



Journal of Knowledge Information Technology and Systems

ISSN 1975-7700 (Print), ISSN 2734-0570 (Online)

<http://www.kkits.or.kr>

Modeling of Sensor Network Transceiver Considering the Electromagnetic Wave Propagation in IoT System

Sung-Jin Jang*

Department of Mechatronics Engineering, YuHan University

ABSTRACT

Recently Sensor network technology is a core infrastructure of ubiquitous environment in advanced intelligent society where anyone can use the knowledge and service they want anytime, anywhere by detecting or storing, processing, and integrating the information of things or environment from a number of miniaturized wireless sensors. In this paper, we use MIMO channel emulator for channel modeling in real environment and conduct wireless channel characteristic modeling which has a great influence on sensor data communication performance. We will design sensor network transceiver considering distortion by surrounding environment through measurement of USN sensor node, channel modeling and processing, visualization and analysis of channel measurement data. Cell planning is performed in advance using the wireless design software (RF-vu) of iBwave before the actual measurement-related equipment arrangement. The purpose of this step is to investigate the environment of the selected test site and to predict the received field strength (RSSI) through RF-vu. By using RF-vu, antenna is established in the arrangement on scenario and each location received intensity is measured. By doing so, time and effort can be reduced when actual related facilities are arranged and accuracy of channel modeling can be increased through the predicted result. In this paper, channel characteristics reappearance using Channel Emulator equipment is a method of reproducing channel characteristics based on standard channel model, and the other is channel emulator based on data measured using measurement equipment. The channel model was generated and the channel characteristics were reproduced.

© 2020 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Sensor network, Channel emulator, Modeling, Surrounding environment, Distortion, Cell planning

ARTICLE INFO: Received 13 September 2020, Revised 21 September 2020, Accepted 13 October 2020.

*Corresponding author is with the Department of Mechatronics Engineering, YuHan University, 590,

Gyeongin-ro, Bucheon-si, Gyeonggi-do, Korea.
E-mail address: interlaken@yuhan.ac.kr

1. 서론

4차 산업혁명의 다양한 기술들 중에서 IoT환경에서 센서 네트워크(Sensor Networks)는 특정 지역이나 공간에 다수의 무선 소형 센서 노드들을 설치한다. 이후에 주변 환경이나 사물에 대한 인식 정보를 수집하고 이를 응용 서비스에 활용하기 위한 기술을 의미한다[1]. 특히 이를 무선으로 구현한 무선센서 네트워크는 USN(Ubiquitous Sensor Network)에서 핵심 기술이다. 센서 네트워크 기술은 다수의 소형화된 무선 센서들로부터 사물이나 환경 정보를 감지하거나 이를 저장, 가공, 통합해 상황 인식 정보와 지식 콘텐츠를 만들어 활용하는 것으로 누구나 언제, 어디서든지 원하는 지식과 서비스를 이용할 수 있는 첨단 지능형 사회의 IoT 환경에서의 핵심 인프라를 의미한다. RFID나 NFC 기술의 네트워크를 가르켜 WSN 또는 USN이라고 부른다[2]. 센서 네트워크 서비스의 품질을 만족시키기 위해서는 시스템을 구성하는 제품들의 물리적 층에서의 전파성능에 대한 신뢰도를 확보해야 한다[3].

본 논문에서는 실제의 서비스 환경 하에서의 무선전파환경을 측정하여, 모델링하고 획득한 채널모델을 사용하여 실험실 환경 하에서 무선접속 디바이스에 대한 무선성능에 대하여 실제 환경에서 채널 모델링을 하기 위하여 MIMO 채널 에뮬레이터를 사용하였다. IoT 기반 센서 네트워크에서 데이터의 통신 성능에 중요한 영향을 미치는 요소는 무선채널 특성을 모델링 하는 것이다[4]. 실제 환경에서 채널특성을 고려한 USN 센서 노드의 수신 무선 채널 측정 및 채널 모델링을 진행하였다. 이후 채널 측정 데이터의 Processing 및 시각화 및 분석을 통하여 주변 환경에 의한 왜곡을 고려한 최적화된 센서 네트워크 송수신기 설계를 진행하였다.

