

재난환경에서 통신과 측위를 고려한 단일 무인항공기 활용방안

오 동 한^{1*} · 한 덕 수²

^{1*}육군3사관학교 컴퓨터과학과 강사

²육군3사관학교 컴퓨터과학과 정교수

A Plan to use the UAV Considering Communication and Locating in a Disaster Environment

Donghan Oh¹ · Deok Soo Han²

^{1*}Lecturer, Department of Computer Science, Korea army academy at Yeoncheon, Yeongcheon 38900, Korea

²Professor, Department of Computer Science, Korea army academy at Yeoncheon, Yeongcheon 38900, Korea

[요 약]

전 세계 선진국과 대기업에서는 최근 기후변화로 인한 재난환경이 다양하게 나타나고 있어 재난을 방지하기 위한 전방위적 노력을 기하고 있다. 사회 전반적으로도 재난환경에 대응하기 위해서 많은 정책과 연구를 하고 있다. 특히 재난과 같은 환경에서는 사람이 대응하기 위험하므로 무인기를 사용하는 것이 효과적이다. 본 논문에서는 재난환경에서 생겨나는 무수한 문제점과 특징을 분석하고 그러한 환경 안에서 무인기를 효과적으로 어떻게 사용할 것인가에 대해 알아보았다. 그리고 재난환경에서 빈번하게 발생할 수 있는 환경을 조성하여 무인기의 통신과 측위 관점에서의 활용방안에 대해 제안한다. 제안된 활용방안을 통하여 재난환경에서 발생하는 문제점과 2차 피해를 상당수 해결할 것으로 보인다.

[Abstract]

Developed countries and large corporations around the world have recently seen a variety of disaster environments caused by climate change, and are making all-round efforts to prevent disasters. Society as a whole is doing a lot of policies and research to respond to the disaster environment. Especially in environments such as disasters, it is dangerous for humans to respond, so the use of drones is effective. In this paper, we analyzed the myriad of problems and characteristics that arise in a disaster environment and explored how to effectively use the aforementioned drones in such environments. In addition, it proposes to create an environment that can occur frequently in a disaster environment and to use the drone. Through the proposed utilization measures, it is expected to solve a large number of problems and 2nd degree damage that occur in the disaster environment.

색인어 : 재난환경, 드론, 무인항공기, 무선 네트워크, 위치추정, TDoA

Keyword : Disaster Environment, Drones, UAV, Wireless Communication, Locating, TDoA

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2022.23.9.1857>



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 01 August 2022; **Revised** 16 August 2022

Accepted 24 August 2022

***Corresponding Author; Donghan Oh**

Tel: [REDACTED]

E-mail: donghan@mnd.go.kr

1. 서론

재난이라고 하는 것은 사람들의 생명, 신체, 재산과 같은 물질적인 것들이 국가에 상당한 피해를 주거나 줄 수 있는 모든 것들을 말한다. 재난은 자연재난과 사회재난으로 나눌 수 있다. 일반적으로 자연재난은 태풍, 호수, 호우, 강풍, 낙뢰, 폭염, 지진 등과 같은 자연현상으로 발생하는 재해를 의미한다. 하지만 사회재난 같은 경우에는 인간 사회에서 발생할 수 있는 재난이며 화재, 붕괴, 폭발, 교통사고 등과 같이 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해 그리고 감염병 등과 같은 상당한 피해를 줬을 경우 사회재난이라고 한다 [1]. 현재 우리나라에서는 재난이 발생했을 경우 중앙부처인 행정안전부에서 통합으로 관리하고 있으며 다른 부처에서도 협업하며 행안부를 지원하여 재난에 대해 효과적으로 대응하고 있다. 인제사고와 같이 인명을 구해야 하는 중요한 상황에서 재난환경에 대응하기 위해서는 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle)를 효과적으로 사용하는 것은 매우 중요한 핵심 기술이라고 할 수 있다. 왜냐하면, 재난 환경과 같은 상황에서는 사람이 직접 처리하기 어렵기 때문이다. 그리고 많은 재난 상황이 구하고자 하는 사람들의 목숨까지도 위협받을 수 있는 위험한 상황이 발생할 수 있기 때문이다. 그러므로 재난환경에서 UAV를 잘 활용하는 것은 매우 중요한 일이다.

행안부에서는 현재 재난안전통신망을 통합하여 운영하고 있다. 재난안전통신망을 개발한 이유는 기존의 군경, 소방기관, 국민안전처, 재난이 발생한 해당 지역 지자체 등을 하나의 통합망으로 운용하기 위해 개발하였다. 특히 중앙 통제를 위해서는 통신이 무엇보다도 중요한데 고용량의 정보를 원활하게 받기 위해서 LTE를 채택하여 사용하고 있으며 추후 통신망 환경에 따라서 5G 그리고 6G 등도 고려하고 있다. 이 통신망을 재난환경에서 원활하게 사용하기 위해서 개발한 것이 PS-LTE 기술이다. PS-LTE는 3GPP에서 제정한 기술표준을 따르고 있다. 재난환경에서 사용하기 위해서 UAV에 통신 기지국을 달아서 사용하는 기술 또한 이용되고 있다 [2]. 민간에서는 기존에 기지국 기술은 고정 통신망을 기준으로 발전되어 왔다. 지상 기반의 셀 기지국은 유선 네트워크를 이용하기 때문에 셀 내의 단말들은 초대역의 데이터를 수신 가능하며 데이터 효율을 향상하기 위해 셀 기지국의 운용성을 증가시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 지상 기반 시설이 없는 환경 즉 재난 환경과 같은 특수한 상황에서는 고정된 지상 통신 네트워크로 단말기들을 지원하기가 매우 어려워 UAV에 기지국을 달아서 운용하는 기술이 끊임없이 발전되고 있으며 이 기술을 UAV-BS(Base Station)라고 하며 여러 환경에서 시행되고 있다 [3]. 이렇듯 UAV는 그 플랫폼 자체가 가지는 효율성으로 인해 재난환경에서 여러 분야로 필요성이 대두되었다. 재난환경에서 통신이 되지 않는 환경과 같이 고정 통신망이 없는 지역에 신속하게 배치할 수 있고 지상 단말이 가지는 LoS(Line of Sight) 문제를 해결하기 위해서 공중에 배치할 수 있으므로 현재로서 최고의 기술이다. 하

지만 UAV라는 플랫폼 특성상 배터리 문제도 굉장히 심각한 사안이어서 장시간 제공하기가 어렵고 많은 플랫폼 탑재가 어려워 SWaP(Size, Weight and Power)의 문제를 가지고 있다. 이러한 UAV의 고질적인 특성으로 인해 지상 커버리지를 최대로 효율적으로 지원해주기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다 [4], [5]. 언급되었던 재난환경은 산악지형 및 도심 지역에서 발생할 확률이 굉장히 높다. 그러므로 통신뿐만 아니라 GPS 위치정보의 신뢰성에도 문제가 된다. UAV를 이용한 측위 관점에서 단말들의 위치를 계산하는 논문 [6], [7] 등이 연구되어 왔다. 측위 관련 논문은 통신 관점에 비해 연구가 비교적 적게 연구되고 있다. 이러한 논문들은 통신 관점에서는 지상 단말들의 위치가 정확하다고 가정하고 커버리지를 제공하고 측위 관점의 논문은 단말들과의 통신 링크에 대해서는 고려하지 않고 있다. 결과적으로 UAV-BS 연구에서 통신과 측위가 융합된 기술은 전무하다. 하지만 재난 및 전장 환경과 같은 셀 기지국이 부재한 상황에서 단말들에게 서비스를 제공하기 위해서는 통신두절뿐만 아니라 GPS 항법 시스템이 부재할 확률이 매우 높다. 재난환경에서는 건물이 붕괴되어 통신과 항법이 불가하다.

