

# Ray-tracing 기반 무선 네트워크 디지털 트윈 환경 구성 및 신호세기 측정

염화정, 박수아, 정민수, 정홍석, 김선우  
한양대학교 융합전자공학과

{ghkwjd47, paksua1031, qwjms, hssjung, remero}@hanyang.ac.kr

## Ray-tracing based Digital Twin Environment Configuration and Signal Strength Measurement

Hwajeong Yeom, Sua Park, Minsoo Jeong, Hongseok Jung and Sunwoo Kim  
Department of Electronic Engineering, Hanyang University

### 요약

본 논문은 실제 환경의 신호 전파 특성을 분석하기 위해 디지털 환경을 구성하고 ray-tracing 기반의 RSSI(received signal strength indicator)를 측정된 후에, 실제 환경에서 측정된 RSSI 데이터와의 유사도를 확인한다. 실제 환경을 디지털 환경으로 구축하기 위해 3D CAD를 활용하여 가상의 실내 환경을 구성하고 ray-tracing을 이용하여 RSSI를 측정한다. 또한, 실제 환경에서 측정된 RSSI 값을 디지털 트윈 환경에서 측정된 RSSI와의 유사도를 비교 및 분석한다. 실험 결과, 실제 환경에서 측정된 RSSI 데이터와 디지털 트윈 환경에서 측정된 RSSI 데이터가 상당히 유사함을 확인할 수 있었다.

### I. 서론

최근 스마트 기기를 이용한 위치 기반 서비스 요구가 증가함에 따라 고정밀 측위 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 실외에서는 GPS (global positioning system) 신호를 이용해 비교적 정확한 측위가 가능하지만, 실내에서는 건물 외벽 등에 의해 GPS 신호가 차단되므로 Wi-Fi, UWB(Ultra-wideband)와 같은 무선신호를 이용한 연구가 주목받고 있다[1]. 이와 관련하여 넓은 실내 환경에서 상세한 무선 신호 패턴 학습을 위해서는 많은 데이터베이스가 요구된다. 그러나 실제 환경의 광범위한 데이터베이스를 수집하기 위해 불필요하게 많은 노동력과 시간이 투입된다는 문제점이 있다. 이러한 문제는 현실과 비슷한 디지털 환경을 구축한 디지털 트윈 맵을 이용하여 데이터베이스 수집함으로써 해결된 사례가 있다[2]. 본 논문에서는 현실과 비슷한 디지털 트윈 환경을 구축하고, ray-tracing을 실행하여 전파의 이동 경로를 시각화하며 측위 데이터베이스인 RSSI(received signal strength indicator)를 측정하고 실제 데이터와 비교 분석한다.

### II. 디지털 트윈 환경 구성

본 논문에서는 그림 1의 한양대학교 FTC 5G/무인이동체 융합기술 연구센터를 실험 환경으로 디지털 트윈 가상 환경을 구현한다. 실제 환경 대신 RSSI를 측정하기 위한 디지털 트윈 가상 모델을 구현한다. Autodesk Inventor 프로그램을 통해 그림 2와 같이 가로 7.761 m, 세로 16.4 m, 높이 2.7 m의 환경을 3D 맵으로 모델링하였다. 연구센터 내에 배치되어 있는 책상, 책장 등의 실내 환경을 반영하여 NLOS(non-line of sight)에 의한 특성 또한 고려한다. 신호 전파의 회절, 반사 등의 정확한 구현을 위해 천장을 추가적으로 모델링한다.

