

재난안전통신망의 네트워크 활용과 단말기 신호를 이용한 측위 기술 연구

오 동 한¹ · 이 준 석^{2*}

¹육군3사관학교 컴퓨터과학과 강사

^{2*}육군3사관학교 컴퓨터과학과 조교수

Utilization of Disaster Safety Communication Network and Research on Locating Using Terminal Signal

Donghan Oh¹ · Junseok Lee^{2*}

¹Lecturer, Department of Computer Science, Korea army academy at Yeoncheon, Yeongcheon 38900, Korea

^{2*}Assistant Professor, Department of Computer Science, Korea army academy at Yeoncheon, Yeongcheon 38900, Korea

[요 약]

재난안전통신망은 재난 발생 시 기지국이 불가한 곳에 일시적으로 기지국을 구축하여 단말기들에게 네트워크를 제공해주는 망이다. 하지만 재난 지역 같은 경우에 건물이 붕괴되거나 산악지형이라면 GPS 신호를 수신하기 어렵다. 위치가 정보가 없다면 재난 환경에서 사람들의 위치를 파악하기 어렵고 기지국과 통신이 돼도 구조하는데 어려움이 따른다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 기존의 PS-LTE에서 제공해주는 네트워크 기술을 탑재한 무인항공기가 단말기들의 신호를 수신하여 TDoA로 위치를 계산하는 모델을 제안한다. 제안된 모델에서 무인항공기는 원형으로 비행하며 신호를 수신받으며 성능평가결과 2km 반경 내 위치한 단말기들의 위치를 추정할 수 있었고 오차범위가 크더라도 구조 시 기지국이 탑재된 무인항공기를 사용하면 재난 구조에 기여를 할 것이다.

[Abstract]

A disaster safety communication network is a network that provides a network to terminals by temporarily building a base station in a place where a base station is impossible in the event of a disaster. However, in the case of disaster areas, it is difficult to receive a GPS signal if the building collapses or in mountainous terrain. Without location information, it is difficult to determine the location of people in the disaster area, and even if communication with the base station is available, it is difficult to rescue them. In this paper, to solve this problem, we propose a model in which an unmanned aerial vehicle equipped with the network technology provided by the existing PS-LTE receives the signals from the terminals and calculates the location by TDoA. In the proposed model, the unmanned aerial vehicle flies in a circle and receives signals, and as a result of the performance evaluation, the location of terminals located within a 2km radius can be estimated.

색인어 : 재난통신망, 이동통신, 무인항공기, TDoA, 위치추정

Keyword : Disaster Safety Communication Network, Mobile Communication, UAV, TDoA, Locating

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2022.23.1.159>



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 08 November 2021; **Revised** 29 November 2021

Accepted 17 December 2021

***Corresponding Author, Junseok Lee**

Tel: 

E-mail: jsleecs@mnd.go.kr

I. 서론

재난안전통신망은 대형 재난이 발생할 때 신속하게 무선통신망을 구축하는 기술이다. 재난 상황에서 구조 활동에 참여하는 단체들이 원활한 통신을 하기 위해서는 무선통신망이 하나로 통합해서 사용하는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면, 2003년 대구 지하철 화재 참사에 구조대마다 각기 다른 통신 방식의 무전기를 사용함에 따라 의사소통이 어려움을 겪었다. 이는 화재 대응에 더 큰 피해를 입힐 수 있었음을 지적받았으며 결과는 참혹했다. 2014년 세월호 참사를 계기로 본격적으로 추진되었으며 현재 무선통신기술은 5G 기술이 도입되는 시기이지만 3GPP에서 정의한 LTE 기반의 PS-LTE(Public Safety-Long Term Evolution) 4세대 통신 기술을 사용하고 있다. 그러한 이유는 재난안전통신망은 무엇보다도 안정적으로 기술 운용을 해야만 원활한 재난 대응을 할 수 있기 때문이다. 특히 무선기지국은 지진이나 화재와 같은 재난 상황에서 기지국이 파괴되는 상황이 빈번하게 발생하여 지상 단말기들에 무선통신을 지원하기 어려워서 PS-LTE 기술을 사용하고 있으며 광범위한 커버리지를 제공해주기 위해서는 기지국을 무인기에 탑재하여 단말기들에게 무선통신을 지원해주는 양상으로 발전하고 있다. [1],[2]

재난안전통신망은 피해자들에게 원활한 통신을 지원해주는 것과 더불어 피해자들을 안정적으로 구조하기 위해서는 피해자들의 위치정보와 그들의 생존 여부에 대한 정보가 필수적이다. 그리고 기지국에서 중앙집중적인 구조로 통제하기 위해서 단체 문자를 전송하는 기능이 필요하다. 그리고 기지국에서는 송수신 가능한 단말기들을 그룹화하여 그룹 통화, 그룹 영상 통화, 그룹 데이터 전송을 통하여 원활하게 통제를 해야 골든 타임을 아낄 수 있다. 이때 직접 구조를 하는 구조대 관점에서 단말기들이 기지국과 얼마나 떨어져 있는지 피해자들의 위치가 어디에 있는지에 대한 정보는 매우 중요하다. 위치를 확인한 단말기는 기지국과 단독 통화를 통하여 구조하는데 현재 자신이 처한 재난 상황을 공유하여야 한다.