본 논문에서는 먼저, 재난환경에서 UAV를 활용하는 방법에 대해 제시한다. 그리고 공통으로 재난환경에서 발생할 수 있는 지상에 셀 네트워크가 부재한 지역에 통신과 측위가 융합된 UAV-BS 배치 기법을 제안한다. UAV는 통신 중계 및 측위 신호 전송이 가능한 플랫폼을 상공에 배치한다. UAV는 두 가지 관점을 고려하여 배치된다. 첫 번째로 통신 관점에서 배치된다. UAV는 주기적으로 지상 단말들에게 Downlink 신호를 송출한다. 각 단말들은 UAV에게 Uplink 신호를 보낸다. 이후 UAV는 TDoA(Time Difference of Arrival) 기법으로 단말기들의 위치를 계산한다. 계산된 위치를 단말기들에게 전송한다. UAV는 전송된 지상 단말들의 위치를 근거로 통신이 가능한 최적의 고도를 계산한다. 두 번째로 측위 관점에서 배치된다. UAV는 선회비행을 통해 시간의 차를 이용하여 지상 단말들의 측위가 가능하다. 하지만 통신 관점에서의 고도는 고정된 지점이기 때문에 선회비행을 하게 되면 통신이 불가하다. 그러므로 UAV의 통신 출력을 고려하여 통신 가능한 고도 위에서 비행한다. UAV의 고도는 측위 서비스가 가능한 고도에 배치한다. DOP(Dilution of Precision)를 기준으로 GPS 오차가 최솟값을 만족하는 지점에 위치하여 비행하게 한다. 결론적으로 본 논문에서는 재난환경에서 통신 및 측위가 가능한 UAV-BS를 제시할 뿐만 아니라 UAV의 최대 통신 출력값과 측위 서비스를 만족시키는 고도에 위치하여 통신과 측위 두 가지 관점에서 효율성을 높일 수 있다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 먼저 2장에서는 재난환경에서 사용할 수 있는 UAV 관련 연구를 살펴보고 3장에서는 각 재난환경에서 사용할 수 있는 UAV 활용방안을 제시한다. 4장에서는 통신과 측위를 고려한 UAV 운용방안을 제시한다. 5장에서는 여러 실험환경을 통하여 제시하는 방안의 성능을 분석한다. 끝으로 6장에서는 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2-1 PS-LTE

행안부에서 개발한 PS-LTE(Public Safety-Long Term Evolution)는 국가재난안전통신망으로서 KT, SKT 통신사를 중심으로 구축하고 있다. 재난이 발생하였을 때 각 부처들의 일원화되어 있지 않은 통신망들의 혼선을 방지하기 위해서 군, 경찰, 소방, 해경 등과 같은 기관들을 중앙에서 원활하게 통제하기 위해서 단일의 무선통신망으로 운용된다. 현재는 재난환경에서 효과적으로 활용하기 위해서 2018년부터 과학기술정보통신부 주관으로 “재난안전플랫폼기술개발사업/다매체 기반의 멀티미디어 재난정보전달 플랫폼 개발”을 통하여 2021년 10월을 기준으로 개발되고 있다. 이는 화재가 발생하였을 시 혹은 재난환경에서 PS-LTE 모뎀을 내장하고 있는 자동 화재탐지 설비를 통해 화재나 재난이 발생하였을 경우 행정안전부와 같은 기관에 즉시 보고가 되어 대응을 할 수 있는 서비스를 지원해주는 플랫폼이다. 4차 산업혁명에 발맞추어 화재 감지기는 센서를 통하여 인식되는 데이터들이 빅데이터를 통하여 실시간으로 센싱 데이터를 판단하여 PS-LTE가 구축된 전국 모든 곳에서 화재탐지 설비와 데이터 관리를 하게 된다 [8]. 그림 1은 재난환경에서 발생한 데이터와 정보들을 중앙기관에서 수집 관리하고 화재 등과 같은 주요 이벤트가 발생하였을 경우 PS-LTE 기지국에서 어떻게 활용되는지 나타낸 그림이다.



그림 1. PS-LTE 기지국 활용 [9]
Fig. 1. Operation of PS-LTE base station

2-2 UAV-BS

UAV-BS 기술은 UAV에 기지국을 설치하는 기술이다. 쉽게 말해서 UAV에 탑재된 기지국을 통하여 지상 단말들에게 셀룰러 네트워크를 제공하는 기술이다.

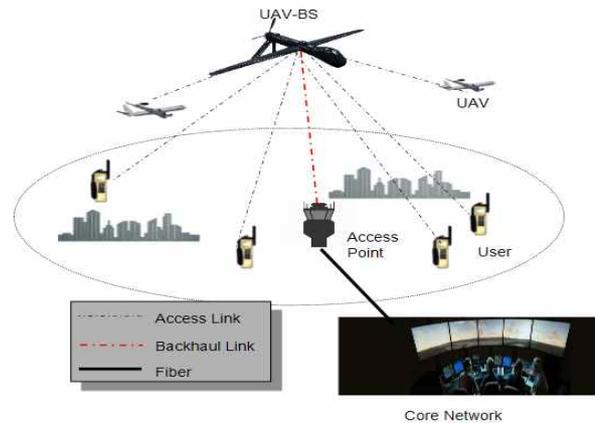


그림 2. UAV-BS 백홀 운용도
Fig 2. UAV-BS backhaul operation diagram

UAV는 상공 어디에서든 자유롭게 날아다닐 수 있으며 재난 환경과 같은 비상 상황에서는 즉시 어느 지점에서든지 위치할 수 있는 장점이 있다. 그러므로 상공에 위치한 UAV-BS는 지상의 사용자들에게 원활한 통신이 제공 가능하다. 하지만 UAV는 그 플랫폼의 한계로 인해서 크기와 무게 그리고 전력(SWaP)에 대한 문제점을 가지고 있다. 그리고 비행체에 많은 것을 탑재하기가 어렵고 배터리를 상공에서 충전할 수 없기 때문에 비행시간이 극히 제한된다. 이러한 문제로 인해서 지상 단말에게 전송되는 링크에 대한 전송 전력을 최소화하는 것은 굉장히 중요한 과제이다. 그림 2는 UAV-BS를 통하여 링크를 제공해주는 그림을 의미한다. 기본적으로 UAV-BS 기술은 지상 단말들의 위치가 정확하다고 가정하고 통신 환경을 제공해준다 [10].

