

IoT 주변 후방산란 통신시스템의 통신거리 모델에 관한 실험

정기윤, 윤정우, 이소영, 김수민*

한국산업기술대학교

jgy5262@naver.com, *suminkim@kpu.ac.kr

An Experiment on Communication Distance Model of an IoT Ambient Backscatter Communication System

Gi Yun Jeong, Jeong Woo Yoon, So Young Lee, and Su Min Kim*

Korea Polytechnic Univ.

요약

본 논문은 IoT 주변후방산란 통신시스템의 통신거리모델 도출을 위한 측정 실험에 관한 것이다. USRP 장비를 이용하여 주변후방산란 통신 테스트 베드를 구축하고, 구축된 테스트베드에서 주변후방산란 태그의 사용 여부에 따른 평균 수신전력 차이를 측정하고 분석한다. 그리고 다양한 주파수 대역에서 주변후방산란 수신기와 태그 사이의 거리에 따른 평균 수신전력 실험데이터를 기반으로 수학적 통신거리모델을 도출한다. 도출한 수학적 통신거리모델은 지수회귀 모델 형태를 나타내며 태그를 사용한 통신거리모델은 짧은 통신거리와 다중경로 효과로 감쇠지수가 더 낮은 것을 확인하였다.

I. 서론

수많은 IoT 기기의 등장으로 인하여 무선 통신을 위한 주파수 부족 현상 문제는 더욱 심화되어가고 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 주변 RF 신호를 안테나 임피던스 매칭을 통하여 반사 또는 흡수하여 무선신호를 변조하여 전송하는 주변 후방산란 통신 (ambient backscatter communication) 방식이 제안되었다 [1]. 주변 후방산란 통신 방식은 기존에 존재하는 RF 신호를 활용하기 때문에 추가적인 주파수 자원을 사용하지 않아 주파수 부족 문제를 해결할 수 있으며, 에너지 하베스팅 기술과 결합하여 수많은 IoT 기기의 전원공급 문제도 해결할 수 있는 유망한 기술로 각광받고 있다 [2]-[4]. 따라서 지금까지 많은 관련연구가 수행되고 있으며, 본 논문에서는 소프트웨어 정의 무선전송 (software defined radio) 장비인 USRP를 이용하여 주변 후방산란 통신 테스트 환경을 구축하고, 실험을 통해 주파수 대역별로 주변 후방산란 수신기와 태그 사이의 거리 변화에 따른 평균 수신전력 데이터를 측정하고 분석하여, 주변 후방산란 통신시스템에 적합한 수학적 통신거리 모델을 도출한다.

II. 본론

A. 실험 환경

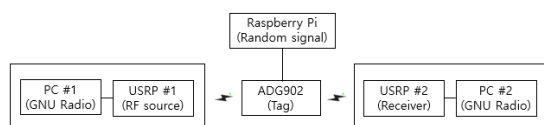


그림 1. 주변 후방산란 통신 환경 구성도

그림 1과 같이 본 논문에서 구축한 테스트베드 실험 환경은 NI사의 USRP 2943R, Raspberry Pi, TI사의 ADG902 디바이스로 구성되어 있다 [5]. USRP 2대는 각각 RF 소스와 주변 후방산란 수신기의 역할을 담당하고 있으며, 리눅스 기반의 GNU Radio 소프트웨어를 이용해 이를 구동시킨다. Raspberry Pi는 주변 후방산란 태그의 변조된 임의의 비트열을 발생시키기 위한 용도로 안테나 스위치 소자인 ADG902의 스위칭 임

력 신호를 제공한다. ADG902는 Raspberry Pi로부터 전달받은 비트열에 따라 RF 소스에서 오는 신호를 흡수 또는 반사시켜 주변 후방산란 수신기에 태그의 변조된 무선신호가 도달할 수 있도록 한다.

B. 실험 내용

먼저, GNU Radio를 이용하여 송신 USRP (RF 소스)에서 정현파를 생성한다. Raspberry Pi에서는 '0'과 '1'로 이루어진 임의의 비트열을 생성하여 주변 후방산란 태그에 해당하는 ADG902의 안테나 스위칭을 제어한다. 이때, 태그는 '0'을 받는 경우, RF 소스의 송신신호를 반사시키고, '1'을 받는 경우, 송신신호를 안테나에서 흡수하는 동작을 반복 수행된다. 수신 USRP (수신기)에서는 RF 소스와 주변 후방산란 태그로부터 전송되는 신호를 수신한다.

