

실제 지형과 기지국 배치를 고려한 UTM 통신을 위한 LTE 통신망 3차원 커버리지 분석

3D Coverage Analysis of LTE Network for UTM Services Considering Actual Terrain and Base Station Layouts

장민석¹ · 김대호² · 김희욱² · 정영호^{1*}

¹한국항공대학교 항공전자정보공학부

²한국전자통신연구원 무인이동체연구실

Minseok Jang¹ · Daeho Kim² · Hee Wook Kim² · Young-Ho Jung^{1*}

¹School of Electronics and Information Engineering, Goyang 10540, Korea

²Unmanned Vehicle System Research Section, ETRI, Daejeon 34129, Korea

[요 약]

150m 이하의 저고도 영역에서 LTE (long-term evolution), 5G 등 상용 통신망을 이용한 드론 등 무인기 안전 운항을 위한 무인비행 장치 교통관리 (UTM: unmanned aircraft system traffic management) 서비스가 여러 국가에서 연구 중에 있다. 본 논문에서는 국내 지형환경과 실제 이동통신 기지국 배치 상황에서 지상 사용자를 위한 LTE 셀룰러 네트워크를 이용하여 UTM 서비스를 위한 3차원 커버리지 확보가 가능한지 여부를 모의실험을 통해 분석하였다. 고도가 높아질수록 가시선 (LOS: line of sight) 간섭 기지국 수가 증가하여 신호대 간섭 잡음 전력비 (SINR: signal to interference plus noise ratio)가 나빠지나, 150m 이내 고도에서 일부 영역을 제외하고는 커버리지 확보가 가능함을 확인하였다. 음영지역에 대해서는 해당 영역 커버리지 보완을 위한 적은 수의 추가 기지국 배치로 음영지역 감소가 가능함을 확인하였다.

[Abstract]

Unmanned aircraft system traffic management (UTM) service for the safe operation of unmanned aerial vehicles (UAV) such as drones using commercial communication networks such as long-term evolution (LTE) and 5G in low-altitude areas of 150m or less is being studied in several countries. In this paper, whether it is possible to secure three-dimensional (3D) coverage for UTM service using the existing LTE cellular network for terrestrial users is analyzed through simulations. The practicality in the real environment is confirmed by performing performance analysis in the actual topographical environment and the LTE base station layouts in Korea. According to the analysis results, as the altitude increases, the number of line-of-sight (LOS) interference base stations increases, resulting in a worse signal to interference plus noise ratio (SINR), but coverage is secured except for the limited areas within 150m. was confirmed to be possible. In addition, it is confirmed that a significant proportion of outage areas could be reduced by placing a small number of additional base stations for the outage area.

Key word : Coverage analysis, UAS, UAV communication, UTM.

<https://doi.org/10.12673/jant.2022.26.2.91>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 5 April 2022; Revised 6 April 2022
Accepted (Publication) 20 April 2022 (30 April 2022)

*Corresponding Author ; Young-Ho Jung

Tel: +82-02-300-0415

E-mail: yjung@kau.ac.kr

1. 서론

드론을 포함한 무인기는 조종사가 탑승하지 않으므로 기존 유인 항공기와 지상구조물과의 충돌위험 뿐만 아니라, 무인기 간의 충돌 위험을 회피하며 안전 운항을 보장하기 위해서는 무선 통신 링크를 이용하여 제어 신호를 전송하여 조정이 가능하거나 자율적으로 비행해야 한다. 따라서 높은 신뢰도의 제어 통신은 무인항공시스템(UAS: unmanned aircraft system)의 구성에 있어서 필수적으로 필요한 요소 중의 하나이다.

제어 통신링크에서 전달해야하는 정보는 기체에 대한 원격 조종을 위한 직접 명령 제어 (C2: command and control) 메시지 뿐만 아니라 주변 유무인 항공기 정보, 비행계획, 동적 비행 제한 사항 등 안전 운항에 필요한 정보와 기체의 위치, 속도, 센서 정보 등 비행상태 모니터링을 위한 정보를 모두 포함한다.

유인기가 운항하는 공역이 아닌 저고도 공역상에서의 무인기 운항을 위한 서비스로 무인비행장치 교통관리 (UTM: unmanned aircraft system traffic management) 시스템과 도심항공모빌리티 (UAM: urban air mobility) 시스템이 있다.

UAM은 수직이착륙 (VTOL: vertical takeoff and landing) 기체를 활용하여 300m ~ 600m 고도에서 드론택시, 물류 배송 등 서비스 제공을 위한 관제 솔루션을 제공하는 것이 목표이다 [1]. 본 논문에서 고려하는 UTM의 경우 150m 이하의 저고도 비관제 공역에서 실시간으로 무인기의 위치를 확인하고 비행 경로를 사전 분석하여 이착륙을 허가하는 등 무인기의 안전 운항을 위한 저고도 무인기 자동 관제 솔루션을 제공하는 것이 목표이다 [2]. ICAO, 미국 항공우주국 (NASA)와 연방항공국 (FAA), 유럽 EUROCAE 등 세계 20여국의 다양한 기관에서 UTM 운용 개념 (ConOps: concept of operation)부터 실증 연구까지 활발하게 이루어지고 있다 [3]-[5]. 국내에서는 항공안전기술원 주관으로 2017년부터 ‘무인 비행장치의 안전 운항을 위한 저고도 교통관리체계(UTM) 개발 및 실증 시험’과제를 진행중이고, 한국전자통신연구원 (ETRI)은 상기과제의 참여기관으로 2020년부터 ‘저고도 무인비행장치 교통관리 인프라 설계 및 구축’과제를 진행하는 등 다양한 연구와 실증 시험이 이루어지고 있다 [6].