2-3 UAV Placement

UAV-BS 기술이 발전된다는 것은 UAV를 어디에 위치하는 것이 최적이냐에 관한 문제로 직결된다. 기본적으로 UAV가 공중에서 지상으로 신호를 송신하기 때문에 지상 단말을 기준으로 전송 신호의 효율성을 기준으로 UAV 배치를 고려한다. [3]에서는 UAV가 어떤 고도에 위치하는 것이 가장 좋은지 연구한 논문이다. 즉, 지상 단말들을 커버하는 셀 커버리지 반경을 최대화하기 위해 UAV 고도를 고려한 논문이다. UAV 고도를 기준으로 최적의 고도를 결정하는 알고리즘을 제시하여 도심지와 시골 환경에서 어떤 성능을 나타내는지 증명하였고 UAV와 지상 단말간의 전파 경로 손실 모델을 근거리 LoS(Line of Sight) 확률을 기준으로 지상 단말의 고도 각을 고려하였다. [4]에서는 UAV와 지상 단말간의 불완전한 통신 환경을 고려하였다. 지상 단말의 네트워크의 불안정성을 가정하여 지상 단말들을 포함하는 네트워크에서 자원 할당 방식의 스케줄링과 전력할당을 최대화하기 위한 프로토콜을 설계하였다. [5]에서는 UAV가 신호를 전송하는 지역을 수송

이론에 근거하여 구역을 나누어 다수의 UAV-BS의 배치를 통하여 전송 전력을 최소화시키는 것을 증명하였다. 현재 지속적으로 UAV 배치에 대한 효율성을 극대화하기 위한 연구가 진행되고 있다.

2-4 무인기를 이용한 측위 기술

UAV를 이용한 측위기술은 기본적으로 GPS 위치 신호에 근거한다. 5G 네트워크의 상용화에 따라 3GPP의 Release 17에 따르면 이동통신의 초저지연, 초고속 성능을 보장하기 위해 표준통신규약에서는 주변 기기에 통신서비스 뿐만 아니라 위치서비스를 제공하는 기능인 ProSe(Proximity Services)가 명시되어 있다. 특히 UAV를 활용하는 계층인 SEAL(Service Enabler Architecture Layer for Verticals)에서도 UAV를 통하여 위치서비스를 제공해주는 표준이 제정되어 있다. 하지만, GPS가 제한되는 환경에서는 위성통신이 불가하므로 UAV 다수의 기종이 상공에서 운용되어야 한다. 왜냐하면, 3차원 환경에서는 X, Y, Z축의 점을 기준으로 측정하기 위해서는 4개 이상의 참조점이 필요하기 때문이다. 하지만 이동이 거의 없는 지상 단말에 대해서는 UAV 1기가 이동하게 된다면 다수의 UAV가 운용되는 효과를 지닐 수 있다 [7]. 하지만 UAV는 선회비행을 통하여 단말의 신호를 수신하는 가정 상황이 필요하다. 종래의 측위 관점 연구에서는 위치를 계산하는 통제소는 다른 곳에 위치하고 UAV는 중계 역할만 하여 측위를 하는 연구 [6]와 UAV는 메시지를 전송받아 단말들의 위치를 계산하는 연구 [7] 등이 있어왔다. 측위 관련 연구는 통신 출력을 고려하여 최적의 위치를 배치하는 연구에 비해서 비교적 적게 연구되고 있다. 이러한 논문들은 통신 관점에서 지상 단말들의 통신 링크가 원활하다고 가정하고 위치를 계산한다. 하지만 재난 환경 같은 경우는 셀 기지국이 전무할 확률이 높은 상황이며 지상 단말기에게 서비스를 제공하기 위해서 통신이 끊김으로써 원활하게 위치를 제공해주기 어렵다.

III. 재난환경별 무인항공기 활용방안

3-1 홍수 발생시 통신 인프라 제공

2005년 8월 말 미국 남동부를 강타한 허리케인 카트리나 는 광범위한 통신 인프라 붕괴를 일으켰다. 그중에서도 뉴올리언스 지역은 허리케인으로 인해 제방이 붕괴되어 도시 대부분이 물난리가 났었다. 이 지역의 사는 주민 2만 명이 실종되었으며 구조된 사람들도 수용시설이 전기가 끊기고 물 공급이 어려워 각종 범죄가 발생하였었다. 세계 최대선진국인 미국에서 재난에 대한 대처능력이 굉장히 부적절했다는 비판이 많았다.



그림 3. 자율 UAV를 기반으로 한 비상 통신 네트워크의 예
Fig 3. Example of emergency communication network based on autonomous UAV

뉴올리언스 지역 대부분은 유선전화를 사용하는 많은 곳이 침수되었고 백본 네트워크가 물에 잠겨 실종자들과 전화 연결을 할 수가 없었다. 왜냐하면 통신 기지국이 원활한 통신 운용이 제한되는 상황이었기 때문이었다. 이러한 상황에서 위성 통신만이 유일한 통신 운용 수단이었지만 개개인별로 통화할 수 있는 인프라는 없었으며 홍수로 물바다가 된 곳들은 뗏목을 타고 다니는 사람들도 있었다.

침수된 곳에 위치한 시민들이 전화기 사용이 불가하기 때문에 피해자의 위치를 파악하는 것도 매우 제한되었었다. 추후에 당시 상황에서 UAV 기지국을 사용하였다면 많은 피해를 줄였을 것이다. 위성 신호를 사용할 수 있었다고 하지만 1:1 통신을 하기에는 천문학적인 비용이 들고 많은 유저를 수용하기가 불가하다. 그렇기에 UAV를 위성과 연결하여 다수의 지상 단말기와 연결하여 통신 커버리지를 지원할 수도 있었다. 아래 그림은 다수의 UAV를 배치하여 지상에 위치한 단말기들에게 통신을 제공해주는 환경을 보여준다 [11].

3-2 지진으로 인한 매몰 지역 발생

지진과 같은 재난이 발생하였을 때는 건물이 붕괴되어 재난에 대한 정보를 획득하거나 붕괴된 현장 매몰자의 위치를 파악하는데 많은 시간이 허비된다. 이러한 상황에서는 물리적으로 상당한 인적 피해를 발생시킬 수가 있다. 현재 기술로는 매몰자에 대한 구조를 위해서 음향, 전파, 영상 등과 같은 기술을 사용하여 매몰자를 탐지하는 데 사용되고 있다. 하지만 이러한 장비들은 매우 고가이기 때문에 재난 현장에서 사용하기에는 터무니없이 수가 적다. 그리고 이러한 장비를 사용하기 위해서는 붕괴된 건물의 상부지역부터 차례로 탐지를 해야하기 때문에 2차 피해가 발생할 수가 있다. 그리고 탐지 성능 또한 외부 환경에 영향을 받기 때문에 탐지하는데 어려움이 많다. 특히 영상장비는 카메라를 이용하기 때문에 직접 매몰자를 확인하거나 탐색하기가 어렵다. 그리고 어두운 지역이나 야간에는 물체 식별이 불가하다. 음향을 이용한 장비는 붕괴 내부의 진동 소리를 탐지해야 하지만 외부 소음에 큰 영

