

엠비언트 백스캐터 통신 시스템의 링크 버짓 계산 및 간섭을 고려한 특성분석

박 병 학*, 유 흥 균^o

Link Budget Calculation and Interference Consideration of the Ambient Backscatter Communication System

Byounggak Park*, Heung-Gyoon Ryu^o

요 약

mMTC(massive Machine Type Communication)은 5G(5th Generation) 이동통신뿐 만 아니라, 무선센서네트워크로 서비스 응용이 되므로 매우 중요한 연구분야이다. 최근들어 mMTC를 실현하기 위한 기술로 ambient backscatter 통신 시스템이 주목받고 있다. ambient backscatter는 주변 RF 신호를 사용하는 통신 시스템으로 전력을 매우 적게 사용한다는 특징이 있다. 이러한 특징은 mMTC를 실현하는데 필요하다. 그러나 주변 RF 신호를 사용하기 때문에 간섭으로 인하여, 통신 성능이 제약된다. 본 논문에서는 ambient backscatter 환경에서 발생하는 간섭 신호를 고려하여 링크 버짓 분석을 실시한다. 또한 ambient backscatter에서 발생할 수 있는 손실항을 새로 추가하는 분석 방법을 제시하였다. 이를 통해 분석한 결과 ambient backscatter의 최대 통신 거리가 상당히 제한되는 것으로 나타났다. 실제 서비스 구현시, 이러한 결과를 이용하여 추가적인 여유 마진의 전력 할당이 중요하다.

키워드 : 엠비언트 백스캐터, 간섭, 링크 버짓, 무선 통신, mMTC

Key Words : Ambient backscatter, Interference, Link budget, Wireless communication, mMTC

ABSTRACT

mMTC (massive machine type communication) is an important research topic since it is one of the 3 pillar service categories of in 5G (5th Generation) and it can be extended into wireless sensor network system. Recently, an ambient backscatter communication system has attracted very high attention as realization technology of mMTC services. Ambient backscatter is a communication system that uses an ambient RF signal and has the characteristic of very low power consumption. These features are greatly important to realize mMTC. However, communication performance is limited because the ambient RF signal is used. In this paper, link budget analysis is investigated considering the interference signal generated in the ambient backscatter environment. In addition, an analysis method is presented that newly adds a loss term generated in ambient backscatter. As a result of analysis, it is found that the maximum communication distance of ambient backscatter is considerably limited. So, additional margin or more power assignment should be considered to design the real implementation system.

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

• First Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, bh9877@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, ecomm@cbu.ac.kr, 종신회원
논문번호 : 202107-182-A-RN, Received July 28, 2021; Accepted September 23, 2021, Accepted October 1, 2021

I. 서 론

최근 들어 5세대 이동통신인 5G가 상용화되기 시작했다. 5G에서는 적용하려는 어플리케이션에 따라 요구하는 성능을 다르게 표준화하였다. 더 높은 속도를 요구하는 eMBB(enhanced Mobile Broad Band)와 초 저지연, 초 신뢰성을 요구하는 URLLC(Ultra Reliable Low Latency) 그리고 수 많은 기기들간의 통신을 지원하기 위한 초연결을 요구하는 mMTC(massive Machine Type Communication)가 있다. 이 중에서 현재 상용화 된 것은 eMBB이고 URLLC와 mMTC는 아직 상용화되지 못했다. 따라서 여전히 mMTC와 URLLC를 상용화하기 위해 많은 연구들이 이루어지고 있다. 그 중에 mMTC 분야에서 최근에 backscatter 통신 시스템을 주목하고 있다. 그 중에서 backscatter의 새로운 분야인 ambient backscatter가 활발하게 연구되고 있다. mMTC의 한 예시인 센서 네트워크의 경우 크게 두가지 문제가 있는데 각 센서별로 전원 관리가 힘들고 센서가 많을수록 통신에 들어가는 전력이 많아진다. 또한 한번 설치하면 유지보수가 어렵기 때문에 평균 수명이 길어야 한다. Backscatter 통신 시스템은 초 저전력 통신 시스템으로 전력 문제에 적합하고 높은 평균 수명을 가지고 있기 때문에 mMTC에 적합하다. 거기에 ambient backscatter 통신 시스템은 이미 존재하고 있는 주변 RF 신호와 주파수 대역을 사용하기 때문에 높은 주파수 재사용율과 전력 저감 효과가 있어 주목 받고 있다. 그러나 일부 단점이 있어 추가 연구가 필요하다. Ambient backscatter는 목표하는 주변 RF 신호를 설정하여 해당 대역의 RF 신호만 사용한다. 따라서 기존에 활용되던 mMTC backscatter 장치는 새로 설계될 필요가 있다. ambient backscatter는 기존 기술들을 이용하기 힘들고 주변 RF 신호를 사용하기 때문에 간섭에 매우 취약하여 실제로 사용할 수 있는지 논란이 되고 있다. 이에 따라 본 논문은 간섭환경 하에서 처음으로 ambient backscatter의 링크 버짓 분석을 수행했다. 이 과정에서 backscatter 장치에서 발생할 수 있는 전력 손실량을 추가하고 손실량을 이론적으로 고려해서 분석했다. 또한 동일한 환경에서 다양한 주변 RF 신호를 고려해서 통신 거리에 끼치는 영향을 분석했다.

