

스마트 컨테이너 환경에서 BLE 신호 변화에 대한 연구

이태목*, 김용성**, 김동완***

A Study on the BLE Signal Variation in the Smart Container Environment

Taemok Lee*, Yongseong Kim**, and Dongwan Kim***

이 논문은 2023년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임
(20210154, 스마트컨테이너 실용화 기술개발 사업)

요 약

컨테이너 내부상태를 모니터링할 수 있는 스마트 컨테이너에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히, 스마트 컨테이너 내부에서 BLE(Bluetooth Low Energy) 기술을 활용해 통신할 경우, BLE Sensor node를 컨테이너 내부에 장착해야 하며, 이를 위해 BLE 신호 변화에 대한 연구가 필요하다. 기존의 연구들은 다양한 실내외 환경에서 BLE 신호를 분석하는 데 중점을 두었으나, 컨테이너 내부에서 BLE 신호 변화에 대한 연구는 전무하다. 따라서 본 논문에서는 사방이 철제 벽으로 가로막힌 컨테이너 내부 환경에서 BLE Sensor node와 수신기 간 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 값을 화물의 재질과 적재량에 따라 측정하였다. 또한, 측정된 RSSI 값을 바탕으로 신호의 특성 변화를 분석하고 특성에 맞는 모델을 제시하였다.

Abstract

Recently, there has been a growing interest in smart containers for monitoring internal conditions. In particular, when Bluetooth Low Energy(BLE) technology is used inside smart containers, the BLE Sensor node must be installed inside the container, which requires research on changes in BLE signal. Existing studies have focused on analyzing BLE signal in various indoor and outdoor environments, but there is no research on changes in BLE signal inside a container. Thus, we measured the Received Signal Strength Indicator(RSSI) value between the BLE Sensor node and the receiver according to material and load of cargo in container which is composed by steel walls. In addition, changes in signal characteristics were analyzed based on the measured RSSI values, and a model suitable for the characteristics was presented.

Keywords

smart container, BLE, RSSI, multimodal distribution

* 동아대학교 ICT융합해양스마트시티공학과 석사과정

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3113-3407>

** 한국전자기술연구원 스마트네트워크연구센터 수석연구원

- ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5165-1976>

*** 동아대학교 전자공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2779-9858>

• Received: Oct. 18, 2023, Revised: Nov. 09, 2023, Accepted: Nov. 12, 2023

• Corresponding Author: Dongwan Kim

Dept. of Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, South Korea

Tel.: +82-51-200-7708, Email: dongwankim@dau.ac.kr

1. 서 론

스마트 컨테이너의 기술 중 하나인 내부상태모니터링 기술은 백신, 식품, 생명장기 등의 물품과 같이 화물 운송 시 특정한 환경을 요구하는 화물을 위해 내부상태를 확인할 수 있는 기술이다[1][2]. 이때, 컨테이너 내부의 온도, 습도, 가속도, 충격 등에 관한 요솨값들을 내부상태 정보로 취급하며, 컨테이너 내부에서 사용될 수 있는 무선통신을 통하여 내부상태 정보를 취합한다. 본 논문에서는 컨테이너 내부에서 사용하는 무선통신 기술을 BLE(Bluetooth Low Energy)라고 가정한다.

안정적인 무선통신을 위해서는, 통신 환경에 따라 채널 모델링을 수행하여 해당 모델을 효율적으로 활용하면 안정적인 통신 시스템을 설계하고 최적화할 수 있다. 그러나 기존의 연구들은 Log-Normal Shadowing 모델을 이용하여 일상적인 실내 및 실외 환경에서의 BLE 신호 변화에 관해서는 분석이 진행되었지만, 다양한 화물이 적재되는 철제 벽면의 컨테이너 내부 환경에서는 BLE 신호 변화 분석에 관한 연구는 전무하다. 따라서 본 논문에서는 사방이 철제 벽으로 가로막힌 컨테이너 내부 환경에서 BLE Sensor node와 수신기 간 RSSI(Received Signal Strength Indication) 값을 화물의 매질과 적재량에 따라 측정하였다. 측정된 RSSI 값을 바탕으로 신호의 변화를 분석하고

컨테이너 내부 환경에 맞는 모델을 제시하였다.

1.1 스마트 컨테이너

스마트 컨테이너는 빅데이터, 인공지능, IoT (Internet of Things) 등과 같은 4차 산업혁명 기술들을 접목한 컨테이너이다. 또한, 스마트 컨테이너는 언제 어디서나 컨테이너의 온도, 습도, 충격, 문 개폐 등과 같은 화물상태와 관련된 정보들을 관리하고 제어할 수 있는 기술이 내재된 컨테이너이다.