그림 1은 한국형 UTM 시스템인 K-드론시스템의 운용 개념도이다 [7]. 무인기 C2 제어 메시지는 지상통제시스템에서 직접 무인기-UTM 통신 인프라를 통해 무인기에 전달되고, UTM 시스템에서 취합한 안전 운항에 필요한 정보는 동일한 무인기-UTM 통신 인프라를 통해 무인기에 전달된다. 각 무인기의 실시간 기체 정보는 무인기 → 지상국 링크를 통해 UTM 시스템에 전달된다. 갑작스러운 비행체 출현 등으로 인하여 기존 비행 계획 변경이 필요한 경우 UTM 시스템에서 취합된 정보를 바탕으로 결정하여 실시간으로 비행 제한 구역을 재설정하고, 바뀐 비행 계획 정보를 지상통제시스템과 무인기에 전달해야 한다.

UTM에서는 앞에서 살펴본 다양한 제어 정보 전송이나 임무용 데이터 전송을 위한 통신 링크는 별도 전용 통신망을

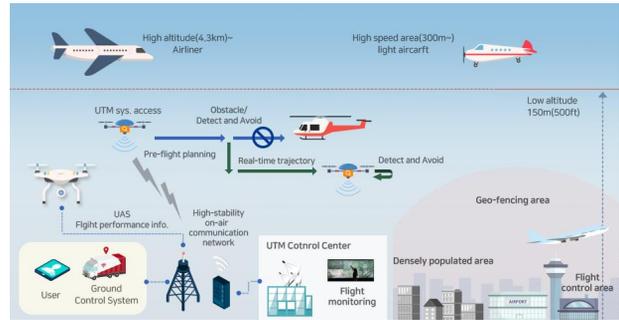


그림 1. UTM 운영 개념도
Fig. 1. Conceptual diagram of UTM operation

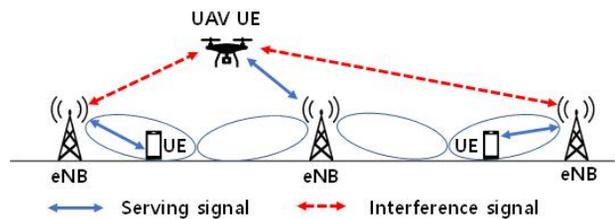


그림 2. 이동통신 기지국과 무인기 사이의 간섭 문제 개념도
Fig. 2. Conceptual diagram of the interference problem between the mobile base station and UAV

구축하지 않고, LTE (long term evolution)나 5G 이동통신과 같은 상용통신망을 이용한다. UTM 통제 센터 역할은 민간사업자 (USS: UTM service supplier)가 담당하고, 유인 관제사 없이 무인으로 자동 관제 서비스가 제공되어야 하므로 UTM 서비스 영역 전체에 대한 커버리지 확보가 필수적으로 필요하다.

UTM은 기존 이동통신 네트워크를 사용하므로 이동통신 표준을 개발하는 3GPP에서 6G 이동통신의 주된 응용분야 중 하나로 무인기를 포함한 공중 사용자를 고려하여, 커버리지를 확장하고자 하는 표준화 활동과 연구가 진행중이다 [8]-[15]. 또한, 유럽 EUROCAE와 미국 RTCA에서는 UTM 및 드론의 안전 운항을 위한 이동통신서비스의 최소성능요구사항에 관한 표준화가 진행 중에 있다.

기존 상용이동통신망을 이용하여 UTM을 지원하는데는 여러 가지 문제점이 있다. 고고도의 무인기 전용 네트워크를 위한 안테나 설계시에는 상공 방향으로 안테나를 틸팅하여 설계하기도 하나 [16], LTE를 비롯한 셀룰러 이동통신 시스템에서는 이동통신 지상 사용자를 고려하고, 인접 셀간 간섭을 줄여 주파수 재사용 효율을 높이기 위해 기지국의 안테나는 하향 방향으로 기울어져 있다. 이동통신 시스템은 UTM에서 고려하는 최고 고도 120~150m 영역을 고려하여 기지국 배치 및 안테나 설계가 된 것이 아니므로, 현재의 기지국 배치와 안테나 패턴으로는 안정적인 커버리지 확보가 어렵다. 특히 무인기의 고도가 높아질수록 지상 사용자와 다른 새로운 간섭 문제가 발생하게 된다. 셀룰러 하향링크 (기지국 → 무인기)에서는 무인기 고도가 높아지면서, 서비스를 받는 기지국 안테나 이득이 크지 않은 상황에서 가시선 (LOS: line of sight)인 주변 기지국 수가 많아져서

간접 신호의 전력이 커지는 문제가 있다. 이로 인해 고도가 높아질수록 신호대 간섭 잡음 전력비 (SINR: signal to interference plus noise ratio)가 나빠지게 되고, 기준 성능을 만족하지 못하는 영역의 비율이 높아지게 된다 [9], [17]. 셀룰러 상향링크 (단말 → 기지국)의 경우에는 간접신호의 변화는 없으나 고도가 높아질수록 안테나 이득이 크지 않아 수신 전력 감소로 인한 SINR 성능 저하 문제가 있다.

