

# WiFi 주변 후방산란 통신 시스템에서 후방산란 태그와 수신기 간 거리에 따른 성능 평가

안창영\*, 권형민\*, 유흥균<sup>o</sup>

## Performance Evaluation According to Distance Between Backscatter Tag and Receiver in WiFi Ambient Backscatter Communication Systems

Changyoung An\*, Hyeong Min Kwon\*, Heung-Gyoon Ryu<sup>o</sup>

### 요약

본 논문은 초저전력을 사용하여 정보를 전송할 수 있는 주변 후방산란 통신 시스템에서 통신 거리에 따른 성능 평가 결과를 제시한다. 세부적으로, 우선 주변 신호 송신기 및 후방산란 태그, 수신기로 구성된 주변 후방산란 통신 시스템을 설계하였으며, 가산 백색 가우스 잡음, 위상회전, 시간지연을 고려한 채널 상황에서 태그의 심벌 주기와 통신 거리에 의한 경로 감쇠를 고려하여 성능 평가를 수행하였다. 특히, 주변 신호원에서 오는 직접 신호와 후방산란 신호 간의 상쇄 간섭이 일어나는 채널 환경에 대응할 수 있도록 태그에 차동 부호화 기능을 추가하였다. 시뮬레이션 결과, 가산 백색 가우스 잡음과 위상회전만을 고려한 채널에서는 태그 정보가 수신기에서 역으로 수신되는 현상이 발생하여 성능이 떨어지는 것을 확인하였으며, 차동 부호화를 통해 효과적으로 극복할 수 있음을 확인하였다. 그리고 성능 확보를 위하여 태그의 전송속도를 낮추고 심벌 주기를 길게 할 경우 성능을 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

**Key Words** : ambient backscatter communication, backscatter tag, load modulation, low power communication, differential coding

### ABSTRACT

This paper presents the results of performance evaluation according to the communication distance in an ambient backscatter communication system (AmBC) that can transmit information using ultra-low power. First, an AmBC system consisting of an ambient signal transmitter, a backscatter tag, and a reader is designed. This system considers the symbol period of the tag, path loss by communication distance, and channel environment with additive white Gaussian noise (AWGN), phase rotation, and time delay. In particular, a differential encoding function is added to the tag to cope with the channel environment in which destructive interference occurs between the direct signal from the ambient signal transmitter and the backscattered signal. In the

※ 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016R1D1A1B01008046). 그리고 이 논문은 2019년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원을 받아 연구되었음 (2019K1A3A1A39102995). 그리고, 이 논문은 2020년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2020K2A9A2A08000106). 또한, 이 논문은 충북대학교 4단계 BK21사업(2021) 지원을 받아 작성되었음.

• First Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, acy890217@naver.com, 정희원

◦ Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, ecomm@cbu.ac.kr, 정희원

\* Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, 학생회원

논문번호 : 202104-075-A-RN, Received April 5, 2021; Revised July 14, 2021; Accepted August 2, 2021

channel considering only AWGN and phase rotation, it is observed that the bit sent from the tag is inversely received in the reader, resulting in deterioration of performance. However, it is confirmed that this performance degradation can be effectively overcome through differential encoding. It is also confirmed that performance of the AmBC system is better when the transmission speed of the tag is lower and the symbol period is longer.

### I. 서론

4세대 이동통신 시스템은 고성능 이동통신 단말기에 고속 통신을 지원하는 것에 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 5세대 및 5세대 이후 통신 시스템은 초고속 광대역 이동통신뿐 아니라, 초고신뢰 저지연 통신과 초연결 사물 인터넷 통신을 지원하는 데 초점이 맞추어져 있다<sup>[1-3]</sup>. 최근, 이 세 가지 시나리오 중, 초연결 사물 인터넷 통신에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 사물 인터넷 기기는 전력 공급이 제한적일 수 있다. 따라서 이 조건에서 수많은 기기에 통신 기능을 추가하기 위해서는 저전력 소비를 하는 송수신기를 탑재하는 것이 효율적이다. 이러한 이유로, 사물 인터넷 기기에 통신을 지원하기 위하여 주변 후방산란 통신 기술을 결합하는 연구가 주목을 받고 있다<sup>[4-13]</sup>.