그림 1은 스마트 컨테이너의 내부상태모니터링을 위해 장착된 IoT 장비들이다. 그림 1에서 장착된 장비들은 Smart unit, Smart seal, Sensor node로 구성된다. Smart unit은 컨테이너 문 내부에 부착되어 내부, 외부 통신 및 센싱 기능을 관제하고 내부 Sensor node들과 무선으로 통신하여 화물상태와 관련된 정보들을 수집한다. Smart seal은 컨테이너 문의 내부 및 외부에 설치되어 컨테이너 문 개폐를 감지한다. 이후 문 닫힘을 감지하면 자동으로 문을 잠가 컨테이너 화물을 보호한다. 이때, 개폐 감지 정보와 자동 잠금 정보는 Smart unit에 유선으로 전달하여 화물상태와 관련된 정보에 포함되도록 한다. Sensor node는 컨테이너 내부에 장착된 모듈로 온도, 습도, 가속도, 충격 등과 같은 요솨값을 측정하는 장치이다.

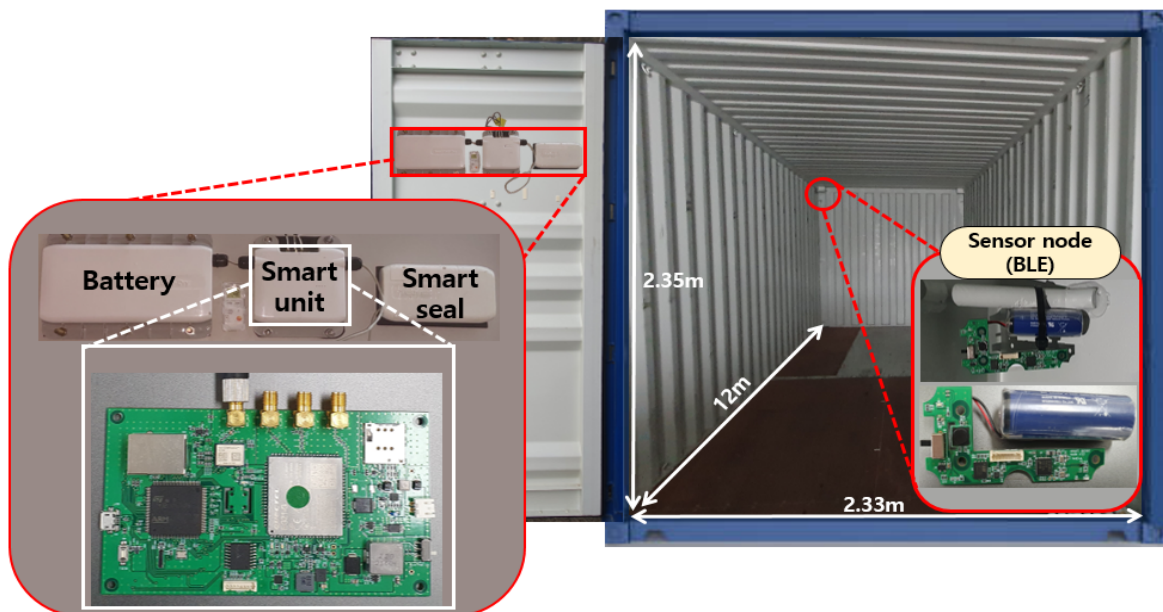


그림 1. 스마트 컨테이너 내부에 장착된 IoT 장비
Fig. 1. IoT devices attached to the inside of a smart container

또한, Smart unit이 정보를 요청할 시 BLE 무선통신을 통하여 측정된 값들을 전달하는 장치이다. 표 1은 스마트 컨테이너의 각 장치에 대한 요구 기능과 장착된 위치를 나타낸다.

II. 본 론

2.1 Log-Normal Shadowing 모델

식 (1)은 Log-Normal Shadowing 모델로 BLE, Wi-Fi 등 무선통신 기술에서 다양한 환경의 거리 따라 신호의 특성을 분석하기 위한 모델이다.

$$RSSI = A - 10 \cdot n \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

여기서 RSSI는 송수신 간 거리 d 에 따른 신호의 수신 강도이며 단위는 dBm 이다. A 는 송수신 간 거리 d_0 에 따른 수신 강도이며, 거리 d_0 는 일반적으로 1m를 사용한다. n 은 거리에 따라 경로 손실이 변화하는 비율인 경로 손실 지수이다. X_σ 는 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 가우시안 랜덤 변수이며, 다중경로 페이딩으로 인한 잡음을 나타낸다.

2.2 관련 연구

BLE 신호 측정을 기반으로 하는 대표적인 연구는 실내 위치 인식에 활용하기 위한 Log-Normal Shadowing 모델에 기반을 두고 있다[3]-[9]. 특히, [10]에서는 건물 내부와 같이 장애물에 의해 신호

감쇄가 발생하는 공간에서 RSSI 신호의 특성에 대한 분석을 수행하였다. 대학교 건물 내부에서 경로 손실 지수 n 은 1.296, d_0 에 따른 수신 강도는 -52 dBm으로 나타냈으며, 다중경로 페이딩으로 인한 잡음은 가우시안 랜덤 분포를 가지는 것을 확인하였다. 또한, 전파를 방해하는 벽이 없거나 여러 개 있을 때, 경로 손실 지수 n 은 1.29에서부터 2.72까지 다양하게 변함을 확인하였다. 그러나 전파 방해요소인 벽면의 개수로 인한 RSSI의 분포를 확인할 수 없고 컨테이너 환경과는 다른 공간에서의 실험임으로 컨테이너 환경에 적용하기 어렵다.