2. 무선채널 실제 환경 설정

실내 환경에서의 다양한 전파 환경에 따라 전파의 반사, 굴절 및 회절에 의해 다중경로가 발생하고 페이딩을 일으킨다. 다중경로에 의해 송신된 전파는 전력손실과 지연시간으로 인해 신호가 왜곡이 된다[5]. 이와 같은 센서 네트워크의 다양한 잡음원과 다중경로 간섭 등이 혼재하는 실제 환경에서 시스템이 나타내는 성능 열화 문제[6]는 체계적으로 원인을 분석하고 신속히 개선해야 한다. 본 논문에서는 실제 측정 하고자 하는 건물 내부와 외부에 최소 3군데 이상을 실제 환경으로 설정하여 장비를 배치시키고 채널 측정에 준하는 채널 모델링[7]을 실행 하고자 한다. 실제 환경에 유사하게 셋업하고 현재 사용되는 실제 측정 장비의 배치 전에 iBwave사의 RF-vu (Wireless Design software)를 이용하여 미리 Cell Planning을 수행하였다. 이 단계의 목적은 선정된 시험 장소의 환경을 조사하고 수신 전계 강도(RSSI: Received Signal Strength Indication)를 RF-vu를 통해 예측하기 위해서이다. RF-vu를 이용하여 시나리오 상의 배치대로 안테나를 설치하고 각 위치별 수신 강도를 측정하였다[8]. 이러한 초기 환경 설정은 실제 관련 설비들을 배치할 때 시간과 노력을 줄일 수 있게 되는 장점이 있다.

결과적으로 예측한 결과를 통하여 센서 네트워크의 채널 모델링에 대한 정확도를 높일 수 있다[9]. <그림 1>은 RF-vu의 실행 화면으로, 선정된 시험 장소의 도면(이미지 파일)을 RF-vu 프로그램으로 불러오고 안테나를 배치한 뒤 측정치를 예측할 수 있다는 것을 보여주는 예이다.

<그림 1>에 표시된 색상들은 해당 위치별 신호 커버리지를 나타낸다. 색상별 신호 강도의 세기를 표시하고 있다. 또한 RF-vu를 통해서 다른 기술들이나 다른 주파수 대역에 대해서도 동시에 전파

특성들을 측정을 하고 비교 분석할 수 있다[10,11].

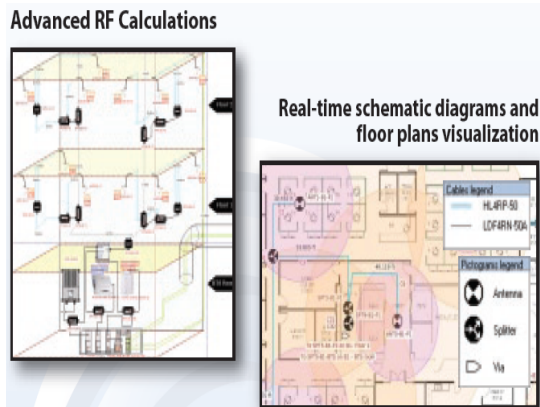


그림 1. iBwave사의 RF-vu 사용 모델링
Figure 1. Modeling of RF-vu Use of iBwave Company

본 논문에서는 Channel Emulator 장비를 사용한 채널특성 재현을 두 가지 방법으로 수행한다. 첫 번째 방법은 표준 채널 모델을 바탕으로 채널특성을 재현하는 방법이 있다[12,13]. 두 번째 방법은 측정 장비를 사용하여 측정된 데이터를 기반으로 하여 Channel Emulator에서 Channel Model을 생성하고 채널특성을 재현하는 방법이다.

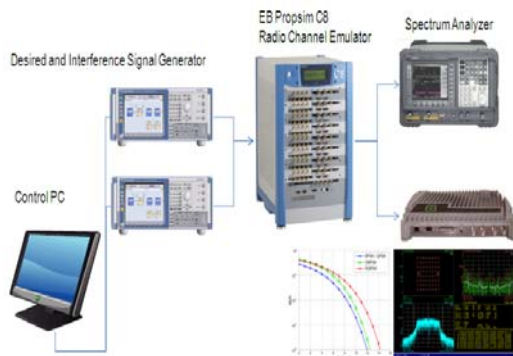


그림 2. 간섭 시험 환경 구현 Channel Model Editor
Figure 2. Interference test environment implementation

실험 환경은 <그림 2>와 같이 구성될 수 있다.