이러한 성능 저하 요소에도 불구하고 지상 사용자를 위한 현재의 이동통신 네트워크를 이용하여 150m 상공의 3차원 공간에 대해 UTM 서비스를 안정적으로 수행하기 위한 커버리지 확보가 가능한지 분석하는 것은 반드시 필요하고, 만약 기존 이동통신 기지국 배치만으로 충분한 커버리지 확보가 어려운 경우 기존 기지국 안테나 패턴 조정, 추가 기지국 설치 등 현실적인 보완 방법에 대한 연구도 필요하다.

UTM 서비스를 위한 3차원 커버리지 분석과 관련된 기존 연구의 경우 이상적인 가상의 기지국 배치 환경에서 모의실험을 통해 분석하거나 [9], [17], 제한적인 영역에 대해 드론이나 유인 항공기를 활용한 실제 측정을 통해 커버리지를 분석하였다 [9], [18]. 실제 기지국 배치 및 지형 특성을 반영하지 않은 모의실험을 통해서 실제 환경에서의 음영지역 등의 문제를 확인할 수 없고, 실측을 통해서 실시간 사용자 분포나 통신 용량 요구 상황을 알 수 없으므로, 통계적 분포 확인을 위해서는 많은 측정이 필요한 문제가 있다.

본 논문에서는 실제 지형환경과 기지국 배치를 반영하여 3차원 공간에서의 통신 성능을 예측할 수 있는 시뮬레이터를 개발하고, 이를 이용하여 기존 지상 사용자를 위한 LTE 네트워크가 150m 까지 영역에서 UTM 서비스를 위한 커버리지 확보가 가능한지 여부를 확인하였다. 모의실험 결과 일부 영역에서 음영지역이 존재하나 소수의 추가 기지국 설치를 통해 개선이 가능함을 확인하였다.

II. 실제 지형정보와 기지국 배치를 반영한 3차원 커버리지 분석 시뮬레이터 개발

2-1 실제 지형환경을 고려한 전파감쇠 예측 방법

디지털 지형 데이터는 인공 구조물을 제외한 지표면의 고저 변화 정보인 DEM (digital elevation model)과 건물, 숲 등의 고도 정보를 포함하는 DSM (digital surface model)으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 5m 해상도의 DSM을 이용하여 실제 지형환경을 모의실험에 반영하였다. 그림 3은 경기도 고양시 한국항공대 주변의 DSM 그림으로 언덕 등 지형뿐만 아니라 아파트 단지나 기타 건물들도 명확하게 식별 할 수 있다. 지형을 고려하여 전파 감쇠를 추정하기 위해 기지국과 무인기 사이의 단면의 고도를 보간법을 통해 추출하고, 지구 곡면의 영향을 보정한 후 TIREM (terrain integrated rough earth model) 기반 방법으로

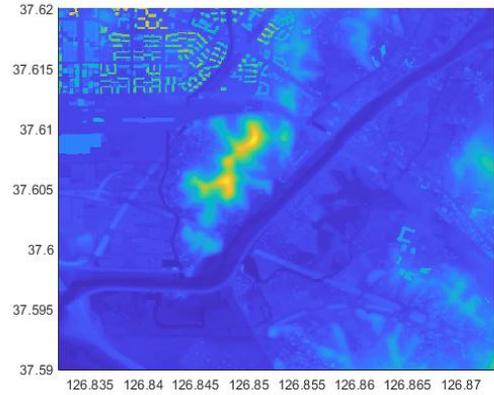


그림 3. DSM 예 (고양시 한국항공대학교 부근)
Fig. 3. An example of DSM (near Korea Aerospace University in Goyang-si)

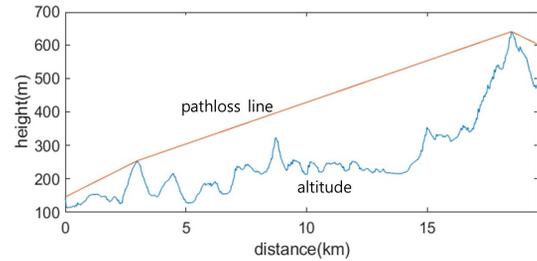


그림 4. 보간법을 통해 계산한 기지국과 무인기 사이 단면과 장애물 식별
Fig. 4. Cross-section and obstacle identification between transmitter and receiver through interpolation

전파감쇠 값을 계산하였다 [19]. 그림4는 보간법을 통해 추출한 단면의 고도와 이에 따른 장애물 식별 예이다. 송신기와 수신기 사이의 장애물이 전혀 없는 경우에는 자유공간 전파모델로 전파감쇠를 추정하고, 장애물이나 반사체가 있는 경우 회절 모델이나 다중 경로 모델을 적용하여 전파감쇠 값을 추정한다. 그림 4에서는 2개 이상의 장애물이 있어 다중 모서리 회절 모델 (multiple knife edge diffraction model)을 이용하여 전파 감쇠 값을 추정하게 된다.