주변 후방산란 통신은 초저전력 통신 기술이다. 이 기술은 주변에 존재하는 전파 신호를 활용하여 정보를 송신한다. 후방산란 태그는 안테나와 연결된 내부 회로의 임피던스에 변화를 주어 안테나로 수신된 주변 방사 주파수 신호를 변조하는 방법으로 정보를 전송한다<sup>[4]</sup>. 간단한 방법으로는 진폭 편이 변조가 있다. 이 방법은 비트 ‘0’과 ‘1’을 주변 방사 주파수 신호의 흡수와 반사에 대응시켜 송신한다. 수신기에서는 수신 신호의 전력 변화를 감지하여 정보를 검출할 수 있다<sup>[8]</sup>. 주변 후방산란 통신 시스템은 일반적인 통신 시스템과는 다르게 전력을 많이 소모하는 고출력 증폭기와 같은 능동소자를 사용하지 않으므로, 변조되어 송신되는 신호가 미약하며, 이러한 이유로 전송 거리와 성능이 매우 제한적이다. 따라서 이러한 특성을 개선하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

주변 후방산란 통신과 관련된 기존 연구들을 보면, 직교 주파수 분할 다중화 신호를 사용하는 주변 후방산란 통신 시스템에서 순환 전치를 사용하여 수신기로 수신되는 직접적인 주변 신호를 제거하여 성능을 개선시킬 수 있는 것이 연구되었으며<sup>[9]</sup>, 단일 반송파를 사용하는 주변 후방산란 통신 시스템의 비동기식 구성을 위하여 차동 부호화를 사용하는 연구가 진행되었다<sup>[10]</sup>.

이러한 연구 흐름에 맞추어, 본 논문에서는 다중 반송파 신호를 사용하는 주변 후방산란 통신 시스템에서 중요한 요소인 태그와 수신기 간의 통신 거리와 성능에 대한 특성 평가 및 분석을 결과를 제시한다. 세부적으로 다중 반송파를 사용하는 주변 후방산란 통신 시스템을 설계하고, 가산 백색 가우스 잡음과 레일리 감쇄 환경에서 정량적인 성능 평가 결과를 제시한다. 이때, 주변 신호 크기, 태그의 반사 신호 크기, 잡음 전력 특성을 다양하게 고려하여 성능 평가 결과를 제시한다. 특히, 다중 반송파를 사용하는 주변 후방산란 통신 시스템의 각 채널이 가시거리 환경으로 구성될 때 주변 신호와 태그에서 반사된 신호가 서로 간섭을 일으킴으로 인해서 발생하는 정보 신호의 역전 특성을 파악하고 이를 극복하기 위한 차동 부호화와 같은 추가적인 신호처리의 필요성을 보인다. 본 논문에서는 태그와 수신기 간의 거리에 따른 경로 감쇠 및 잡음 전력 크기에 따른 성능평가 결과를 제시한다.

### II. 시스템 모델

주변 후방산란 통신 시스템은 주변 신호 송신기, 태그, 수신기로 구성된다. 그림 1은 주변 후방산란 통신 시스템의 기본적인 구성도를 보여준다. 주변 신호 송신기는 4세대 및 5세대 이동통신 기지국이나, 무선 지역망, 라디오 송신기 등이 고려될 수 있다. 본 논문에서는 주변 신호 송신기로 다중반송파 기반의 시스템을 고려한다. 후방산란 태그는 안테나, 부하 변조 회로, 부하 변조 회로를 제어하는 소형 제어 칩으로 구성된다. 이 제어기는 연결된 센서나 기기의 정보를 읽

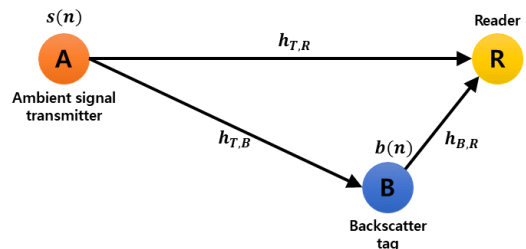


그림 1. 주변 후방산란 통신 시스템의 구성  
Fig. 1. Configuration of AmBC system.

고, 이 정보에 대응하여 부하 변조를 수행한다. 수신기는 주변 신호를 수신하여 디지털 처리를 할 수 있도록 구성된다. 수신기는 일반적인 수신기 회로 및 디지털 처리부로 구성될 수 있고, 상황에 따라 포락선 평균화 회로, 임계값 계산회로, 비교기 등을 사용하는 저전력 시스템으로도 구성할 수 있다<sup>8)</sup>.

