

스마트폰과 드론을 이용한 상공 LTE/5G 전파맵 실시간 측정 시스템

Real-Time Measurement System for LTE/5G Radiowave MAP in the Sky using Smartphone and Drone

장해찬 · 김은수 · 백명현 · 한주성 · 장병준

Hae-Chan Jang · Eun-Su Kim · Myung-Hyun Baek · Ju-Sung Han · Byung-Jun Jang

요 약

본 연구는 드론에 스마트폰과 PC를 탑재하여 소형, 경량, 저비용으로 상공의 이동통신 전파맵을 실시간으로 측정할 수 있는 측정시스템을 설계하고 이를 구현하였다. 드론에 탑재된 스마트폰은 LTE와 5G 이동통신 기지국 하향링크의 대표적인 품질지표인 RSRP, RSRQ, SINR의 값을 수집한다. 수집된 이동통신 품질 데이터와 GPS 위치정보는 드론의 라즈베리 파이 PC를 통해 결합되어 지상으로 보내지고 지상의 PC에서는 이 데이터를 이용하여 상공의 고도별 이동통신 전파맵을 시각화하여 실시간으로 제공한다. 이때 GPS 정보와 기지국 정보의 동기화를 위해 보간법을 사용하여 데이터의 손실을 방지하였다. 구현된 전파맵은 상공의 특정 고도에서 이동통신 링크의 품질 특성을 지상에서 실시간으로 빠르게 파악할 수 있어 향후 UAM 환경에서 이동통신망의 최적 구성에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract

This study designed and implemented a measurement system that can measure the mobile communication radio map in the sky in real time with a small size, light weight, and low cost by mounting a smartphone and a PC on a drone. The smartphone mounted on the drone collects the representative quality indices of LTE and 5G mobile communication base station downlink, such as RSRP, RSRQ, and SINR. The collected mobile communication quality data and GPS location information are combined through the drone's Raspberry Pi PC and sent to the ground, and the ground PC uses this data to visualize the mobile communication radio map at each altitude in the sky and provide it in real time. At this time, interpolation was used to prevent data loss to synchronize the GPS information and base station information. The implemented radio map can quickly identify the quality characteristics of mobile communication links at a specific altitude in the sky in real time from the ground, so it is expected to be utilized for the optimal configuration of mobile communication networks in the future UAM environment.

Key words: UAM, Mobile Communication, Radio Map, Smartphone, Drone

「이 연구는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업으로 연구되었음.」

국민대학교 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received March 10, 2025 ; Revised March 17, 2025 ; Accepted April 2, 2025. (ID No. 20250310-025)

· Corresponding Author: Byung-Jun Jang (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

I. 서 론

최근 대도시의 교통 문제를 해결하기 위해 도심 항공 모빌리티(UAM, urban air mobility) 기술이 대두되고 있다. UAM은 도심 내에서 UAV(urban air vehicle)를 활용하여 사람과 화물 등을 신속하게 운송하는 미래 항공 교통 체계로 전 세계적으로 관련 기술개발이 활발히 이루어지고 있다^[1]. 국내의 경우 국토교통부는 ‘한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵’에서 2025년에 UAM 상용서비스를 도입하고 2030년 상용화를 목표로 하고 있다^[2].

UAM 시스템의 상용화를 위해서는 항공 기술의 개발 외에도 안정적인 UAM 운용을 위한 무선통신 기술이 필요하다. 국토교통부에서 발행한 K-UAM 운용개념서 1.0에서는 항공통신과 감시 부문에서 4G, 5G 이동통신을 사용하도록 되어 있다. 하지만 현재까지 이동통신은 기본적으로 지상 사용자를 대상으로 구성되어 있기 때문에 상공에서는 고도가 높을수록 신호강도가 약해지고 통신 품질이 저하되는 문제가 발생한다. 이러한 신호강도의 약화는 UAV의 안정적인 통신을 방해하므로 상공에서의 이동통신 전파 특성이나 통신품질을 정확히 파악하는 것이 선행되어야 한다.