향을 받는다. 전파 탐지 같은 경우 여러 불규칙적 활동과 호흡에 따른 오류가 발생할 수 있다. 그러므로 매몰 지역에서는 UAV를 통한 신속한 투입이 생존 골든타임을 지킬 수 있다. 사람이 투입되기 어려운 지역에 UAV를 현장에 투입하여 자율비행을 시행할 수 있다. 그리고 사전에 경로 계획을 설정하여 매몰 지역의 규모에 따라 유동적으로 변경할 수 있다. 경로계획에 따라 봉괴된 지역의 상공에 비행하게 된다면 매몰자 단말기의 신호를 탐지할 수 있다. 그리고 봉괴지역에 대한 정보를 손쉽게 획득할 수 있다. 무엇보다도 UAV의 통신링크는 기지국과의 중계를 사용하기 때문에 수집된 정보를 손쉽게 서버로 전송할 수 있다. 그리고 통신이 단절된 때는 휴대용 재난안전통신망인 PS-LTE를 사용하여 끊임없는 통신이 가능하다. 아래 그림 2는 매몰 현장에 투입된 UAV의 정보가 어떻게 활용할 수 있는지 보여주는 그림이다 [12].

3-3 고층 건물에서 대피 수단



그림 4. 고층 빌딩에서 UAV를 이용한 인명구조 [13]
 Fig 4. Lifesaving using UAV in High-rise Building

그림 5는 Net Guard라고 하는 UAV 운용 개념도이다. 중국 광저우에서 6명의 학생 그룹이 설계하였으며 고고도 자율 UAV이다. 이 UAV는 고층 빌딩에서 화재와 같은 비상 상황이 발생하였을 경우 사람들을 구조하기 위해서 설계되었다. 테러와 같은 상황에서 조난 신호를 받게 된다면 단말기의 GPS 정보를 이용하여 화재가 발생한 지역을 정확하게 찾아낸다. UAV를 이용하게 되면 교통 체증을 피할 수 있고 가장 빨리 현장에 도착할 수 있어 효과적이다. 고층 빌딩에서 사람을 구조해야 하기 때문에 높은 고도로 이동할 수 있게 되어 있으며 안전망을 이용하여 4가지 방향으로 펼쳐진다. UAV는 공중에서 사람을 구조하기 위해서 4개의 프로펠러를 사용한다. 그물은 일반 성인의 무게를 지탱할 수 있는 힘을 지녀야 하며 센서를 이용하여 건물 밖으로 뛰어드는 사람을 센서를 통하여 추적하여 위치를 조정한다.

3-4 산불 지역 방재 및 지형 조사



그림 5. 산불 발생시 UAV-BS 활용방안
 Fig 5. UAV-BS utilization plan in case of wildfire

우리나라처럼 사계절이 뚜렷한 계절을 가지고 국토의 70%가 산악지형인 경우에는 건조한 시기에 산불이 많이 발생하게 된다. 건조한 날씨와 바람까지 분다면 산불이 날 경우 큰 재난 환경이 발생할 수 있다. 산림청의 통계에 따르면 건조한 4월에 바람도 강하게 불어 산불이 가장 많이 발생한다. 산불에 대한 초동 대응으로는 산불지역의 피해 규모를 확인하는 것이 가장 중요하다.

하지만 산불 재난 같은 경우에는 기상이 안 좋은 상황에서 시야 확보가 매우 어려워 헬기를 사용한다고 해도 산불 진화에 많은 어려움이 따른다. 그리고 산악지형에서 발생하게 되면 인력을 투입한다고 해도 많은 시간이 소요되어 추가적인 산불 피해가 발생할 수 있다. 험악한 산악 지형과 높은 고지는 지형적인 제약으로 인해 적절한 대응이 어렵다. 재난환경이 더욱더 복잡하고 다양화되고 있고 시민들이 안전의식에 많은 관심을 가지고 있는 상황에서 산불 지역에 대한 방재 기술이 무엇보다도 중요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 무인기를 활용하는 방식이 효과적이다. 그림 5는 산불이 발생했을 때 무인기를 활용하는 모습을 보여주는 그림이다. 무인기에 가시광센서와 열화상센서를 탑재하여 활용하게 되면 실시간으로 산불현장의 상황을 기지국에 전송할 수가 있다. 그리고 산불 영상 정보 또한, 공유를 할 수가 있다. 그러므로 산불의 방향과 풍향을 분석하여 추가적인 피해를 예상하여 불길이 예상되는 지점에 위치하여 화재를 진압할 수가 있다 [14].

3-5 방사능 피폭으로 인한 방사능 수치 측정

2011년 3월 12일에 발생한 일본 후쿠시마의 원자력 발전소 폭발 사고는 지진과 쓰나미로 인해 발생하였다. 지진이 발생한 직후, 쓰나미로 인해 많은 사람이 피해를 받았지만 14m가 넘는 쓰나미는 원자력 발전소까지 도달하였다. 가동 중이던 원자로를 멈추었고 비상발전기로 인해 냉각을 수행하였다. 하지만 추가적인 쓰나미는 발전기를 사용할 수 없게 만들었다. 지진과 쓰나미로 인한 재난 환경과 더불어서 원자력 발전소가 폭발되면 엄청난 양의 방사선이 방출된다. 원자력 발전

소 주변에 있는 사람들에게 엄청난 피해를 유발할 수 있다. 현재까지도 원자력 발전소 주변은 당시 거주민들이 돌아갈 수 없는 상황이다. 앞서 언급된 지진과 해일, 쓰나미와 같은 자연현상으로 인해서 혹은 사람들의 부주의로 인해서 발생할 수 있는 방사능 피폭은 발생하게 되면 지속적인 수치 측정이 필요하다. 이를 위해서 UAV를 사용하는 것이 효과적이다. 네트워킹화된 무인기를 사용하여 방사능 오염 지역을 조사할 수가 있다. 이를 통해서 방사선의 정확한 측정이 가능하다. 공중이나 지상에서 무인기를 활용하여 측정한다면 공간을 분리하여 측정할 수가 있다. 오염 수치를 계산하게 되면 오염 지역에 대한 추가적인 방사선 수치를 작성할 수 있고 상세한 지도를 제공해줄 수 있다 [15].