그림 1은 주변 후방산란 통신 시스템의 구성을 보여준다. 주변 신호 송신기에서 송신된 신호는  $h_{T,R}$  채널을 통하여 수신기로 이동하고,  $h_{T,B}$  채널을 통하여 태그로 이동한다. 태그는 부하 변조를 통하여 주변 신호에 정보를 사상한다. 이 신호는  $h_{B,R}$  채널을 통과하여 수신기로 이동한다. 수신기에서는 주변 신호 송신기에서 직접적으로 온 신호와 태그를 거쳐온 신호가 합쳐져서 수신된다<sup>12)</sup>. 태그의 부하 변조는 수신기에서 수신된 신호의 전력에 변화를 주며, 수신기에서는 이 전력 변화를 감지하여 정보를 수신한다. 주변 후방산란 통신 시스템의 성능에 영향을 주는 다양한 인자가 존재하지만, 태그로부터 도달한 신호의 크기와 정보의 사상 주기 따라 주변 후방산란 통신 시스템의 성능이 크게 영향을 받게 된다. 이 두 가지 인자에 의하여 통신 가능한 거리가 결정된다.

수신기의 수신 신호  $y(n)$ 는 다음과 같다<sup>11)</sup>.

$$y(n) = h_{T,R}s(n) + g_D h_{B,R}b(n)h_{T,B}s(n) + w(n) \quad (1)$$

여기에서  $s(n)$ 은 주변 신호이며,  $b(n)$ 은 태그의 비트 정보,  $g_D$ 는 태그와 수신기의 거리에 따른 경로 감쇠 수치,  $w(n)$ 은 가산 백색 가우스 잡음을 나타낸다.  $n$ 은 시간영역의 표본 번호를 의미한다. 주변 후방산란 통신에서 태그가 비트 정보에 대응하여 진폭 편이 변조를 사용할 경우 수신 신호는 다음과 같이 표현이 가능하다<sup>11-13)</sup>.

$$y(n) = \begin{cases} h_{T,R}s(n) + w(n), & \text{if } b(n) = 0 \\ h_{T,R}s(n) + g_D h_{B,R}h_{T,B}s(n) + w(n), & \text{if } b(n) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

여기에서 태그의 흡수와 반사가 이상적인 상황을 고려하여 별도의 가중치를 추가하지 않았다. 식 (2)를 보면 수신기의 수신 신호는 태그의 송신 비트에 따라  $g_D h_{B,R}h_{T,B}s(n)$  만큼의 차이가 발생함을 알 수 있으며, 수신기는 태그의 비트에 따라 변화하는 신호의 전력을 비교하여 비트를 검출할 수 있다. 이때, 경로 감쇠 인자  $g_D$ 에 의해 비트가 0일 때와 1일 때의 차이가 변화되며, 통신 거리가 멀어져 이 차이가 줄어들수록 주변 후방산란 통신 시스템의 성능은 떨어질 수 있다.

태그에서 송신하는 비트 정보를 효과적으로 수신하기 위해서는 주변 신호에 사상되는 비트의 주기가 일정 길이 이상이어야 한다. 한 비트의 주기가  $N_B$ 인 경우, 태그의 비트에 따른 전력은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_0 = \frac{1}{N_B} \sum_{n=1}^{N_B} |h_{T,R}s(n) + w(n)|^2 \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{1}{N_B} \sum_{n=1}^{N_B} |h_{T,R}s(n) + g_D h_{B,R}h_{T,B}s(n) + w(n)|^2 \quad (4)$$

여기에서  $P_0$ 와  $P_1$ 의 중간값이 비트를 구분하는 판정선이 된다. 즉, 이 판정선은 수신받은 신호의 평균 전력을 계산하여 얻을 수 있다.  $P_0$  및  $P_1$ 의 값은 채널 상황에 따라 변화하게 되며, 상황에 따라  $P_0$ 가 더 클 수도 있고, 또는  $P_1$ 이 더 클 수도 있다. 따라서 이러한 경우를 대비하여, 전치 부호를 사용해서 이 값들을 추정하거나, 차동 부호화 알고리즘을 사용해야 한다.

일반적으로  $N_B$ 가 길 경우, 시스템의 성능이 개선되며, 짧을 경우, 성능이 떨어진다. 그리고 너무 짧을 경우, 다중경로 감쇄에 의해 태그의 송신 신호에 대하여 인접 심벌 간 간섭이 크게 발생하여 수신기에서 태그의 정보를 수신하기 어려워진다.