II. 본 론

2.1 Ambient backscatter 통신 시스템

Ambient backscatter 통신 시스템은 극도로 적은 전력을 사용하거나 전력을 전혀 사용하지 않는 통신 시스템이다. 본 절에서는 backscatter 통신 시스템의 전반적인 구성에 대해 설명하고 ambient backscatter 시스템의 특징을 다룬다. Backscatter 통신 시스템은 주요 3가지 요소로 이루어져있다. Carrier emitter, backscatter 송신기, backscatter 수신기로 구성된다^[1]. 여기서 carrier emitter는 별도의 연속적인 정현파를 내보내는 신호 발생기일 수도 있고 또는 WiFi 신호, 4G LTE(Long Term Evolution)와 같은 이동 통신 신호, 방송국 라디오 신호 등과 같은 주변 신호가 될 수도 있다. Carrier emitter는 backscatter 통신 시스템에서 사용할 에너지를 공급한다. backscatter 통신 시스템은 carrier emitter로부터 발생된 신호를 이용하여 데이터를 주고 받는다. backscatter 송신기는 carrier emitter로부터 받은 신호를 이용하여 변조 신호를 생성하고 backscatter 수신기로 보낸다. backscatter 송신기는 부하 변조 방식을 사용하여 데이터를 변조한다. backscatter 수신기는 부하 변조된 신호를 받아서 복조한다. backscatter 통신 시스템에서의 송신기는 부하 변조 방식을 사용하기 때문에 전력 소모가 거의 없다. 따라서 backscatter 통신 시스템에서의 전력 소모량은 대부분이 carrier emitter에 의해 결정된다^[2].

그림 1은 monostatic backscatter의 통신 시스템 구성도를 나타낸 것이다. Monostatic backscatter는 backscatter 수신기와 carrier emitter가 하나의 블록으로 묶여있으며 이를 interrogator라고 한다. interrogator는 backscatter 송신기를 향해

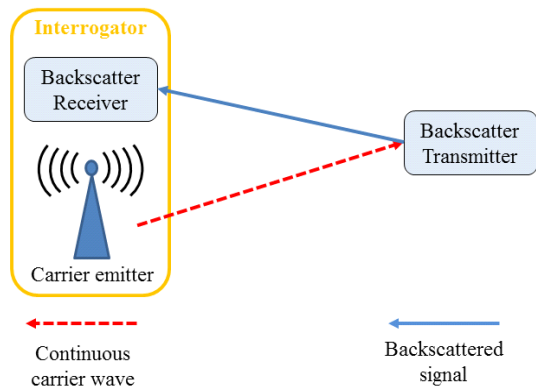


그림 1. Monostatic backscatter 통신 시스템 구성도
Fig. 1. Paradigm for monostatic backscatter

CW(Continuous carrier Wave)를 방출한다. backscatter 송신기는 받은 CW 신호를 부하 변조한 뒤 interrogator를 향해 신호를 반사한다.