상공에서의 전파특성이나 통신품질 측정은 보통 드론을 이용하여 측정하게 된다. 측정방법은 스펙트럼 분석기와 같은 전문 계측기를 사용하거나 이동통신 품질을 측정할 수 있는 전용 계측 단말을 이용한다^{[3][4]}. 예를 들어 참고문헌 [3]에서는 스펙트럼 분석기를 드론에 장착하여 원하는 고도에서 드론을 운행하면서 특정고도의 2차원 평면에서의 전파의 세기인 RSRP(reference signal received power)를 측정 후 이를 후처리하여 전파맵을 구성하였다. 하지만 실제 이동통신 환경에서는 여러 기지국 신호가 존재하는 경우 핸드오버 등이 빈번하게 일어나는데 이러한 이동통신 운용 상황을 측정할 수 없을 뿐만 아니라 실시간 측정이 어려워지게 된다. 이러한 방식은 측정에 오차가 있거나 음영지역이 존재할 경우 여러번 반복 측정해야 하는 한계점이 존재한다. 참고문헌 [4]와 같이 전용 계측 단말을 이용하는 경우에는 전파세기 뿐만 아니라 기지국 정보인 PCI(physical cell ID)와 RSSI(received signal strength indicator), RSRQ(reference signal received quality), SINR

(signal to interferece noise ratio) 등을 측정할 수 있다. 하지만 이동통신 계측 전용 단말은 가격이 비싸고 구하기 어려울 뿐만 아니라 측정 결과의 분석이 실시간으로 이루어지기 어렵다. 또한 드론이 이동하는 경로를 따라 특정 데이터들을 수집할 때 특정 고도에서 전반적인 통신 품질 및 전파의 세기를 시각화하기 어려운 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 드론에 상용 스마트폰과 PC를 탑재하여 소형, 경량, 저비용으로 상공의 이동통신 전파맵을 지상에서 실시간으로 확인할 수 있는 측정시스템을 설계하고 이를 구현하였다. 드론에 탑재된 스마트폰은 기지국 정보와 LTE와 5G 이동통신 기지국 하향링크의 대표적인 품질지표인 RSRP, RSRQ, SINR의 값을 수집할 수 있도록 안드로이드(Android) 애플리케이션을 자체 제작하였다. 수집된 이동통신 품질 데이터와 GPS 위치정보는 드론에 탑재된 소형 PC를 통해 결합되어 Wi-Fi 링크로 지상에 보내지게 되고, 지상의 PC에서는 이 데이터를 이용하여 Python 프로그램으로 상공의 고도별 이동통신 전파맵을 실시간으로 시각화하는 기능을 제공한다. 이 때 스마트폰에서 제공하는 통신 품질 데이터와 GPS 데이터와의 동기화를 통해 특정지역에서의 전파데이터를 보간함으로써 특정고도의 2차원 평면에서의 전파 특성을 빠르게 시각화할 수 있었다. 제안한 방법은 드론이 움직이는 고도에서의 상공 전파맵을 지상에서 실시간으로 빠르게 파악할 수 있었으며, 이는 향후 UAM 환경에서 이동통신망의 최적 구성, 전파음영 지역의 빠른 판단 등에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 드론 기반의 전파맵 측정시스템의 요구사항과 시스템 설계에 대해 설명하고, 제 III장에서는 측정시스템이 어떻게 구현되었는지 설명한다. 제 IV장에서는 측정결과를 제시하고, 제 V장에서 결론 및 기대효과를 기술한다.

II. 측정 시스템 요구사항 및 설계

2.1. 상공 이동통신 전파맵 요구사항

상공에서 드론이나 UAV를 사용한 이동통신망의 전파 특성을 측정하는 시스템은 모든 측정시스템을 차량 등에

신고 다니거나 휴대할 수 있는 지상의 전파측정 시스템과는 다른 요구사항을 가지게 된다. 먼저, 드론이나 UAV는 배터리로 동작하므로 측정시스템은 경량이면서 저전력으로 동작해야 한다. 또한, 드론은 운행시간에 제한이 있으므로 미리 정해진 궤도를 이동하면서 빠른 시간 넓은 범위의 측정이 이루어져야 한다. 또한, 음영지역이 발생하면 해당 지역은 좀 더 자세히 조사할 수 있어야 한다.

이에 본 연구에서는 고도를 고정하고 정해진 2차원 평면을 ‘ㄷ’자 모양으로 빠르게 이동하면서 특정 지역의 전파특성을 측정하여 지상으로 송신하도록 하였다. 지상에서는 수신된 측정 데이터를 기반으로 실시간으로 전파맵을 만들게 된다. 만약 음영지역이 존재함을 확인하였다면, 해당 지역은 드론을 조정하여 정밀하게 측정할 수 있는 시스템 구성을 고려하였다.