간섭 시험 환경 구현은 <그림 2>와 같이 동일 대역의 ZigBee 환경, WLAN 환경, Bluetooth 환경의 Signal Source를 내보내주는 Signal Generator와 실제 전파채널을 시뮬레이션 하는 Channel Emulator 및 DUT(Device Under Test)로 구성할 수 있다.

<그림 2>와 같이 현재 상용화되어 있는 여러 가지 이동통신 표준 채널 모델들이 간섭 시험 환경에 포함되어 있으며 이를 IoT 기반 센서 네트워크에 활용하여 채널특성에 대하여 실험을 할 수 있게 된다[14-17].

3. 채널 측정을 위한 구현

본 논문에서 주변 환경을 고려한 무선 채널 시나리오 측정을 위하여 주변 환경과 무선신호에 의한 왜곡을 고려하였다. 센서 네트워크 송수신기 설계 및 모델링 채널 측정을 위한 시나리오는 다음과 같이 3GPP는 WCDMA, GSM 적합성 모델이다. ITU 일반 모델과 WCDMA MIMO 모델인 SCM/SCME 그리고 ETSI BRAN이라는 Indoor SISO WLAN 모델 CDMA2000 모델을 사용하였다. 채널 측정을 위한 시나리오는 다음과 같이 구성하였다. 첫 번째 NI Signal Generator에서 송신 안테나를 통해 보낼 Signal Source를 생성하고 생성된 Signal Source를 송신 안테나로 보낸다. 두 번째 송신 안테나는 이 신호를 수신 안테나로 보낸다. 세 번째는 수신 안테나에서 받은 신호를 기반으로 Signal Analyzer에서 측정 결과를 얻는다. 다음 단계로 Modulation 측정 파라미터를 통하여 BER과 EVM를 측정하였다. 또한 Equalization, Channel Coding, Channel Model을 수행하였다. 그리고 트래픽 용량에 따른 채널환경 및 송수신 품질을 측정하였다. 최종 단계로 측정을 통하여 채널 모델링과 수학적 채널모델을 제시하고 채널모델 시뮬레이션을 생성하였다.

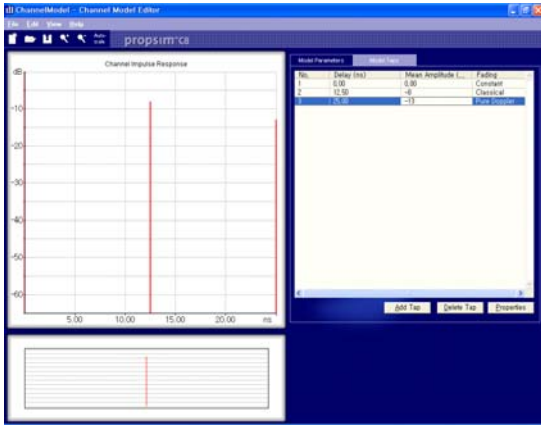


그림 3. Channel Model Editor
Figure 3. Channel Model Editor

```
disp('Reading the file')
fname='Modeling of Sensor Network.trx';
tmp=textread(fname,',' , 'headerlines',0);

freq=tmp(1:201,1);
BW=freq(end)-freq(1);
deltaf=freq(2)-freq(1);
S21_1=complex(tmp(:,4),tmp(:,5));
S21_1=reshape(S21_1,201,length(S21_1)/201);

h1=fft(S21_1);
figure
plot(10*log10(sum(abs(h1).^2.2)))
grid on
```

그림 4. Channel Modeling을 위한 Matlab
Figure 4. Matlab for Channel Modeling

최종적으로 측정된 결과를 바탕으로 이들을 분석하고 각 파라미터의 패턴 또한 분석을 하였다. <그림 3>과 같은 Channel Model Editor를 사용하여 측정된 파라미터들을 입력하여 Channel Model을 생성하고 Model Taps에서 측정된 파라미터인 delay, Amplitude, path 등을 입력하였다.