그림 2는 bistatic backscatter 통신 시스템의 구성도를 나타낸다. Bistatic backscatter는 monostatic backscatter의 interrogator가 별도의 carrier emitter와 backscatter receiver로 대체되는 통신 시스템이다. Bistatic backscatter는 carrier emitter와 backscatter receiver가 분리되었기 때문에 monostatic backscatter에 비해 더 유연한 네트워크 토폴로지를 설정할 수 있다. 또한 Bistatic backscatter에서 carrier emitter와 backscatter receiver가 monostatic backscatter의 interrogator보다 간단한 설계로 인해서 bistatic backscatter 통신 시스템의 제조 비용이 monostatic backscatter 통신 시스템보다 저렴한 것으로 나타났다³⁾.

그림 3은 ambient backscatter 통신 시스템의 구성

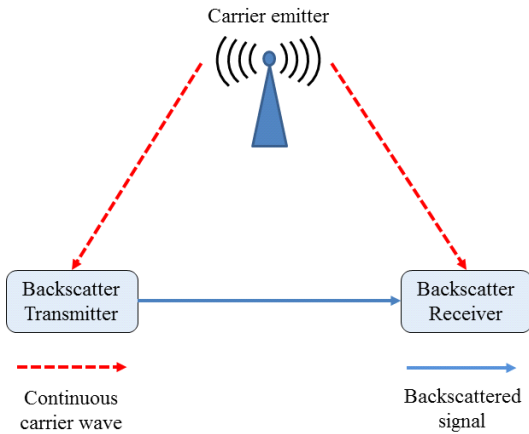


그림 2. Bistatic backscatter 통신 시스템 구성도
Fig. 2. Paradigm for bistatic backscatter

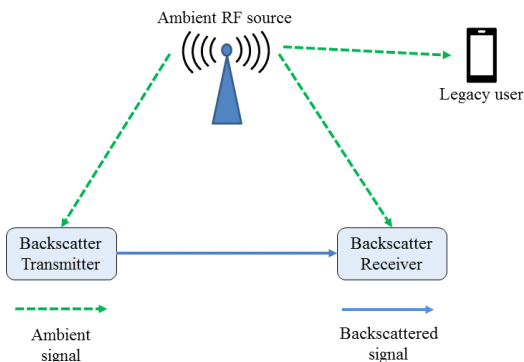


그림 3. Ambient backscatter 통신 시스템 구성도
Fig. 3. Paradigm for Ambient backscatter

도를 나타낸다. Ambient backscatter는 기본 구성은 bistatic backscatter와 동일하다. 그러나 bistatic backscatter에서의 carrier emitter가 ambient backscatter에서는 주변 RF 신호로 바뀌었다는 차이점이 있다. monostatic backscatter와 bistatic backscatter의 carrier emitter에서 방출되는 신호는 변조되지 않은 단일 톤의 정현파 신호이다. 그러나 ambient backscatter에서는 주변 RF 신호를 이용하기 때문에 이미 변조된 신호 위에 backscatter 변조 신호를 얹어서 보낸다는 차이점이 있다. 따라서 ambient backscatter는 부하 변조된 신호를 복조할 때 주변 RF 신호+부하 변조된 backscatter 신호와 부하 변조된 backscatter 신호가 포함되지 않은 주변 RF 신호 간의 차이를 이용하여 부하 변조된 backscatter 신호를 복조한다⁴⁾.

그림 4는 ambient backscatter 통신 시스템의 복조를 설명하기 위해 필요한 성분들을 나타낸 그림이다. $x[n]$ 은 주변 RF 신호이다. $w[n]$ 은 backscatter receiver에 들어가는 노이즈를 나타낸다. $B[n]$ 은 backscatter transmitter에서 송신된 신호를 나타낸다. backscatter receiver에서 최종적으로 복조하기 위해 수신되는 신호를 $y[n]$ 이라고 한다면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다⁴⁾.

$$y[n] = x[n] + \alpha B[n]x[n] + w[n] \quad (1)$$

식 (2.1)에서 α 는 채널 영향에 따른 복소 감쇠계수이다. 나이퀴스트율 N 으로 샘플링하는 수신기일 때 $y[n]$ 에 대한 평균 전력을 계산하면 식 (2)와 같이 나

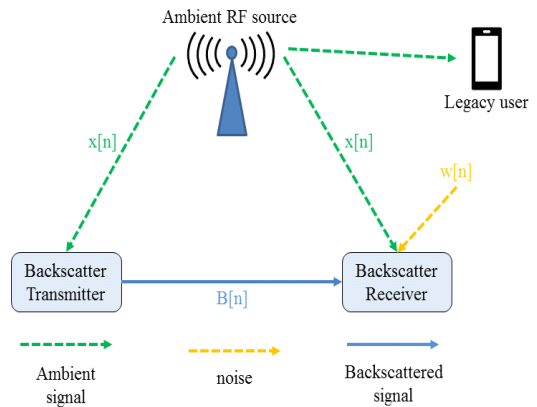


그림 4. Ambient backscatter 통신 시스템 요소
Fig. 4. Element for Ambient backscatter

타낼 수 있다.