본 논문에서 고려한 주변 후방산란 통신 시스템은 그림 2와 같다. 주변 신호원으로 무선 지역망에 사용되는 순환 전치를 사용하는 직교 주파수 분할 다중화를 고려하였다. 그리고, 태그에서는 차동 부호화 후 진폭 편이 부하 변조를 사용한다. 그리고 수신기는 무선 지역망의 순환 전치를 사용하는 직교 주파수 분할 다중화 신호를 수신하여 기저대역에서 아날로그 디지털 변환기를 사용하여 표본화할 수 있는 조건을 고려한다. 본 논문에서는 이러한 상황에서 태그와 수신기 간의 거리에 따른 경로 감쇠  $g_D$ 와 태그의 부하 변조

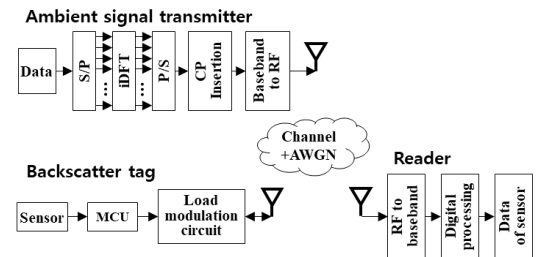


그림 2. 본 논문에서 고려하는 주변 후방산란 통신 환경  
Fig. 2. Environment of AmBC considered in this paper.

주기  $N_B$ 에 따른 성능 평가를 수행한다. 이러한 결과를 통하여 태그의 통신 거리 및 가능한 전송속도를 파악할 수 있다.

### III. 시뮬레이션 결과 및 평가

본 논문에서는 무선 지역망의 신호를 활용하여 통신을 하는 주변 후방산란 통신 시스템을 설계하고 성능 평가를 수행한다. 주요 시뮬레이션 인자는 다음과 같다.

주변 신호 송신기는 단말기와 통신을 하는 무선 지역망 환경을 가정하여, 다중 반송파 신호인 순환 전치를 사용하는 직교 주파수 분할 다중화 변조를 고려한다. 각 부반송파에 사상되는 심벌은 4-QAM 이고, 전체 부반송파 개수는 1024개, 사용하는 부반송파의 개수는 512개, 순환 전치 길이는 256개를 고려한다. 후방산란 태그는 진폭 편이 부하 변조를 사용하고, 간단한 수신되는 태그 심벌의 위상 변화 민감도를 줄이기 위하여 차동 부호화를 사용하는 것을 고려하였다. 그리고 심벌 주기는 1000개에서 3000개 까지의 변화를 고려하였다. 주변 신호원과 태그 그리고 수신기 간의 채널환경은 가산 백색 가우스 잡음과 3개의 경로를 갖는 무작위 레일리 감쇄 채널을 고려하였다. 다중경

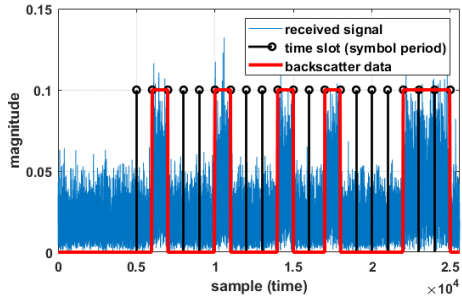
로 채널에서 최대 지연은 순환 전치 길이와 같도록 하였다. 태그와 수신기 간 경로 감쇠 인자는 -80dB에서 0dB까지 고려하였다. 수신기에서 수신되는 주변 신호의 전력을 1로 정규화 하고, 이 전력을 기준으로 태그와 수신기 사이의 거리에 의한 경로 감쇠를 적용하여 수신기에 수신되는 태그 신호의 전력을 조절하였다.

거리에 따른 경로 감쇠는 주파수에 따라 달라진다. 실제 성능에 영향을 주는 것은 거리에 따른 태그 신호 크기의 감쇠량이므로, 전체적인 성능 평가 결과를 특정 주파수에서 거리에 따른 성능으로 표현하지 않고, 경로 감쇠량에 대비한 성능으로 표현한다. 이러한 결과를 사용하면, 특정 성능을 얻기 위한 거리를 파악할 때, 시스템의 사용 주파수와 경로 감쇠량을 이용하여 거리를 쉽게 계산할 수 있다. 그리고, 시뮬레이션은 기저대역 디지털 표본 레벨에서 진행되었다. 주변 신호와 태그의 신호가 합쳐지는 것은 태그에 의해 추가적인 다중경로 신호가 추가되는 효과이므로 방사 주파수 영역을 고려하지 않고, 디지털에서 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행하였다. 즉, 시스템의 성능 평가는 주변 신호와 태그의 신호가 합쳐져서 수신된 후 디지털 표본화가 된 상태를 고려하여 시뮬레이션이 수행되었다. 즉 수신기의 경우 주변 신호를 수신하여 방사 주파수 회로를 거쳐 디지털 표본화를 할 수 있는 상황을 고려하였다.