상공 전파맵의 빠른 구성을 위해서 표 1의 통신신호 품질 평가 기준을 이용하였다. 표 1의 기준은 기지국 하향 링크에서 측정된 RSRP, RSRQ, SINR의 3가지 기준신호만을 이용하여 이동통신 서비스가 가능한 상태를 4개의 상황으로 나눈 것이다. 해당 지표는 3GPP 표준에서 정의되고 지상망에서 일반적으로 사용되는 방법이다⁴⁾. 여기서 RSRP는 기지국의 참조 신호 수신 전력 레벨을 나타내며, -80 dBm 이상일 경우 우수한 품질로 평가된다. 이는 고도가 높아질수록 신호 감쇠로 인해 RSRP가 낮아질 수 있다. RSRQ는 신호 강도 대비 품질을 평가하며, 간섭이 많을수록 값이 낮아진다. 특히, 도심 환경에서는 간섭이 많아 RSRQ가 저하될 가능성이 크다. SINR은 신호 대 간섭비를 나타내며, 20 dB 이상일 경우 우수한 품질을 의미하지만, -10 dB 이하에서는 데이터 전송이 원활하지 않을 수 있다. 상공에서는 다중경로(multipath) 간섭에 따라

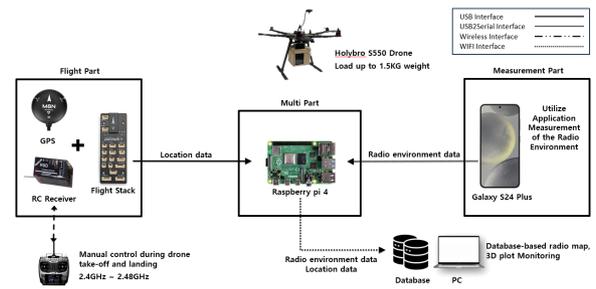
표 1. LTE/5G 이동통신 신호품질 기준
Table 1. Classification of LTE/5G mobile communication signal quality.

Analysis	RSRP[dBm]	RSRQ[dB]	SINR[dB]
Excellent	≥ -80	≥ -10	≥ 20
Good	-80 ~ -90	-10 ~ -15	13 ~ 20
Mid Cell	-95 ~ -100	=15 ~ -20	0 ~ 13
Cell Edge	≤ -100	≤ 20	≤ 0

SINR 값이 달라질 수 있으며, 고도에 따라 변화하는 간섭을 분석하는 데 중요한 역할을 한다. 이렇게 구현된 상공 전파맵을 이용하여 드론이 비행할 때 특정 위치에서 cell edge로 판별되면 해당 위치는 음영지역의 가능성이 있으므로 실시간으로 드론 조종사에게 알려주어 드론 조정으로 해당 지역에 대한 좀 더 자세한 측정이 가능하도록 하였다. 이러한 방식을 통해 특정 고도에서 전파맵을 효율적으로 구성할 수 있다.

2.2 전파 측정시스템의 구성

2.1절에서 고려한 상공 이동통신 전파채널 측정시스템의 요구사항을 고려하여 본 논문에서 설계한 측정시스템의 구성은 그림 1과 같다. 먼저 교육용으로 많이 사용되



(a) 블록도
(a) Block diagram



(b) 제작된 측정시스템 사진
(b) Photograph of measurement system

그림 1. 제안한 이동통신 전파환경 측정시스템 개념도
Fig. 1. Proposed mobile communication radio channel analysis system block diagram.

는 S550 드론을 사용하였으며 해당 드론은 최대 1.5 kg의 무게의 수하물을 운반할 수 있다. 이러한 무게 내에서 드론 조정을 위한 수신기와 제어기, 스마트폰, PC, GPS 수신기 등이 포함되어야 하므로 그림 1과 같이 전파측정 시스템을 구성하였다. 먼저 LTE나 5G 전파 특성을 수신하는 상용 단말로 갤럭시 S24+ 스마트폰을 사용하였고, 데이터 처리 및 송신을 담당할 PC는 경량화를 고려하여 Raspberry pi 4를 선정하였다. 드론의 모터나 프로펠러 영향 등의 간섭 요인을 최소화하기 위하여 플라스틱으로 기구물을 만들어 드론 하부에 장착하였다¹⁾.

스마트폰이 상공에서 이동통신망 신호품질 데이터를 수신하면 Raspberry pi 4 PC로 보내지고, 이 때 GPS 위치 데이터와 결합하여 지상으로 전송된다. 드론에서 지상으로 신호를 보낼 때만 Wi-Fi 무선통신을 사용하고 그 외 모든 과정은 유선통신을 이용하였다. 이는 전파측정 시 기지국 하향 링크 외에 따른 무선신호가 없도록 하여 부정확한 측정 오류가 생길 가능성을 방지하기 위함이다. 예를 들어 스마트폰에서 소형 PC로 통신품질 데이터를 전송하는 과정은 RS232 기반의 유선 직렬통신으로 수행하도록 구성하였다.