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y[n]|^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x[n] + \alpha Bx[n] + w[n]|^2 \quad (2)$$

여기서 $B[n]$ 은 반사상태와 비반사상태로 구분된다. 따라서 $B[n]$ 의 값은 0 또는 1이 된다. 이를 적용하여 식 (2)를 다시 구성하면 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y[n]|^2 = \frac{|1 + \alpha B|^2}{N} \sum_{i=1}^N |x[n]|^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |w[n]|^2 \quad (3)$$

식 (3)에서 주변 RF 신호 $x[n]$ 의 평균 전력을 P 라고 하고 노이즈를 무시하면 최종적으로 수신 받은 평균 신호 전력은 식 (4)와 같이 구분된다.

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y[n]|^2 = |1 + \alpha B|^2 P \quad (B=0 \text{ or } 1) \quad (4)$$

$B[n]$ 은 0 또는 1이므로 최종적으로 수신기에서 받은 신호의 평균 전력은 backscatter transmitter가 반사상태일 때는 $|1 + \alpha|^2 P$ 를 나타내고 비반사상태일 때는 P 의 전력을 나타낸다. 이와 같이 진폭차가 발생하기 때문에 이를 이용하여 backscatter 신호를 복조할 수 있다.

2.2 링크 버짓 분석 방법

통신 시스템을 설계할 때, 엔지니어는 주어진 송수신 양단 간의 장비 구성과 주어진 환경에서 해당 통신 시스템이 필요로 하는 성능(전송 속도, 통신 거리, 비트 에러율)들을 만족시키기 위해 송출 전력과 페이드 마진 등을 계산해야 한다. 이러한 작업을 링크 버짓이라고 한다⁵⁾.

그림 5는 링크 버짓을 위한 통신 구성 요소를 일부 나타낸 그림이다. 기본적으로 송신기에서는 송출 전력과 안테나 이득을 고려한다. 수신기에서는 경로 손실을 통해 손실된 만큼의 수신 전력을 계산하고 수신 안테나 이득을 고려한다. 그리고 이 값이 수신 감도를 만족하는지 계산한다. 각 통신 시스템 별로 구성 요소가 다르므로 링크 버짓 분석을 위해서는 이러한 요소들을 파악하는 것이 중요하다.

일반적인 통신 시스템에서의 링크 버짓의 경우 송신기에서 수신기로의 경로를 한번 고려해야 한다. 자

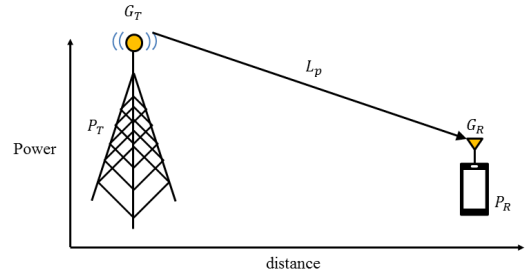


그림 5. 링크 버짓에 필요한 통신 시스템 요소
Fig. 5. Communication system element for link budget

유 경로 손실 모델을 적용했을 경우 다음의 공식 (5)를 따른다. 식 (5)는 dB 스케일로 기술되었다⁶⁾.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{TX} - L_P - L_{RX} - F_M \quad (5)$$

P_{RX} 는 수신 전력, P_{TX} 는 송신 전력, G_{TX} 는 송신기 안테나 이득, G_{RX} 는 수신기 안테나 이득, L_{TX} 는 송신기 손실, L_P 는 경로 손실, L_{RX} 는 수신기 손실, F_M 은 페이드 마진을 나타낸다. 하지만, backscatter 통신의 경우 송신기와 RF 태그 수신기의 3요소가 있다. 따라서, 송신기에서 RF 태그까지의 경로인 pt link와 RF 태그에서 수신기까지의 경로인 backscatter link, 두 번의 경로를 고려해야 한다.