2-2 실제 이동통신 기지국 배치 및 기지국 특성 반영 방법

KCA 전파누리 홈페이지에서는 지역별로 설치된 이동통신 기지국의 정보를 확인할 수 있다 [20]. 현재는 이동통신 사업자들의 요청으로 각 기지국을 설치한 사업자를 식별할 수 없으나, 2021년 상반기까지는 그림 5와 같이 각 사업자를 다른 색깔로 표시하여 구분할 수 있었다. 본 논문에서는 모의실험 영역의 동일 사업자의 기지국 정보를 수집하여 활용하였다. 기지국의 위치, 안테나 고도, 사용 주파수 대역, 송신 전력, 최대 안테나 이득 등의 정보는 확인 가능하나 안테나 이득 패턴, 틸팅 각도, 섹터 안테나 배치 각도 등의 정보는 알 수 없으므로 시뮬레이터 상에서 파라미터로 입력 받아서 조절 가능하도록 설계하였다.

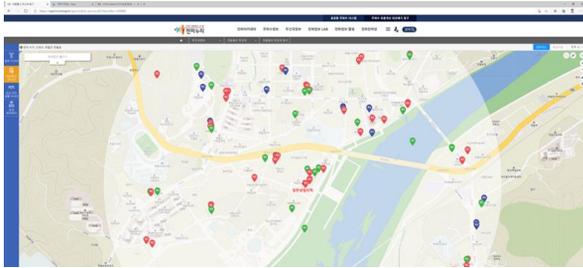


그림 5. KCA 전파누리에서 확인 가능한 실제 기지국 정보 [20]
 Fig. 5. Real base station information obtained at KCA spectrum map [20]

기지국 안테나 패턴은 수평, 수직 빔 폭을 기반으로 (1) - (3)의 계산 식을 이용하여 각 각도별 안테나 이득을 계산하여 이용하였다. [21],[22]. 여기서 θ 는 기지국에서 무인기 사이의 수직 방향 (elevation) 각도, ϕ 는 x 축의 양의 방향으로부터 기지국과 무인기의 위치가 이루는 직선을 xy 평면에 투영시킨 직선까지의 수평방향 (azimuth) 각도이다. $G_{v(\theta)}$, $G_{h(\phi)}$ 은 수직, 수평 안테나 이득, SLL_v 는 dB단위의 사이드 로브 레벨, FBR_h 는 dB단위의 최소 안테나 이득, BW_v 와 BW_h 은 각각 수직 수평방향 3dB 빔 폭, θ_{tilt} 는 하향방향 틸팅 각도이다.

$$G_{v(\theta)}(dBi) = \max[-12(\theta - \theta_{tilt}/BW_v)^2, SLL_v], \quad (1)$$

$$G_{h(\phi)}(dBi) = \min[12(\phi/BW_h)^2, FBR_h], \quad (2)$$

$$G(\phi, \theta) = G_{v(\theta)} + G_{h(\phi)} + G_m \quad (3)$$

송수신기 사이의 수평, 수직 각도가 주어지면 해당 위치에서의 dBi 단위의 최종 안테나 이득은 (3) 식과 같이 (1), (2)의 수직, 수평 안테나 이득 값에 해당 기지국의 최대 안테나 이득 G_m 값을 더하여 구할 수 있다.

2-3 모의 실험 방법

3차원 커버리지 분석은 상/하향링크가 간섭 상황이다 다르므로 모의실험 방법도 달라지게 된다. UTM 통신의 경우 기지국에서 무인기로 전송하는 하향링크 데이터의 비중이 크므로 본 논문에서는 하향링크 커버리지를 분석할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다. 그림 3과 같이 분석 영역의 DSM을 정하고, 실제 기지국 수집 정보를 이용하여 기지국을 배치한다. 커버리지 분석 지점은 분석 영역 위 3차원 공간을 가로-세로-고도를 미리 정해진 동일 간격의 격자점으로 나누어 커버리지 분석 위치를 미리 정하고, 해당 위치에서 배치된 각각의 기지국 방향으로의 안테나 이득 값을 반영하여 송신전력을 정하고, 그림4와 같이 각 기지국과 모든 분석 지점 사이의 단면을 추출하여 TIREM 전파 감쇠 예측 방법을 이용하여 각 지지국에서 송신한 신호에 대한 수신 전력 값을 예측한다. UTM에서 고려하는 고도는 해수면으로부터의 절대 고도가 아닌 지표면으로부터의 상대적 높이를 고려하므로, 같은 고도인 분석 포인트들은 해당 지형의

DSM 고도와 일치하는 형태를 갖는다.