마지막으로 Wi-Fi로 수신된 드론의 위치 데이터와 이동통신 하향링크 신호 품질 데이터는 MariaDB에 업로드됨과 동시에 지상의 PC에서 실시간으로 전파맵을 시각화하게 된다.

III. 측정 시스템의 구현 및 측정 과정

3-1 안드로이드 APP 구현

본 연구에서 사용한 스마트폰의 운영체제는 안드로이드이므로 Android Studio의 Kotlin 환경에서 애플리케이션을 개발하였다. 애플리케이션의 동작은 먼저 스마트폰에 탑재된 USIM을 자동으로 인식하여 통신사를 식별한다. 이후 TelephonyManager API를 활용하여 기지국에서 수신되는 통신품질 데이터를 확인하고, EARFCN(주파수 채널 번호) 값⁶⁾을 기반으로 사용자가 선택한 주파수 대역의 신호 품질 데이터가 소형 PC로 보내지게 된다. 이는 그림 2와 같이 사용자가 원하는 주파수 대역을 선택할 수 있는

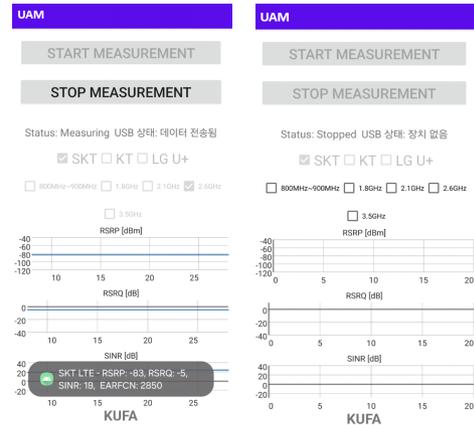


그림 2. 이동통신망 측정 애플리케이션 화면
Fig. 2. Application ui designed by android program

체크박스 UI를 제공하여 사용자 친화적인 환경을 구현하였다. 이렇듯 사용자는 특정 대역, LTE와 5G 방식을 선택한 후 측정 시작 버튼을 누르면 측정이 시작되며 실시간으로 수집된 데이터는 1차원 그래프로 시각화되어 각각의 통신품질 파라미터(RSRP, RSRQ, SINR)의 변화를 확인할 수 있다.

스마트폰에서 측정된 통신품질 데이터는 전파환경의 변화가 있을 때만 갱신되는데 본 연구에서는 데이터의 변화가 없더라도 GPS 샘플링 속도 5 Hz를 기준으로 0.2 초마다 최근에 갱신된 전파환경 데이터를 소형 PC에 전송하도록 구현하였다.

3-2 소형 PC 프로그래밍

전파맵을 측정할 때 드론이 지속적으로 이동하고 있으므로 드론의 위치를 계산하기 위해 GPS 데이터가 필요하다. 스마트폰에도 GPS가 내장되어 있으나, 스마트폰은 전파환경 데이터를 측정하는 역할만 수행하도록 하여 별도의 외장 GPS를 드론의 상단에 폴 형태로 설치하였다. 외장 GPS에서 제공하는 위치데이터와 스마트폰에서 전송된 전파환경 데이터 매핑하고 Wi-Fi를 통해 지상 데이터베이스에 업로드하기 위해 별도의 PC를 사용하였다. 지상의 데이터베이스에 업로드하는 과정을 PC가 수행하는 이유는 스마트폰이 다른 통신망(Wi-Fi, LTE, 5G 등)을 통해 데이터를 송신하게 되면 송신 신호와 수신 신호 간

의 간섭이 발생할 수 있으므로 이를 막기 위함이다. 즉, 스마트폰은 이동통신 하향링크 수신하는 데 집중하고, 데이터 가공 및 업로드는 PC가 담당함으로써 전파맵의 정확도를 보장하도록 하였다.

사용된 PC는 Raspberry pi 4로 라즈비안(raspbian) 운영체제 환경에서 동작하며, Python 언어를 활용하여 해당 기능을 구현하였다. 이때 데이터의 동기화를 위해 GPS 샘플링 속도 5 Hz를 기준으로 데이터를 갱신한다. 이러한 과정을 거쳐 데이터베이스에 업로드된 데이터 포맷은 그림 3과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 각 컬럼은 측정 순서(id), 신호 세기(RSRP), 신호 품질(RSRQ), 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR), 주파수 채널 번호(earfcn), 위도(latitude), 경도(longitude), 고도(altitude)를 의미한다.