본 논문에서는 GNU Radio를 이용하여 수신신호의 평균 전력을 계산하여 수학적 거리모델을 도출한다. [6]에서의 결과를 기반으로, RF 소스와 태그 사이의 거리는 가까울수록 수신 성능이 좋으므로 이를 10cm로 고정하고, 태그와 수신기 사이의 거리를 변화시키면서 실험을 진행한다. 해당 실험에서는 RF 소스에서의 이득은 20dB로, 수신기에서의 이득은 30dB로 각각 설정하여 총 10번씩 실험을 진행한다. 본 논문에서 고려한 실험 시나리오는 다음과 같다.

- 실험 1: 2.4GHz 대역에서 RF 소스와 주변 후방산란 수신기만 존재할 때 수신기에서의 평균 전력 측정
- 실험 2: 1.8GHz 대역에서 RF 소스와 태그 사이의 거리를 고정 한 후, 수신기와 태그 사이의 거리 변화에 따른 평균 수신전력 측정
- 실험 3: 5GHz 대역에서 RF 소스와 태그 사이의 거리를 고정 한 후, 수신기와 태그 사이의 거리 변화에 따른 평균 수신전력 측정

C. 수학적 통신 거리 모델과 파라미터 최적화

본 논문에서는 설정한 실험 시나리오에서 주변 후방산란 수신기에서 평균 수신전력 데이터를 수집한 후, 지수회귀 모델 및 최적화를 통해 파라미터 값을 찾아 최종적으로 수학적 통신거리 모델을 도출한다.

파라미터 최적화 알고리즘은 가장 널리 쓰이고 있는 경사하강법 (gradient descent)를 사용하였고, 이는 손실함수 (loss function)를 최소화 하는 지점을 찾아가는 방식으로 모델의 정확도를 높인다. 여기서 손실 함수는 예측 값과 실제 값의 차이로 정의하고 손실 함수의 값이 적을수록 더욱 정확한 모델임을 나타낸다.

본 논문에서는 통신거리 모델로 다음의 2차 다항식 함수와 지수함수를 사용한다.

$$y = \omega_0 x^2 + \omega_1 x + \omega_2 \quad (1)$$

$$y = \omega_0 x^{\omega_1} + \omega_2 \quad (2)$$

여기서 ω_0 , ω_1 , ω_2 는 통신거리 모델을 결정짓는 파라미터로서 두 모델 모두 동일하게 3개의 파라미터 값을 갖는다.

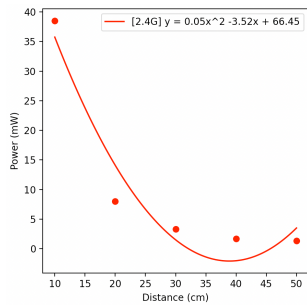


그림 2. 2차 다항식 모델

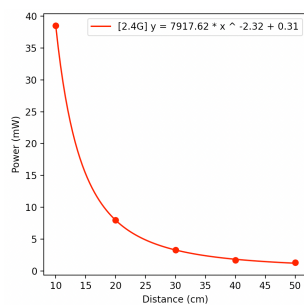


그림 3. 지수함수 모델

그림 2, 그림 3은 RF소스와 주변 후방산란 수신기만 존재하는 경우, 거리에 따른 평균 수신전력을 2차 다항식 모델과 지수함수 모델로 각각 최적화한 결과를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 2차 다항식 모델보다 지수함수 모델이 일반적인 통신거리에서 따른 전력감쇠 형태를 보여주고 있어 본 논문에서는 지수함수 모델을 적합한 수학적 통신거리 모델로 선정하여 주변 후방산란 통신시스템의 통신거리 모델로 이용한다. 이에 따라 실험 1 (2.4GHz 대역, 주변 후방산란 태그 미존재) 시나리오에 대해 도출된 통신거리 모델은 다음과 같다.