그림 6은 링크 버짓 분석을 위해 ambient backscatter 통신 시스템에서의 구성 요소를 나타낸 것이다. Ambient backscatter는 최초의 주변 RF 신호

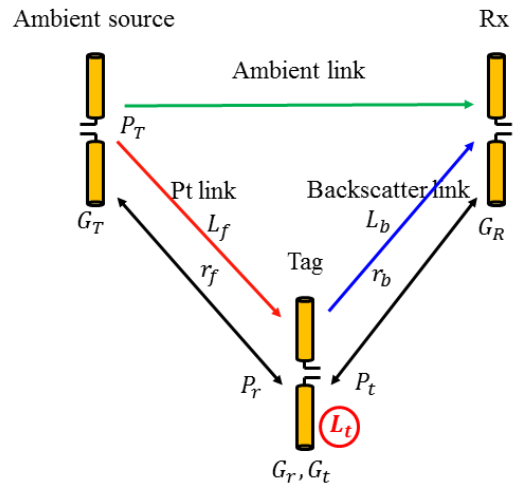


그림 6. 링크 버짓을 위한 ambient backscatter 구성 요소
Fig. 6. Ambient backscatter configuration for link budget

로부터 backscatter 송신기까지의 링크인 Pt link와 backscatter 송신기에서 수신기까지의 링크인 backscatter link를 두 번 고려해야 한다⁷⁾. Pt link는 식(6)으로 표현할 수 있고, backscatter link는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_r = P_T + G_T - L_f + G_r \quad (6)$$

$$P_R = P_r - L_t + G_t - L_b + G_R - L_R - F_M \quad (7)$$

식 (6)에서 P_r 은 태그 수신 전력, P_T 는 주변 RF 신호 방출 전력, G_T 는 주변 RF 신호 안테나 이득, L_f 는 Pt link 경로 손실, G_r 은 태그 수신 안테나 이득이다. 식(7)에서 P_R 은 최종 수신 전력, L_t 는 태그 전력 총합 손실, G_t 는 태그 송신 안테나 이득, L_b 는 backscatter link 경로 손실, L_R 은 수신기 전력 손실, F_M 은 페이드 마진을 나타낸다. 본 논문에서는 기존 식에 새로운 항인 L_t 를 추가하여 링크 버짓 분석을 했다. L_t 는 ambient backscatter가 태그 부분에서 발생하는 실질적인 손실에 대한 항이다.

그림 7은 L_t 항을 계산하기 위해 backscatter 통신 시스템에서 신호가 변환되는 과정을 나타낸 것이다. 태그의 수신 안테나에서는 carrier emitter로부터 발생된 전자파를 신호로 변환한다. 이 때 안테나의 변환 효율만큼 신호 전력이 손실 된다. 그 다음 태그 내부에서 신호 전력을 이용해 부하 변조를 하게 되고 이에 따라 태그 소모 전력만큼 신호 전력이 손실 된다. 그 이후 태그에서 수신기로 전파를 방출할 때 안테나 변환 효율만큼 신호 전력이 손실 된다. 이를 수식으로 표현하면 식 (8)과 같다.

$$L_t = C_{Rx} + P_{C, tag} + C_{Tx} \quad (8)$$

식 (8)에서 L_t 는 태그 총합 전력 손실, C_{Rx} 는 수

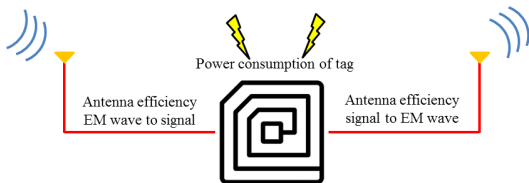


그림 7. Backscatter 시스템에서 태그의 신호 변환 과정
Fig. 7. The signal conversion process of tag in backscatter system.

신 안테나 변환 효율, $P_{C, tag}$ 는 태그 부하 변조 전력 소모, C_{Tx} 는 송신 안테나 변환 효율이다. 식 (8)의 손실 항을 추가함으로써 ambient backscatter를 더 실질적인 시스템으로 링크 버짓을 분석할 수 있다.

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 ambient backscatter 통신 시스템에서 발생하는 손실 항과 발생하는 간섭 환경을 실질적으로 고려하여 링크 버짓을 분석하였다.

