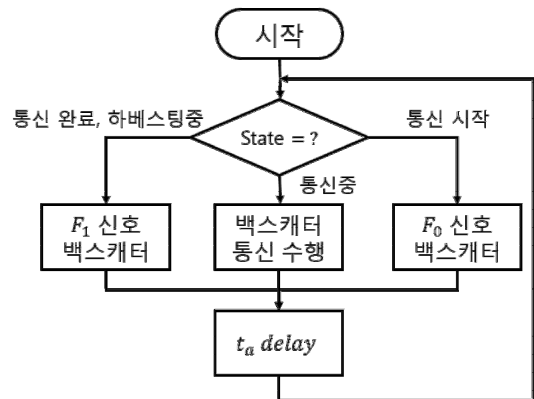


그림 5. 태그의 통신 및 하베스팅 선택 순서도.

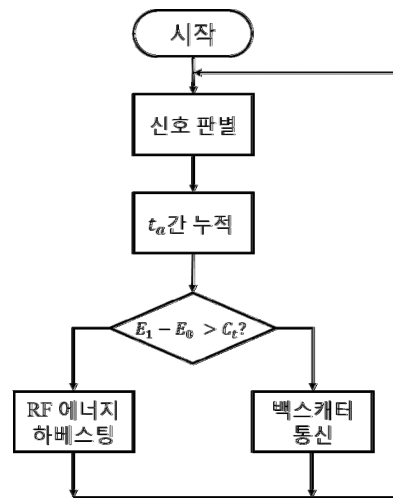


그림 6. 수신단의 태그 상태 결정 순서도.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Item	Value
t_a	2T ~ 32T
E_b	1
SNR	5, 10, 15dB
C_i	0.0 ~ 1.0
$P(F_0)$	0.05
$P(F_1)$	0.45
$P(C_{bs})$	0.5
채널 상태	flat-fading
잡음종류	Additive White Gaussian Noise

수신기에서는 태그가 보내는 신호가 하베스팅 신호인지 백스캐터 신호인지 구분한다. 식 2에서 제시한 $E_1 - E_0$ 의 값이 일정 임계점인 C_i 이상 높아지게 되는 경우, 해당 태그는 에너지 하베스팅을 수행하는 것으로 간주하여, 해당 대역폭에 들어오는 신호를 모두 하베스팅에 사용하도록 한다. C_i 를 넘기지 못하는 경우, 해당 신호가 현재 백스캐터 통신하고 있는 것으로 간주하고 BFSK 복조를 진행하게 된다.

본 논문에서 제시한 수신기에서의 신호 검출 모델은 태그와 수신단에서의 처리시간단위인 t_a 와, 수신단에서의 선택 임계점인 C_i 에 따라 태그가 의도한 상태로 수신단에서 제대로 선택했는지 판별할 수 있다. 해당 파라미터들을 이용해 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

III. 시스템 성능 분석

본 시뮬레이션의 파라미터는 표 1과 같이 설정하였다. 표 1에서 $P(F_0)$, $P(F_1)$ 는 태그에서 하베스팅을 수행할 때 F_0 주파수, F_1 주파수로 모두 반사할 확률을 나타내고, $P(C_{bs})$ 는 태그에서 백스캐터 통신을 수행할 확률을 나타낸다. t_a 의 단위는 T로써, 전송되는 1비트의 샘플링 시간을 뜻한다.

그림 7~9의 x축은 신호를 처리하는 단위인 t_a 를 뜻하고, y축은 수신기의 태그 신호 검출에 오류가 있을 확률인 Decision Error Rate(DER)를 나타낸다. SNR의 값을 각각 5, 10, 15dB로 설정한 뒤, 최적의 C_i , t_a 의 값을 찾기 위해 시뮬레이션을 하였다.

본 시뮬레이션을 통해 SNR이 낮은 환경에선 큰 16비트 이상의 t_a 와 0.6수준의 C_i 를 선택하면 효율적인 신호 검출이 가능해지고, SNR이 적정하거나 높은 환경에선 10비트 이상의 t_a 와 0.8 정도의 C_i 를 선택하면 효율적인 신호 검출이 가능하다는 것을 알 수 있다.