[11]에서는 2.4GHz를 사용하는 통신 시스템에서 해군 함정 내부 공간에서의 채널 특성과 경로 손실 모델을 분석하였다. 함정 내부 벽들은 대부분 철제 벽인 것을 고려하여 입사파와 반사파의 관계를 계산하였다. 1cm 이상의 철판 두께를 가진 벽면이라면 대부분은 투과파가 생기지 않고 반사됨을 보였다. 이때, 투과되는 정도는 입사파의 0.329%이고 나머지는 반사됨을 나타내었다. 또한, 거리에 따라 RSSI 값을 측정하여 Log-Normal Shadowing 모델의 변숫값을 추출하였다. 그러나 컨테이너 환경과는 다른 크기의 공간에서 실험이 진행되었고 BLE 기술을 이용하지 않아 컨테이너 환경에 적용하기 어렵다.

[12]에서는 4개의 다른 실내외 환경에서 실험하여 RSSI 값을 수집하였다. 실내 및 실외 환경에서의 측정된 RSSI 값의 평균은 Log-Normal Shadowing 모델을 따름을 보였고 각 환경에 맞는 변숫값을 추출하였다. 서로 다른 환경에서 같은 송수신기를 이용하여 BLE 신호의 RSSI 값을 측정하였으나 각자 다른 신호의 특성을 보였다.

표 1. 스마트 컨테이너에 장착된 장치들의 요구 기능과 설치 위치
Table 1. Requirements and installation location of devices in smart containers

Classification	Functional requirements	Device	Installation location
Sensing	Detecting temperature, humidity, and impact Detecting sealing status, door open status, and door close status	Smart unit	Inside the container
		Sensor node	
Communication	Transmitting status information by internal communication	Smart seal	Outside and inside the container
		Smart unit	Inside the container
		Sensor node	Inside the container

이는 사용되는 송수신기가 같더라도 환경이 다른 신호의 특성이 변화한다는 것을 알 수 있으며, 원하는 특정 환경에서 신호의 특성을 알기 위해서는 그 환경에 맞게 RSSI 값을 측정하여 신호의 특성을 분석해야 함을 보여준다. 따라서 스마트 컨테이너 내부 환경에서 BLE 신호 특성 변화를 분석하기 위해서는 컨테이너 내부 환경의 조건에 맞게 RSSI 세기를 측정할 필요가 있다. 기존 연구들과 달리 스마트 컨테이너 내부에서의 무선통신용 송수신기 간 거리는 12m로 고정이다. 또한, 컨테이너 내부 환경은 화물을 적재하여 컨테이너 내부통신 시 통과하는 매질에 따라 RSSI 상태가 변화하는 특징이 있다. 이를 고려하여 컨테이너 내부 화물 변화에 따른 RSSI를 측정하여 신호 특성 변화를 분석한다.

2.3 실험 환경

그림 1은 실제 실험에 사용된 컨테이너로 40ft 컨테이너이다. 컨테이너의 내부 규격은 그림 1에 나타난 것과 같이 길이 12m, 폭 2.33m, 높이 2.35m이다. 실험에 사용된 송수신기는 그림 1과 같이 실제 Sensor node가 부착될 수 있는 위치 중 하나인 컨테이너 내부 가장 끝의 왼쪽 상단에 위치하였다. 이때 Sensor node는 바닥과의 높이가 2.2m인 지점에 부착하였다. 마찬가지로 수신기는 컨테이너 왼쪽 문의 Smart unit이 장착되는 위치에 부착되는 것을 고려하여, 송수신기로부터 12m 떨어진 위치의 문에 부착하였으며, Smart unit을 고정할 수 있는 고정형 보호캡을 이용하여 고정하였다. 이때 바닥과 고정형 보호캡이 부착된 위치의 높이는 2.1m이다. 실제 컨테이너 사용 환경을 고려하여 실험 중에는 컨테이너 문을 닫고 잠가 완전히 밀폐된 공간에서 실험을 진행하였다.

2.4 실험에 사용된 송신기 및 수신기

그림 1의 Sensor node는 실제 실험에 사용된 송수신기이며, BLE 통신 기술과 온도와 습도를 측정할 수 있는 Sensor가 융합된 통신 모듈이다. 통신 시 송신기의 출력은 최대출력인 4mW(6dBm)를 사용한다. 그림 1의 Smart unit은 컨테이너 내부 환경에서 Sensor node로부터 내부상태 정보를 수신받는 수신

기로 사용된다. RSSI 값을 측정할 시 수신기가 측정할 수 있는 범위는 기본 세팅 값인 -40 ~ -100dBm이고 고정형 보호캡 안에 내장되어 Sensor node로부터 정보를 전달받는다.