주변 RF 신호는 Wi-Fi, FM 라디오, 5G를 고려하였다. 일반적으로 안테나 변환 효율은 최대 50%의 효율을 가진다. 따라서 안테나를 통해 신호가 변환될 때마다 3dB의 손실이 발생한다. 그리고 태그에서는 설계된 칩의 물리적 특성에 의해 전력이 손실되는데 최소한 3dB의 전력 손실이 발생하게 된다. 따라서, 좋은 조건을 고려했을 때의 태그의 총합 전력 손실은 9dB로 설정할 수 있다. 수신기 전력 손실은 3dB로 설정되었다. 안테나 이득에서 G_T 는 주변 RF 신호의 EIRP에 이미 포함되어 있기 때문에 0dB로 설정되었다. 태그 안테나 이득과 수신기 안테나 이득은 2dB와 3dB

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
EIRP	200mW (Wi-Fi) 1kW (FM Radio) 1W (5G NR)
Center frequency	2.45GHz (Wi-Fi) 94.1 MHz(FM Radio) 3.5GHz (5G NR)
Tag total power loss	9dB
Receiver total power loss	3dB
Antenna gain	$G_T = 0dB$ $G_r = 3dB$ $G_t = 2dB$ $G_R = 2dB$
Modulation	BPSK
Receiver sensitivity	-88dBm
Path loss model	Free space path loss
Pt link distance	1, 10m (Wi-Fi, 5G NR) 100, 1000m (FM Radio)
Fade margin	10dB
Interference(SIR)	w/o, 9dB, 4dB

를 고려하였다. 변조는 BPSK를 사용했으며 이에 따라 수신 감도는 -88dBm 으로 설정되었다. 경로 손실 모델은 자유 경로 손실 모델을 채택하였다. 또한 주변 RF 신호와 태그의 거리에 따른 변화를 확인하기 위해 Pt link의 거리를 변화시키며 링크 버짓을 분석했다. 페이드 마진은 10dB 를 고려하였다. 간섭의 세기는 9dB , 4dB , 없을 때를 고려하였다. SIR이 4dB 일 때 수신 감도는 간섭이 없을 때와 비교하여 8dB 의 차이가 났다. SIR 4dB 는 통신이 되는 최대한의 간섭크기의 마지노선으로서 고려되었다.

그림 8과 그림 9는 Wi-Fi를 선택했을 때 링크 버짓을 분석한 그림이다. Pt link가 1m 일 때 간섭이 없는 경우 최대 통신 거리는 6m 였고 간섭이 4dB 일 때 통신 거리가 2.39m 였다. Pt link가 10m 일 때 간섭이 없는 경우 최대 통신 거리는 1m 미만이었고 간섭이 4dB 일 때 통신 거리가 1m 미만이었다.

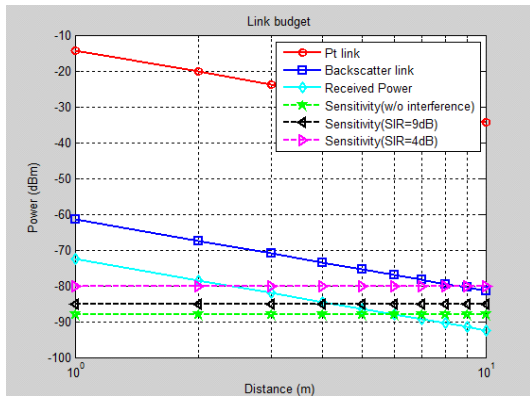


그림 8. Ambient backscatter 링크 버짓 분석 (Wi-Fi, 1m)
Fig. 8. Ambient backscatter link budget analysis (Wi-Fi, 1m)

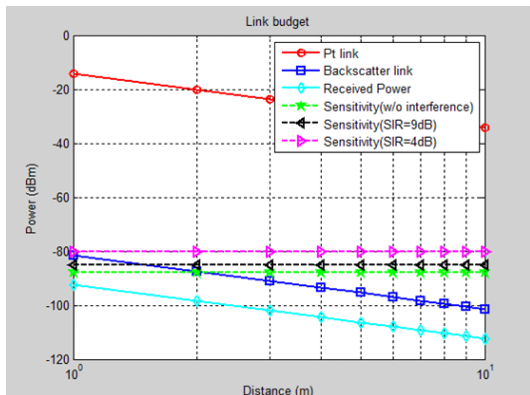


그림 9. Ambient backscatter 링크 버짓 분석 (Wi-Fi, 10m)
Fig. 9. Ambient backscatter link budget analysis (Wi-Fi, 10m)

