

인지 주변후방산란 통신을 위한 다중태그 선택

김미지, 김준수, 김수민*

한국산업기술대학교

mijikim@kpu.ac.kr, *suminkim@kpu.ac.kr

Multi-Tag Selection for Cognitive Ambient Backscatter Communications

Mi Ji Kim, Junsu Kim, and Su Min Kim*

Korea Polytechnic Univ.

요약

본 논문은 무선 인지통신 환경에서 주변 후방산란 통신의 태그를 증가시켜 비트 오류율과 데이터 전송률 성능을 향상시키는 연구이다. 1차 시스템이 활성 상태인 경우, 태그는 무작위로 하나를 선택하여 데이터를 전송하고, 1차 시스템이 유휴 상태인 경우, 채널 추정을 통해 채널의 곱이 가장 큰 값의 태그를 선택하여 데이터를 전송한다. 시뮬레이션 결과, 제안한 기법을 사용하면 2차 시스템의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있음을 보인다.

I. 서론

최근, 대규모의 Internet of things(IoT) 환경을 구성하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 이로 인해, 무선 통신을 위해 사용하는 주파수 대역이 충분하지 않다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 추가적인 무선 주파수 자원 없이 TV, Wi-Fi 등 기존의 RF 신호를 이용하여 통신하는 주변 후방산란 통신 방식이 제안되었다[1]. 이 방식은 에너지 하베스팅 기술과 결합하여 저전력으로 통신할 수 있어 배터리 문제도 해결할 수 있다. 이러한 장점 때문에 주변 후방산란 통신 시스템의 핵심 부분인 신호 검출을 위한 연구[2], 시스템의 성능향상을 위한 비트 오류율을 감소시키는 연구[3], 다중 태그 다중 수신기 환경에서 수신 신호 검출 방식에 관한 연구[4], 물리 계층 보안 향상에 관한 연구[5] 등이 꾸준히 진행되고 있다. 주파수 효율성을 증가시키기 위한 또 다른 방법으로 무선 인지통신이 있다. 무선 인지통신에서 무선 기기는 주변의 주파수 스펙트럼을 감지하고 비어있는 주파수 스펙트럼을 사용하여 주파수를 효율적으로 사용한다[6][7].

본 논문에서는 주파수 부족 문제를 해결하는 두 가지 방안인 무선 인지통신 환경에 주변 후방산란 통신 시스템을 접목하고, 주변 후방산란 통신의 태그를 증가시켜 비트 오류율과 데이터 전송률 성능을 향상시키는 기법을 제안한다.

II. 다중태그 선택 기법

그림 1은 무선 인지통신 환경에서 멀티태그를 사용하는 2차 후방산란 통신 시스템을 나타낸다. 1차 시스템은 송신기와 1차 수신기로 구성되어 있고, 2차 시스템은 파워 비콘, K개의 후방산란 태그, 2차 수신기로 구성되어 있으며, 각각의 채널은 레일리 블록 페이딩을 겪는 것으로 가정한다. 1차 시스템과 2차 시스템은 활성도 ν 에 의해 활성 상태와 유휴 상태로 구분할 수 있다. 아래의 제안된 기법으로 태그를 선택한 후 평균 수신 에너지를 비교함으로써 변조된 데이터를 추정할 수 있다[8].

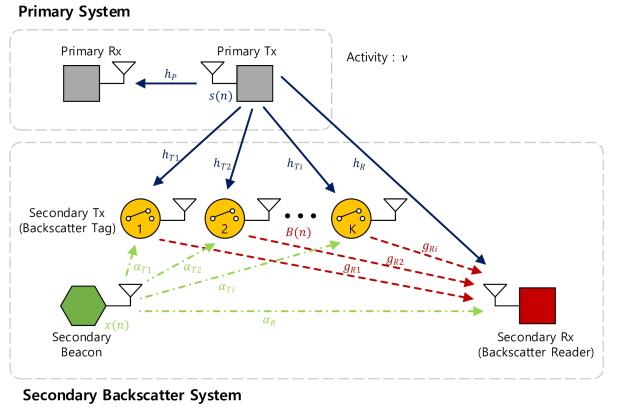


그림 1 주변 후방산란 통신 시스템

A. 1차 시스템 활성 상태

1차 시스템이 활성 상태인 경우, 1차 시스템의 송신 신호를 변조하여 데이터를 전송하며, 2차 시스템의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_p(n) = h_R s(n) + \eta g_{Ri} h_{Ti} s(n) B(n) + \omega(n),$$

여기서 h_R , h_{Ti} , g_{Ri} 는 각각 1차 송신 신호와 2차 수신기, 1차 송신 신호와 태그, 태그와 2차 수신기 사이의 채널이며, $s(n)$ 은 1차 시스템이 송신하는 RF 신호, η 는 안테나 효율인자, $B(n)$ 은 후방산란 변조 비트, $\omega(n)$ 은 AWGN 잡음이다.

이때, 송신 신호 $s(n)$ 은 알 수 없는 신호이기 때문에 채널 추정이 불가능하다. 따라서 태그 선택은 K 개의 태그 중 랜덤으로 하나의 태그를 선택하여 데이터를 전송한다.

$$i^* = \text{Uniform}(\{1, \dots, K\}).$$

B. 1차 시스템 유휴 상태

1차 시스템이 유휴 상태인 경우, 2차 파워비콘이 RF 신호를 송신하

며, 2차 시스템의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_s(n) = \alpha_R x(n) + \eta g_{Ri} \alpha_{Ti} x(n) B(n) + \omega(n),$$

여기서 $\alpha_R, \alpha_{Ti}, g_{Ri}$ 는 각각 2차 파워비콘과 2차 수신기, 2차 파워비콘과 태그, 태그와 2차 수신기 사이의 채널이다.