### III. Ray-tracing 시뮬레이션 및 RSSI 측정

본 실험에서는 신호 전파의 이동 경로를 확인하기 위해 MATLAB을 활용하여 ray-tracing을 실행한다. 신호 전파 측정

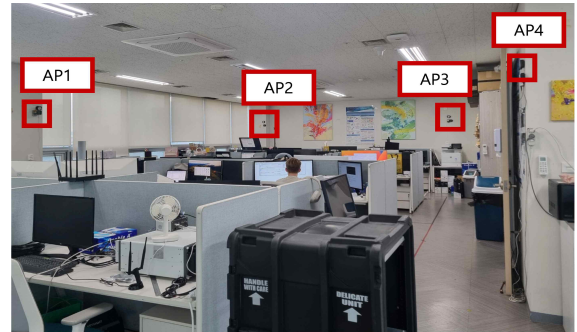


그림 1 디지털 트윈 환경 구성을 위한 실제 환경

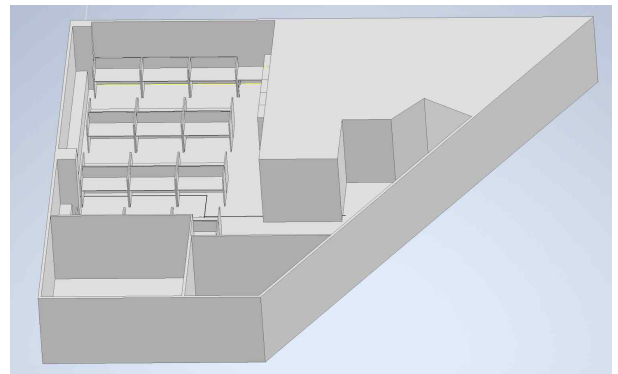


그림 2 한양대학교 FTC 연구센터 가상 환경 구성

과정에서 사람의 움직임이나 문의 개폐와 같은 실시간 환경 변화가 없는 상황을 가정한다. UWB를 사용한 데이터를 가정하고 송신기 전력을 10W로 설정한다. Ray의 반사 횟수와 회절 횟수는 각각 최대 1회로 설정한다. 그림 1에 표기한 AP(access point)의 좌표를 각각  $AP_1 = [0.64, 11.27, 2]$ ,  $AP_2 = [6.088, 11.43, 2]$ ,  $AP_3 = [0.640, 4.2, 2]$ ,  $AP_4 = [7.038, 3.22, 2]$ 로 구성했다. 임의의 Rx를 이동 경로에 따라 설정한 후, ray-tracing 시뮬레이션을 통해 각각의 AP와 Rx에 대한 ray를 생성한다. 그림 4는