그림 10과 그림 11은 FM 라디오를 선택했을 때 링크 버짓을 분석한 그림이다. Pt link가 100m 일 때 간섭이 없는 경우 최대 통신 거리는 2875m 였고 간섭이 4dB 일 때 통신 거리가 1144m 였다. Pt link가 1000m 일 때 간섭이 없는 경우 최대 통신 거리는 287.5m 였고 간섭이 4dB 일 때 통신 거리가 114.5m 였다.

그림 12와 그림 13은 5G NR을 선택했을 때 링크 버짓을 분석한 그림이다. Pt link가 1m 일 때 간섭이 없는 경우 최대 통신 거리는 6.44m 였고 간섭이 4dB 일 때 통신 거리가 2.61m 였다. Pt link가 10m 일 때 간섭이 없는 경우 최대 통신 거리는 1m 미만이었고 간섭이 4dB 일 때 통신 거리가 1m 미만이었다.

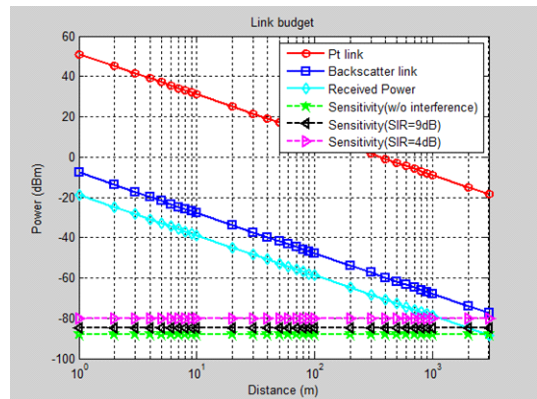


그림 10. Ambient backscatter 링크 버짓 분석 (FM, 100m)
Fig. 10. Ambient backscatter link budget analysis (FM, 100m)

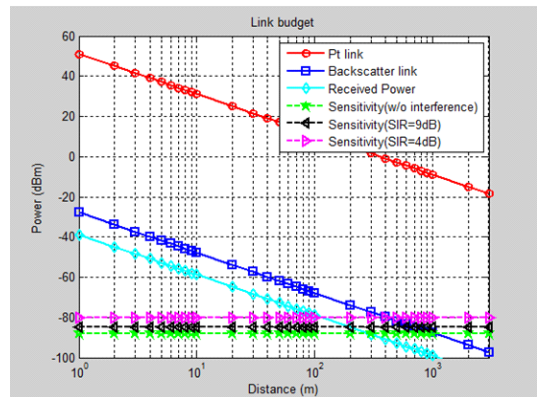


그림 11. Ambient backscatter 링크 버짓 분석 (FM, 1000m)
Fig. 11. Ambient backscatter link budget analysis (FM, 1000m)

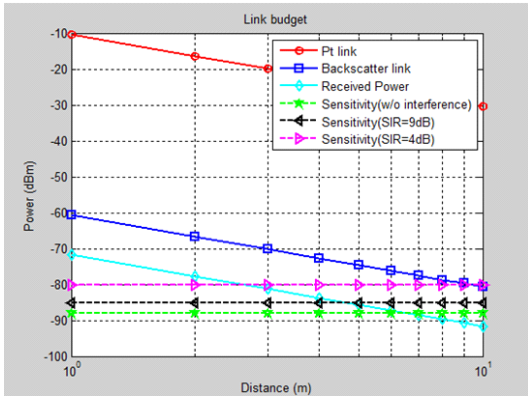


그림 12. Ambient backscatter 링크 버짓 분석 (5G, 1m)
 Fig. 12. Ambient backscatter link budget analysis (5G, 1m)