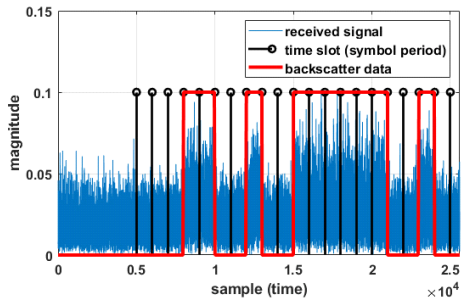
표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameter.

parameter		value
ambient signal transmitter	modulation	CP-OFDM
	symbol	4-QAM
	# of total subcarrier, FFT size	1024
	# of used subcarrier	512
	CP length	256
backscatter tag	modulation	OOK based on load modulation
	channel coding	differential coding
	symbol period, $N_B$	1000, 3000
reader	decision rule	average power based hard decision
channel	$h_{T,R}, h_{B,R}, h_{T,B}$	AWGN, Rayleigh fading channel with 3 paths (maximum delay equals to CP length)
	path loss factor, $g_D$	-80dB ~ 0dB

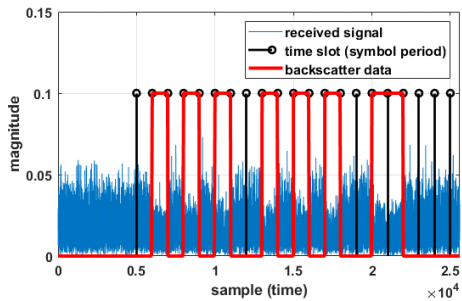
그림 3은 다중경로 감쇄가 없는 가시거리 환경의 위상변화와 가산 백색 가우스 잡음만을 고려했을 때, 수신기에서 수신된 신호를 나타낸다. 이 경우 주변 신호와 태그의 신호가 합쳐지는 것이 두 가지 경로를 갖는 채널 환경과 유사하므로 보강 및 상쇄 간섭이 극적으로 일어날 수 있다. 그림 3의 3가지 경우를 보면 주변 신호 발생기에서 직접적으로 오는 신호와 태그에서 오는 신호가 보강간섭을 일으키거나 상쇄 간섭을 일으킬 수 있으며, 이로 인하여 태그의 정보에 따른 수신기에서의 수신 신호 전력이 다양하게 변화할 수 있다. 그림 3. (a)는 두 신호의 위상이 유사할 경우 강하게 보강간섭이 일어나서 태그의 데이터가 1일 경우 전력 크기가 증가된 것을 볼 수 있으며, 그림 3. (b)의 경우 위상 오차가 커질 경우, 태그의 데이터에 따른 전력 변화가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 3. (c)의 경우, 두 신호의 위상이 반대일 경우 태그 데이터가 1일 때 서로 상쇄 간섭을 일으켜서 수신 전력이 감소한 것을 확인할 수 있다. 이 상황에서 단순한 임계값을 이용하여 1과 0을 판정하게 되면, 태그의 데이터가 반대로 수신되어 성능을 떨어뜨릴 수 있다. 이러한 상황을 고려하여, 혼련 심벌로 구성된 전치 부호



(a) case #1



(b) case #2



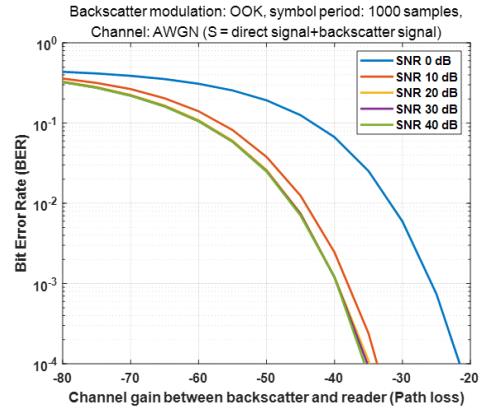
(c) case #3

그림 3. 수신기에서 수신된 신호 (가산 백색 가우스 잡음 환경,  $g_D=0\text{dB}$ )

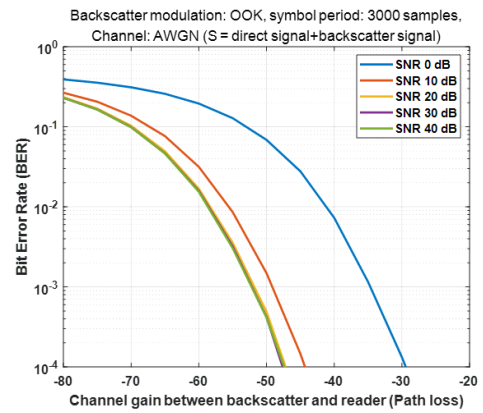
Fig. 3. Received signal in reader. (AWGN environment,  $g_D=0\text{dB}$ )

를 이용하여 태그의 비트에 대응하는 전력을 추정하는 것이 필요하며, 다른 방법으로는 차동 부호화를 통하여 위상 변화 특성을 극복해야 함을 확인할 수 있다.