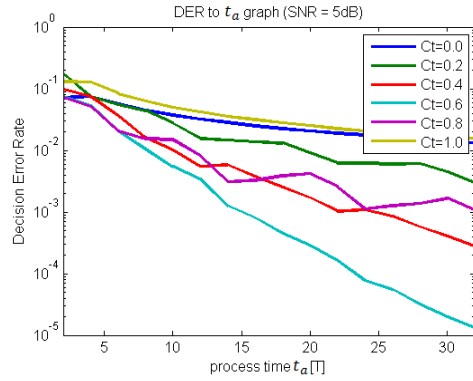


그림 7. DER 대 t_a 그래프 (SNR=5dB).

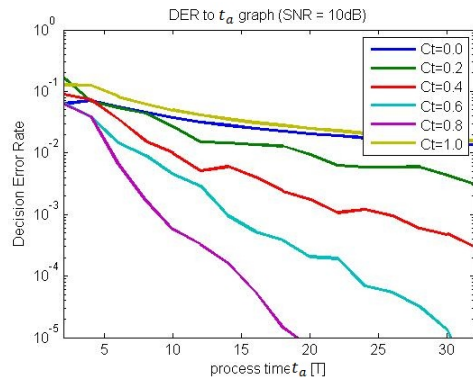


그림 8. DER 대 t_a 그래프 (SNR=10dB).

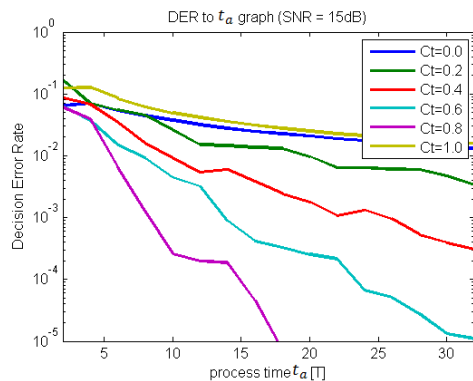


그림 9. DER 대 t_a 그래프 (SNR=15dB).

IV. 결론

본 논문에선 현재 백스캐터 통신만 고려하고 있는 bistatic scatter radio 구조에서, RF 에너지 하베스팅을 융합하여 사용할 수 있는 모델을 제시하였다. 수신기에서 태그의 현재 상태를 채널의 평균에너지를 통해 판단한다. 태그는 기존의 FSK 변조에 추가적인 기법을 이용해 신호를 송신하고, 수신단에서 태그의 상태를 구분하여 RF 에너지 하베스팅을 수행하거나 백스캐터 통신을 수행할 수 있도록 설계하였다. 본 연구를 통해 대규모 센서 네트워크를 이용한 연구에서, 백스

캐터뿐만 아니라 남은 RF 에너지를 이용한 효율적인 통신을 수행할 수 있을 것이다. 또한 Bistatic scatter radio를 이용할 때 반사되는 신호의 통신거리 향상, 대규모 센서 네트워크에서의 태그간의 통신 간섭 완화 및 전력소모 효율을 증대하기 위한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 태그의 연산량과 전력소모를 최소화하기 위한 소자관련 연구 및 통신기술 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey," *Comput. Netw.*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, Mar. 2002.
- [2] V. Lakafosis, A. Rida, R. Vyas, L. Yang, S. Nikolaou, and M. M. Tentzeris, "Progress towards the first wireless sensor networks consisting of inkjet-printed, paper-based rfid-enabled sensor tags," *Proc. IEEE*, vol. 98, no. 9, pp.1601-1609, Sept. 2010.
- [3] G. Vannucci, A. Bletsas, and D. Leigh, "A software-defined radio system for backscatter sensor networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 6, pp. 2170-2179, June 2008.
- [4] H. Stockman, "Communication by means of reflected power," *Proc. IRE*, vol. 36, no. 10, pp. 1196-1204, Oct. 1948
- [5] J. Kimionis, A. Bletsas, and J. Sahalos, "Bistatic backscatter radio for tag read-range extension," in *IEEE Intl. Conf on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA)*, 2012, Nice, France, Nov. 2012, pp. 356-361.
- [6] J. Kimionis, A. Bletsas, and J. Sahalos, "Bistatic backscatter radio for power-limited sensor networks," *IEEE Globecom*, pp. 353-358, 2013.

저자

심 이 삭(Isaac Sim)

학생회원



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

<관심분야> : 에너지 하베스팅, Backscatter

황 유 민(Yu Min Hwang)

학생회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전과공학과 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 5G, 재난 통신, WPAN, LBS, 무선 에너지 하베스팅

이 선 의(Sun Yui Lee)

학생회원



- 2013년 2월 : 광운대학교 전과 공학사
- 2013년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



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

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지 무선통신, 5G 이동통신