분석영역 각 격자점에서는 전체 기지국 각각으로부터의 수신 전력을 갖고 있고, 주어진 대역폭에 대한 잡음 전력도 계산 가능하므로, 해당 격자점에서 각 기지국이 서비스하는 기지국으로 선택되었다는 가정하에서의 SINR을 계산할 수 있다. 총 N 개의 기지국이 있고, P_i 는 i 번째 기지국으로부터의 수신 전력 P_w 는 잡음 전력이라고 할 때 k 번째 기지국이 서비스 기지국인 경우의 SINR은 (4)와 같이 주어진다. 여기서 α 는 전체 자원 중 실제 패킷 전송에 이용되는 자원의 비율 (loading factor)로서, 이 비율에 비례하여 간섭으로 작용될 확률이 정해지게 된다.

$$SINR_k = \frac{P_k}{\alpha \cdot \sum_{n \neq k}^N P_n + P_w} \quad (4)$$

전체 기지국에 대해 SINR을 계산하고, SINR이 가장 높은 기지국을 기준으로 해당 격자점의 SINR과 서비스 기지국이 정해진다. 이러한 과정을 모든 격자점에 대해 반복하여 SINR을 분석하고, 기준 성능을 만족하지 못하는 음영지역의 위치와 비율, SINR에 대한 누적 분포함수 (CDF: cumulative distribution function), LOS 기지국 수 분포, 각 위치에서의 SINR 값 등의 결과 그림을 나타낼 수 있도록 하였다.

III. UTM 지원을 위한 기존 LTE 커버리지 분석 및 음영지역 감소 방안

3-1 모의 실험 환경

본 논문에서는 기존 LTE 망을 통해 UTM을 안정적으로 지원 가능한지 확인하기 위해 그림 3의 한국항공대학교 주변 위도 37.59 ~ 37.62, 경도 126.830 ~ 126.875 영역에 대해 고도 150m 이하 3차원 공간을 일정 간격의 격자점으로 나누어 분석 영역 위치를 미리 정하고, 하향링크 커버리지를 분석하였다. 분석 대상 격자점은 x, y, z 축에서 106, 106, 16으로 각각 정하였고, 총 179,776 개의 위치에 대해 분석을 실시하였다.

표1은 KCA 전파누리 홈페이지 [20]에서 얻은 파란색으로 표시된 사업자의 해당영역 1.8GHz 대역 LTE 기지국의 좌표이다. 모의실험에 사용한 안테나 패턴 설계 관련 파라미터, 송신 전력, 대역폭 등의 파라미터는 표2에 정리하였다.

3-2 모의 실험 결과

1) 기존 LTE 망을 통한 UTM 통신 지원 가능성 분석

표1에 있는 44개의 위치에 기지국을 배치하여 분석 영역 위 모든 격자점에 대해 전체 기지국으로부터의 수신 신호 전력을 계산하고, (4) 식과 같이 loading factor를 고려하여 SINR을 계산하였다. 추가로 각 분석 격자점에서 각 기지국과 LOS가 확보

표 1. 성능 분석 영역의 1.8GHz 대역 LTE 기지국 위치 (파란색 사업자)

Table. 1. Locations of 1.8 GHz LTE base stations in the performance evaluation region (blue service provider)

number	latitude	longitude	number	latitude	longitude
1	37.59182	126.83745	23	37.61322	126.83446
2	37.59311	126.86760	24	37.61323	126.83448
3	37.59320	126.86759	25	37.61358	126.84037
4	37.59321	126.85042	26	37.61361	126.84255
5	37.59334	126.86633	27	37.61362	126.83500
6	37.59517	126.85517	28	37.61524	126.86585
7	37.59561	126.86596	29	37.61525	126.85046
8	37.59590	126.83420	30	37.61527	126.83445
9	37.59617	126.85925	31	37.61528	126.84465
10	37.59863	126.84487	32	37.61539	126.84510
11	37.60111	126.84753	33	37.61605	126.84988
12	37.60185	126.83731	34	37.61608	126.83794
13	37.60448	126.86974	35	37.61624	126.84591
14	37.60519	126.86311	36	37.61740	126.83448
15	37.60765	126.86755	37	37.61743	126.83446
16	37.60783	126.86024	38	37.61743	126.84302
17	37.60794	126.86293	39	37.61745	126.83765
18	37.61025	126.87083	40	37.61807	126.84645
19	37.61032	126.85365	41	37.61811	126.83625
20	37.61032	126.85215	42	37.61814	126.86248
21	37.61112	126.85981	43	37.61818	126.83623
22	37.61315	126.83920	44	37.61854	126.84522

표 2. 모의 실험 파라미터

Table. 2. Simulation parameters

Parameters	Values
θ_{tilt}	-7°
antenna pattern	Formula (3 sector)
number of sectors	3
BW_v	30
BW_h	60
bandwidth	10Mhz
number of receiver antennas	2
noise PSD(dBm/Mhz)	-108
carrier frequency	1.8GHZ
SINR threshold	-2db
loading factor (α)	0.2
transmit power	43.01 dBm

