

특화망을 위한 Cell Planning

김유빈, 이종석, 이상연, 홍인기

경희대학교

dbqls15@khu.ac.kr, howrhee@khu.ac.kr, sangyeon@khu.ac.kr, ekhong@khu.ac.kr

Cell Planning for Private 5G

Yuvin Kim, Jong Seok Rhee, Sang Yeon Lee, Een Kee Hong

Kyunghee University

요약

5G 기술의 발전과 함께 산업계에서는 사설 5G망인 특화망의 도입을 추진하고 있다. 이러한 특화망은 실내 환경의 복잡성과 높은 주파수 대역으로 인해 cell planning에 어려움을 겪고 있다. 본 논문에서는 Ray-tracing 기반 시뮬레이션을 통해 최적의 기지국 위치를 찾음으로써, 특화망의 품질을 보장하고 비용-효율적인 cell planning을 제시한다.

I. 서론

5G의 발전에 따라 산업계들도 이를 이용한 발전을 이루고 있다. 특히 스마트 공장에서는 5G의 안정적인 연결성을 통해 유연한 생산 및 물류 프로세스를 실현하는 방향으로 활용되고 있다. 더불어, 특화망이라 불리는 사설 5G망의 출현으로, 산업별 특성에 맞춘 맞춤형 네트워크를 구축함으로써 산업계의 경쟁력이 강화되고 있다[1]. 그러나 특화망을 이용한 cell planning에는 두 가지 주요한 취약점이 존재한다. 먼저 특화망은 주로 실외보다 실내에서 이용되어 복잡한 요소가 존재한다. 벽, 천장, 가구 등에 의한 복잡한 전파 환경과 높은 사용자 밀도, 다양한 건물 재질로 인한 영향이 있다. 또한, 특화망이 사용하는 4.7GHz 및 28GHz의 주파수 대역 때문에 blockage 문제도 발생한다. 이에 따라 실내 환경에 맞춘 특화망 cell planning을 하는 데 많은 어려움을 해결하고자 실내 환경에서의 Ray-tracing에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[2] [3]. 이에 본 논문은 특화망을 위한 실내 환경을 구축한 후, Ray-tracing 기반 시뮬레이션을 통해 최적의 기지국 위치를 탐색하고 효율적인 cell planning을 하는 방안을 제시한다. 이러한 연구는 산업계가 특화망을 보다 적극적으로 활용할 수 있는 데 기여할 것이다.

II. 본론

Ray-tracing은 다양한 환경에서 무선 신호의 전파 경로를 모델링하여 분석하는 방법이다. 건물, 지형 등의 장애물과의 상호작용(반사, 굴절, 회절 등)을 고려하여 송신기에서 수신기까지 이동하는 경로를 시뮬레이션하고 신호 강도 예측, coverage hole 파악 등 서비스 환경에서 네트워크의 신뢰성과 성능을 향상하는 데 도움이 된다. 본 논문은 다양한 Ray-tracing tool 중에서 NVIDIA사의 'Sionna'를 이용한다. Sionna는 Python 기반의 물리 계층 연구를 위한 오픈 소스 라이브러리로 링크 레벨 시뮬레이션을 위해 설계되었다[4]. Sionna의 Ray-tracing 기능을 통해 Channel Impulse Response 및 재료 속성, 안테나 패턴, 송수신기 방향 및 위치와 같은 시스템 및 환경 매개변수를 고려한 시뮬레이션을 가능하게 한다.

그림 1은 Scaniverse와 Blender를 활용하여 제작한 저자의 연구실 3D 모델을 보여준다. Scaniverse는 LiDAR 센서를 사용하여 주변 환경을 스

캔하고 3D 모델을 생성하는 애플리케이션이다. 길이 측정을 생략할 수 있어 편리하게 3D 모델링을 할 수 있다. Blender는 무료로 제공되는 오픈 소스 3D 그래픽 소프트웨어로, 3D 모델링, 렌더링 등 다양한 기능을 제공한다. 두 가지의 tool을 이용하여 만든 연구실 3D 모델을 통해 특화망 환경에서 ray-tracing을 통해 cell planning을 하고자 한다.

