

TSR 릴레이를 활용한 무선 전력 Backscatter 통신 성능 분석

박시우[†], 박재현^{**}, 황규성^{***}

Performance Analysis of Wireless-powered Backscatter Communication with TSR-based Relay

Si Woo Park[†], Jae Hyun Park^{**}, Kyu-Sung Hwang^{***}

ABSTRACT

In this paper, we consider the wireless-powered backscatter communication which consists of a power beacon, a source, a relay, and a destination. For the proposed wireless-powered backscatter communication, the source transmits its signals to both the relay and the destination via a backscattering channel and the relay which has a rechargeable battery performs an energy harvesting as well as an information forwarding based on the time switching relay (TSR) protocol. Based on the decode-and-forward (DF) relay transmission, we investigate performances of the proposed system in terms of outage probability and transmission rate in which the exact performance analysis of outage probability is given. Finally, some numerical examples are given to verify our provided analytical results for different system conditions.

Key words: Backscatter Communication, Decode-and-forward, Wireless-powered Relay, Time Switching Relaying, Outage Probability

1. INTRODUCTION

무선 전력 백스캐터(backscatter) 통신(Wireless-powered backscatter communication)은 최근 소전력 IoT(Internet-of-Things) 기기들의 사용이 급증하는 환경에서 배터리 활용성 향상의 솔루션으로 각광받고 있다[1-2]. 일반적인 IoT 기기들의 배터리 충전 및 교체에 가장 큰 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서 고려하는 무선 전력 백스캐터 통신은 무선 전력 전송(wireless power transfer)와 저 전력 백스캐터 통신이 결합된 기술로, 전력 비콘(power beacon, PB)

이 IoT기기들에게 무선으로 전력을 전송하며, IoT기기들은 PB에서 보낸 캐리어(carrier) 신호를 활용하여 주파수 변조를 이용한 반송파 신호의 반사를 통해 정보를 전송한다[3-4].

그러나, 백스캐터 통신은 RFID로 대표되는 통신 방식으로 별도의 전력 소모를 통해 신호를 생성하여 전송하는 것이 아니라, 단말기(reader) 등으로부터 받는 신호를 반사(reflecting)하여 전송하는 방식이다. RFID의 경우 주로 수동적(passive) 방식으로 고정된 정보만 전송이 가능하고, 단순 RF 수신 신호 전력만으로는 전송거리에 제약이 있다는 단점이 있

※ Corresponding Author : Kyu-Sung Hwang, Address: (38428) Gamasil-gil 50, Hayang, Gyeongsan, Gyeongbuk, Korea, TEL : +82-53-600-5624, FAX : +82-53-600-5559, E-mail : kshwang@kiu.ac.kr

Receipt date : Aug. 8, 2019, Revision date : May 20, 2020
Approval date : June 3, 2020

[†] Dept. of Electronic Eng., Kyungil University
(E-mail : 1541sm@naver.com)

^{**} Dept. of Electronic Eng., Kyungil University
(E-mail : kpar8021@naver.com)

^{***} School of Fusion, Kyungil University

※ This research was supported by Undergraduate Research Program through the Korea Foundation for The advancement of Science & Creativity (KOFAC) funded by the Ministry of Education (SBJ000029075)

다[5]. 이러한 백스캐터 통신의 단점들을 보완하고, IoT기기에 맞는 높은 데이터 전송률 및 거리 확장 등을 위해 최근 연구 개발이 활발한 무선 전력 전송 기술을 접목하여 IoT기기들로부터 실시간으로 변하는 정보를 전달받기 위한 연구가 진행되고 있다. 최근 RF 기반 무선 전력 전송 기술은 많은 연구가 진행되어, 다수의 IoT기기들에게 전력 공급이 가능한 수준으로 발전하여 기존의 센서 네트워크에서 센서들의 생존성 및 활용성이 크게 높아지고 있다. 또한, 기존의 무전원 방식은 미리 설계된 수동적인 통신만 가능한 반면, 무선 전력 전송 기술을 활용한 기기들은 소형의 배터리를 장착한 IoT 기기들의 활용성을 크게 높일 수 있어 이에 대한 연구가 최근에 전 세계적으로 활발히 진행 중에 있다[7-9]. 또한, 릴레이(relay)를 활용한 통신은 통신 거리 확장 및 전체 시스템 용량 및 품질 향상의 활용도가 높아 최근 많이 연구된 분야이다[10].