IV. UAV-BS 운용 모델

앞서 언급한 다양한 재난환경에서 발생할 수 있는 상황을 가정한다. 재난환경에서 지상에 기지국이 파괴된 환경에서 셀 네트워크가 전무한 지역에 UAV를 전개하여 통신과 측위가 융합된 UAV-BS 배치 기법을 제안한다. UAV는 통신 중계가 가능한 플랫폼을 제시하며 재난환경에 위치한 단말기들은 UAV와 통신이 가능하며 주기적인 신호 전송이 가능하다고 가정한다. UAV가 갑작스럽게 전개되기 때문에 단말기들의 위치를 모른다고 가정한다. 통신과 측위가 가능한 UAV는 두 가지 관점을 통하여 배치된다. 첫 번째로 통신 관점을 고려하여 배치된다. 주기적으로 UAV는 지상 단말들에게 Downlink 신호를 송출하고 각 단말들은 Uplink 신호를 송출한다. 수신 받은 UAV는 신호정보를 이용하여 TDoA 기법으로 단말기들의 위치를 계산한다. 계산된 위치를 통하여 UAV는 지상 단말기들에게 위치정보를 전송한다. UAV는 전송된 지상 단말들의 위치를 근거로 통신이 가능한 고도로 이동한다. 두 번째로 측위 관점에서 배치된다. UAV는 선회비행을 하게된다. 왜냐하면 일반 드론과 같은 플랫폼을 이용하여 호버링을 한다면 단말기와 UAV의 위치정보는 3차원 정보로 나타나지 않는다. 그러므로 선회비행을 통해 UAV는 다른 위치에 위치한다. 그러면 UAV가 비행하는 동안의 시간의 차를 이용하여 지상 단말들의 측위가 가능하다. 결과적으로 UAV는 통신 출력력을 고려하여 통신이 가능한 고도 위로 배치되어야 한다.

4-1 시스템 모델

재난환경에서 지상 단말기들은 대개 건물이 붕괴된 현장에 위치하기 때문에 고정된 단말이며 제시하는 커버리지 내에 위치하는 것으로 가정한다. 전개된 UAV는 통신 중계 및 측위 신호 전송이 가능한 플랫폼이라고 가정한다. 측위 신호 전송을 위해 자체 항법장치 등을 탑재하여 위치정보가 다소 정확하다고 가정하고 위치정보를 단말기들에게 제공한다.

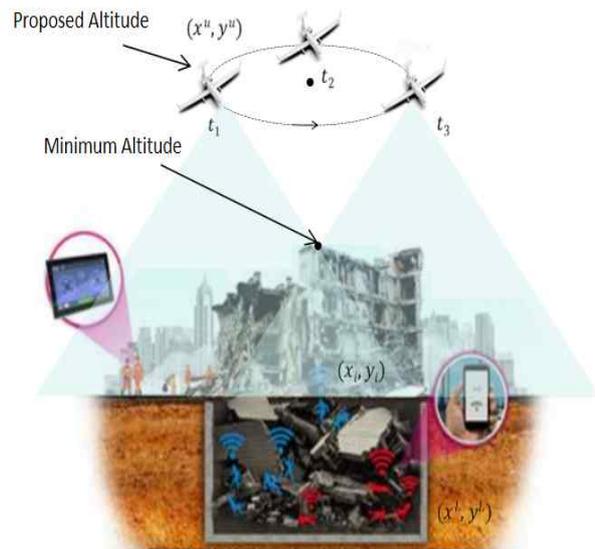


그림 6. 제안하는 UAV-BS 기지국 운용 모델
Fig. 6. Proposed UAB-BS operating model

UAV는 상공에서 선회비행하며 주기적으로 단말기들에게 Downlink 신호를 송출하고 선회비행이 끝나면 각 유저들은 Uplink로 UAV와 통신한다. 이 때 UAV가 비행을 하며 특정 위치에서 보내는 신호를 t_1 이라고 하면 단말기가 받는 신호는 τ_1 에 해당된다. 전파의 도달 범위에 따라 의사거리 ρ_i 는 식 1로 표현이 된다.

$$\rho_i = (c \times (\tau_i - t_i) + \epsilon_i) \quad (1)$$

이 때, 식 (1)에서 i 는 신호의 개수, c 는 빛의 속도, ϵ_i 는 UAV와 단말기 간 신호가 송수신되는 동안 발생하는 오차를 의미한다. 의사거리 ρ_i 는 3차원 유클리드 공간에서 ρ_i^u 로 표현 가능하다.

$$\begin{aligned} \rho_i^u &= \|R^u - R_i\| \\ &= \sqrt{(x^u - x_i)^2 + (y^u - y_i)^2 + (z^u - z_i)^2} \quad (2) \end{aligned}$$

식 (2)에서 $\|\cdot\|$ 는 유클리드 노름 벡터를 나타낸다. 3차원 직교좌표계에서 x^u, y^u, z^u 는 UAV의 좌표, x_i, y_i, z_i 는 각 지상 단말의 좌표를 나타낸다. 노름 벡터에서 R^u 는 UAV의 위치벡터, R_i 는 지상단말의 위치 벡터를 의미한다. 그러므로 각 단말기의 위치는 Levenberg Marquardt의 비선형 최소제곱법을 사용하여 추정위치를 구할 수 있으며 그 식은 아래와 같다.

$$H = \begin{bmatrix} \rho_i^2 - \rho_i^1 \\ \rho_i^3 - \rho_i^1 \\ \vdots \\ \rho_i^n - \rho_i^1 \end{bmatrix}, \quad \widehat{R}_{t_i} = \begin{bmatrix} \widehat{x} \\ \widehat{y} \\ \widehat{z} \end{bmatrix},$$

$$Z = \begin{bmatrix} -\frac{x^1 - x_i}{\rho_i^1} - \frac{y^1 - y_i}{\rho_i^1} - \frac{z^1 - z_i}{\rho_i^1} \\ -\frac{x^2 - x_i}{\rho_i^2} - \frac{y^2 - y_i}{\rho_i^2} - \frac{z^2 - z_i}{\rho_i^2} \\ \vdots \\ -\frac{x^n - x_i}{\rho_i^n} - \frac{y^n - y_i}{\rho_i^n} - \frac{z^n - z_i}{\rho_i^n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\widehat{R}_{t_i} = \frac{1}{2} (H^T H)^{-1} H^T Z \quad (4)$$

UAV가 선회비행을 함에 따라 \widehat{R}_{t_i} 는 각 단말기들의 추정 위치를 나타낸다. 최소제곱법을 이용하여 TDoA에 따라 각 단말기의 위치가 결정된다. 추정된 위치는 UAV와 단말기 사이의 거리를 결정짓는다 [17].