그림 4는 가산 백색 가우스 잡음 환경에서 주변 신호 발생기에서 바로 들어오는 직접 신호와 태그에서 오는 반사 신호 간의 위상 차이를 고려하지 않았을 경우의 비트 오류율 성능을 보여준다. 이 경우 두 신호가 보강간섭을 일으키므로, 시스템의 성능이 매우 우수하며, 심벌 주기가 1000에서 3000으로 길어질수록 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 일반적



(a) symbol period: 1000 samples



(b) symbol period: 3000 samples

그림 4. 가산 백색 가우스 잡음 환경에서 주변 후방산란 통신 시스템의 비트 오류율 성능

Fig. 4. BER performance of AmBC system in AWGN environment.

으로 좋은 환경으로 고려할 수 있는 가시거리 환경만을 보더라도 직접 신호와 반사 신호 간의 위상 차이가 발생할 수밖에 없으며, 이로 인하여 두 신호는 보강 및 상쇄 간섭이 발생할 수 밖에 없다. 이러한 이유로 보조적인 신호처리를 하지 않을 경우, 그림 5와 같이 성능이 매우 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 이러한 위상 회전에 특성을 극복하기 위하여 차동 부호화를 사용하였을 경우 비트 오류율 성능을 보여준다. SNR이 10 dB 이상이고, 경로 감쇠에 의한 채널 이득이 -10 dB 감소되는 조건에서 약  $10^{-2}$ 의 비트 오류율 성능을 낸다. 즉, 차동 부호화를 통해 위상 회전에 의한 영향을 일부 극복할 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 7은 다중경로 감쇄 환경에서 차동 부호화를 사용하지 않는 주변 후방산란 통신 시스템의 비트 오



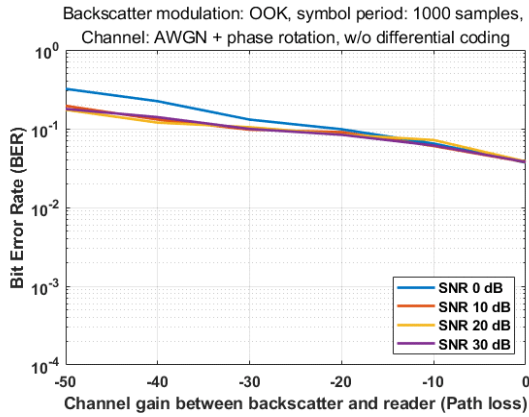


그림 5. 위상 회전을 고려한 가산 백색 가우스 잡음 환경에서 주변 후방산란 통신 시스템의 비트 오류율 성능 (차동 부호화를 하지 않은 경우)  
 Fig. 5. BER performance of AmBC system in environment with AWGN and phase rotation. (w/o differential coding)

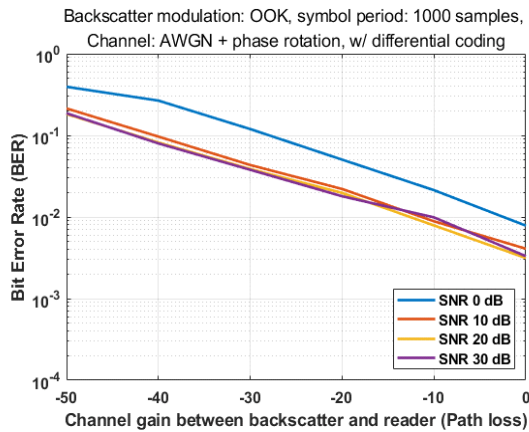


그림 6. 위상 회전을 고려한 가산 백색 가우스 잡음 환경에서 주변 후방산란 통신 시스템의 비트 오류율 성능 (차동 부호화를 한 경우)  
 Fig. 6. BER performance of AmBC system in environment with AWGN and phase rotation. (with differential coding)

류율 성능을 나타낸다. 그림 8은 다중경로 감쇄 환경에서 차동 부호화를 사용한 주변 후방산란 통신 시스템의 비트 오류율 성능을 보여준다. 그림 7과 그림 8은 태그의 심벌 주기가 3000 표본일 때의 성능을 나타낸다. 레일리 감쇄 환경에서는 시간 지연과 위상 회전 효과가 함께 적용된다. 이로 인하여 가산 백색 가우스 잡음 환경에서 보였던 극적인 상쇄 간섭이 발생할 가능성이 매우 적으며, 이로 인하여 차동 부호화를 사용하지 않는 환경에서도 경로 감쇄가 적을 경우 SNR이 10dB 이상일 때,  $10^{-2}$ 에서  $10^{-3}$  사이의 비트