현재 재난안전통신망은 정부 주도로 2021년 4월 26일 개통되었다. 재난에 대응하는 기관인 군, 경찰, 소방기관, 국민안전처, 지방자치단체 등을 하나의 무선통신망으로 통합하여 운용한다. 동영상과 사진과 같은 대용량의 정보를 송수신함에 있어 고용량의 통신망을 사용해야 하므로 LTE를 채택하여 사용하고 있다. 기술표준은 3GPP에서 발표한 PS-LTE 규격을 따르고 있다. 네트워크 기술은 재난 상황에 직면한 단말기들을 일괄적으로 통제하기 위한 그룹 통화, 기지국에서 직접한 단말기와의 통신을 원활 때 사용하는 기지국 단독 통화, 기지국과 통신 제한으로 인해 원활한 송수신이 어려운 단말기들은 기지국과 인접한 단말기의 패킷을 이용하여 단말 간 통신을 하는 D2D(Device to Device) 통신 기술들이 적용되어 사용되고 있다. 네트워크 기술은 무선통신의 발전에 따라 재난안전통신망도 재난 상황의 수요에 맞게 발전되고 있다. 하지만 단말기의 위치정보는 GPS(Global Positioning

System) 위성 신호만을 채택하고 있다. GPS 신호만을 사용하는 것은 지진과 화재로 인해 건물 붕괴가 일어난 상황에서는 위성 신호가 차단되어 단말기가 GPS 신호를 이용하기 어려워 위치 오차가 증가하여 기지국에서는 단말기들의 위치정보를 수신하여 사용하기가 어려운 환경에 직면한다. 그러므로 GPS 신호를 사용하지 못하는 상황이나 GPS 신호가 불안정하여 위치정보의 신뢰성이 떨어지는 상황에서는 기지국에서 단말기의 신호정보를 이용하여 위치를 추정해야 한다.

본 논문에서는 무인기에 기지국을 탑재한 재난안전통신망 관점으로 네트워크 관점에서 제공해야 할 기술과 상공에서 비행이 가능한 무인기가 단말기들의 통신 신호를 가지고 단말기들의 위치를 계산하는 기술인 TDoA(Time Difference of Arrival) 기술을 융합한 플랫폼을 제안한다. 네트워크 관점에서는 단말기의 요구기능을 조사하여 단말기의 상태정보를 바탕으로 단말기의 생존 가능성을 파악하여 그 정보를 바탕으로 구조를 한다면 구조 가능성을 높일 것을 시사한다. 그리고 GPS가 제한되는 재난 환경에서 기지국을 탑재한 무인기의 운용방법을 제시하여 단말기들의 통신 신호를 이용하여 어떻게 위치정보를 추정하는지에 대해 연구한다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 먼저 2장에서는 재난통신망과 관련된 관련 연구를 살펴보고 3장에서는 재난안전통신망에서 요구되는 네트워크 기술과 각 기술의 기능들을 제시한다. 4장에서는 기지국이 탑재된 무인기의 운용모형을 제시하고 어떻게 신호정보를 이용하여 위치를 계산하는지에 대해 분석한다. 5장에서는 실험환경을 소개하고 앞서 언급한 모형을 이용하여 통신과 위치정보를 제공해주는 재난안전통신망의 성능을 분석한다. 끝으로 6장에서는 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2-1 긴급재난문자

긴급재난문자는 재난안전통신망과는 별도로 운용되는 체계이다. 재난이 발생할 때 정부에서 이동통신 회사를 통하여 재난 지역에 거주하는 국민을 대상으로 신속하게 재난 상황을 알려 재난 지역에서 대피하도록 보내는 긴급 메시지이다. 대부분 현대인들이 핸드폰을 소지하고 있으며 TV나 인터넷 미디어보다도 핸드폰의 문자를 이용하여 정보를 제공하는 것이 효과적이다. 재난을 관리하는 부처인 행정안전부에서 정부에서 송출 권한을 부여받아 지자체나 정부기관에서 지역 범위를 설정한 후에 전송 여부를 결정 후 전송되어 진다. 이 동통신 기술인 CBS(Cell Broadcasting Service) 시스템을 이용하여 기지국에 연결된 모든 휴대전화에 메시지를 보낸다. [3] 전송 내용으로는 재난 알림과 발생 지역을 명시하며 간단한 국민 행동 요령이 포함되기도 한다. 현재 우리나라는 2016년 경주 지진 때에 즉각적인 조치를 하지 못하여 시스템에 대한 개선 필요성이 대두되었다. 지진과 같은 급박한 상황

이 발생할 때 기상청에서 직접 발송 권한을 가지고 국민에게 정보제공을 하고 있다. 이후 2017년 발생한 포항 지진 때에 수십 초 후에 발송되어 시스템이 많이 개선되었으며 현재는 코로나19와 같은 상황에서도 쓰이고 있으며 5G 시스템으로 변화됨에 따라 긴급재난문자도 여러 미디어를 활용하여 전송하는 방향으로 발전되고 있다.