본 논문에서는 릴레이를 활용한 협동 통신(cooperative communication) 기반의 무선 전력 백스캐터 통신 시스템을 제안하고 이를 분석하고자 한다. IoT 기기들이 외부 전력 없이 동작하는 환경에서 에너지 하베스팅을 통하여 동작 전력을 확보하고, 릴레이로 활용되는 시스템을 고려한다. 제안하는 시스템의 성능 분석을 위해 시스템 불통 확률(outage probability) 및 전송 데이터 전송률(transmission data rate) 기반으로 성능을 분석한다. 무선 에너지 하베스팅을 위하여 릴레이로 활용되는 IoT 기기가 시분할(time switching relay, TSR) 방식으로 에너지 하베스팅 및 정보 전송을 하는 시스템을 고려하며, 복잡한 백스캐터 통신 채널 기반 시스템 불통확률의 성능을 이론적으로 분석하여 제안하는 시스템의 유효성을 살펴본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 무선 전력 백스캐터 통신에 대한 시스템 구성, 에너지 하베스팅을 위한 시분할 기법, 데이터 전송률 기반 분석에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안하는 시스템 불통 확률에 대한 분석을 제시한다. 4장 및 5장에서는 제안된 시스템의 성능을 시뮬레이션 및 분석 결과를 통하여 평가하고 이에 대한 논의를 한다.

2. SYSTEM DESCRIPTION

2. SYSTEM DESCRIPTION

2.1 System Model

Fig. 1은 TSR 프로토콜을 활용한 협력 백스캐터링 통신(cooperative backscattering communication) 시스템을 나타낸다. 파워비콘(power beacon, PB), 송신 노드(source node, S), 중계 노드(relay node, R) 및 수신 노드(destination node, D)으로 구성되어 있으며, Fig. 2와 같은 3개의 시분할 방식으로 동작하는 half-duplex 전송 방식을 고려한다. PB는 안정적인 에너지 공급을 제공하며 사용자와 릴레이의 작동을 제어하는 시스템 조정자(coordinator) 역

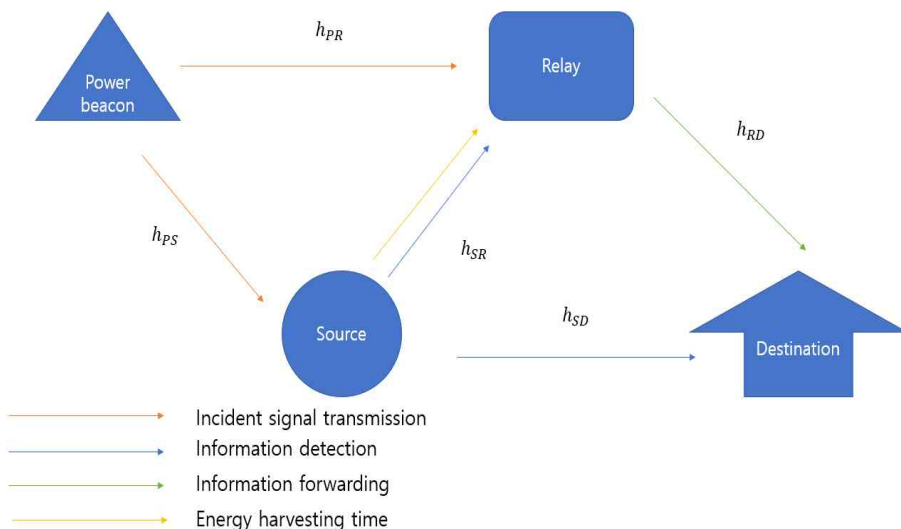


Fig. 1. The proposed cooperative backscattering system with TSR protocol.

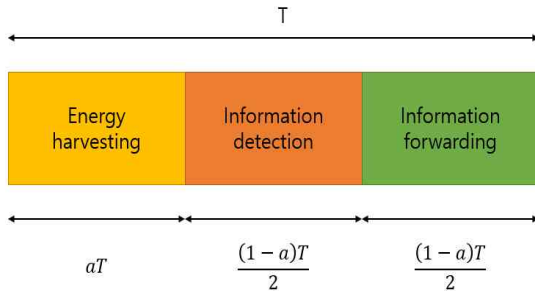


Fig. 2. the TSR protocol Block Structure.