4-2 통신 관점에서의 고려사항

UAV는 각 단말기들의 추정 위치를 근거하여 단말기들과의 거리를 계산할 수가 있다. 그러므로 UAV는 최초 비행을 통해 계산된 단말기의 위치를 통하여 셀 중앙에 배치 가능하다. 봉피지역 상공에서 단말기들의 중앙에 위치함으로써 통신 연결을 보장해 줄 수가 있다. 이 때 UAV가 통신 관점으로 가장 낮은 지점에 위치하기 위해서는 UAV의 위치를 기준으로 가장자리에 위치한 단말의 고도 각을 고려해야 한다. [3]에서 가시선 보장과 최적의 고도를 고려하였을 때 셀 커버리지 가장자리에 있는 단말기의 고도 각을 보장해줄 수 있는 최소 고도가 통신 관점에서 가장 최적의 고도이다. 그러므로 가장 멀리 떨어진 UAV의 고도 각은 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$h_{opt} \geq \tan\theta_{opt} \sqrt{(x^L - x_i)^2 + (y^L - y_i)^2} \quad (5)$$

가장자리에 위치한 단말기의 위치는 (x^L, y^L) 라면 UAV는 봉피지역에 있는 모든 사용자에게 통신 링크를 제공해 줄 수가 있다. 최적의 고도 h_{opt} 는 그림 6에서 제안하는 Minimum Altitude로 표시된다. UAV의 송신 출력을 보존하기 위해서는 제안하는 고도에 위치하여야 한다. 이 때 UAV와 단말기 간의 통신세기는 단말기 간의 거리를 고려한 전파환경에 영향을 받는다. 따라서 봉피 현상과 같은 경우는 UAV와 단말기 간의 거리도 고려해야 하며 건물이 존재하기 때문에 Large-Scale Fading으로 인해 큰 경로 손실이 발생한다. 단말기의 수신 전력은 UAV와의 자체 거리의 제곱에 비례하여

감소하게 된다. UAV의 송신 전력은 각 단말기 i에 관해 아래와 같은 pathloss 모델에 따라 결정된다.

$$PL_i = 10\log(P_{TX}) - 10\log(P_{RX_i}) \quad (6)$$

식 (6)에서 P_{TX} 는 UAV의 송신 전력, P_{RX_n} 는 단말기가 수신 받는 전력을 의미한다. 이 때 손실되는 값은 ϵ_n 로서 아래의 값으로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_i = PL_i - FSPL_i \quad (7)$$

$$FSPL_i = 20\log(d_i) + 20\log(f_{MHz}) - 27.55 \quad (8)$$

식 (7)에서 $FSPL_i$ 는 특정 단말기에 대한 경로 손실을 의미한다. 식 (8)에서 Friis 전송 방정식에 따라 결정되며 d_i 는 UAV와 단말기 간의 거리를 의미하며 결과적으로 UAV의 고도에 따라 송수신 전력 손실이 발생한다[18].

4-3 측위 관점에서의 고려사항

앞서 언급한 통신 관점에서는 최소 고도를 통하여 최대 커버리지를 지원하는 UAV의 송신 전력을 최소화하는 것이 이상적인 고도라고 볼 수 있었다. 하지만 이 지점은 고정되어 있기 때문에 통신 서비스만 가능할 뿐이지 측위 서비스는 제공해 줄 수가 없다. 그러므로 지상 단말기들에게 통신과 측위 서비스를 제공해주기 위해서 UAV는 통신 관점에서의 최적의 고도 보다 높은 고도로 위치하여 선회비행을 하여야 정확한 위치정보를 제공해 줄 수가 있다. 측위 정확도를 결정 짓는 UAV의 변수는 UAV의 속력, 선회비행 반경 그리고 UAV가 보내는 송신 신호 주기이다. 이러한 변수들을 통하여 UAV와 단말기 간의 DOP가 결정된다. DOP 값은 측위에서 중요한 요소이다. 위치정보를 결정할 때 기하학적인 구조에 따라 정확도가 결정된다 [19]. UAV 위치에 따른 DOP 위치 정확도는 아래와 같이 결정된다.

$$G = \begin{bmatrix} -\frac{x^1 - x_i}{\rho_i^1} - \frac{y^1 - y_i}{\rho_i^1} - \frac{z^1 - z_i}{\rho_i^1} & 1 \\ -\frac{x^2 - x_i}{\rho_i^2} - \frac{y^2 - y_i}{\rho_i^2} - \frac{z^2 - z_i}{\rho_i^2} & 1 \\ \vdots & \\ -\frac{x^n - x_i}{\rho_i^N} - \frac{y^n - y_i}{\rho_i^N} - \frac{z^n - z_i}{\rho_i^N} & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$Q_X = (G^T G)^{-1} \quad (10)$$

여기서 Q_X 는 공분산 행렬을 의미한다. UAV와 단말기간의 거리에 따라 결정된다. UAV가 선회비행 후 원점으로 돌아온다면 DOP 값은 동일하게 된다. 따라서 DOP 값은 선회비행 이후의 비행은 큰 의미가 없게 된다. 즉, 위치 정확도는 UAV가 위치할 수 있는 좌표의 수에 영향을 받는다. UAV의 회전반경이 넓어지면 DOP 값이 줄어든다. 하지만 회전반경이 증가한다는 것은 UAV 비행시간이 증가하게 되어 UAV 운용에 영향을 끼친다. 그리고 UAV는 높은 고도에 위치할수록 송신 전력이 증가하게 된다. 아래 수식은 UAV의 위치에 따른 단위 벡터를 나타내는 행렬이다.

$$Q_X = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & H_{14} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & H_{24} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & H_{34} \\ H_{41} & H_{42} & H_{43} & H_{44} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$PDOP = \sqrt{H_{11} + H_{22} + H_{33}} \quad (12)$$

수식 (12)에서 보는 것과 같이 PDOP는 UAV의 위치 정확도를 나타낼 수 있는 수식이다. 측위 서비스를 가능케 하는 값으로 Q_X 행렬의 대각선에 해당되는 요소로서 UAV와 단말기간의 상대적인 거리를 나타낸다. UAV는 통신 관점에서 Minimum Altitude 위에 위치하여야 커버리지 내에 위치한 단말기들에게 송신 신호를 전달할 수 있다. 이때 측위 정확도는 DOP(Dilution of Precision)이라는 변수를 활용할 수가 있다. DOP는 기본적으로 3차원 평면을 기준으로 기하학적인 위치에 따른 정밀도를 수학적으로 계산한 기법이다. 행렬식을 기준으로 각각 x축, y축, z축 그리고 시간축을 기준으로 위치를 구하고자하는 두 단말기간의 상대적인 위치를 고려하여 계산되는 방식이다. 각각의 축을 기준으로 값을 구한다면 x축, y축, z축에 해당하는 오류를 나타낼 수 있으며 기하학적으로 모든 축을 고려한다면 위치 오차인 PDOP(Position Dilution of Precision)를 구할 수가 있다. 이는 두 단말기간의 상대적인 거리에 따른 오차의 합을 의미한다. 그러므로 측위적인 관점에서 PDOP 값을 고려하여 UAV가 선회비행을 할 수 있는 지점에 위치하여야 한다. PDOP 값은 작을수록 위치 정확도는 높아지며 GOP 오차 값을 고려하여 측위 서비스가 가능한 고도에서 비행을 한다면 통신과 측위 서비스를 제공해 줄 수 있다.