3-3 전파환경 데이터 시각화

전파맵을 구성하기 위한 기본적인 데이터가 데이터베이스에 수집이 되었으나 드론의 운행 경로에 따라 직선으로 운행할 때의 측정 간격과 수직으로 방향을 조절할 때의 측정 간격이 달라지게 된다. 또한, 드론이 바람의 영향으로 측정하지 못한 영역이 존재할 수 있게 된다. 따라서 이런 지역을 주변 지역의 측정값을 바탕으로 추정하는 **cubic spline interpolation**^[7] 알고리즘을 적용하였다. 그림 4에 본 연구에서 전파맵을 구성할 때 사용한 보간 알고리즘의 개념도를 보여주며, 측정되지 않은 영역이 존재할 경우 인접 영역의 데이터를 활용하여 전파품질의 값을 추정하게 된다. 추정은 지사의 PC에서 데이터베이스에 업로드된 측정

id	RSRP	RSRQ	SINR	earfcn	latitude	longitude	altitude
588	-77	-8	-1	2850	37.6108811	126.9965865	128.61
589	-77	-8	12	2850	37.6108816	126.9965849	128.54
590	-77	-8	12	2850	37.6108815	126.9965846	128.54
591	-76	-12	12	2850	37.6108813	126.9965846	128.56
592	-76	-12	12	2850	37.6108875	126.9965872	128.75
593	-76	-12	12	2850	37.6108886	126.9965874	128.77
594	-76	-12	12	2850	37.6108918	126.9965877	128.75
595	-76	-12	12	2850	37.6108935	126.9965882	128.73
596	-76	-12	12	2850	37.6108953	126.9965882	128.67
597	-76	-6	12	2850	37.6108971	126.9965878	128.61
598	-76	-6	12	2850	37.6109009	126.9965878	128.55
599	-76	-6	12	2850	37.6109025	126.9965878	128.52
600	-76	-6	12	2850	37.6109037	126.9965878	128.48
601	-76	-6	12	2850	37.6109077	126.9965888	128.61
602	-76	-6	12	2850	37.6109083	126.9965868	128.61

그림 3. 데이터베이스에 업로드된 데이터 포맷
Fig. 3. Database upload data format.

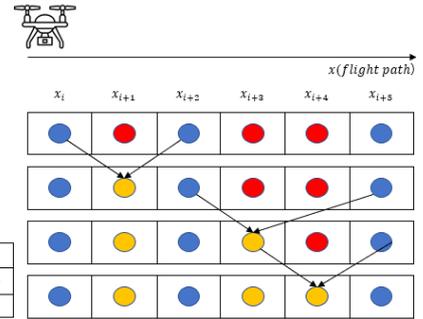
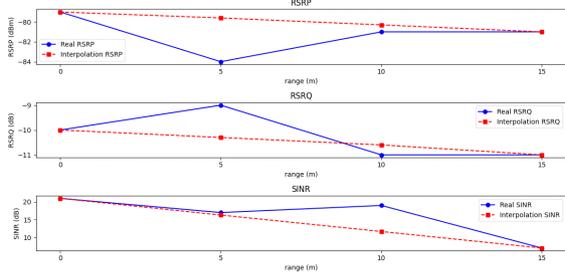


그림 4. 보간 알고리즘 개념도
Fig. 4. Interpolation algorithm concept map.

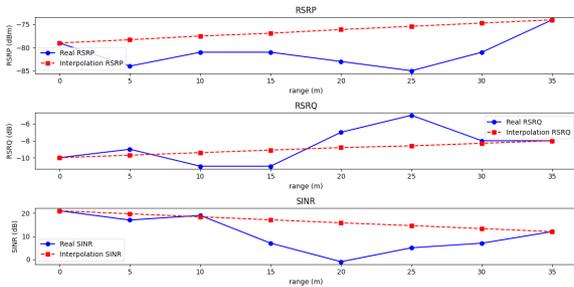
값을 바탕으로 측정되지 못한 위치에서의 RSRP, RSRQ, SINR의 값을 각각 추정하는 방법을 사용하였다.