2.5 화물의 매질

그림 2와 3은 컨테이너 내부 화물이 적재되었을 경우를 나타낸 것이다. 그림 2의 경우 일반적으로 화물은 종이상자로 포장되어 컨테이너에 적재되는 경우를 고려하였고 규격이 일정한 종이상자로 실험 환경을 구성하였다. 그림 3은 컨테이너 내부 화물의 매질이 철제 제품인 것을 고려하여 실험 환경을 구성하였다. 이때, 적재물의 겉면을 알루미늄 은박지로 감싸 화물이 철제 제품인 것으로 대체하였다.



그림 2. 화물의 매질 : 종이
Fig. 2. Medium of cargo : paper



그림 3. 화물의 매질 : 철제
Fig. 3. Medium of cargo : metal

2.6 적재량에 따른 실험

컨테이너에 적재되는 화물의 적재 방법은 화물의 종류, 무게 균등화, 적재량 효율 등에 의하여 우선 순위를 지정한 여러 가지 방법이 있다[13][14].

본 논문에서 사용되는 화물들은 그림 2, 3에서 나타낸 것과 같이 적재되는 화물의 모양과 크기가 균일하고 무게 또한 같다. 따라서 우선순위에 상관없이 컨테이너 내부에서부터 순차적으로 화물을 적재한다. 그림 4와 5는 컨테이너 내부 화물 적재량의 변화를 보여준다. 그림 4(a)의 경우 컨테이너 내부 화물을 적재하지 않은 상태로 0%로 표현하며, 그림 4(b)의 경우 컨테이너 내부 용량의 10%를 적재한 것으로 컨테이너 내부 길이의 1.2m인 지점까지 화물을 적재한 상태이다. 그림 4(c)의 경우 컨테이너 내부 용량의 25%를 적재한 것으로 컨테이너 내부 길이가 3m인 지점까지 화물을 적재한 모습을 확인할 수 있다. 마찬가지로 그림 5(a), (b), (c)의 경우 컨테이너 내부 용량의 50%, 75%, 100%를 적재한 것으로 컨테이너 내부 길이가 각각 6m, 9m, 12m인 지점까지 화물을 적

재한 모습을 보여준다.

본 논문에서는 0 ~ 49%까지 화물을 적재한 경우를 Lightly Loaded Case라고 하고 50 ~ 100%까지 화물을 적재한 경우를 Heavily Loaded Case라고 명칭하였다. 실험은 화물의 매질 및 화물의 적재량에 따라 RSSI 값을 측정하였고 측정된 RSSI 값을 바탕으로 분포를 나타내었다.

2.7 실험 결과

그림 6과 7은 화물의 매질이 종이 또는 철제 일 때, 화물의 적재량 변화에 따라 RSSI 값의 분포를 히스토그램으로 나타낸 것이다. 두 환경 모두 평균이 0인 가우시안 랜덤 분포를 따르지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 실제 상황에서 다중경로 효과로 발생 될 수 있다. 2.4GHz 대역에서 동작하는 BLE 경우 파장은 12.5cm로 제한된 공간에서 벽, 사물, 사람과 같은 주위 환경으로 인해 수 cm 차이의 오차로 전송경로 차이가 발생하며, 이는 RSSI 값에 변화를 줄 수 있다[15].

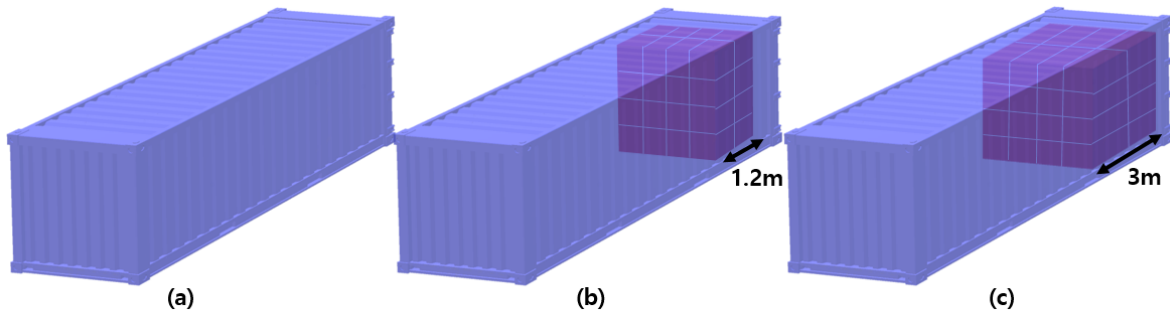


그림 4. Lightly Loaded 경우 (a) : 0%, (b) : 10%, (c) : 25%
Fig. 4. Lightly Loaded Case (a) : 0%, (b) : 10%, (c) : 25%