2-2 PS-LTE

세계적으로 진행되고 있는 도시화의 가속화로 인해 대도시를 중심으로 인구 밀집도는 점점 증가 되고 있으며, 교통, 주택, 환경 등 삶의 질과 관련하여 많은 문제에 노출되고 있다. 특히, 도시는 대형화, 초고층화의 구조로 진화하고 있으며 다양한 재난 상황 발생 시 인명이나 재산피해에 취약한 상황에 놓이게 되었다. 또한, 최근의 기후변화에 따른 자연재해나 코로나19 바이러스와 같은 신종전염병에 인구의 밀집도가 높은 대도시의 피해가 크다는 것을 알 수 있다.

우리나라는 행정안전부 주관으로 각종 재난 상황에 일원화된 시스템으로 각 담당 부서별 유기적인 대응이 가능하도록 재난안전통신망을 올해 3월 구축하여 활용하고 있다. 재난안전통신망의 전체사업 규모는 구축 3년('18~'20년), 운영 5년('21~'25년)으로 총 8년 간 1조 5,000여억 원이 소요되는 대규모 사업이다. 재난 안전통신망 주요 특징으로는 세계 최초의 자가망 기반 PS-LTE(Public Safety - Long Term Evolution, 기존 광대역 이동통신(LTE) 기술에 재난 안전 대응에 필수적인 기증을 추가한 기술) 기술이 적용되었으며, 대한민국 전역에서 여러 재난 관련 기관들이 일원화된 통신체계를 사용할 수 있도록 구성되었고, 음성·사진·영상 등 멀티미디어를 활용한 입체적 소통이 가능하도록 구성되었다. PS-LTE는 경찰, 소방, 해경 등 재난 관련 기관들이 재난 대응업무에 활용하기 위해 전용으로 사용하는 전국 단일의 무선통신망으로 광대역 무선통신기술(LTE) 기반으로, 산불·지진·선박 침몰과 같은 대형 재난 발생 시 재난 관련 기관들의 신속한 의사소통과 효과적인 현장대응을 할 수 있도록 구축한 망이다. [3]

2-3 이동 기지국의 위치 측위 기술

재난 환경에서 실외에서 전개되는 이동 기지국의 위치 측위 기술은 GPS 기반의 Radio Beacon 시스템이 대표적인 기술이다. Radio Beacon 시스템은 재난 환경과 같은 위급 상황을 판단하는 프로세서가 단말기에 탑재되어 단말기의 상황이 안정적인 상황인지 주변 환경으로부터 위급한 상황인지 판단하여 기지국이나 위성에 자신의 위치 정보를 주기적으로 송출한다. Beacon 신호를 송출하는 단말기는 GPS 위치 정보에 전적으로 의존한다. GPS 신호가 사용할 수 없거나 불안정한 곳에 있다면 이동 기지국에서는 단말기의 위치를 탐지하기가 어렵다.

표 1. 무선통신기술에 의한 측위 기술

Table 1. Locating by wireless communication

Wireless Communication	Maximum Distance	Power Consumption
WiFi	35m	High
Zigbee	30~60m	Low
Bluetooth	10m	Low
UWB	~10m	Low

재난 환경에서 실내 측위 같은 경우에는 탐지해야 하는 단말기가 대체로 수 미터 혹은 수십 미터 공간에 위치하기 때문에 실외에서 기동하는 무인항공기보다 요구되는 성능이 높지 않다. 실용적으로 사용되는 실내 측위 기술은 사용 가능 거리가 매우 제한적이고 재난 환경과 같은 경우 붕괴된 건물에서만 사용할 수 있는 단점이 있다. 무선통신기반의 측위 기술은 아래 표 1에서 확인할 수 있다. 실외의 무인항공기 측위 기술 중 대표적인 기술은 무인항공기의 중계 시스템을 이용하는 것이다. 지상에 있는 통제소를 기준으로 공중 중계기가 비행하며 지상 단말기들의 신호를 중계해주며 공중 중계기의 타 임스탬프를 기준으로 공중 중계기의 위치와 단말기의 위치를 추정한다. [12] 이 기술은 여러 대의 중계기가 필요하며 중계 시스템을 활용한다는 것과 지상통제소에서 위치를 추정하는 단점이 있다. 더불어서 무인항공기 스스로 추정하지 않으며 무인항공기의 측위 관점만 고려하였으며 통신 지원에 관해서는 고려하지 않고 있다.

Ⅲ. 재난안전통신망 네트워크 서비스

재난안전통신망은 경찰, 소방, 해경 등과 같은 정부 기관에서 재난관련 상황이 발생할 경우에 대응하기 위한 전국 단일의 무선 통신망을 의미한다. 광대역 무선통신기술인 LTE를 기반으로 하고 있으며 산불, 지진과 같은 대형 재난 발생시에 단말기 통신 뿐만 아니라 음성, 사진, 영상과 같은 멀티미디어를 활용한 통신을 지원해주기도 한다. 재난안전통신망은 재난 관련 기관이라면 사용할 수 있으며 각 기관들은 행정안전부의 재난안전통신망관리과와 재난안전통신망 운영센터와 협업하여 아래와 같은 네트워크 활용 프로세스가 활성화된다.