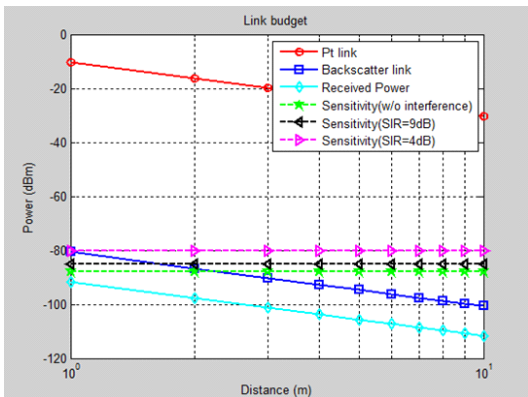


그림 13. Ambient backscatter 링크 버짓 분석 (5G, 10m)
 Fig. 13. Ambient backscatter link budget analysis (5G, 10m)

IV. 결 론

본 논문에서는 실제적인 환경을 고려하여 ambient backscatter 통신 시스템에 대한 링크 버짓을 다양한 신호원에 대하여 분석하였다. ambient backscatter에서 발생할 수 있는 전력 손실 항을 새로 추가했고 거기에 간섭이 있는 경우에 ambient backscatter에서의 통신 거리를 이론적으로 처음 분석했다. 그 결과 간섭이 없는 경우 Wi-Fi는 Pt link 거리가 1m일 때 통신 거리가 6m였고 10m일 때 통신 거리가 1m 미만이었다. FM은 Pt link 거리가 100m일 때 통신 거리가 2875m였고 1000m일 때 통신 거리가 287.5m였다. 5G NR은 Pt link 거리가 1m일 때 통신 거리가 6.44m였고 10m일 때 통신 거리가 1m 미만이었다. 간섭이 4dB일 때 Wi-Fi는 Pt link 거리가 1m일 때 통신 거리

가 2.39m였고 10m일 때 통신 거리가 1m 미만이었다. FM은 Pt link 거리가 100m일 때 통신 거리가 1144m였고 1000m일 때 통신 거리가 114.5m였다. 5G NR은 Pt link 거리가 1m일 때 통신 거리가 2.61m였고 10m일 때 통신 거리가 1m 미만이었다. 이와 같은 분석 결과 ambient backscatter는 FM을 제외하고 실제 사용이 힘들 정도의 통신 거리를 가지고 있다. 간섭이 없을 경우에는 Wi-Fi나 4G LTE의 경우 커버리지가 6m 정도로 어느 정도 실사용을 기대할 수 있으므로 간섭의 영향을 최소화 하는 것이 중요하다. 또한 backscatter 장치의 전력 손실을 고려할 경우 통신 거리가 수 m의 차이가 나므로 ambient backscatter를 설계할 때는 backscatter 장치의 변환 효율을 극대화해야한다.

References

- [1] C. R. Valenta and G. D. Durgin, "Link budgets for backscatter radio and RFID systems using power-optimized waveforms," *2013 IEEE APSURSI*, pp. 2317-2318, Orlando, USA, Jul. 2013.
- [2] M. U. Sheikh, R. Duan, and R. Jantti, "Validation of backscatter link budget simulations with measurements at 915 MHz and 2.4 GHz," *2019 IEEE 89th VTC2019 Spring*, pp. 1-5, Kuala Lumpur, Malaysia, Apr. 2019.
- [3] J. Kimionis, A. Bletsas, and J. N. Sahalos, "Increased range bistatic scatter radio," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 62, no. 3, pp. 1091-1104, Mar. 2014.
- [4] V. Liu, et al., "Ambient backscatter: Wireless communication out of thin air," in *Proc. ACM SIGCOMM*, pp. 39-50, Hong Kong, China, Aug. 2013.
- [5] W. Pan and M. Ran, "Link performance analysis for ultrawide bandwidth RFID," *2011 Second Int. Conf. Digital Manufacturing & Automat.*, pp. 689-692, Zhangjiajie, China, Aug. 2011.
- [6] P. D. Katev, "Propagation models for WiMAX at 3.5 GHz," *2012 ELEKTRO*, pp. 61-65, Rajecke Teplice, Slovakia, May 2012.
- [7] Thu 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.

박 병 학 (Byoung Hak Park)



2019년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)

2021년 8월 : 충북대학교 전자공학과(공학석사)

<관심분야> 무선통신시스템, 차세대 통신시스템

[ORCID:0000-0002-4052-7398]

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 : 충북대학교 전자공학부 교수

2002년 3월~2004년 2월 : 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장

<관심분야> 무선통신시스템, 위성통신, B5G/6G 이동통신

시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호처리

[ORCID:0000-0002-7368-9860]