추정이 완료되면 모든 영역에서의 데이터가 확보되어 전파환경 데이터의 시각화가 가능하다. 이때 각 격자에서의 각각의 지표의 평균값을 계산해 전파맵을 시각화하였다. 이를 전파맵이라고 명칭하였으며 특정 고도에서 2차원 평면을 격자구조로 나눈 후 색으로 구분하여 전파특성의 점진적인 변화를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 표 1을 바탕으로 음영지역만을 별도로 표시하는 전파맵을 생성하였다. 이러한 시각화 방법을 통해 상공의 전파특성을 드론의 운행과 함께 실시간으로 관찰할 수 있을 뿐만 아니라 사후 분석을 통해 전파환경 개선에 필요한 데이터를 제공할 수 있도록 하였다.

제안한 **cubic spline interpolation** 기법의 정확도를 평가하기 위해, 특정 영역의 실제 측정된 값과 보간된 값을 비교하는 과정을 진행하였다. 그림 5는 보간의 기준점 사이의 거리를 10 m와 30 m로 설정하여 비교 평가를 수행한 결과로 기준점 간 거리가 증가할수록 RMSE(root mean square error) 값이 상승하는 경향을 보였다. 이는 해당 기법이 시작점과 끝점 사이의 변화를 곡선으로 반영하지만, 거리 간격이 멀어질수록 국지적인 신호 변동을 포착하지 못하여 보간 오차가 증가하는 것으로 해석된다. 이러한 결과는 항공기와 같이 빠르게 이동하여 전파 환경이 시공간적으로 급격히 변화하는 환경에 있어서 신뢰도 높은 데이터를 확보하는데 한계점이 존재한다. 따라서 보다 정밀한 데이터 보정을 위해 추가적인 보조 시스템 및 추가 알고리즘이 요구된다. 이를 해결하기 위한 연구의 일환으



(a) 15 m 범위까지의 RSRP, RSRQ, 및 SINR 변화
(a) RSRP, RSRQ, and SINR variations to 15 m range



(b) 30 m 범위까지의 RSRP, RSRQ, 및 SINR 변화
(b) RSRP, RSRQ, and SINR variations to 30 m range

Metric	10m	30m
RSRP RMSE	3.15	6.34
RSRQ RMSE	0.96	1.96
SINR RMSE	5.21	9.34

(c) 거리에 따른 RSRP, RSRQ, 및 SINR의 평균제곱근오차
(c) RMSE of RSRP, RSRQ, and SINR over distance

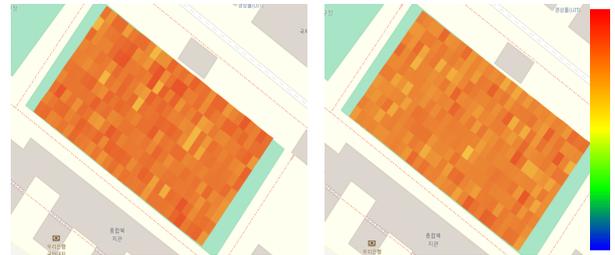
그림 5. 거리 차이에 따른 RMSE 및 파라미터 변화
Fig. 5. Changes in RMSE and parameters according to distance differences.

로 현재 SDR(software-defined radio)을 기반으로 기지국 OFDM 신호의 I/Q 데이터를 후처리하여 보다 높은 정확도의 데이터를 실시간으로 확보하는 작업을 진행중에 있다.

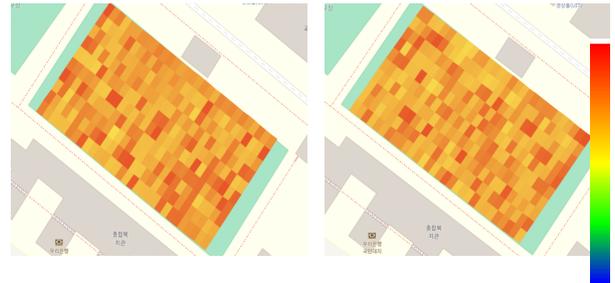
IV. 상공 전파맵의 생성 결과

본 연구에서 제시한 측정시스템의 타당성을 검증하기 위해 국민대학교 운동장에서 드론을 활용하여 SKT 통신사의 이동통신망 전파환경을 측정하고 분석하였다. 드론의 속도를 직선 운행할 경우 약 3 m/s로 유지하였고, oo 대학교 운동장 전체를 ‘ㄷ’자 모양으로 왕복하는 경로를