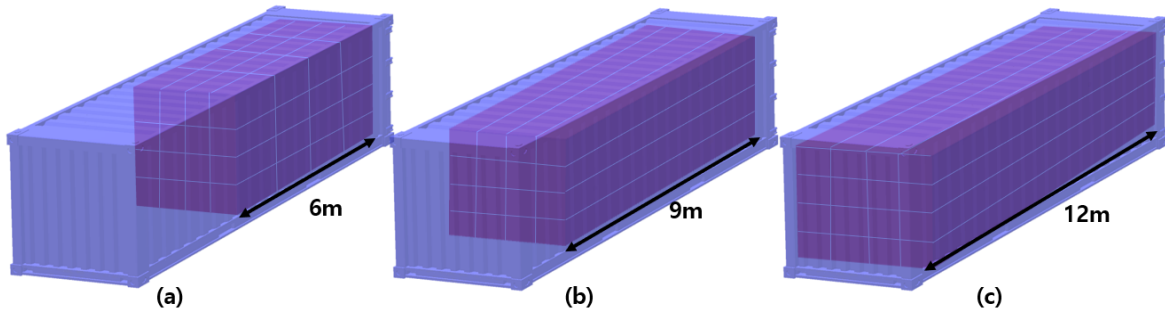


그림 5. Heavily Loaded 경우 (a) : 50%, (b) : 75%, (c) : 100%
Fig. 5. Heavily Loaded Case (a) : 50%, (b) : 75%, (c) : 100%

전송경로 오차로 인한 분포는 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 가우시안 랜덤 변수 분포를 따르지 않으며, 그림 6과 7 같이 2개의 피크점을 가지는 이중분포 또는 3개 이상의 피크점을 가지는 다중분포 모양을 가짐을 볼 수 있다. 실제로 화물의 매질이 종이인 실험 환경의 Lightly Loaded Case에서는

RSSI 값의 분포가 이중분포를 모양을 보였고 Heavily Loaded Case에서는 다중분포 모양을 보였다. 화물의 종류가 철제인 실험 환경에서는 Lightly Loaded Case와 Heavily Loaded Case 둘 다 이중분포와 다중분포 모양을 가지는 것을 확인할 수 있다.

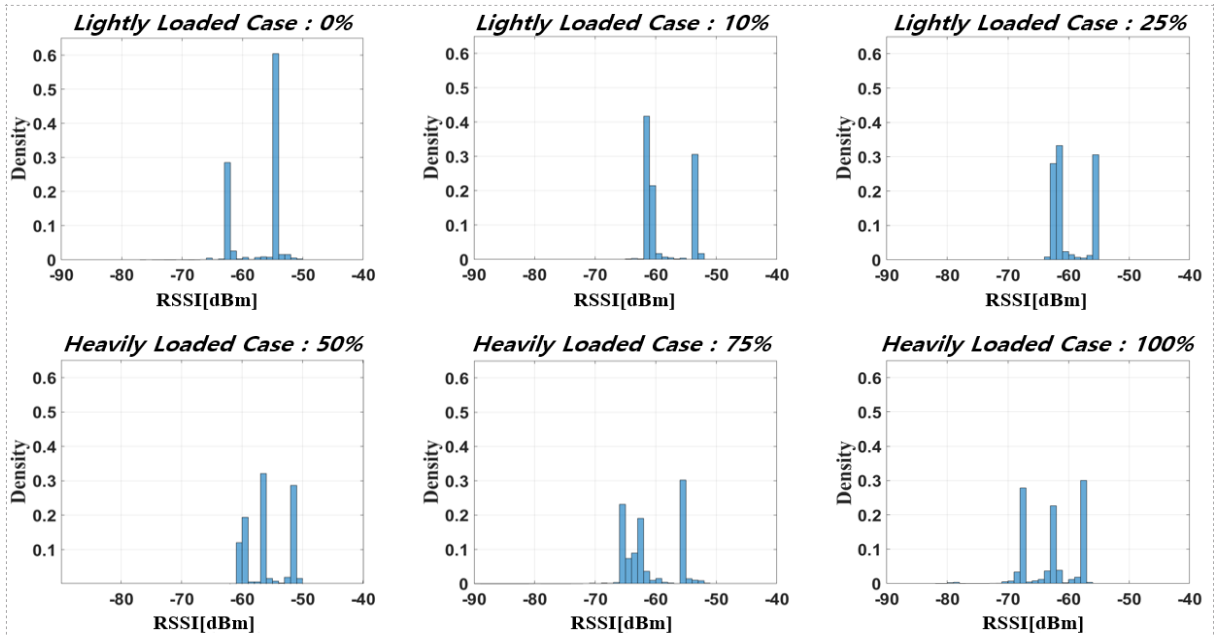


그림 6. 매질이 종이일 경우 : RSSI 값에 따른 히스토그램
 Fig. 6. Paper as medium : Histograms of the distribution of RSSI values