1. No SIC.

간섭제거를 하지 않았을 때의 태그 선택은 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$i^* = \underset{i \in \{1, \dots, K\}}{\operatorname{argmax}} \left| \alpha_R + \eta \alpha_{Ti} g_{Ri} \right|^2 - \left| \alpha_R \right|^2.$$

2. SIC.

파워비콘의 송신 신호 $x(n)$ 은 2차 시스템에서 알 수 있고, 완벽한 채널 추정을 가정하면 간섭제거가 가능하다.

$$z(n) = y(n) - \hat{\alpha}_R x(n) = \eta g_{Ri} \alpha_{Ti} x(n) B(n) + \omega(n),$$

여기서 $\hat{\alpha}_R$ 은 추정된 채널이며, $\hat{\alpha}_R = \alpha_R$ 로 완벽채널추정을 가정한다. 따라서 채널의 곱이 가장 큰 값의 태그를 선택한다.

$$i^* = \underset{i \in \{1, \dots, K\}}{\operatorname{argmax}} \left| \eta \alpha_{Ti} g_{Ri} \right|^2.$$

III. 성능평가

본 장에서는 시뮬레이션을 통하여 성능 검증을 수행한다. 본 시스템의 성능은 2차 수신기에서 비트 오류율과 전송률로 평가한다.

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

$$R_B = R_s \frac{N_B(1 - P_b)}{N}.$$

시뮬레이션에 사용한 파라미터는 안테나 효율인자 η 이며 값은 0.1으로 설정하였다. 시스템 활성도의 값과 태그의 수를 변화시키면서 시뮬레이션 을 진행하였다.

그림 2는 시스템의 활성도를 0.3으로 설정하였고, 태그의 수를 1개, 3개, 8개로 변화시키면서 태그와 2차 수신기의 채널 SNR에 따른 시스템의 성능을 확인하였다. 태그의 수가 증가함에 따라 기존의 시스템의 성능은 변화가 없지만 제안한 기법은 비트 오류율이 감소하고, 데이터 전송률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 제안한 기법 중에 SIC를 사용한 기법이 SIC를 사용하지 않은 것보다 성능이 향상되었다. 이는 완벽한 채널 추정을 가정하여 채널 간섭을 제거하여 나타난 결과이다.

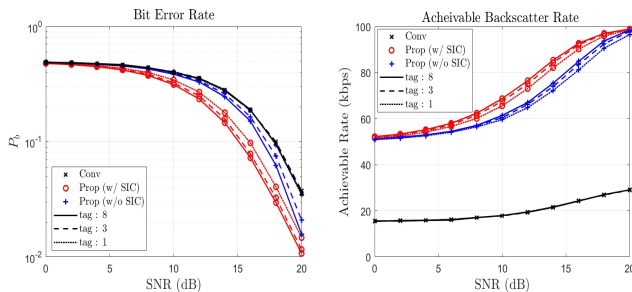


그림 2 주변 후방산란 시스템의 성능

IV. 결과

본 논문에서는 무선 인지통신 환경에서 다중태그를 사용하여 2차 주변 후방산란 통신 시스템의 성능을 향상시키는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션의 성능 평가 결과, 제안한 멀티태그를 사용한 주변 후방산란 통신 시스템이 기존의 하나의 태그를 사용한 주변 후방산란 통신 시스템보다 상당히 좋은 성능을 보이며, 완벽한 채널 추정을 기반으로 SIC 기법을 적용하면 획기적으로 성능을 향상시킬 수 있다.

추후, 파워비콘의 출력 파워를 조절하여 적절한 값을 선택하여 효율적인 데이터 전송을 가능하게 하는 후속 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정보(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2019R1F1A1A1059125)

참 고 문 헌

- [1] V. Liu, A. Parks, V. Talla, S. Gollakota, D. Wetherall, and J. R. Smith, "Ambient Backscatter: Wireless Communication Out of Thin Air," in Proc. ACM SIGCOMM, Aug. 2013.
- [2] Z. Ma, T. Zeng, G. Wang and F. Gao, "Signal detection for ambient backscatter system with multiple receiving antennas," in Proc. IEEE Canadian Workshop on Information Theory (CWIT), July 2015.
- [3] 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," International Conference on Communications and Networking in China (ChinaCom), Aug. 2015.
- [4] K. H. Jang, S. M. Kim, and J. Kim, "Performance Analysis of Multi-Tag Multi-Reader Ambient Backscatter Communication Systems," in Proc. IEEE International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), July 2019.
- [5] 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 Proc. IEEE International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), July 2019.
- [6] F. A. Khan, T. Ratnarajah and M. Sellathurai, "Multiuser diversity analysis in spectrum sharing cognitive radio networks," in Proc. International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, June 2010.
- [7] A. Ahmad, S. Ahmad, M. H. Rehmani and N. U. Hassan, "A Survey on Radio Resource Allocation in Cognitive Radio Sensor Networks," IEEE Commun. Surveys and Tutorials, vol. 17, no. 2, pp. 888-917, Feb. 2015.
- [8] G. Wang, F. Gao, R. Fan and C. Tellambura, "Ambient Backscatter Communication Systems: Detection and Performance Analysis," IEEE Transactions on Communications, vol. 64, no. 11, pp. 4836-4846, Nov. 2016.
- [9] X. Zhou, G. Wang, Y. Wang and J. Cheng, "An Approximate BER Analysis for Ambient Backscatter Communication Systems With Tag Selection," in IEEE Access, vol. 5, pp. 22552-22558, July 2017.