3-1 그룹통화 (키워드 : MCPTT)

표 2에서 보는 바와 같이 정부에서는 재난안전통신망의 필수 요구사항으로 그룹 통화 기능 포함하고 있다. 각종 재난 상황에 대한 파악 및 업무 공조를 위해 같은 통화그룹에 속해있는 단말기 상호 간 1대 다수로 통화가 가능해야 하는 것을 의미한다.

표 2. 정부의 재난안전통신망 요구 필수기능 [5]

Table 2. Essential functions required by the government for disaster safety communication networks

Division	Requirements
Survival Reliability	Direct call/Terminal Relay, Mobility, Congestion control
Disaster Responsiveness	Individual call, Group call, Local selection, Group selection, Interception, Emergency call, Terminal locating
Interoperability	-
Operational efficiency	Situational message
Security	Terminal license, Encryption, Security standard, Security control

2014년 행정안전부에서 재난안전통신망 구축을 위해 PS-LTE 기술을 표준으로 선정하면서 PS-LTE 기술의 대표 기능인 MCPTT(Mission Critical Push To Talk)가 그룹 통화를 위한 표준화가 본격적으로 진행되게 되었다. MCPTT는 기존의 LTE 통신망을 활용하여 무전기에서 사용되고 있는 같은 Push to Talk 기능을 이용하여 긴급한 상황에 같은 가입자에게 필요에 따라 통신할 수 있는 기술이다. 1:N뿐만 아니라, 1:1 통신이나 비상통화에도 활용할 수 있다. [3]

3-2 기지국 단독 통화 (키워드 : IOPS)

IOPS(Isolated E-UTRAN Operation or Public Safety)는 그림 1에서와같이 기지국과 핵심망(EPC : Evolved Packet Core, LTE 망에서의 코어 네트워크 구조)과의 연결 구간인 백홀(backhaul) 연결이 끊겼을 경우 기지국 단독으로 운영되어 기지국 영역 내 단말 간의 지속적인 통신을 유지하는 기술로 MCPTT 등 공공안전 응용서비스를 가능하게 한다.[8]

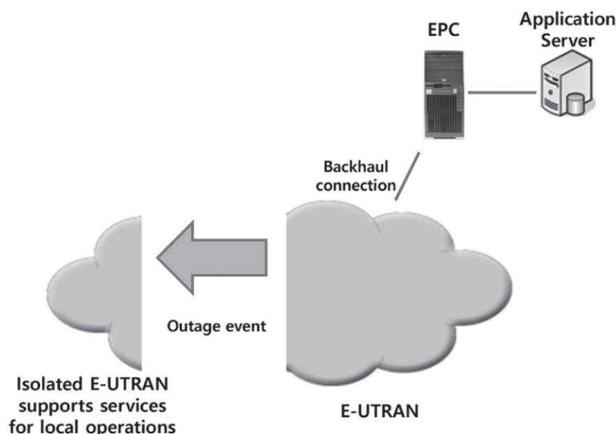


그림 1. 단독기지국의 모습 [7]

Fig. 1. Standalone base-station

3-3 단말 간 통화 (키워드 : D2D/device to device)

단말 간 통화는 D2D 또는 ProSe(Proximity Service) 라고 알려진 기술로 표1에서와같이 단말 간 통화 기능 역시 정부의 재난안전통신망 구축 사업에서 생존성과 신뢰성을 보장 받기 위한 필수 요구사항의 하나이다.

기지국 범위 안에 있는 단말기는 기지국에서 내보내는 신호를 이용하여 동기화가 진행되고, 기지국의 범위를 넘어서는 단말은 기지국 범위 내에 있는 단말을 활용하여 동기화를 진행하여 가입할 수 있게 하는 기술이다. 이 기술을 활용하게 되면 스마트폰으로 LTE 주파수를 통해 주변에 있는 단말의 위치를 파악할 수 있으며, 이를 통해 재난 상황에 놓인 가입자의 위치가 GPS 신호를 통해 감지하지 못하는 곳에서 조난을 당한다고 하더라도 가입자의 위치를 추적할 수 있도록 해 주는 기술로 활용될 수 있다. [7]

3-4 단말기의 네트워크 생존성 및 신뢰성

표 3. 재난안전통신망 생존·신뢰성 요구기능 [9]

Table 3. Disaster safety communication network survival and reliability requirements

Division	Unit	Requirements
Survival Reliability	Direct call/Terminal Relay	Mutual direct call, Terminal relay *Securing the survivability of the terminal
	Mobility	Maintaining a call when the terminal moves *Stable call status
	Congestion control	Stable maintenance in case of congestion due to user concentration
	Independent base-station	Exclusive call in case of base station overload
	Duplication	Multiple transmission medium operation(M/W, Satellite, IP line)
	Call quality	Provides Seamless call quality
	Backup	Important data restoration function in case of system failure