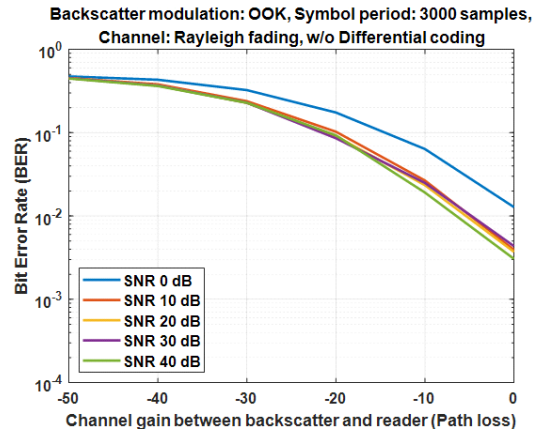


그림 7. 다중경로 감쇄 환경에서 주변 후방산란 통신 시스템의 비트 오류율 성능 (차동 부호화를 하지 않은 경우)  
 Fig. 7. BER performance of AmBC system in multipath fading environments. (without differential coding)

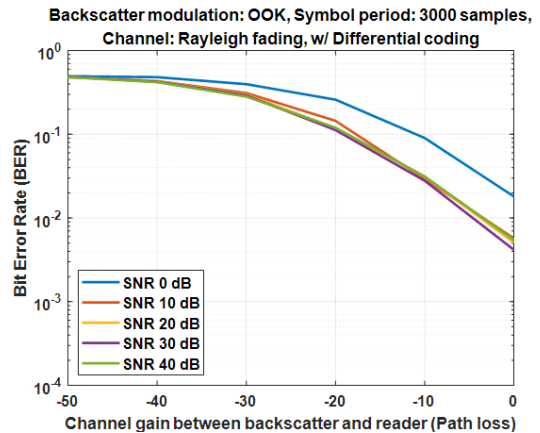


그림 8. 다중경로 감쇄 환경에서 주변 후방산란 통신 시스템의 비트 오류율 성능 (차동 부호화를 한 경우)  
 Fig. 8. BER performance of AmBC system in multipath fading environments. (with differential coding)

오류율 성능을 낼 수 있음을 확인할 수 있다. 그리고 그림 7과 그림 8을 비교해 보면, 차동 부호화를 사용했을 경우 비트 오류율이 더 높은 것을 볼 수 있다. 이는 한 비트에서 오류가 발생할 경우, 인접한 두 비트를 이용하여 각각 차동 복호화를 할 때, 복호된 비트들에 오류가 발생하기 때문이다. 즉, 하나의 비트 오류가 차동 복호 후 두 비트의 오류를 발생시킨다. 이러한 이유로 차동 부호화를 사용했을 경우 일부 성능 저하가 더 나타나게 된다. 즉, 태그의 정보가 역으로 수신될 확률이 높은 환경에서는 차동 부호화의 이득이 더 크지만, 정보가 역으로 수신될 확률이 매우 적어질 경우 차동 부호화에 의해 일부 성능 저하가 발생

할 수 있다.

전체 시뮬레이션 결과를 종합해 보면, 주변 후방산란 통신 시스템에서 가시거리 환경으로 전체적인 채널이 구성될 때, 상쇄 간섭으로 인하여 태그의 정보 신호가 역으로 판정될 가능성이 있다. 이러한 환경에서는 성능이 매우 크게 떨어질 수 있으며, 차동 부호화와 같은 추가적인 신호처리를 사용했을 경우 이를 효과적으로 극복할 수 있다. 다중경로 환경에서는 다양한 경로에 의하여 완전한 상쇄간섭이 일어날 확률이 적으며, 따라서 가시거리 환경에서 차동부호화를 사용하지 않았을 경우 보다 좋은 성능이 도출됨을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 주변 후방산란 통신 시스템에서 태그와 수신기 간의 거리 및 태그의 심벌 주기에 따른 시스템의 성능 평가를 수행하였다. 주변 후방산란 통신 시스템에서 가산 백색 가우스 잡음만을 고려할 경우 보강간섭만 일어나기 때문에 성능이 매우 우수하지만, 위상 회전을 함께 고려할 경우, 상쇄 간섭이 적용되어 판정을 할 때, 비트 정보가 역으로 판정될 가능성이 발생한다. 이 경우 대규모 오류가 발생하기 때문에 성능이 매우 크게 저하되는 것을 확인할 수 있으며, 태그에서 차동 부호화를 사용할 경우, 이러한 성능 저하 현상을 극복할 수 있음을 확인하였다. 다중경로 채널 환경에서는 시간 지연 및 위상 회전이 동시에 고려되어 상쇄 간섭이 크게 일어날 확률이 극히 적기 때문에 차동 부호화를 사용하지 않아도 우수한 성능을 확보할 수 있음을 확인하였다.