가 되는지 여부도 확인하였다. 이를 바탕으로 고도별 SINR CDF 분포와 음영지역의 비율을 분석하였다. 그림 6은 고도별 SINR CDF를 나타낸 것이고, 그림 7은 기준성능을 만족하지 못하는 음영지역의 비율을 고도별로 나타낸 그림이다. [9], [17] 등 기존 연구결과와 유사하게 고도가 높아질수록 SINR이 나빠지고, 음영지역의 비율도 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 무인기의 고도가 높아질수록 해당 위치에서 LOS 링크가 존재하는 간섭 기지국 수가 증가하기 때문에 나타난 것으로 예측했으며, 실제 분석 결과에서도 그림 8에서와 같이 고도가 높아지면 LOS 기지국의 수가 점진적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

그림9는 분석한 모든 격자점 중에서 SINR이 -2dB 이하인 격자점을 빨간색으로 나타낸 것이다. 음영 지역의 비율은 3.17% 정도이고, 특정 영역에 집중하여 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 모의실험 결과를 통해 살펴볼 때 지상 사용자를 위한 기준

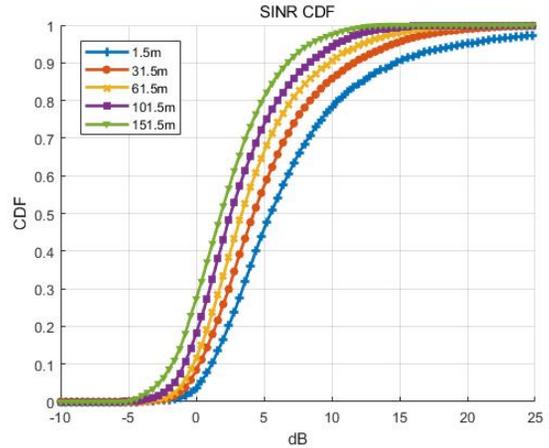


그림 6. 고도에 따른 SINR CDF

Fig. 6 SINR CDF according to the altitude variation

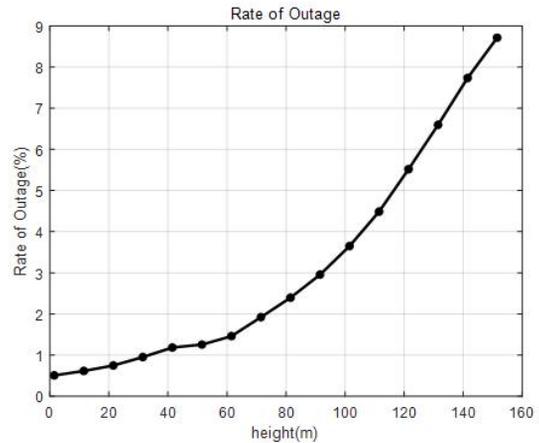


그림 7. 고도별 outage 영역 비율

Fig. 7 Outage ratio by altitude

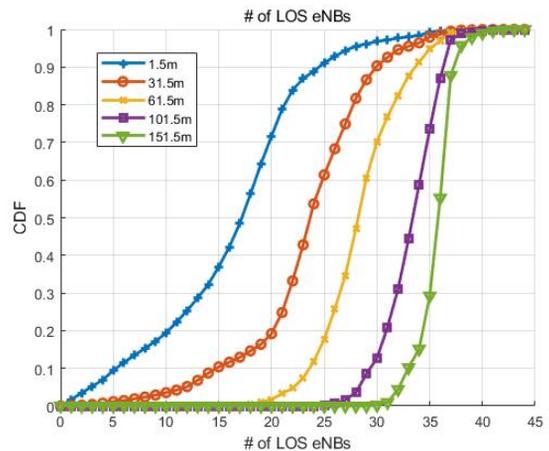


그림 8. 고도별 LOS 기지국 수 분포

Fig. 8. Distribution of the number of LOS base stations by altitude

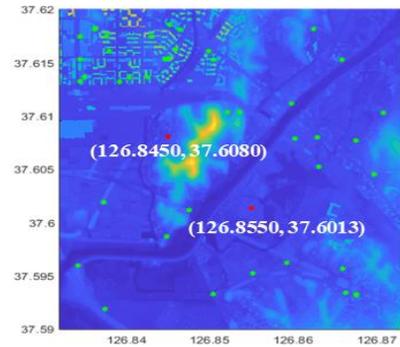
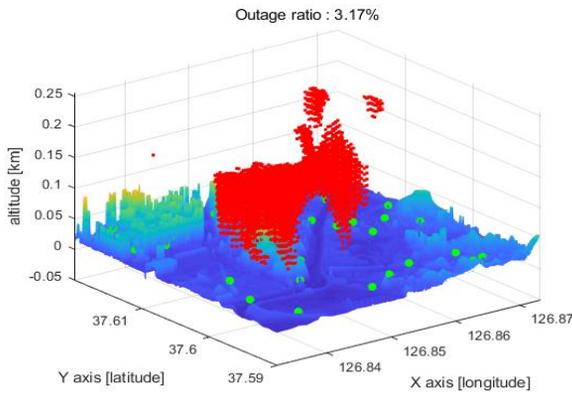