이후에 측정된 데이터를 후 처리 하여 채널 모델링에 요구되는 파라미터를 추출하고 측정사이트 별로 수집된 측정 데이터를 주파수 영역에서 시간

영역의 임펄스 응답으로 변환하기 위하여 <그림 4>와 같이 MatLab 프로그램을 사용하여 분석하였다. <그림 5>는 추출한 채널파라미터이다. 채널임펄스 응답의 수(CIRs)와 전파 경로의 수(Tap) 그리고 수신 신호의 위상(Coefficient) 및 송수신 안테나간의 경로지연(Delay)을 구할 수 있었다.

```
***** Header *****
112 CIRs
2 Taps/CIR
2400000000 Carrier Frequency
Route_Closed
12.5 Delay_Resolution
64 Sample_Density
***** Tap data *****
```

Delay	Re	Im	Delay	Re	Im
0.000000	0.288963	-0.266247	12.500000	-0.271599	0.233318
0.000000	0.288774	-0.265683	12.500000	-0.271167	0.232992
0.000000	0.210455	-0.267490	12.500000	-0.273155	0.234742
0.000000	0.288922	-0.265211	12.500000	-0.270970	0.232901
0.000000	0.289261	-0.265305	12.500000	-0.271205	0.233136
0.000000	0.288643	-0.264208	12.500000	-0.270215	0.232314
0.000000	0.210301	-0.265945	12.500000	-0.272113	0.233971
0.000000	0.289247	-0.264278	12.500000	-0.270519	0.232624
0.000000	0.210375	-0.265369	12.500000	-0.271735	0.233691
0.000000	0.210464	-0.265158	12.500000	-0.271602	0.233597
0.000000	0.212283	-0.267134	12.500000	-0.273695	0.235418
0.000000	0.210727	-0.264868	12.500000	-0.271433	0.233493
0.000000	0.210901	-0.264786	12.500000	-0.271397	0.233481
0.000000	0.210830	-0.263407	12.500000	-0.270016	0.232310
0.000000	0.211340	-0.264782	12.500000	-0.271445	0.233551

그림 5. Channel Model 파일
Figure 5. Channel Model File

4. 결론

IoT 기반 센서 네트워크 응용 서비스는 4차 산업혁명과 관련된 다양한 응용 분야에서 급속하게 보급되고 있다. 실제 서비스의 품질을 만족시키기 위해서는 시스템을 구성하는 제품들의 물리계층에서의 전파성능에 대한 신뢰도를 확보하여야 한다. 본 논문에서는 실제의 서비스 환경 하에서의 무선 전파환경을 측정하여 모델링 하고 획득한 채널모델을 사용하여 실험실 환경 하에서 무선접속 디바이스에 대한 무선성능을 시험하였다. IoT 기반 센서 네트워크의 단위제품 개발은 제품 개발 초기 단계에서 성능이 좌우된다. 실제 환경의 신호 채널을 실험실 환경에서 시뮬레이션을 수행하는 것은 실제 환경에서 시스템이 나타내는 성능열화 문제

를 체계적으로 원인을 분석하고 개선할 수 있었다. 실제 센서 네트워크 환경의 채널특성을 고려한 설계와 개발환경 구축에는 다양한 잡음원과 다중경로간섭 등이 혼재하는 IoT 기반 센서 네트워크 데이터 통신 성능에 영향을 미치는 무선 채널 특성 모델링과 시뮬레이션을 통하여 주변 환경에 의한 왜곡을 고려한 효율적인 송수신기를 설계할 수 있는 기반을 만들 수 있었다.