할을 한다. 송신 노드는 Backscatter 회로를 통해 파워비콘의 입사 신호를 반영하여 정보를 수동적 혹은 능동적으로 전송할 수 있다. 중계 노드는 복호후전송 (decode and forward, DF) 프로토콜을 기반으로 수신 노드에게 정보를 중계 전송하는 역할을 한다. DF 전송 기반 중계 노드는 S-R 링크가 특정 데이터 전송률을 만족할 때만 수신 노드로 정보를 전송한다. PB-S, PB-R, S-R, R-D 및 S-D 링크들의 채널 계수들은 $h_{PS}, h_{PR}, h_{SR}, h_{RD}, h_{SD}$ 로 설정되며 각각 복소 원형 대칭 가우시안 분포 $h_{AB} \sim CN(0, \Omega_{AB})$ 를 따른다. 중계 노드는 별도의 전원을 가지고 있지 않은 배터리 내장형태의 기기를 가정하며 잔류 전력 및 하베스팅 전력을 활용하여 정보를 송신한다. 송신 노드는 PB로부터 받은 신호를 기반으로 백스캐터링하여 중계 노드 및 수신 노드로 전송한다. Fig. 2와 같이 3단계 시간 분할 모델을 고려하며, 1단계에서 중계 노드는 aT 동안 PB로부터 받은 수신 전력을 하베스팅하고, 2단계에서는 $(1-\alpha)T/2$ 동안 송신 노드가 PB로부터 받은 신호를 백스캐터링하고 중계 노드를 이를 복호화하며, 3단계에서는 $(1-\alpha)T/2$ 동안 수신 노드를 중계 노드로부터 신호를 받아 이를 최종적으로 복호화하는 과정을 거친다.

송신 노드에서 수신되는 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_S(\tau) = \sqrt{P_P} h_{PS} s(\tau) + n_s \quad (1)$$

P_P 는 PB 전송 전력, $s(\tau)$ 는 백스캐터링 및 하베스팅을 위한 전송 시퀀스이며, 알려져 있다고 가정한다. n_s 는 안테나에서 발생하는 잡음으로 부가 백색 가우시안 잡음 $n_s \sim CN(0, 1)$ 로 가정한다. 본 연구에서는 백스캐터링에 의한 손실은 없다고 가정한다.

(1) 번식을 활용하여 수신 노드 및 중계 노드에서

의 수신 신호는 아래와 같이 나타낼 수 있다 [11].

$$y_D(\tau) = h_{SD} \sqrt{P_P} h_{PS} s(\tau) c(\tau) + h_{SD} n_s c(\tau) \quad (2)$$

$$+ h_{PD} \sqrt{P_P} s(\tau) + n_D$$

$$y_R(\tau) = h_{SR} \sqrt{P_P} h_{PS} s(\tau) c(\tau) + h_{SR} n_s c(\tau) \quad (3)$$

$$+ h_{PR} \sqrt{P_P} s(\tau) + n_R$$

여기서, $c(\tau)$ 는 송신 노드에서 보내는 신호이고 n_i 의 분포는 $CN(0, 1)$ 이다. 식 (2)와 (3)의 $h_{SD} n_s c(\tau)$ 및 $h_{SR} n_s c(\tau)$ 는 백스캐터링 송신 안테나단 잡음에 대한 부분으로 일반적인 시스템 노이즈 보다 매우 작은 수치로 무시할 수 있는 수준으로 가정한다. $h_{PD} \sqrt{P_P} s(\tau)$ 및 $h_{PR} \sqrt{P_P} s(\tau)$ 는 파워비콘에서 수신 노드 및 중계 노드로 오는 간섭 신호로 $s(\tau)$ 는 사전에 약속된 시퀀스임을 가정하여 self-interference cancellation 기법을 활용하여 제거 가능하다. 이와 같은 시스템 모델에서 식 (2) 및 (3)에서 수신된 신호의 신호대잡음비 (signal-to-noise ratio, SNR)은 다음과 같이 나타낼 수 있다 [11].

$$\gamma_{SD} = P_P X_0 X_P \quad (4)$$

$$\gamma_{SR} = P_P X_1 X_P \quad (5)$$

위 식들에서 $X_P = |h_{PS}|^2, X_0 = |h_{SD}|^2, X_1 = |h_{SR}|^2$ 이다.