그림 10. 추가 기지국 위치
Fig. 10. Positions of additional base stations

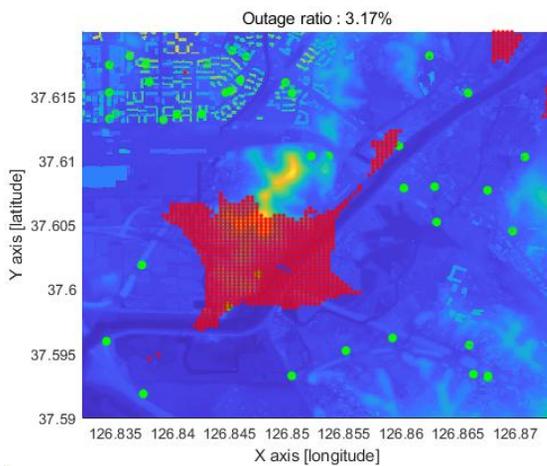


그림 9. 3차원 공간 상 음영지역 위치 및 비율
Fig. 9. Location of outage points and outage ratio

LTE 네트워크를 이용해서도 150m 이하의 대부분의 UTM 운영 영역에서 통신 커버리지 확보가 가능하나, 음영 지역에 대해서는 커버리지 확장을 위한 대책이 필요함을 알 수 있다.

2) 기지국 추가 배치에 따른 커버리지 변화 분석

앞에서 분석된 음영지역에 대한 성능 보안을 위해 전체 기지국의 틸팅 각도 변경 등도 고려 가능하나, 이는 지상 커버리지의 많은 변화를 야기하므로 본 논문에서는 소수의 추가 기지국 배치를 통해 3차원 음영지역에 대한 보완이 가능한지 여부를 살펴보았다. 그림 10과 같이 두 곳에 추가 기지국을 배치한 후의 음영지역의 변화를 살펴보았는데, 그림 11은 기존 지상사용자만을 고려한 기지국과 동일하게 하향 방향으로 7도 틸팅한 섹터 안테나를 가진 기지국을 배치했을 때의 음영지역 변화를 본 것이고, 그림 12는 고고도 영역의 아웃티지 영역 감소를 위해 상향 방향으로 10도 틸팅했을 때의 음영지역 변화를 본 것이다. 음영지역 비율이 추가 배치 전 3.17%에서 지상 사용자용 기지국과 동일한 기지국 추가 배치만으로도 1.09%까지 낮출 수 있고, 해당 기지국의 섹터 안테나 틸팅 각도를 윗방향 10도로

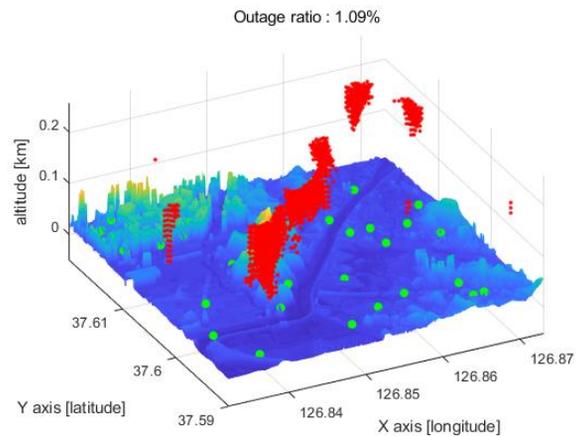


그림 11. 전용 기지국 추가 시 3차원 공간 상 음영지역 위치 및 비율 ($\theta_{tilt} : -7^\circ$)

Fig. 11. Location of outage points and outage ratio with additional base stations ($\theta_{tilt} : -7^\circ$)

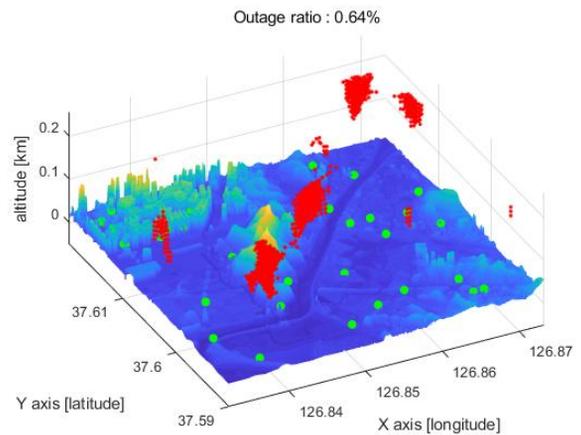


그림 12. 전용 기지국 추가 시 3차원 공간 상 음영지역 위치 및 비율 ($\theta_{tilt} : 10^\circ$)

Fig. 12. Location of outage points and outage ratio with additional base stations ($\theta_{tilt} : 10^\circ$)

변경하면 0.64%까지 낮출 수 있음을 확인할 수 있었다.