References

- [1] MIT Auto-ID Center Publications: <https://www.autoidcenter.org>, Jun. 15. 2020.
- [2] K. Finkenzeller, *RFID handbook: Radio-frequency identification fundamentals and applications*, Wiley, 2004.
- [3] W-A Geoffrey, S. Patrick, W. Matt, *MoteLab: A wireless sensor network test-bed, information processing in sensor networks*, pp. 483-488. 2005.
- [4] I. Konrad, G. Albana, V. S. Maarten, *KonTest: A wireless sensor network testbed at vrije universiteit amsterdam*, Technical Report IR-CS-045 Vrije Universiteit Amsterdam, Aug. 2008.
- [5] J. P. Curty, M. Declercq, C. Dehollain, N. Joehl, *Design and optimization of passive UHF RFI systems*, Springer, 2007.
- [6] P. R. Foster, and R. A. Burberry, *Antenna problems in RFID systems*, IEE Colloquium on RFID Technology, 1999.
- [7] P. H. Cole, and D. M. Hall, *Fundamental constraints on RFID tagging systems*, research paper, available at <http://autoidlabs.eleceng.adelaide.edu.au/researchpapers.htm>, Jun. 07. 2020.
- [8] D. Kim, M. A. Ingram, and W. W. Smith, *Measurements of small scale fading and path loss for long range RF tags*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51, No. 8, pp. 1740-1749, Nov. 2003.
- [9] L. W. Mayer, M. Wrulich, and S Caban, *Measurements and channel modeling for short range indoor UHF applications*, Proceedings of The European Conference on Antennas and Propagation, 2006.
- [10] C. Piersanti, F. Fuschini, G. Falciasecca, and V. D. Esposti, *Analisisidelle problematiche propagative nei sistemi RFID passivi in banda UHF*, XVI Riunione Nazionale di Elettromagnetismo, pp. 190-193, Genova, 2006.
- [11] European cooperation in the field of scientific and technical research stanford July 2008 radio channel measurement campaign, Oct. 6-8. 2008.
- [12] D. Johnson, T. Stack, R. Fish, D. M. Flickinger, L. Stoller, R. Ricci, J. Lepreau, *Mobile Emulab: A robotic wireless and sensor network test-bed*, IEEE INFOCOM, Apr. 2006.
- [13] Antennas and propagation in UHF RFID systems IEEE RFID 2008 conference proceedings(Las Vegas, NV, April pp. 16-17, 2008).
- [14] *EPC Radio-frequency identity protocols generation 2 identity tag (Class 1): Protocol for communications at 860MHz-960MHz. EPC global hardware action group (HAG), EPC identity tag (Class 1) generation 2, last-call working draft version 1.0.2*, 2003.
- [15] *RUSK MEDAV channel sounders*, 2008. [Online]. Available: <http://www.channelsounder.de>, Jun. 3. 2020.
- [16] K-Y. Kim, D-K. Kim, S-J Lee, *High-speed*

data collection method using low-speed ZigBee on wireless sensor network for oestrus detection in cow, Journal of Knowledge Information Technology and Systems(JKITS), Vol. 9, No. 3, pp. 331-340, 2014.

- [17] J. H. Koo, and H. Y. Yoon, *A low-complexity time-domain SNR estimation algorithm for OFDM communication systems*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems(JKITS), Vol. 14, No. 5, pp. 527-534, 2019.



Sung-Jin Jang received the M.S. degree in the Department of Electronics, Information and Communication Engineering from KonKuk University in 2000. He received the Ph.D. degree in the Department of ICT convergence technology from Soongsil University in 2013. From 2000 to 2001, he was a researcher at DAEWOO Institute for Advanced Engineering. And from 2001 to 2006, he was a researcher at PANTECH. From 2007 to 2009, he was a researcher at KL-Net. From 2010 to 2011, he was a researcher at PST co. He has been a professor in the Department of Mechatronics Engineering at YuHan University since 2015. His current research interests include delay tolerant network, cognitive ratio network and smart tagging.

E-mail address: interlaken@yuhan.ac.kr

IoT 시스템에서 전자파 전파를 고려한 센서 네트워크 송수신기 모델링

장성진

유한대학교 메카트로닉스공학과 교수

요 약

실제 환경에서 채널 모델링을 위해 MIMO 채널 에뮬레이터를 사용하고 센서 데이터 통신 성능에 큰 영향을 미치는 무선 채널 특성 모델링을 수행하였다. USN 센서 노드의 측정과 채널 모델링 및 처리 그리고 채널 측정 데이터의 시각화 및 분석을 통해 주변 환경에 따른 왜곡을 고려한 센서 네트워크 송수신기를 설계하였다. 실제 측정 관련 장비 배치 전에 iBwave의 무선 설계 소프트웨어(RF-vu)를 이용하여 셀 플래닝을 미리 수행하였다. 본 연구의 목적은 선택된 시험 환경을 조사하고 RF-vu를 통해 수신강도(RSSD)를 예측하는 것이다. RF-vu를 이용하여 시나리오의 배열에 안테나를 설치하고 각 위치 수신 강도를 측정하여 실제 관련 시설을 배치할 때 시간과 노력을 절감하고 예측 결과를 통해 채널 모델링의 정확도를 높일 수 있다. 본 논문에서는 채널 에뮬레이터 장비를 이용한 채널 특성 재현은 표준 채널 모델을 기반으로 채널 특성을 재현하는 방법이며 다른 하나는 측정 장비를 이용하여 측정된 데이터를 기반으로 채널 에뮬레이터이다. 본 논문에서는 실제 환경을 기준으로 채널 모델을 생성하고 채널 특성을 재현하였다.