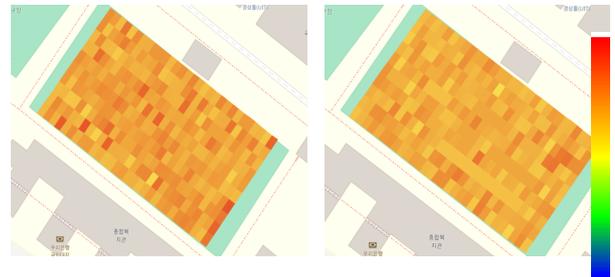
주행하였다. 고도는 각각 10 m와 20 m로 차이를 두어 측정을 진행하였으며, 주파수 대역은 저주파 대역과 고주파 대역의 확연한 차이를 관찰하기 위해 874~884 MHz, 2.62~2.64 GHz 및 2.66~2.68 GHz, 3.6~3.7 GHz 총 3개의 대역에서 측정을 진행하였다. 각각의 대역을 고도별로 측정하여 총 6번의 측정을 수행하였으며, 수집된 데이터는 각 주파수 대역 및 고도에 따라 시각화가 진행된다. 이에 대한 전파맵은 그림 6과 같다.



(a) 874~884 MHz, 고도 10 m, 20 m
(a) 874~884 MHz, Altitude 10m, 20 m



(b) 2.62~2.64 GHz 및 2.66~2.68 GHz, 고도 10 m, 20 m
(b) 2.62~2.64 GHz and 2.66~2.68 GHz, Altitude 10 m, 20 m



(c) 3.6~3.7 GHz, 고도 10 m, 20 m
(c) 3.6~3.7 GHz, Altitude 10 m, 20 m

그림 6. 고도와 주파수 대역에 따른 전파맵 예
Fig. 6. Radio map by elevation and frequency band.

고도 10 m와 20 m에서 각 주파수 대역의 전파맵을 비교한 결과, 주파수 대역이 높아짐에 따라 전파환경이 악화되는 경향을 확인할 수 있다. 그러나 고도에 따른 전파환경의 차이는 뚜렷하지 않았으며, 이는 이동통신 기지국이 건물 옥상에 위치함에 따라 10 m의 고도 차로는 전파환경에 유의미한 영향을 미치지 않음을 보여준다. 이렇듯, 경로를 따라 이동하며 작성된 전파맵은 각 파라미터의 변화를 3D Plot를 통해 더 세부적으로 분석할 수 있다. 이는 그림 7과 같다.

그림 7의 x축과 y축은 전파맵을 작성할 때 영역을 구분 하였던 2차원 배열의 Index이며, z축은 전파환경을 측정된 고도를 나타낸다. 전파환경의 품질을 결정하는 각 파라미터를 세부적으로 분석해본 결과, 고주파 대역으로 갈수록 RSRP와 RSRQ의 품질은 상대적으로 안정적인 반면, SINR의 품질이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 이는 고주파 대

역이 간섭과 잡음에 민감하다는 점을 예측할 수 있다. 고주파 대역은 동일 채널 및 인접 채널 간섭의 영향을 크게 받을 가능성이 높으며, 다중 경로 페이딩으로 인한 신호 간섭 효과도 두드러질 수 있다. 또한, 고주파는 장애물을 통과하기 어려워 가시선(line-of-sight) 여부에 따라 품질 변동이 심화될 수 있다. 이러한 결과로 고주파 대역 활용 시 간섭 관리와 환경적 최적화가 필요함을 알 수 있다.

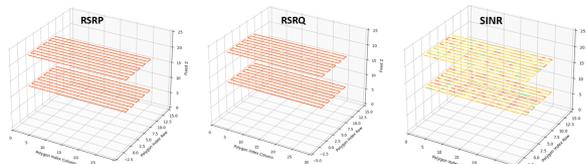
현재의 측정 결과는 예산 관계로 작은 드론을 사용하였기 때문에 높은 고도를 비행하는데 한계가 존재하여서 음영지역을 관찰하거나 고도에 따른 전파특성의 급격한 변화를 확인할 수 없었다. 하지만 본 연구에서 제시한 방법을 통해 드론의 운행과 함께 실시간으로 상공의 전파환경을 관찰할 수 있었다. 이렇듯, 드론의 비행경로가 바람 등의 영향으로 예측한 경로에 차이가 있더라도 해당 지역 전체의 전파맵을 구성할 수 있음을 확인하였다는데 의의가 있다고 사료된다. 향후 20 m 이상의 더 높은 고도를 안정적으로 비행할 수 있는 드론과 중장거리 통신 프로토콜을 사용하여 상공의 전파환경의 변화를 좀 더 확실하게 볼 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