$$y_{2.4G}^{no-tag} = 7917.62x^{-2.32} + 0.31 \quad (3)$$

D. 실험 결과

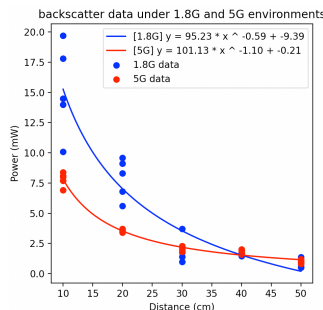


그림 4. 주변 후방산란 통신시스템의 통신거리 모델 실험결과

그림 4는 실험 2 (1.8GHz 대역), 실험 3 (5GHz 대역) 시나리오에 대한 거리에 따른 평균 수신전력 실험 결과 (점)와 이를 지수함수 모델로 회귀한 결과 (선)를 나타낸 것이다. 실험 및 지수모델 회귀를 통해 도출된 주변 후방산란 통신시스템의 통신거리 모델은 최종적으로 다음과 같이 주어진다.

$$y_{1.8G} = 95.23x^{-0.59} - 9.39 \quad (4)$$

$$y_{5G} = 101.13x^{-1.1} - 0.21 \quad (5)$$

실험 1 태그가 존재하지 않을 때 결과인 수식 (3)의 경로손실지수 (path-loss exponent)는 2.32로 볼 수 있고, 일반적인 감쇠지수 범위인 2~4 사이의 값을 갖는다. 따라서 일반적인 통신거리 모델을 따르고 있다는 것을 확인할 수 있고, 50cm 내 직진성분 (LoS) 채널이 보장된 환경이라 감쇠지수가 작다고 볼 수 있다. 실험 2, 실험 3의 1.8GHz 대역과 5GHz 대역에서 주변 후방산란 통신시스템의 감쇠지수는 각각 0.59, 1.1로 확인되고, 실험 1과는 달리 일반적인 감쇠지수를 벗어나지만, 그래프의 개형은 유사하게 지수함수 모델을 잘 따름을 확인할 수 있다. 또한, 높은 주파수 대역에서 감쇠지수가 더 크다는 점은 도출된 통신거리 모델이 물리적으로 유의미함을 알 수 있다.

본 실험에서 주변 후방산란 통신 감쇠지수가 일반적인 값의 범위보다 작아진 현상이 발생하였는데, 이는 50cm 내 LoS 채널이 보장된 매우 근접한 거리에서의 전송이라는 점과 RF소스와 주변 후방산란 태그의 신호가 서로 다중경로를 형성해주어 수신기에서 경로손실을 완화해주는 역할을 해줄 수 있기 때문이라 볼 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 다양한 주파수 대역에서 주변 후방산란통신 시스템의 통신거리 모델을 실험과 회귀모델 분석을 통해 도출하였다. 도출된 통신거리 모델은 지수함수 형태로 거리에 따른 경로손실 정도를 확인할 수 있고, 간섭이 많은 주변 환경 특성, 단거리 LoS 채널환경, 주변 후방산란통신 특징으로 인하여 일반적인 경로손실지수와는 다른 값이 도출되었다. 외부 환경요소를 제거하기 위해 추가적으로 차폐 환경에서의 후속 실험이 필요하고, 다중 태그를 이용한 환경에서의 간섭과 협력 효과를 측정하고 성능을 향상시키는 방안 연구로 확장할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정보(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(No. 2019R1F1A1059125)

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] N. Van Huynh, D. T. Hoang, X. Lu, D. Niyato, P. Wang and D. I. Kim, "Ambient Backscatter Communications: A Contemporary Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 4, pp. 2889-2922, 4Q 2018,
- [3] P. Kamalinejad, C. Mahapatra, Z. Sheng, S. Mirabbasi, V. C. Leung, and Y. L. Guan, "Wireless energy harvesting for the Internet of Things," IEEE Commun. Mag., vol. 53, no. 6, pp. 102-108, June 2015.
- [4] K. Gudan, S. Chemishkian, J. J. Hull, M. S. Reynolds, and S. Thomas, "Feasibility of wireless sensors using ambient 2.4 GHz RF energy," in Proc. IEEE SENSORS, Oct. 2012, pp. 1-4
- [5] 황환웅, 윤지훈, 임재한, 정병장, 변우진, "Wi-Fi 배경 전파 신호 기반 백스캐터 통신에 관한 연구," 한국통신학회 추계학술대회 논문집, 2017년 11월.
- [6] 김미지, 한지윤, 김준수, 김평수, 김수민, "USRP를 이용한 주변 후방산란 통신 성능 실험," 한국통신학회 동계학술대회 논문집, 2020년 2월.