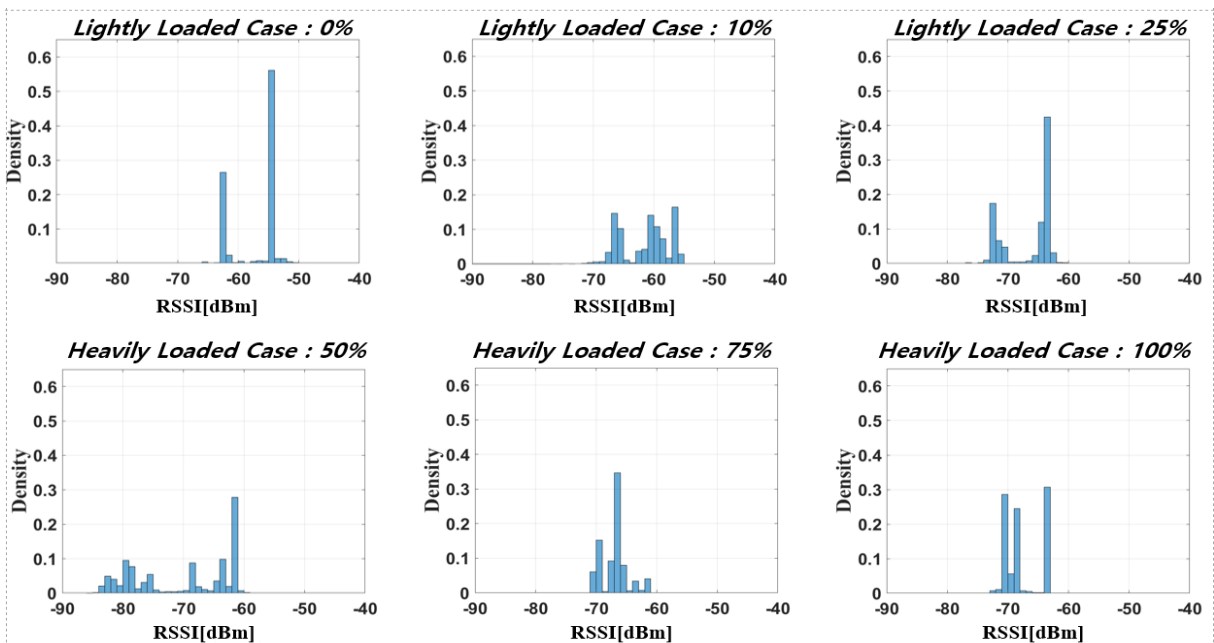


그림 7. 매질이 철제일 경우 : RSSI 값에 따른 히스토그램
 Fig. 7. Metal as medium : Histograms of the distribution of RSSI values

또한, 표 2에 나타난 것과 같이 두 환경 모두 RSSI 값의 평균은 적재량이 증가함에 따라 감소하는 모습을 보였다. 다만 두 환경 모두 화물의 적재량이 50%인 구간에서 일시적으로 RSSI 값의 평균이 약간 증가하는 모습을 보였다. 증가하는 정도는 화물의 매질에 따라 달랐으며, 화물의 매질이 종이인 경우 -60.29dBm에서 -56.47dBm으로 3.82dB 만큼 증가함을 보였으며, 화물의 매질이 철제인 경우 -67.02dBm에서 -65.81dBm으로 1.21dB만큼 증가함을 보였다.

표 2. 적재량에 따른 RSSI 값의 평균
Table 2. Average RSSI value depending on loading

Loading[%]	Average RSSI value[dBm]	
	Paper	Metal
0	-57.63	-57.61
10	-59.08	-61.94
25	-60.29	-67.02
50	-56.47	-65.81
75	-61.45	-67.49
100	-63.25	-67.89

III. 적재량에 따른 모델링

$$P(x) = \left[\frac{2}{3} \cdot (1 - A) \right] \cdot e^{-\frac{(RSSI - \mu_1)^2}{2 \cdot \sigma_1^2}} + \left[\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{7}{10} - A \right) + B \right] \cdot e^{-\frac{(RSSI - \mu_2)^2}{2 \cdot \sigma_2^2}} + \left[\frac{4}{5} \cdot B \right] \cdot e^{-\frac{(RSSI - \mu_3)^2}{2 \cdot \sigma_3^2}} \quad (2)$$