#### References

- [1] W. Jiang, B. Han, M. A. Habibi, and H. D. Schotten, "The road towards 6G: A comprehensive survey," *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 2, pp. 334-366, Feb. 2021.
- [2] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, and M. Zorzi, "Toward 6G networks: Use cases and technologies," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 58, no. 3, pp. 55-61, Mar. 2020.
- [3] L. Chettri and R. Bera, "A comprehensive survey on internet of things (IoT) toward 5G wireless systems," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 7, no. 1, pp. 16-32, Jan. 2020.
- [4] C. Kang, W. Lee, Y. You, and H. Song, "Signal detection scheme in ambient backscatter system with multiple antennas," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 14543-14547, Jul. 2017.
- [5] M. A. ElMossallamy, M. Pan, R. Jäntti, K. G. Seddik, G. Y. Li, and Z. Han, "Noncoherent backscatter communications over ambient OFDM signals," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 67, no. 5, pp. 3597-3611, May 2019.
- [6] T. A. Siddiqui, J. Holopainen, and V. Viikari, "Ambient backscattering transponder with independently switchable Rx and Tx antennas," *IEEE Sensors Lett.*, vol. 3, no. 5, pp. 1-4, May 2019.
- [7] G. Yang, Y. Liang, R. Zhang, and Y. Pei, "Modulation in the air: Backscatter communication over ambient OFDM carrier," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 66, no. 3, pp. 1219-1233, Mar. 2018.
- [8] V. Liu, A. Parks, V. Talla, S. Gollakota, D. Wetherall, and J. R. Smith, "Ambient backscatter: Wireless communication out of thin air," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 43, no. 4, pp. 39-50, Aug. 2013.
- [9] G. Yang and Y. Liang, "Backscatter communications over ambient OFDM signals: Transceiver design and performance analysis," *2016 IEEE GLOBECOM*, pp. 1-6, Dec. 2016.
- [10] J. Qian, F. Gao, G. Wang, S. Jin, and H. Zhu, "Noncoherent detections for ambient backscatter system," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 16, no. 3, pp. 1412-1422, Mar. 2017.
- [11] J. K. Devineni and H. S. Dhillon, "Ambient backscatter systems: Exact average bit error rate under fading channels," *IEEE Trans. Green Commun. and Netw.*, vol. 3, no. 1, pp. 11-25, Mar. 2019.
- [12] T. L. N. Nguyen, J. H. Lee, J. Y. Kim, D. I. Kim, and Y. Shin, "Energy detector design for ambient backscatter communications," *J. KICS*, vol. 42, no. 12, pp. 2232-2240, Dec. 2017.
- [13] M. J. Kim, J. Y. Han, and S. M. Kim,

“Performance improvement of ambient backscatter communications in cognitive radio environments,” *J. KIEES*, vol. 31, no. 1, pp. 12-17, Jan. 2020.

**안 창 영 (Changyoung An)**



2013년 2월 : 충북대학교 전자공학  
학과 (공학사)

2015년 2월 : 충북대학교 전자공  
학과 (공학석사)

2019년 8월 : 충북대학교 전자공  
학과 (공학박사)

2019년 9월~현재 : 충북대학교

전자공학부 박사후연구원

<관심분야> 무선통신 시스템, 신호처리, 6G 이동통신  
시스템

[ORCID:0000-0002-7829-7866]

**권 형 민 (Hyeong Min Kwon)**



2020년 2월 : 충북대학교 전자공  
학과 (공학사)

2020년 3월~현재 : 충북대학교  
전자공학과 (석사과정)

<관심분야> 무선통신 시스템,  
WiFi 시스템, 안테나 설계,  
5G/6G 이동통신 시스템

[ORCID:0000-0001-8845-0951]

**유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)**



1988년~현재 : 충북대학교 전자  
공학부 교수

2002년 3월~2004년 2월 : 충북  
대학교 컴퓨터정보통신연구  
소 소장

<관심분야> 무선통신시스템, 위  
성통신, B5G/6G 이동통신 시

스템, 통신회로 설계 및 통신 신호처리

[ORCID:0000-0002-7368-9860]