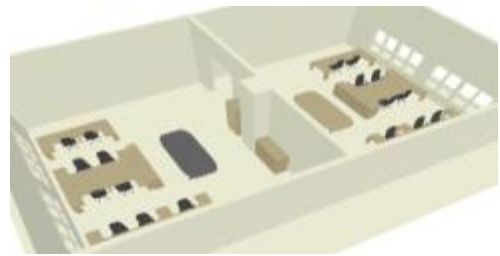


그림 1. 경희대학교 이동통신 연구실의 실내 환경 구축도

표 1. 재질에 따른 특성

재질 명	비유전율		전도율		주파수 범위(GHz)
	a	b	c	d	
concrete	5.24	0	0.0462	0.7822	1-100
wood	1.99	0	0.0047	1.0718	0.001-100
plywood	2.71	0	0.33	0	1-40
metal	1	0	10^7	0	1-100
glass	6.31	0	0.0036	1.3394	0.1-100

1) 시뮬레이션 설정

본 논문은 특화망을 이용하는 실내 환경에서 안정적인 통신을 하기 위해 최적의 기지국의 위치를 찾고자 한다. 이를 위해 다양한 기지국 위치에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 주파수는 특화망으로서 가장 많이 이용되는 4.7GHz로 설정하였다. 시뮬레이션 환경으로는 200m×100m×50m 크기의 실내 연구실을 설정했으며, 이는 문 하나로 연결된 두 개의 동일한 구조의 방으로 구성되어 있다. 각 방에는 책상, 의자, 서랍, 창문, 콘크리트 벽이 있다. 표 1은 시뮬레이션 환경에 쓰인 재질의 특성을 보여준다[5]. 식 1은 비유전율, 식 2는 전도율에 관한 식이고, 표 1의 값을 이용하여 계산한다.

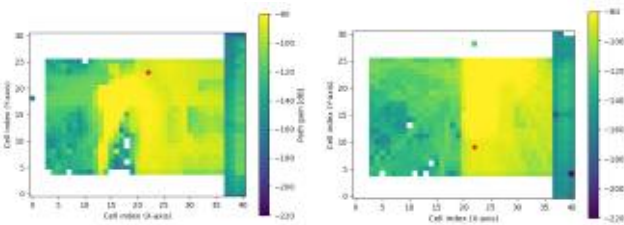
$$\epsilon_r = af_{GHz}^b \quad (1)$$

$$\sigma_r = cf_{GHz}^d \quad (2)$$

한쪽 방에 기지국을 설치한 후 다른 방에서도 원활한 통신을 위한 최적의 기지국의 위치를 찾기 위해 x축(10~70), y축(-40~40), z축(0~50)의 범위 내에서 각 좌표의 coverage map을 생성했다. 기지국이 설치되지 않은 방에 좋은 통신을 제공하기 위해 기지국 안테나의 방향은 문의 좌표인 [0, 30, 15]로 설정하였다. 양쪽 방에 기지국을 설치하게 될 경우, 기지국 간의 간섭으로 인한 통신 품질 저하의 가능성이 발생하고 비용-효율성을 달성할 수 없어 기지국의 개수는 하나로 설정하였다.

2) 시뮬레이션 결과

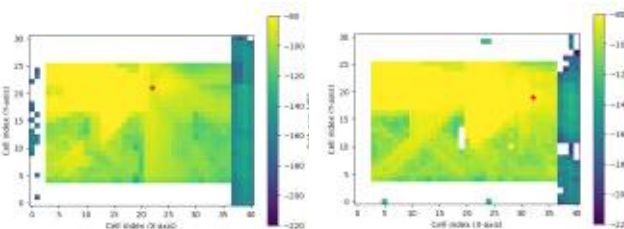
생성된 315개의 coverage map 중 통신 품질이 좋은 것을 선택하기 위한 path gain의 기준은 -110dB로 설정하였다. -80dB과 -110dB에 해당하는 색상의 RGB 값을 이용하여 coverage map 내 해당 범위의 비율을 계산하였다.