이를 통하여 UTM 서비스를 제공하는 3차원 공간 상의 음영 지역 지원을 위한 소수의 전용기지국 추가 배치와 안테나 패턴 최적화만 한다면 기존 지상 사용자를 위한 기지국에 대한 전면적인 변화 없이도 기존 셀룰러 통신 네트워크를 이용하여 UTM 서비스 제공이 가능함을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 건물, 산 등 실제 지형환경과 기지국 배치를 반영하여, 드론이나 유인항공기를 이용한 실측없이도 LTE 네트워크를 이용하여 UTM 서비스를 위한 커버리지 확보가 가능한지 여부를 높은 정확도로 예측할 수 있는 시뮬레이터를 개발하고 이를 바탕으로 3차원 커버리지를 분석하였다. 분석 결과 고고도로 갈수록 음영지역 비율이 늘어나게 되지만, 기존 지상 사용자를 위한 LTE 네트워크에 추가로 소수의 3차원 음영지역 커버리지 확장을 위한 추가 기지국을 설치한다면, UTM 서비스를 위한 커버리지 확보가 가능함을 확인할 수 있었다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 무인비행체 안전지원기술개발사업(22USTR-B127913-06)과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2020R1F1A1076707)

References

[1] UAM Team Korea, “K-UAM Concept of Operations 1.0,” Sep. 2021.

[2] Kyung-Ryun Oh, “Development of low-altitude drone traffic management system and related standard trend,” *TTA Journal*, No. 192, Sep. 2020.

[3] ICAO, “Unmanned aircraft systems traffic management (UTM) – A common framework with core principles for global harmonization,” Edition 3, Sep. 2020.

[4] Federal Aviation Administration, “Unmanned aircraft system (UAS) traffic management (UTM) concept of operations v2.0,” Mar. 2020.

[5] SESAR, “U-space Concept of Operations,” EUROCONTROL, Oct. 2019.

[6] KIAST. Introduction of Traffic Management Project for Unmanned Aircraft Systems [Internet]. Available: https://www.kiast.or.kr/kr/sub06_02_01.do.

[7] KIAST. Introduction of Traffic Management Project for Unmanned Aircraft Systems [Internet]. Available: https://www.kiast.or.kr/en/sub06_02.do.

[8] 3GPP TR 23.755 v17.0.0, “Study on application layer support for unmanned aerial systems (UAS),” Apr. 2021.

[9] 3GPP TR 37.777 v15.0.0, “Study on enhanced LTE support for aerial vehicles (Release 15),” Dec. 2017.

[10] 3GPP TR 22.825 v16.0.0, “Remote identification of unmanned aerial systems,” Sep. 2018.

[11] 3GPP TR 23.754 v17.1.0, “Study on supporting unmanned aerial systems (UAS) connectivity, identification and tracking (Release 17),” Mar. 2021.

[12] 3GPP TR 23.755 v17.0.0, “Study on application layer support for unmanned aerial systems (UAS),” Apr. 2021.

[13] 3GPP TS 22.125 v17.1.0, “Unmanned aerial system (UAS) support in 3GPP,” Dec. 2019.

[14] 3GPP TS 22.261 v18.1.0, “Service requirements for the 5G system,” Dec. 2019.

[15] 3GPP TR 22.829 v17.1.0, “Enhancement for unmanned aerial vehicles (Release 17),” Sep. 2019.

[16] K. H. Kim, H. W. Kim and Y. H. Jung, “Ground station antenna pattern design for network-based UAV command and control communication systems,” *J. Adv. Navig. Technol.* Vol. 25, No. 5, pp. 384-389, Oct. 2021.

[17] X. Lin et al., “The sky is not the limit: LTE for unmanned aerial vehicles,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 4, pp. 204-210, Apr. 2018.

[18] K. Kang, H. W. Kim, G. Mun, and D. Kim, “3D aerial LTE quality measurement and analysis for UTM communication,” *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences* Vol. 47, No. 1, pp. 66-75, Jan. 2022.

[19] D. Eppink, and W. Kuebler, TIREM/SEM handbook, Technical Report ECAC-HDBK-93-076, 1994.

[20] KCA. Mobile wireless station search [Internet]. Available: https://spectrummap.kr/gis/mobile_service.do?menuNo=300480.

[21] 3GPP TR 25.996 v16.0.0, “Spatial channel model for multiple input multiple output (MIMO) simulations (Release 16),” Jul. 2020.

[22] G. Fredrik, J. Martin, F. Anders, L. Magus, S. Arne, T. Claes, and B. Mats, “Downtilted base station – a simulation model proposal and impact on HSPA and LTE performance,” in *Proceeding of IEEE 68th Vehicular technology conference*, Calgary, Canada, pp. 1-5, Sep. 2008.



장 민 석 (Minseok Jang)

2014년 2월 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 (공학사)
2021년 9월 ~ 현재: 한국항공대학교 항공전자정보공학과 (석사과정)
※관심분야: 무인기 통신, 위성 통신



김 대 호 (Daeho Kim)

1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 (공학박사)
1991년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 (ETRI) 책임연구원
※관심분야: 이동통신, 무인이동체 제어용/임무용 통신



김 희 욱 (Hee Wook KIM)

2001년 2월 : 고려대학교 (공학사)
2004년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2004년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 (ETRI) 책임연구원
※관심분야: 이동통신, 무인기 통신, 위성 통신



정 영 호 (Young-Ho Jung)

1998년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학사)
2000년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2004년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2004년 ~ 2007년 : 삼성종합기술원 전문연구원, 삼성전자 정보통신연구소 책임연구원
2007년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
※관심분야: 무인기 통신, 비정상네트워크, 이동통신, 통신 신호처리