표 3은 정부에서 재난안전통신망 구축을 위해 요구하는 37개 주요 요구기능 중 단말기의 기본 서비스 시험규격 표준에서 생존·신뢰성에 대한 7가지 주요 요구기능에 관한 내용으로 단말기의 네트워크 접속 신뢰성을 보장하기 위해 기지국의 이중화 및 시스템 장애 시 중앙 관제시스템의 주요 데이터에 대한 자동 백업·복원 기능을 통해 재난안전통신망의 신뢰성을 확보하고 있다. 또한, 그림 2에서와 같이 대한민국 전역에 걸쳐 재난안전통신망을 구성하기 위해 4가지 솔루션을 활용하여 통신 음역지역을 최소화 하였다.

IV. 기지국의 단말기 신호를 이용한 측위 기술

종래의 PS-LTE 기술은 대부분 고정기지국에 관한 연구로서 재난 상황과 같은 특수한 환경에서는 기지국이 파괴되거나 송수신이 어려운 지역에 재난 지역이 발생할 때 원활한 통신서비스 제공을 위해서는 이동이 가능한 기지국을 이용한 PS-LTE 기술이 필수적이다.



그림 2. 재난안전통신망 기지국의 활용 [10]
 Fig. 2. Operation of disaster safety communication base station

특히 재난 환경은 예측 불가능성과 불확실성을 가지며 언제 어디에서 발생할지 모르는 특징을 가지고 있다. 그러므로 신속하게 재난 환경에서 기지국 통신망을 구축하기 위해서는 무인항공기에 기지국을 탑재하는 것이 가장 효과적인 방법 중에 하나이다. 무인항공기는 형태에 따라 고정익과 회전익으로 나뉜다. 회전익 같은 경우는 실내 측위에 많이 쓰이고 있으며 레저 활동과 같은 곳에 많이 쓰이며 플랫폼 자체의 크기가 작으므로 재난 환경 시 붕괴된 건물과 같은 실내에 있는 단말기의 위치 측위를 시행하고 있으며 장거리에 있는 단말기의 신호를 이용하는 기기를 기지국에 탑재하기가 어렵다. 결과적으로 현재는 단거리 신호 측위만 가능하며 장거리에 있는 단말기 측위 기술은 여전히 연구되는 중이다. 그리고 단말기의 위치를 추정하기 위해서는 고정된 위치가 아닌 원형 형태로 비행하며 신호를 계산해야 단말기의 위치를 추정할 수 있다. [10]

4-1 이동 기지국의 PS-LTE 운용 모델

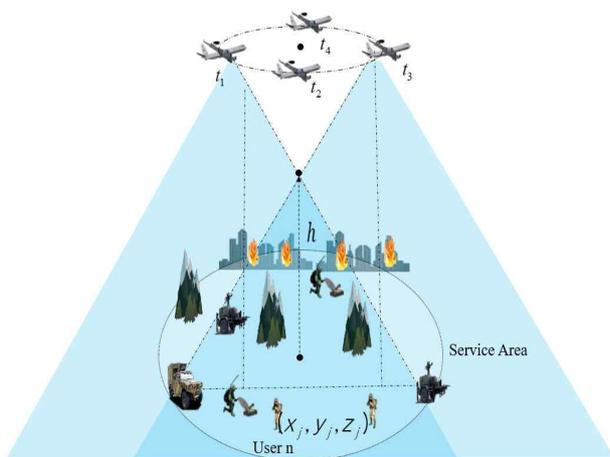


그림 3. 제안하는 PS-LTE 기지국 운용 모델
 Fig. 3. Proposed PS-LTE base station operating model

제안하는 이동 기지국의 운용 모델은 그림 3과 같다. 임의 지역에 재난 환경이 발생하였을 때 기지국이 탑재된 무인기를 재난 환경이 일어난 곳 상공에 위치시킨다. 무인기는 기지국이 탑재되었기 때문에 송출하는 전력에 따라 통신을 가능케 하는 커버리지가 결정된다. [11] 무인기는 재난 환경이 일어난 지역 중앙에 위치시켜 원형으로 비행을 실시한다. 이때 무인기는 원형으로 비행하면서 단말기들이 주기적으로 보내는 통신 신호를 실시간으로 수신한다. 결과적으로 일정 시간 동안 획득한 신호정보(t_i)를 이용하여 TDoA로 계산한다. 계산된 정보는 단말기들의 위치 정보로 추정할 수 있다.