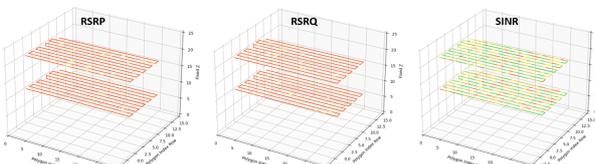
본 연구에서는 스마트폰과 소형 PC를 결합하여 상공의 이동통신 채널을 분석하는 저비용 경량 시스템을 구현하였다. Android 기반 애플리케이션과 Python 기반의 모니터링 프로그램을 활용하여 실시간으로 이동통신망의 전파환경이 지도에 매핑되는 것을 확인하였다. 이러한 시스템은 직관적인 사용자 인터페이스(UI)를 제공하여 전문적인 지식이 부족한 사용자도 손쉽게 운용할 수 있다. 또한, 저비용·경량화된 구현을 통해, 지상과 달리 고도별로 다양한 영역을 측정해야 하는 상공 환경에서 전파품질 평가에 소요되는 시간과 비용을 효과적으로 절감할 수 있다. 향후 다양한 고도, 통신사, 주파수 대역에 대한 추가 실험과 간섭 관리 기술을 적용한 분석을 통해 이동통신망 전파 특성 분석 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

References

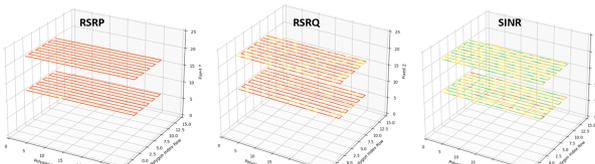
- [1] C. H. Kim, J. H. Ahn, and J. Y. Kang, "CNS/ATM



(a) 874~884 MHz, 고도 10 m, 20 m
(a) 874~884 MHz, Altitude 10 m, 20 m



(b) 2.62~2.64 GHz 및 2.66~2.68 GHz, 고도 10 m, 20 m
(b) 2.62~2.64 GHz and 2.66~2.68 GHz, Altitude 10 m, 20 m



(c) 3.6~3.7 GHz, 고도 10 m, 20 m
(c) 3.6~3.7 GHz, Altitude 10 m, 20 m

그림 7. 고도와 주파수 대역에 따른 경로별 3D Plot
Fig. 7. 3D path plot by elevation and frequency.

- capability and RNP RNAV operations," *Journal of the Aviation Management Society of Korea*, vol. 4, no. 2, pp. 87-96, Dec. 2006.
- [2] UAM Team Korea, *K-UAM Concept of Operations 1.0*, Sejong, Korea, MOLIT, 2021.
- [3] K. Kang, H. W. Kim, G. Mun, and D. Kim, "3D aerial LTE quality measurement and analysis for UTM communication," *Korea Institute of Communication Sciences*, vol. 47, no. 1, pp. 66-75, Jan. 2022.
- [4] B. J. Kim, "The analysis of the relationship between the throughput and the wireless channel conditions of a LTE mobile communication system," *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 2, pp. 219-226, Feb. 2015.
- [5] J. Choi, J. Kim, "Analysis of optimum antenna placement considering interference between airborne antennas mounted on UAV," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 52, no. 6, pp. 32-40, Jun. 2015.
- [6] E-UTRA, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Base Station(BS) Radio Transmission and Reception*, 3GPP TS 36.104 v17.6.0, 3GPP, Jul. 2022.
- [7] Y. A. Ahn, J. S. Park, and K. H. Ryu, "Location prediction of mobile objects using the cubic spline interpolation," *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 31, no. 5, pp. 479-491, Oct. 2004.
- [8] I. O. Seon, H. Jang, and J. Baek, "Improvement and performance evaluation of handover call control scheme in mobile communication network," *Journal of Engineering Technology*, vol. 15, no. 3, pp. 123-130, Sep. 2022.

장 해 찬 [국민대학교/학부과정]

<https://orcid.org/0009-0008-1045-7553>



2020년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 재학
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템 전파 응용

백 명 현 [국민대학교/학부과정]

<https://orcid.org/0009-0006-7852-5044>



2020년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 재학
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템 전파 응용

김 은 수 [국민대학교/학부과정]

<https://orcid.org/0009-0008-1452-9155>



2022년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 재학
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템 전파 응용

한 주 성 [국민대학교/학부과정]

<https://orcid.org/0009-0001-1841-5568>



2020년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 재학
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템 전파 응용

장 병 준 [국민대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5295-6050>



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2013년 9월~2015년 8월: 미래창조과학부 민간전문가(CP)

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용