에너지 하베스팅 구간에서 중계 노드가 얻는 하베스팅 에너지는 $\eta \alpha T P_P (X_1 X_P + |h_{PR}|^2)$ 로 표현할 수 있다. 여기서 η 는 하베스팅 에너지 전환 효율이고, $|h_{PR}|^2$ 은 PB에서 실시간으로 수신하는 신호의 에너지이다. 기본적으로 해당 신호의 평균 전력 값을 잔류 전력으로 고려하여 사용한다고 가정하면 중계 노드에서 αT 시간 동안에 하베스팅 하는 에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon_h = \eta \alpha T P_P (X_1 X_P + \Omega_{PR}) = \varepsilon_0 + \eta \alpha T P_P X_1 X_P \quad (6)$$

식 (6)에서 $\varepsilon_0 = \eta \alpha T P_P \Omega_{PR}$ 이다.

2.2 The Proposed Wireless-powered Backscattering System based on TSR

Fig. 2에 제시한 블록시간 T 동안 중계 노드에서 에너지 하베스팅과 정보를 탐색하는 사이에서 전환되는 TSR 프로토콜을 설명한다. 본 연구에서 α 는

$0 \leq \alpha < 1$ 로 에너지 하베스팅을 위한 블록시간 T 의 단계를 나타낸다. 제안하는 TSR 프로토콜에서 블록 시간 T 는 Energy Harvesting time αT , 나머지 First Half of Remaining Block Time $(1-\alpha)T/2$ 및 Second Half of Remaining Block Time $(1-\alpha)T/2$ 의 세 부분으로 나누어 고려한다 [12].

1) During First Half of Remaining Block Time: 중계 노드는 PB 및 송신 노드에서 전송된 신호를 에너지 변환 회로를 사용하여 에너지를 하베스팅하며 αT 동안 획득한 에너지는 식 (6)과 같이 고려한다.

2) During First Half of Remaining Block Time: 송신 노드로부터 전송된 신호 정보를 중계 노드 및 수신 노드에서 수신하는 단계이며 S-D 및 S-R 링크들의 수신 SNR은 식 (4) 및 (5)와 같이 고려한다.

3) During Second Half of Remaining Block Time: 중계 노드는 평균 잔류 전력 및 하베스팅된 전력을 활용하여 수신 노드에 DF기반 전송을 하며, 중계 노드에서 사용되는 송신 전력은 식 (6)을 활용하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_R = \frac{\epsilon_0 + \eta\alpha TP_P X_P X_1}{(1-\alpha)T/2} \quad (7)$$

식 (7)을 바탕으로 R-D 링크의 수신 SNR은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_{RD} = P_R X_2 = \frac{(\epsilon_0 + \eta\alpha TP_P X_P X_1) X_2}{(1-\alpha)T/2} \quad (8)$$

2.3 Achievable End-to-end Transmission Rate

DF 기반의 협동 통신 데이터 전송률은 S-D 링크와 S-R-D 링크 두 종류의 채널 환경을 동시에 고려해야하며, 특히 중계 노드를 사용하는 S-R-D 링크의 경우 S-R 링크의 성능에 따라 활용 유무가 판단되는 특성을 가지고 있다. 이러한 DF 기반의 제안하는 시스템의 데이터 전송률은 다음과 같이 얻을 수 있다 [12].

$$\begin{aligned} R_{E2E}([S, R, D]) & \quad (9) \\ &= \max[R([S, D]), \min[R([S, R]), R([S+R, D])]] \\ &= \frac{1-\alpha}{2} \log_2(1 + \max[\gamma_{SD}, \min[\gamma_{SR}, \gamma_{SD} + \gamma_{RD}]]) \end{aligned}$$

$$\text{식 (9)에서 } R([S, D]) = \frac{1-\alpha}{2} \log_2(1 + \gamma_{SD}),$$

$$R([S, R]) = \frac{1-\alpha}{2} \log_2(1 + \gamma_{SR}),$$

$R([S+R, D]) = \frac{1-\alpha}{2} \log_2(1 + \gamma_{SR} + \gamma_{RD})$ 이다. 각 데이터 채널 데이터 전송률에서 사용되는 SNR들은 식 (4), (5) 및 (8)을 따른다.