V. 성능 평가

성능 평가는 지상의 단말들이 특정 커버리지 내에서 무작위로 위치한 환경을 고려하였다. 생성된 지상 단말기들에게 통신 및 측위 서비스를 제공하되 제안하는 UAV의 고도는 선회반경을 최대로 하는 고도가 아닌 측위 정확도가 GPS 오차의

범위를 고려하여 17~37m를 만족하는 최소한의 DOP 값을 가지는 고도로 결정하는 것을 고려하였다. 그러므로 본 논문에서는 두 가지 관점에서 조건을 고려하여 서비스를 제공한다. 첫 번째 조건은 통신 관점에서 UAV가 중계 가능한 위치 지점에 위치해야 한다. 그리고 두 번째 조건은 측위를 위한 최소의 PDOP를 만족하는 값에서의 고도에서 UAV가 선회비행을 하는 조건이다. UAV가 통신 서비스가 가능한 최대 출력의 고도 이하에서 측위 정확도가 특정 값을 만족하면 측위 서비스와 통신 서비스를 제공 가능하다. 아래 표 1은 성능 평가를 위해 본 논문에서 사용한 UAV의 제원을 나타낸다. 성능 평가를 위해서 시뮬레이션은 Matlab 소프트웨어를 사용하였다. 이 때 통신이 필요한 커버리지는 상하좌우 2km로 설정하였다. 그리고 전체 거리는 상하좌우 10km로 구성하였다. 사용자는 설정한 환경 내에서 무작위로 위치할 수 있도록 설정하였다.

표 1. 무인기 제원

Table 1. UAV parameters

Parameter	Value(unite)
Experimental Range	10 × 10 km ²
Service Coverage	2 × 2 km ²
Number of terminals	20
UAV maximum transmission power	12 W
Minimum required power of terminals	-70dBm
UAV Speed	180km/h
Frequency	2 GHz
UAV Minimum Altitude	500m
Minimum DOP	12
Turning radius of UAV	1km
Signal intervals	10s
Iteration	10,000

시뮬레이션은 총 10,000번 회 실행한 평균값을 사용하였다. 그리고 UAV는 고정익 항공기를 사용하였으며 UAV가 커버리지를 제공하기 위해서 가장자리에 위치한 단말기의 고도 각은 20도로 설정하였다. 그리고 송수신 주기는 10초로 설정하였고 단말기의 위치정보를 획득하기 위해 총 14번의 메시지 프레임을 수신하는 것으로 판단하였다.

그림 7은 재난환경이 발생할 수 있는 도심 지역부터 교외 지역까지 다양한 환경에서 UAV 고도에 따른 PDOP와 단말기간의 거리에 따른 경로 손실을 보여준다. UAV는 표 1에서와 같이 최소 고도 500m이고 지상의 단말기는 고르게 분포되어 있다. 그래프에서 보이는 것과 같이 x축은 고도를 좌측 y축은 PDOP를 우측 y축은 경로 손실을 나타내고 있다. 이 때 PDOP와 pathloss 값은 UAV가 통신 지원가능한 커버리지 내에 가장자리에 위치한 단말기를 고려하여 값을 산출하였다.

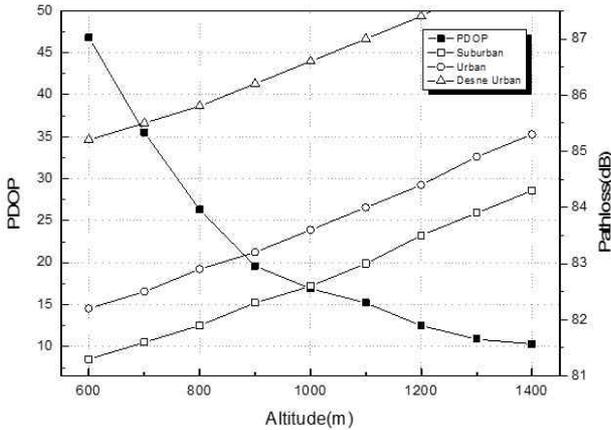


그림 7. 가장자리 단말기의 경로 손실과 PDOP 값
 Fig. 7. Trade-off between the PDOP and pathloss of the edge user

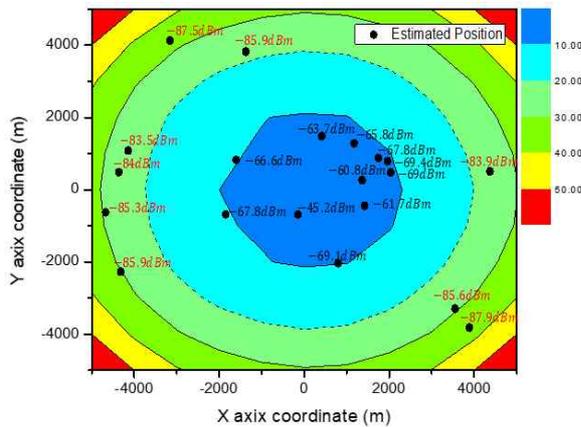


그림 8. PDOP 맵과 수신기 감도
 Fig. 8. PDOP map and receiver sensitivity

왜냐하면 가장자리에 위치한 단말기의 값을 고려한다면 커버리지 영역 내에 있는 모든 사용자는 거리상으로 UAV와 더 가깝기에 통신과 측위 서비스를 충분히 받을 수 있기 때문이다. 그림에서 보는 것과 같이 UAV 고도가 증가함에 따라 단말기에 수신되는 수신 전력이 감소 되는 것을 확인할 수가 있다. 즉, 경로 손실이 증가하는 것을 확인할 수가 있다. 그리고 밀집된 도심 환경일수록 우수한 통신 서비스를 보장하기 위해서 더 많은 통신 출력이 필요함을 도출할 수가 있다. UAV의 고도가 1,200m일 때 PDOP 값은 12였다. 이 값이라면 반경 2km 이내의 모든 단말기에 측위 서비스를 보장해 줄 수가 있다. 따라서 통신과 측위 서비스를 제공하기 위해서 충분한 송신 전력과 비행시간이 필요한 것을 도출할 수가 있다.

그림 8은 교외 환경에서 반경 10km 범위에서 2차원 좌표계를 통하여 DOP 값을 매핑한 그림이다. 여기서 UAV 고도는 1,200m를 적용하였다. 사용자는 서비스 범위 내에서 무작위로 분포하도록 하였다. 통신이 가능한 커버리지 내인 2km 이내의 사용자는 10명을 통신 서비스 범위 밖에 위치한 사용자도 10명으로 설정하였다. PDOP의 값에 따라 색상을 달리

표현하였다. PDOP 값이 20 이상이면 측위 서비스는 불가능하다. PDOP가 반경 3km 이내에서 20 이상이었고 이를 그림에서는 점선으로 표시되어 있다. 각 점은 지상 단말기의 예상 위치를 나타내고 있다. 추정 위치 옆의 숫자는 수신기의 수신 감도를 나타내었다. 감도가 불가능한 지역에는 빨간색으로 표시되어 있다. 그림 3을 통하여 2km 내에 위치한 단말기에 통신 서비스를 보장할 수 있을 뿐만 아니라 측위 서비스를 제공할 수가 있음을 확인할 수가 있다. 커버리지 밖에 위치한 단말기는 통신 감도도 매우 좋지 않을 뿐 아니라 측위 서비스도 제공받지 못하는 것을 확인할 수가 있다.