표 3. 모델의 파라미터 값
Table 3. Parameter values of the model

Type	Loading(%)	A	B	μ_1	σ_1^2	μ_2	σ_2^2	μ_3	σ_3^2
Paper	0	0.10	0	-54.46	0.12	-62.33	0.14	-	-
	10	0.10	0	-61.13	0.19	-53.32	0.11	-	-
	25	0.10	0	-61.94	0.34	-55.66	0.11	-	-
	50	0.50	0.22	-56.43	0.14	-51.54	0.17	-59.88	0.36
	75	0.50	0.22	-55.33	0.11	-65.22	0.18	-62.69	0.46
	100	0.50	0.22	-57.63	0.13	-67.66	0.16	-62.49	0.37
Metal	0	0.10	0	-54.46	0.12	-62.33	0.14	-	-
	10	0.55	0.12	-56.15	0.08	-66.20	0.54	-60.00	0.89
	25	0.55	0.12	-63.67	0.22	-72.26	0.27	-64.40	0.95
	50	0.55	0.07	-61.58	0.166	-79.25	7.72	-68.39	0.36
	75	0.55	0.10	-66.54	0.36	-69.79	0.23	-67.17	0.40
	100	0.55	0.12	-70.38	0.19	-68.57	0.16	-62.93	0.30

3.1 적재량에 따른 모델링

본 논문의 2장에서 언급한 것과 같이 컨테이너 내부에서는 송신기와 수신기 간 거리가 12m로 고정되어 있고 화물 적재 시 매질에 따라 RSSI 상태가 변화하는 특징이 있다. 따라서 2.7의 실험 결과를 바탕으로 컨테이너 내부에서 신호의 특성을 확인할 수 있는 새로운 모델이 필요하다.

식 (2)는 표 2의 RSSI 값의 평균과 그림 6, 7의 분포를 바탕으로 화물의 매질이 종이이거나 철제인 두 가지 환경 모두를 만족할 수 있도록 분포를 Curve fitting하여 모델링 한 것이다. 여기서 A는 화물의 매질 종류에 따라 변화하는 가중치의 변화량이고 B는 화물의 적재량에 따라 변화하는 가중치의 변화량이다. 또한, μ_1, μ_2, μ_3 는 가중치별 가질 수 있는 평균값을 의미하며, $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ 는 분산을 나타내는 상수이다.

표 3에서는 컨테이너 내부에서 화물의 매질과 적재량에 따라 모델링 된 모델의 파라미터 값들을 나타낸다. 또한, 표 4에서는 식 (2)와 표 3에 의해 모델링된 모델과 실제 분포를 비교하여 Root Mean Squared Error(RMSE)를 나타내었다.

표 4. 적재량에 따른 RMSE

Table 4. RMSE depending on loading

Loading[%]	Type	RMSE	
		Paper	Metal
0		0.05	0.04
10		0.04	0.01
25		0.10	0.05
50		0.05	0.03
75		0.03	0.04
100		0.05	0.07

IV. 결 론

본 논문에서는 일상적인 실내외 환경이 아닌 철제 벽면의 컨테이너 내부 환경에서 BLE 신호 변화에 대해 연구하였다. 화물의 매질과 적재량에 따라 RSSI 값을 측정하였으며, 실제 컨테이너 내부환경에서는 잡음의 분포가 평균이 0인 가우시안 분포를 따르지 않음을 보였다. 화물의 매질이 종이 및 철제인 두 환경 모두 적재량이 증가할수록 RSSI 값의 평균은 감소함을 확인하였다. 단, 적재량이 50%인 구간에서는 두 환경 모두 RSSI 값의 평균이 증가하는 현상을 보였으나 화물의 매질에 따라 증가하는 정도가 다를 수 있음을 확인하였다. 또한, 실험 결과를 바탕으로 화물의 매질과 적재량에 따라 변하는 RSSI 값의 분포를 모델링하여 스마트 컨테이너 내부에 적용될 수 있는 모델을 제시하였다. 향후 다양한 적재물 종류, 적재 방식 등 새로운 변수를 고려한 실험을 통해 이론적 전파 환경 모델을 추론하고 실측값과의 일치성을 비교할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다.