4-2 TDoA 측위 기법

지상에 위치한 단말기들이 보내는 신호는 주기적으로 무인기의 수신기로 수신된다. 단말기가 최초로 보내는 신호의 시각을 t_i 라고 한다면 무인기가 수신한 시간은 τ_i 로 표현된다. 이는 무인기와 단말기간의 의사거리 ρ_i 로 아래 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_i = c \times (\tau_i - t_i) + \epsilon_i \tag{1}$$

이때, 식 (1)에서 c 는 빛의 속도를 의미하며 ϵ_i 는 단말기에서 무인기까지 신호가 수신되는 동안 발생하는 오차를 의미한다. 이 의사거리는 유클리드 공간의 3차원 직교좌표계에 위치벡터로 표현이 가능하며 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_i = \| \underline{R}_{\tau_i} - \underline{R}_{t_i} \| = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2} \tag{2}$$

$$\underline{H} = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ \vdots \\ x_j - x_1 & y_j - y_1 & z_j - z_1 \end{bmatrix}, \tag{3}$$

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} \rho_1^2 - \rho_2^2 + x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 \\ \rho_1^2 - \rho_3^2 + x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 \\ \vdots \\ \rho_1^2 - \rho_j^2 + x_j^2 + y_j^2 + z_j^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 \end{bmatrix},$$

$$\underline{\hat{R}}_{t_i} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix}$$

식 (2)에서 $\| \cdot \|$ 는 유클리드 공간에서 노름벡터를 의미한다. \underline{R}_{τ_i} 는 무인기의 위치벡터를 의미하며 \underline{R}_{t_i} 는 단말기들의 위

치벡터를 의미한다. $(i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$ 무인기는 첫 번째 위치에서 n 번째 위치까지 이동하는 동안 수신한 신호를 이용하여 비선형 최소제곱법(LSM, Least Squares Method)을 활용하여 식 (4)와 같이 표현할 수 있으며 이는 단말기 j 에 대한 위치정보 $\hat{R}_{t_j} = (\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ 를 추정한다.

$$\hat{R}_{t_j} = \frac{1}{2} (\underline{H}^T \underline{H})^{-1} \underline{H}^T \underline{Z} \quad (4)$$

V. 성능 평가

표 4. 무인항공기 제원

Table 4. UAV parameters

Parameter	Value(unite)
Number of terminals	16
UAV maximum transmission power	12W
Minimum required power of terminals	-70dBm
UAV Speed	180km/h
Turning radius of UAV	1km
Signal intervals	10s
Iteration	1000 times

성능평가는 Matlab 프로그램을 사용하였다. 프로그램 내 임의의 지역을 설정하여 모의실험을 시행하였다. 무인항공기는 군에서 사용하는 대표적 고정익 모델인 RQ-101을 사용하였다. 임의의 지역은 컴퓨터 시뮬레이션에서 재난 환경을 가정하였으며 가로, 세로 3km 범위로 설정하였다. 무인항공기가 수신하는 신호를 활용하기 때문에 의사거리를 계산할 때 발생하는 오차 값은 SatNav toolbox를 사용하여 다중경로 오차를 추가하였다. 고정익 항공기는 재난 환경이 발생한 지역에 원형으로 비행하도록 설정하였으며 단말기와의 통신을 위해 무선통신용 기지국을 탑재하였다. 무인항공기는 비행하는 동안 수신되는 단말기들의 신호는 10초로 설정하였다. 단말기의 개수는 16개로 설정하여 위치는 랜덤하게 분포하도록 설정하였다. 단말기들은 각자의 위치에서 GPS 신호는 받지 못하지만 재난 환경에서 주기적으로 신호를 송출할 수가 있으며 무인항공기가 신호 수신에는 문제가 없다고 가정하였다. 무인항공기는 재난 발생지역 중앙에 위치하도록 설정하였고 속력은 180km/h로 설정하여 비행을 실시하였으며 의사거리를 계산하기 위해서 원형 비행을 실시하며 계산된 단말기의 의사거리를 구하였다. 추가적인 무인항공기의 제원과 시뮬레이션 설정값은 아래 표와 같다. 오차 비교를 위해서는 한 단말기의 위치를 좌표 평면상에서 가장 끝지점인 3000, 3000에 위치하였고 비행을 1,000번 시도한 값의 평균을 구하였다.

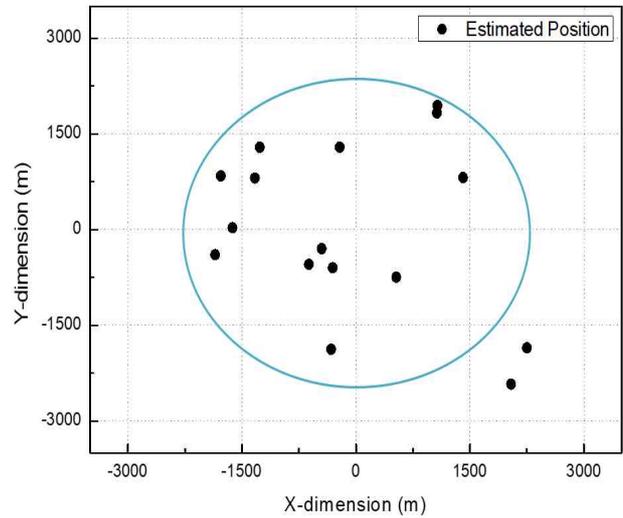


그림 4. 무인항공기의 송신 범위와 단말기들의 좌표 추정

Fig. 4. Estimation of the transmission range of the UAV and the coordinates of the terminals

그림 4는 무인항공기가 원형비행을 1회 실시한 후에 단말기들의 의사거리를 좌표상에 나타낸 그림이다. 각각 x축과 y축은 2차원 좌표평면을 기준으로 x축, y축을 의미한다. 무인항공기는 기지국에서 송출하는 통신세기를 이용하여 좌표상에 2km 반경으로 재난 통신을 지원해줄 수 있으며 단말기 내에 수신되는 신호를 통하여 GPS가 없어도 위치를 추정할 수 있음을 그림에서 확인할 수가 있다.