(a) [10, 40, 50]

(b) [10, -30, 20]

그림 2. 기지국 위치에 따른 coverage map 중 비율이 가장 낮은 2개의 결과



(a) [10, 20, 30]

(b) [60, 20, 10]

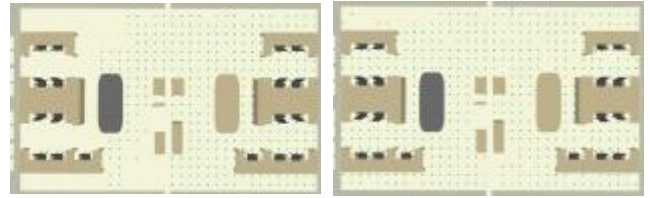
그림 3. 기지국 위치에 따른 coverage map 중 비율이 가장 높은 2개의 결과

그림 2는 coverage map에서 path gain이 -120dB 이상인 부분의 비율이 가장 낮은 결과 2개, 그림 3은 가장 높은 결과 2개이다. 기지국의 위치는 빨간 점으로 표시하였다. 먼저 그림 2에서 기지국이 설치된 방의 평균 path gain은 -100dB 이상의 좋은 결과를 보이지만, 기지국이 설치되지 않은 방의 평균 path gain은 문 근처를 제외한 부분이 대부분 -110dB 이하로 통신 품질이 저하된다. 반대로, 그림 3은 기지국이 설치된 방의 평균적인 path gain은 그림 2에 비해 낮지만 -110dB보다는 높아 원활한 통신이 가능하고, 기지국이 설치되지 않은 방 또한 전반적으로 -110dB 이상의 path gain을 보여 양쪽 방 모두 원활한 통신을 할 수 있다. 그림 2과 그림 3의 결과 비교는 기지국의 위치에 따른 통신 품질을 명확히 보여준다.

그림 4(a)는 기지국 위치를 [10, 40, 50]로, 그림 4(b)는 기지국의 높이만 변경하여 [10, 40, 30]을 기지국 위치로 설정하여 연결할 수 있는 단말의 모든 위치를 표시하였다. 기지국의 위치는 파란 점, 단말의 위치는 초록색 점으로 표시하였다. 분석 결과, [10, 40, 50]은 coverage map 상에서 가장 좋지 않은 통신 품질을 제공하였으나, 기지국의 높이만 변경하였을 때 연결 가능한 단말의 개수가 증가한 것을 볼 수 있다. 이러한 차이는 기지국

의 높이가 coverage에 미치는 영향을 명확하게 보여준다.

이러한 결과로, Ray-tracing을 이용하여 특화망에 주로 사용되는 4.7GHz 주파수에 최적화된 기지국의 위치와 높이를 결정할 수 있음을 확인하였다.



(a) [10, 40, 50]

(b) [10, 40, 30]

그림 4. 기지국 높이에 따른 연결 가능한 단말의 모든 위치

III. 결론

본 논문에서는 Ray-tracing을 통해 특화망을 이용한 실내 환경에서 최적의 기지국 위치를 찾아 비용-효율적인 cell planning을 하는 방안을 소개하였다. 현재 연구에서는 주로 기지국 위치라는 변수만을 다루어, 산업계에 즉시 적용하기에는 일부 한계가 있다. 그럼에도 불구하고, 해당 연구는 Ray-tracing을 통해 실내 환경에서의 기지국 위치 결정이 coverage와 통신 품질에 직접적인 영향을 미치는 것을 확인함으로써, cell planning에 대한 비용을 절감하고, 통신 기술의 효율성을 극대화할 수 있음을 보여주었다.

결론적으로, 해당 연구는 특화망의 효율적인 구축을 위한 기초적이면서도 중요한 단계를 마련한다. 향후 연구에서는 다양한 변수들을 고려하고, 현장에서의 적용 가능성을 더욱 심도 있게 탐구하여, 실제 산업 환경에서의 적용을 위한 구체적인 가이드라인을 제시할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2021-0-02046*)

참고 문헌

- [1] A. Wulandari, M. Hasan and A. Hikmaturokhman, "Private 5G Network Capacity and Coverage Deployment for Vertical Industries: Case Study in Indonesia," 2022 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT), Solo, Indonesia, 2022
- [2] E. Ozturk, F. Erden, K. Du, C. K. Anjinappa, O. Ozdemir and I. Guvenc, "Ray Tracing Analysis of Sub-6 GHz and mmWave Indoor Coverage with Reflecting Surfaces," 2022 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), Las Vegas, NV, USA, 2022
- [3] Y. Zhang, X. Guo, L. Chen, Y. Liu, Y. Guo and K. Guan, "Propagation Characterization for 5G Networks in an Avionics Compartment at 60 GHz Band," 2022 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA), Guangzhou, China, 2022
- [4] Sionna: An Open-Source Library for Next-Generation Physical Layer Research, <https://nvlabs.github.io/sionna/>
- [5] ITU P.2040-2 "Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100 MHz,"