3. OUTAGE PROBABILITY OF THE PROPOSED SYSTEM

본 장에서는 제안하는 시스템의 불통확률 살펴본다. 제안하는 시스템의 불통(system outage) 현상은 식 (9)의 데이터 전송률이 목표 전송률 R 보다 작을 때 발생한다고 가정하고 해당 확률을 통해 시스템의 성능을 분석하는 방식이며, 제안하는 시스템의 불통 확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{OUT}(R) &= \Pr[R_{E2E} < R] \\ &= \Pr\left[\max\left[P_P X_P X_0, \min\left[P_P X_P X_1, P_P X_P X_0 + \frac{2(\epsilon_0 + \eta\alpha TP_P X_P X_1) X_2}{(1-\alpha)T}\right]\right] < \tilde{R}\right] \quad (10) \end{aligned}$$

식 (10)에서 $\tilde{R} = 2^{2R/(1-\alpha)} - 1$ 이다. 제안하는 TSR 프로토콜 기반 백스캐터링 중계 통신 불통 확률 $P_{OUT}(R)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{OUT}(R) &= \left[1 - 2 \left[\sqrt{\frac{P_P \Omega_{PS} \Omega_{SD}}{\tilde{R}}} K_1 \left(2 \sqrt{\frac{\tilde{R}}{P_P \Omega_{PS} \Omega_{SD}}} \right) \right. \right. \\ &+ \sqrt{\frac{P_P \Omega_{PS} \Omega_{SR}}{\tilde{R}}} K_1 \left(2 \sqrt{\frac{\tilde{R}}{P_P \Omega_{PS} \Omega_{SR}}} \right) \\ &\left. \left. - \sqrt{\frac{P_P \Omega_{PS} \Omega_{SD} \Omega_{SR}}{\tilde{R}(\Omega_{SD} + \Omega_{SR})}} K_1 \left(2 \sqrt{\frac{\tilde{R}(\Omega_{SD} + \Omega_{SR})}{P_P \Omega_{PS} \Omega_{SD} \Omega_{SR}}} \right) \right] \right] + \psi_3(\tilde{R}) \quad (11) \end{aligned}$$

식 (11)에서

$$\begin{aligned} \psi_3(\tilde{R}) &= \int_{z=0}^{INF} \int_{x=0}^{2\epsilon_0 + 2\eta\alpha\tilde{R}T} \left[\exp\left(-\frac{\tilde{R}}{P_P \Omega_{SR} z}\right) \right. \\ &- B_1 \exp\left(\frac{2\epsilon_0 x - (1-\alpha)\tilde{R}T}{2\eta\alpha P_P T \Omega_{SR} x z}\right) \\ &+ B_2 \exp\left(-\frac{\tilde{R}}{P_P \Omega_{SD} z} - \frac{\tilde{R}}{P_P \Omega_{SR} z} + \frac{2(\epsilon_0 + \eta\alpha\tilde{R}T)x}{(1-\alpha)P_P T \Omega_{SD} z}\right) \\ &\left. \times \frac{\exp(-x/\Omega_{RD}) \exp(-z/\Omega_{PS})}{\Omega_{RD} \Omega_{PS}} dx dz \right] \end{aligned}$$

$$B_1 = \frac{2\eta\alpha\Omega_{SD}x}{2\eta\alpha\Omega_{SR}x - (1-\alpha)\Omega_{SD}},$$

$$B_2 = \frac{(1-\alpha)\Omega_{SD}}{2\eta\alpha\Omega_{SR}x - (1-\alpha)\Omega_{SD}} \text{ 이다.}$$