그림 5는 무인항공기의 고도에 따른 측위 정확도를 비교하기 위해 분석한 그림이다. x축은 고도를 의미하며 y축은 오차 비교를 위하여 대표적으로 사용되는 DOP(Dilution of Precision)라는 비교변수를 의미한다. 고도 같은 경우는 비행 경로는 같으나 높이만 달라지기 때문에 3차원 평면을 기준으로 x, y축이 고정된 상태에서 z축만 변화된다. 그러므로 3차원 환경에서 오차 비교를 위하여 DOP에서 z축을 의미하는 수직 오차를 나타내는 VDOP(Vertical Dilution of Precision)를 비교하였으며 z축이 전체적인 오차 범위를 어떻게 영향을 끼치는지 확인하기 위하여 x, y, z축의 값의 오차들을 더한 값인 PDOP(Position Dilution of Precision)와 비교하였다. 연구 결과 고도가 낮아지면 낮아질수록 즉, 저고도로 비행하는 것이 VDOP와 PDOP가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 거리가 멀어질수록 오차 값이 커지기 때문에 오차 편차 또한 비례적으로 상승하는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 시간 누적에 따른 단말기의 위치 오차와 무인항공기의 속도에 따른 위치 정확도를 확인하기 위한 그림이다. 위치 오차를 분석하기 위해서 RMSE(Root Mean Square Estimation)를 변수로 사용하였다. x축은 무인항공기의 속도를 y축은 RMSE를 의미한다. 각각의 타임 프레임은 5, 10, 15 프레임으로서 신호 주기가 10초이므로 단말기 위치를 확인한 시간이 각각 50초, 100초, 150초로 볼 수 있다.

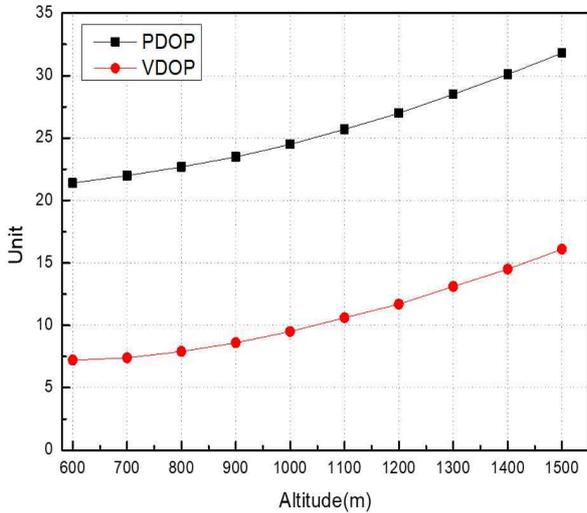


그림 5. 무인항공기의 고도에 따른 측위 정확도 비교
 Fig. 5. Comparison of locating accuracy according to altitude of UAV

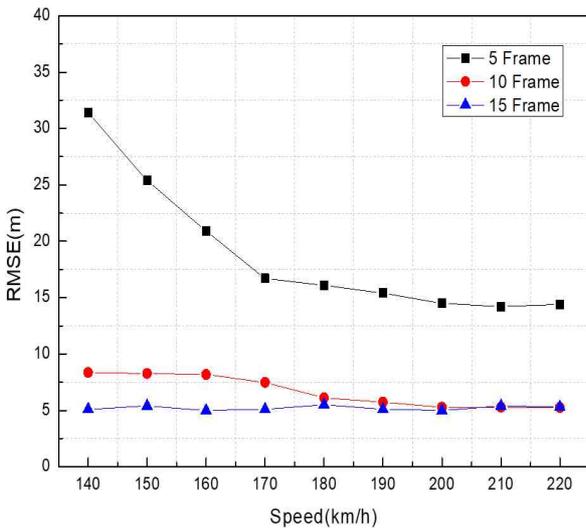


그림 6. 타임 프레임과 속도에 따른 단말기 RMSE 비교
 Fig. 6. Comparison of terminal RMSE according to time frame and UAV speed

연구 결과 5 프레임은 170km/h로 비행하는 곳에서 수렴하는 것을 확인할 수 있었고 10프레임과 15프레임은 속도와 관계없이 비슷한 오차 값으로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 무인항공기의 변수와 관계가 깊은데 무인항공기가 원형비행을 하게 될 경우, 10, 15 프레임은 시간 누적이 따른 무인항공기의 위치가 중복되어 위치 오차에 큰 변동이 없다. 5 프레임 같은 경우 시간 누적이 상대적으로 작으므로 위치 오차가 크게 나타나는 것을 확인할 수가 있다. 그러므로 속도를 빠르게 하고 시간 누적이 많을수록 위치 오차를 줄일 수가 있다.