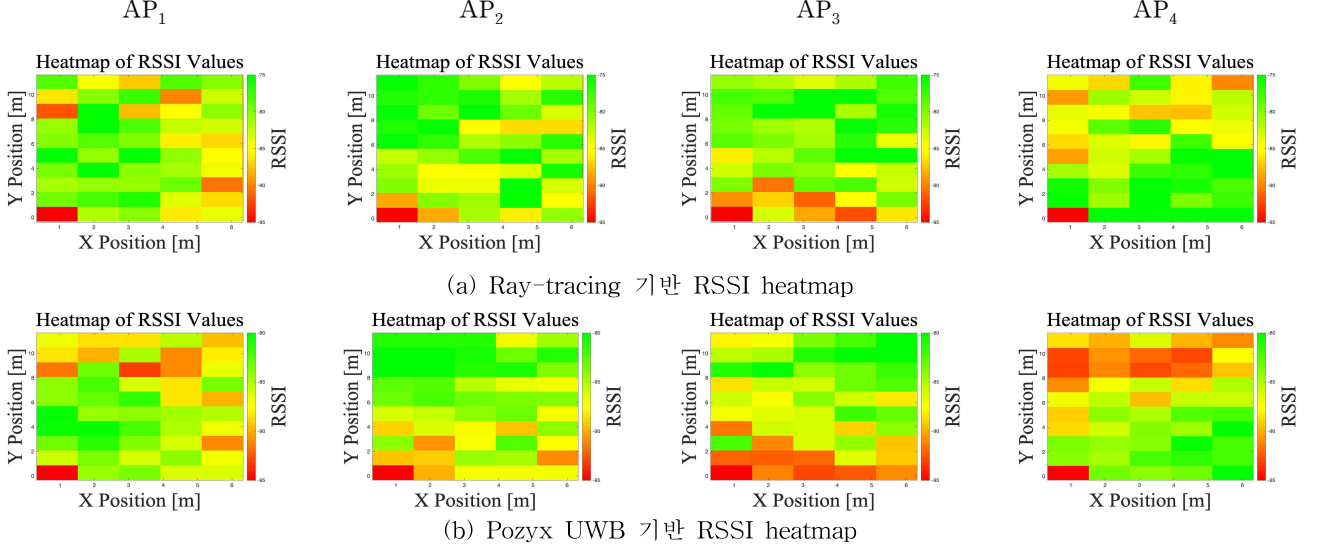


그림 3 Raytracing 기반 RSSI와 실제 RSSI 측정값 heatmap 비교

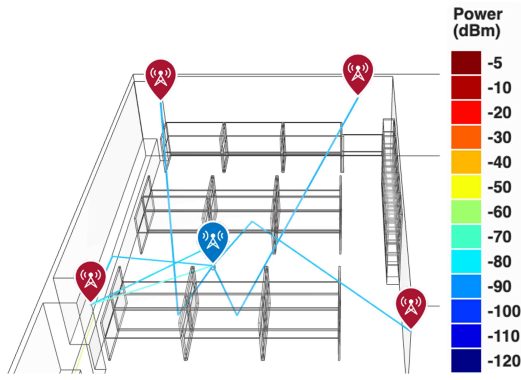


그림 4 ray-tracing을 통해 생성된 ray AP<sub>4</sub>에서의 ray를 생성하여 나타난 결과이다. 이후 ray-tracing을 통해 RSSI를 측정한다. 그림 4는 4개의 AP와 임의의 Rx에 의해 생성된 ray이다. RSSI 측정 모델은 다음과 같다.

$$RSSI = RSSI_0 - 10n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + \omega \quad (1)$$

여기서  $d_0$ 는 참조 거리,  $RSSI_0$ 는  $d_0$ 에서 측정된 RSSI,  $n$ 은 경로 손실 지수,  $d$ 는 AP와 Rx 사이의 실제 거리,  $\omega$ 는 노이즈를 의미한다. Heatmap 생성 결과, 대부분의 RSSI가 그림 3 (a)와 같이 -75 dBm에서 -95 dBm 사이에 분포되었다.

#### IV. 실험 결과 분석

디지털 트윈 환경에서 ray-tracing을 통해 측정된 RSSI의 성능 확인을 위해 실제 RSSI 데이터와 비교한다. 성능 비교를 위해 디지털 트윈 환경과 동일한 실제 환경 좌표에서 RSSI를 측정하였으며, 측정된 RSSI 값과 실제 환경에서 측정된 RSSI 값 사이의 오차를 계산해 성능을 비교 분석하기 위한 방안으로 RMSE(root mean square error)를 사용한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\text{actual}_i - \text{predicted}_i)^2} \quad (2)$$

여기서  $\text{actual}_i$ 는 실제 RSSI 측정값,  $\text{predicted}_i$ 는 ray-tracing을 통해 측정된 RSSI값,  $k$ 는 측정된 데이터의 총 수를 의미한다.

RMSE 식을 이용해 값을 계산한 결과, 5.67라는 값을 도출할 수 있었다. 디지털 트윈을 통해 측정된 값과 달리 실측 데이터는 RSSI 값이 -80 dBm에서 -95 dBm 사이에서 분포되었으며, 신호 분포도는 그림 3 (b)와 같다.

#### V. 결론

본 논문에서는 실제 환경을 반영한 디지털 트윈 환경 3D 맵을 제작하고 이를 활용해 ray-tracing을 실행하여 전파의 이동 형태를 확인하고 RSSI를 측정된 후, 이를 실제 데이터와 비교 및 분석하였다. Autodesk Inventor를 이용해 실제 환경을 디지털 트윈 맵으로 구현하였다. 이후 이를 MATLAB으로 로드하고 ray-tracing을 통해 ray를 생성했으며, RSSI를 측정 후 이의 성능을 확인하기 위해 실제 데이터와 비교하였다. 실험 결과, 디지털 트윈을 통해 측정된 RSSI 값은 주로 -75 dBm과 -95 dBm 사이에 분포되었고, 실제 환경에서 측정된 데이터는 -80 dBm과 -95 dBm 사이에 분포되었다. 실제 환경에서 측정된 데이터와 디지털 트윈을 통해 측정된 데이터가 상당히 유사함을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00337857, 5G 및 다중 GNSS 기반 긴급구조용 복합추위 기술 개발)

#### 참고 문헌

- [1] C. BASRI and A. El Khadimi, "Survey on indoor localization system and recent advances of WIFI fingerprinting technique," in *Proc. Int'l Conf. Multimedia Comput. Syst. (ICMCS)*, 2016.
- [2] J. Morais and A. Alkhateeb, "Localization in Digital Twin MIMO Networks: A Case for Massive Fingerprinting", *arxiv*, 2024.
- [3] A. Zhou, J. Huang, J. Sun, Q. Zhu, C. -X. Wang and Y. Yang, "60 GHz channel measurements and ray tracing modeling in an indoor environment," in *Proc. Int. Conf. Wirel. Commun. Signal Process. (WCSP)*, 2017.