4. NUMERICAL EXAMPLES

본 장에서는 2장 및 3장에서 논의한 TSR 기반 에너지 하베스팅 백스캐터링 중계 전송 시스템의 성능을 살펴본다. 채널은 Rayleigh 페이딩 채널을 고려하여 분석을 진행하였으며, 실험의 다양성을 위하여 TSR의 time switching coefficient α 는 0.1, 0.2, 0.3를 설정하였고, 하베스팅 에너지 전환 효율 $\eta = 0.6$, 목표 전송률 $R = 1.5$ bps/Hz, $P_p = 1$ Joule/sec, $T = 1$ sec 및 PB에서 송신 노드 및 중계 노드 사이의 채널 계수는 $\Omega_p = \Omega_{PS} = \Omega_{PR}$ 을 고려하였다. 실험 채널 환경은 $\Omega_{SD} + 5$ dB = $\Omega_{SR} = \Omega_{RD} = \Omega$ 및 $\Omega_{SD} + 5$ dB = $\Omega_{SR} = \Omega_{RD} = \Omega + 10$ dB 두 종류를 고려하였다.

Fig. 3은 제안한 에너지 하베스팅 기반 백스캐터링 중계 통신의 불통확률이다. 본 실험에서는 PB에서 전송하는 신호의 세기를 달리하여 하베스팅 에너지 양을 변화시켰으며, 이는 중계 노드에서 사용되는 전송 전력의 변화가 전체 시스템 성능에 큰 영향을 미치게 됨을 볼 수 있었다. 파워비콘으로부터 수신 전력이 10dB 높을 경우 약 5dB 정도의 불통확률 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. Time switching

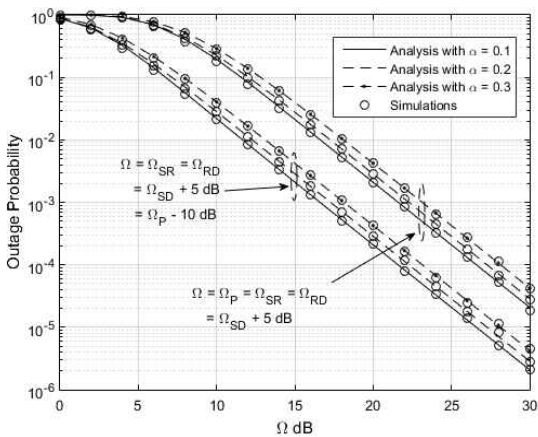


Fig. 3. Performance comparisons for outage probability of the proposed wireless-powered backscattering relaying transmission with TSR.

coefficient의 경우 0dB 근처 일부 낮은 SNR 구간을 제외하고는 하베스팅 시간이 적고 데이터 전송 시간이 긴 경우가 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. Fig. 3에서 이론 분석 값은 ‘선’으로 실험값은 ‘원’으로 표기하였으며 본 연구에서 분석한 이론값과 실험값이 일치함을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 제안한 에너지 하베스팅 기반 백스캐터링 중계 통신의 데이터 전송률이다. 실험 환경은 Fig. 3과 동일하며 불통확률과 유사하게 0dB 근처 일부 매우 낮은 SNR 구간을 제외하고는 time switching coefficient가 작을 때 보다 많은 데이터를 전송할 수 있음을 확인할 수 있다. 10 dB 이상의 채널 Ω 구간에서는 PB로부터 수신 전력이 10dB 높을 경우 동일 데이터 전송률 기준으로 약 5dB 정도의 채널 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다.

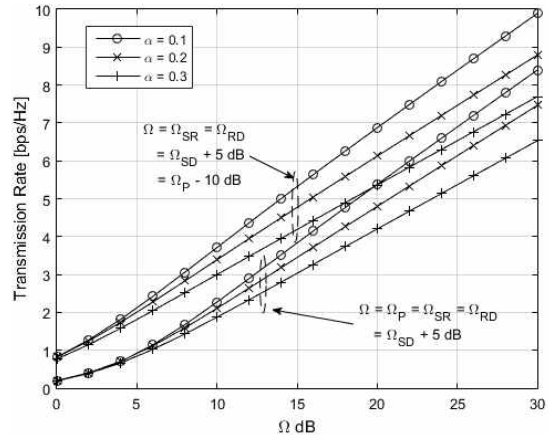


Fig. 4. Performance comparisons for transmission rate of the proposed wireless-powered backscattering relaying transmission with TSR.