IV. 결 론

재난안전통신망은 재난 지역에 기지국이 파괴되었거나 기지국이 원활한 작동이 어려울 때 일시적으로 기지국을 구축하여 단말기들에게 네트워크를 제공해준다. 네트워크 관점으로 중앙에서 통제, 제어하며 네트워크 트래픽을 제공해주며 재난 지역에 고립된 사람들의 상태정보를 확인할 수 있지만 구조 관점에서는 무엇보다도 재난 지역의 사람들이 어디에 있는지 파악하는 게 굉장히 중요하다.

하지만 재난 지역 같은 경우에 건물이 붕괴되거나 산악지형이 대부분인 우리나라에서는 GPS 신호를 수신하지 못할 경우가 빈번하게 발생한다. GPS 정보가 원활하지 않는다면 재난 지역에 있는 사람들이 자신의 위치를 파악하기도 어려워 기지국과 송수신이 된다고 해도 정확한 위치를 알려주기가 제한된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 기존의 PS-LTE에서 제공하는 네트워크 기술과 접목하여 수신되는 신호정보를 이용하여 TDoA로 위치를 계산하는 모델을 제안하였다. 신호를 계산하기 위해서 무인항공기는 원형으로 비행하며 신호를 수신받는다.

성능 평가를 통하여 네트워크를 제공해주면서 수신되는 신호를 계산하여 위치정보를 측정할 수 있었으며 고도가 낮을수록 위치 탐지에 유리하며 속도가 빠르고 시간이 누적될수록 오차 범위가 좁아지는 것을 확인할 수 있었다. GPS 위치 오차와 성능과 비교하였을 때는 오차 범위가 넓고 위치를 탐지하기 위한 시간이 다소 길지만 2km내 위치한 단말기들이 수십 미터 내에 위치하였기 때문에 구조 시 기지국이 탑재된 무인항공기를 사용하면 효과적인 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 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>
- [2] Malandrino, Francesco, et al. "Planning UAV activities for efficient user coverage in disaster areas," *Ad Hoc Networks* 89, pp. 177-185. April 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.04.001>
- [3] Pyo Kyungsoo, Byun Yoonkwan, Lee Hyunjee, Chang Sekchin, Choi Seong Jong, "A Study on the Trends of International Standards for CBS Image Service," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 25-26, November 2019.
- [4] Disaster Safety Communication Network, Disaster Management Office, Ministry of Public Administration and Security[Internet]. <https://www.mois.go.kr>.

- [5] Moon Seongho, Kim Yeongrak, Cho Gyuseong and Park Jinhyo. "Public Safety LTE Communication System," *Telecommunications Review* 24, No.6, pp. 800-808, 2014.
- [6] Telecommunications Technology Association(TTA) [Internet]. <https://www.tta.or.kr/>.
- [7] Kim Hanseok, Lim Jaejin, "PS-LTE standard and development trend for public disaster safety communication," *Information & communications magazine* Vol. 31, No. 10, pp. 43-48, 2014.
- [8] Main Feature for Public Safety based on LTE, Telecommunications Technology Association(TTA), Technical report TTAR-06.0169, 2016
- [9] Test Specification Of PS-LTE Basic Service Using User Equipment, Telecommunications Technology Association (TTA), Technical report TTA.KO-06.0525, 2020.
- [10] Disaster Communication Safety Net Leaflet, Ministry of Public Administration and Security[Internet], <https://www.mois.go.kr>.
- [11] Hyun-Woo Kim, Sang-Hoon Lee, Hyun-Goo Yoon, Yong-Hoon Choi, "Optimal Positioning of the Base Stations in PS-LTE Systems," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 41, No. 4, pp. 467-478, April 2016.
- [12] 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>
- [13] Al-Hourani, Akram, Sithamparanathan Kandeepan, and Simon Lardner. "Optimal LAP altitude for maximum coverage," *IEEE Wireless Communications Letters*, Vol. 3, No. 6, pp. 569-572, July 2014. <https://doi.org/10.1109/LWC.2014.2342736>
- [14] R. B. Langley, "Dilution of precision," *GPS world*, vol. 10, no. 5, pp. 52-59, Oct. 1999.



오동한(Donghan Oh)

2015년 : 육군3사관학교 정보공학과 (공학사)

2020년 : 아주대학교 NCW학과 (공학석사)

2020년~현 재: 육군3사관학교 컴퓨터과학과 강사

※관심분야 : 사이버전, 정보보안, 전송통신, 네트워크, 이동통신



이준석(Junseok Lee)

2004년 : 육군3사관학교 전산정보처리학과 (공학사)

2009년 : 고려대학교 컴퓨터과학과 (공학석사)

2018년 : Texas A&M 대학교 컴퓨터과학과 (공학박사)

2018년~현 재: 육군3사관학교 컴퓨터과학과 교수

※관심분야 : 정보보안, 운영체제, 이미지 프로세싱