IV. 결 론

국가적인 재난이 발생했을 경우 우리나라는 중앙부처 중 재난에 관련된 사항을 도맡고 있는 행정안전부에서 통합으로 관리한다. 행정안전부가 주재하면서 다른 부처들은 지원해주는 격이며 현재는 행정안전부를 중심으로 효과적으로 대응하고 있다. 재난이 발생하였을 경우 사용하는 장비들은 가격이 매우 비싸고 외부 요인에 취약한 특성을 가지고 있다. 무엇보다도 인명을 구해야 하는 급박한 상황에서 사람이 직접 들어가서 조치하기에는 매우 위험하다. 그러므로 현재 여러 연구기관에서는 무인기를 이용하여 재난환경을 대응하려는 움직임이 많이 생겨나고 있다. 본 논문에서는 재난환경에 대응하기 위해서 필요한 무인기의 운용개념을 제시한다. 현재 연구되고 있는 통신 기지국을 설치하여 운용하는 UAV-BS 개념에서 통신 증계와 측위 서비스를 고려한 UAV-BS에 대해 제안하였다.

제안하는 모델은 건물이 붕괴되었음을 가정하고 구조 활동 중에 유선 네트워크가 단절된 상황에서 통신을 제공하기 위한 개념으로 시작된다. UAV의 선회비행을 통하여 단말기들의 위치를 추정하여 통신이 가능한 최소 지점과 기지국이 최대로 송출할 수 있는 송신 전력을 고려하여 UAV가 위치할 수 있는 고도를 계산한다. UAV의 송신 전력을 고려하여 위치 가능한 최대 지점에서 DOP가 GPS 오차가 상용에서 사용하는 오차 범위를 만족하는 특정 값에 위치하는 고도에서 UAV를 배치하여 운용한다면 통신 및 측위 서비스를 제공할 수가 있다. 성능 평가를 통하여 통신 커버리지 내에 원활하게 통신을 제공해줄 뿐만 아니라 측위서비스도 원활하게 지원해 줄 수 있음을 확인하였다. 이후에는 UAV의 다양한 변수 및 여러 지상 환경을 적용하여 실효성을 분석할 예정이다.

참고문헌

[1] Framework Act On The Management Of Disasters And Safety, Public Safety and Security, Act No.17698, Dec, 2020.
 [2] Zhao, Nan, et al. "UAV-assisted emergency networks in disasters," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 26, No. 1,

- pp. 45-51, February 2019.
<https://doi.org/10.1109/MWC.2018.1800160>
- [3] Al-Hourani, Akram, SithamparanathanKandeepean, and Simon Lardner. "Optimal LAP altitude for maximum coverage." *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 3, no. 6, pp. 569-572, 2014.
<https://doi.org/10.1109/LWC.2014.2342736>
- [4] M. Alzenad, A. El-Keyi, F. Lagum, and H. Yanikomeroğlu, "3-D Placement of an Unmanned Aerial Vehicle Base Station (UAV-BS) for Energy Efficient Maximal Coverage," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 434-437, Apr. 2017.
<https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2700840>
- [5] Zhang, Haijun, Jianmin Zhang, and Keping Long. "Energy efficiency optimization for NOMA UAV network with imperfect CSI," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 38, No. 12, pp. 2798-2809, 2020.
<https://doi.org/10.1109/JSAC.2020.3005489>
- [6] Kyuman Lee, Hongjun Noh, and Jaesung Lim. "Airborne relay-based regional positioning system." *Sensors* vol. 15, no. 6 pp. 12682-12699, 2015.
- [7] Donghan Oh, Jongkwan Lee, Jaesung Lim, and Kyungwoo Kim, "An Airborne Communication Relay UAV Model for Locating the GPS-Denied Crashed UAV," *J.KICS*, Vol. 44, No. 6, pp. 1163-1172, June 2019.
<https://doi.org/10.7840/kics.2019.44.6.1163>
- [8] Seong Bok Hong, "A Study on the Integrated Control Platform for Fire Disaster Prevention and Response Based on PS-LTE ", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 45, No. 04, pp. 699-705, 2020
<https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.4.699>
- [9] Disaster Communication Safety Net Leaflet, Ministry of Public Administration and Security[Internet],
<https://www.mois.go.kr>.
- [10] Huang, Dongdong, et al. "Trajectory optimization and resource allocation for UAV base stations under in-band backhaul constraint." *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 83, 2020.
<https://doi.org/10.1186/s13638-020-01700-w>
- [11] Khelifi, Fekher, et al. "Localization and energy-efficient data routing for unmanned aerial vehicles: Fuzzy-logic-based approach." *IEEE Communications Magazine*, Vol. 56, No. 4, pp. 129-133, 2018.
- [12] Hyoun-Seok Moon, Woo-Sik Lee, "Development and Verification of A Module for Positioning Buried Persons in Collapsed Area," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 12, pp. 427-436, 2016
<http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.12>
- [13] <https://www.designboom.com/technology/net-guard-drone-11-07-2018>.
- [14] Won-Jae Shin, Yong-Tae Lee, "Design and Implementation of Local Forest Fire Monitoring and Situational Response Platform Using UAV with Multi-Sensor," *Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, Vol. 10, No. 6, pp. 626-632, 2017
<http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2017.10.6.626>
- [15] Han, Jinlu, and Yang Quan Chen. "Multiple UAV formations for cooperative source seeking and contour mapping of a radiative signal field." *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Vol. 74, No. 1, pp. 323-332, 2014
- [16] Joo-Hyung Lee, et al. "Development of Technology for Life Detection and Rapid Rescue in Disaster Area of Urban Underground Collapse," *Korea Institute Of Construction Technology*, 2018.
<https://doi.org/10.23000/TRKO201800042687>
- [17] Hanguk Jee, Jongkwan Lee, Jaesung Lim, and Chan Yi Park, "Optimal Airborne Relay Point Selection Scheme for Battlefields Using Single UAV," *J.KICS*, Vol. 43, No. 6, pp. 1028-1036, June 2018.
<https://doi.org/10.7840/kics.2018.43.6.1028>
- [18] Al-Hourani, Akram, SithamparanathanKandeepean, and Abbas Jamalipour. "Modeling air-to-ground path loss for low altitude platforms in urban environments." *2014 IEEE global communications conference*. pp. 2898-2904, 2014.
- [19] R. B. Langley, "Dilution of precision," *GPS world*, Vol. 10, No. 5, pp. 52-59, Oct. 1999.
- [20] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project." Available:
<https://www.3gpp.org>
- [21] Study on architecture aspects for using satellite access in 5G(release 17), 3GPP TR 23.737, v17.0.0, Dec. 2019.



오동한(Donghan Oh)

2015년 : 육군3사관학교 정보공학과 (공학사)

2020년 : 아주대학교 NCW학과 (공학석사)

2020년~현 재: 육군3사관학교 컴퓨터과학과 강사

※관심분야 : 사이버전, 정보보안, 전술통신, 네트워크, 이동통신



한덕수(Deok Soo Han)

1988년 : 금오공대 전자계산기공학과 (공학사)

1998년 : 대구가톨릭대학교 전산통계학과 (공학석사)

2003년 : 연세대학교 컴퓨터과학과 (공학박사)

1992년~현 재: 육군3사관학교 컴퓨터과학과 교수

※관심분야 : 멀티미디어, 소프트웨어 공학