References

- [1] K. Salah, A. Alfalasi, M. Alfalasi, M. Alharmoudi, M. Alzaabi, A. Alzyeodi, and R. W. Ahmad, "IoT-enabled shipping container with environmental monitoring and location tracking", 2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference(CCNC), Las Vegas, NV, USA, pp. 1-6, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1109/CCNC46108.2020.9045495>.
- [2] F. Marino, I. Seitanidis, P. Dao, S. Bocchino, P. Castoldi, and C. Salvadori, "IoT enabling PI: towards hyperconnected and interoperable smart containers", 6th International Physical Internet Conference, London, UK, pp. 349-362, Jul. 2019.
- [3] X. Fafoutis, E. Mellios, N. Twomey, T. Diethe, G. Hilton, and R. Piechocki, "An rssi-based wall prediction model for residential floor map construction", in 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things(WF-IoT), Milan, Italy, pp. 357-362, Dec. 2015. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2015.7389080>.
- [4] R. Javaid, R. Qureshi, and R. N. Enam, "RSSI based node localization using trilateration in wireless sensor network", Bahria University Journal of Information & Communication Technologies (BUJICT), Vol. 8, No. 2, pp. 58-64, Dec. 2015.
- [5] S. Lee, N. Lee, J. Ahn, J. Kim, B. Moon, S. Jung, and D. Han, "Construction of an positioning system for home iot applications", 2017 IEEE International Conference on Communications(ICC), Paris, France, pp. 1-7, May 2017. <https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7997159>.
- [6] Z. Jianyong, L. Haiyong, C. Zili, and L. Zhaohui, "RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning", In 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN), Korea, Busan, pp. 526-533, Oct. 2014. <https://doi.org/10.1109/IPIN.2014.7275525>.
- [7] R. Ramirez, C. Y. Huang, C. A. Liao, P. T. Lin, H. W. Lin, and S. H. Liang, "A practice of BLE RSSI measurement for indoor positioning", Sensors, Vol. 21, No. 15, pp. 5181, Jul. 2021. <https://doi.org/10.3390/s21155181>.
- [8] S. Sadowski and P. Spachos, "Optimization of BLE beacon density for RSSI-based indoor localization", In 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops(ICC Workshops), Shanghai, China, pp. 1-6, May 2019. <https://doi.org/10.1109/ICCW.2019.8756989>.

- [9] X. Shen, S. Yang, J. He, and Z. Huang, "Improved localization algorithm based on RSSI in low power Bluetooth network", In 2016 2nd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things(CCIOT), Dalian, pp. 134-137, Oct. 2016. <https://doi.org/10.1109/CCIOT.2016.7868319>.
- [10] S. Mazuelas, A. Bahillo, R. M. Lorenzo, P. Fernandez, F. A. Lago, E. Garcia, J. Blas, and E. J. Abril, "Robust indoor positioning provided by real-time RSSI values in unmodified WLAN networks", IEEE Journal of Selected Topics in Signal Proc., Vol. 3, No. 5, pp. 821-831, Oct. 2009. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2009.2029191>.
- [11] D. G. Choi, J. K. Lee, Y. H. Kim, and S. C. Kim, "Analysis of Path Loss Model and Channel Characteristics at 2.40Hz on Navy Warship's Internal Space", The Journal of Korea Information and Communications Society, Vol. 36, No. 11B, pp. 1422-1432, Nov. 2011. <https://10.7840/KICS.2011.36B.11.1422>.
- [12] A. Nikoukar, M. Abboud, B. Samadi, M. Güneş, and B. Dezfouli, "Empirical analysis and modeling of Bluetooth low-energy(BLE) advertisement channels", In 2018 17th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop(Med-Hoc-Net), Capri, Italy, pp. 1-6, Jun. 2018. <https://doi.org/10.23919/MedHocNet.2018.8407089>.
- [13] K. Ryu and J. Park, "Quantification of Loading Efficiency of Various Type Loads in a 20 FT Container with Post Selecting Process after Applying Conventional Loading Algorithms", Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 21, No. 4, pp. 513-526, Apr. 2018. <https://doi.org/10.9717/kmms.2018.21.4.513>.
- [14] M. J. Bae, S. K. Choi, and H. S. Kim, "Three-Dimensional Container Packing Problem with Freight Priority", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 28, No. 6, pp. 531-539, Aug. 2004. <https://doi.org/10.5394/KINPR.2004.28.6.531>.
- [15] W. Liu, M. Kulin, T. Kazaz, A. Shahid, I.

Moerman, and E. De Poorter, "Wireless technology recognition based on RSSI distribution at sub-Nyquist sampling rate for constrained devices", Sensors, Vol. 17, No. 9, pp. 2081, Sep. 2017. <https://doi.org/10.3390/s17092081>.

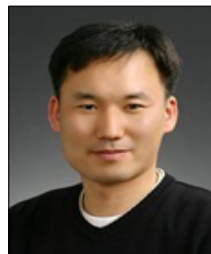
저자소개

이 태 목 (Taemok Lee)



2019년 2월 : 동아대학교
전자공학과(공학사)
2022년 3월 ~ 현재 : 동아대학교
ICT융합해양스마트시트공학과
석사과정
관심분야 : 무선전력전송, IoT
기반융합시스템 설계

김 용 성 (Yongseong Kim)



1998년 2월 : 전남대학교(공학사)
2001년 2월 : 전남대학교(공학석사)
2003년 10월 ~ 현재 :
한국전자기술연구원
스마트네트워크연구센터
수석연구원
관심분야 : 무선통신기술, 디지털
신호처리, Modem ASIC 설계

김 동 완 (Dongwan Kim)



2003년 8월 : 고려대학교(공학사)
2006년 2월 : 포항공과대학교
(공학석사)
2015년 2월 : 고려대학교(공학박사)
2017년 3월 ~ 현재 : 동아대학교
전자공학과 부교수
관심분야 : 무선전력전송, Edge
컴퓨팅, 저전력 임베디드 설계