6. CONCLUSION

본 논문에서는 에너지 하베스팅 기반 백스캐터링 중계 통신 시스템에서 TSR 기반의 성능을 분석하였으며, 시스템 불통확률 및 데이터 전송률을 기반으로 성능을 분석하였다. 고정 전원 공급 없이 동작하는 IoT 기기들을 고려하여 본 논문에서는 에너지 하베스팅 기술을 활용한 배터리 기반의 IoT 기기들의 중계 노드로의 활용성에 대한 연구를 진행하였으며, 제안한 환경에서 충분한 무선 전력이 공급될 경우 통신 가능한 적절한 성능을 얻을 수 있음을 검증하였다.

또한, Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 시스템 불통확률의 성능을 이론적으로 분석하였으며 이를 수치적 실험과의 비교를 통하여 본 논문에서 제시된 분석이 타당함을 보였다. 추후, 다수의 파워비콘 및 중계노드들이 존재하는 멀티셀(multi-cell) 환경으로 확장하여 연구를 진행하는 것을 고려할 수 있다.

REFERENCE

- [1] K. Huang and X. Zhou, "Cutting Last Wires for Mobile Communication by Microwave Power Transfer," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 53, No. 6, pp. 86-93, 2015.
- [2] S. Bi, C. Ho, and R. Zhang, "Wireless Powered Communication: Opportunities and Challenges," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 53, No. 4, pp. 117-125, 2014.
- [3] C. Boyer and S. Roy, "Backscatter Communication and RFID: Coding, Energy, and MIMO Analysis," *IEEE Transactions on Communication*, Vol. 62, No. 3, pp. 770-785, 2014.
- [4] K. Huang and V. Lau, "Enabling Wireless Power Transfer in Cellular Networks: Architecture, Modelling and Deployment," *IEEE Transactions on Wireless Communication*, Vol. 13, No. 2, pp. 902-912, 2014.
- [5] V. Chawla and D. Ha, "An Overview of Passive RFID," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 45, No. 9, pp. 11-17, 2007.
- [6] N.-V. Huynh, D.-T. Hoang, X. Lu, D. Niyato, and D.-I. Kim, "Ambient Backscatter Communications: A Contemporary Survey," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 20, No. 4, pp. 2889-2922, 2018.
- [7] G. Yang, C.-K. Ho, and Y.-L. Guan, "Multi-antenna Wireless Energy Transfer for Backscatter Communication Systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 33, No. 12, pp. 2974-2987, 2015.
- [8] K. Han and K. Huang, "Wirelessly Powered Backscatter Communication Networks: Modeling, Coverage, and Capacity," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 16, No. 4, pp. 2548-2561, 2017.
- [9] D.-T. Hoang, D. Niyato, P. Wang, D.-I. Kim, and Z. Han, "Ambient Backscatter: A New Approach to Improve Network Performance for RF-powered Cognitive Radio Networks," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 65, No. 9, pp. 3659-3674, 2017.
- [10] K.S. Hwang, "Secrecy Outage Probability of AF Relay Transmission with MRC/TAS in Presence of Eavesdropper," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 620-625, 2016.
- [11] B. Lyu, Z. Yang, H. Guo, F. Tian, and G. Gui, "A Relay Cooperation Enhanced Backscatter Communication for Internet-of-Things," *IEEE Internet Things Journal*, Vol. 6, No. 2, pp. 2860-2871, 2018.
- [12] M. Ju, K.-M. Kang, K.-S. Hwang, and C. Jeong, "Maximum Transmission Rate of PSR/TSR Protocols in Wireless Energy Harvesting DF-based Relay Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 33, No. 12, pp. 2701-2717, 2015.



박 시 우

2020년 2월 경일대학교 전자공학과 공학사



황 규 성

2004년 8월 고려대학교 전기전자
전파공학부 공학사
2010년 2월 고려대학교 전자컴퓨터
공학과 공학박사
2010년 1월~2011년 8월 전자부
품연구원 선임연구원



박 재 현

2020년 8월 경일대학교 전자공학과 공학사

2011년 9월~현재 경일대학교 부교수
관심분야: FSO 통신, C-RAN, 머신러닝