

모바일 네트워크를 이용한 복수의 클라이언트용 무인항공기 원거리 운용 시스템 설계 및 구현

Design and Implementation of Mobile Network Based Long-Range UAV Operational System for Multiple Clients

박성현¹ · 송준범¹ · 노민식² · 송우진³ · 강범수^{1*}

¹부산대학교 항공우주공학과

²경인테크

³부산대학교 일반대학원 융합학부

Seong-hyeon Park¹ · Joon-beom Song¹ · Min-shik Roh² · Woo-jin Song³ · Beom-soo Kang^{1*}

¹Department of Aerospace Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²Kyung-In Tech, Changwon Gyeongsangnam-do 641-847, Korea

³Graduate School of Convergence Science, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

[요 약]

본 논문은 상용 모바일 네트워크를 이용하여 원거리에서 무인항공기를 운용하기 위한 복수의 클라이언트용 관제 시스템을 설계하고, 구현한 시스템의 성능 시험에 관하여 기술하였다. 이동통신망을 통한 원거리 접속을 위해 상용 M2M 모듈이 내장된 데이터 송수신 모듈을 제작하였고, 데이터베이스가 연결된 중앙 서버를 구축하여 무인항공기로부터 수신되는 비행 및 영상 데이터를 실시간으로 저장하고 지상관제시스템으로 전송할 수 있게 하였다. 지상관제시스템은 중앙관제용, 지상관제용, 스마트폰용으로 제작하여 사용 목적에 따라 운용하도록 구현하였다. 구축한 시스템으로 성능 시험을 실시하여 데이터의 지연 시간과 영상수신율, 클라이언트 상태를 측정하였고, 비행 시험을 통해 고도에 따른 모바일 네트워크 모듈의 통신 구현 가능성도 확인해 보았다.

[Abstract]

This paper describes the design and implementation of a network system for UAV for multiple clients that enables long-range operation based on a commercial mobile network. A prototype data modem is developed with a commercial embedded M2M module in order to provide an access to the mobile network. A central server with a database is constructed to record all of real-time flight and video data and communicate with a ground control system. A GCS is developed for the central control, the single UAV and the smart phone version to be used for different purposes. Performance tests were progressed for data delay, video frame rate and state of clients. Flight tests were also performed to verify the reliability of the modem with respect to altitude.

Key word : Mobile network, Long-range operation, Multiple client, Unmanned Aerial Vehicle, Ground control system.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.3.217>



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 16 April 2015; Revised 19 April 2015

Accepted (Publication) 17 May 2015 (30 June 2015)

*Corresponding Author; Beom-soo Kang

Tel: +82-51-510-2310

E-mail: bskang@pusan.ac.kr

I. 서론

무인항공기와 무선으로 통신하는 방법으로 100 m 내외의 근거리통신과 수 km 이상의 원거리통신이 있다. 그 중 근거리에는 Wi-Fi (IEEE 802.11), 블루투스(bluetooth), 지그비(zigbee) 등이 있고, 원거리에는 극초단파 통신과 위성 통신이 주로 사용된다. 근거리 통신은 저비용으로 제작 가능하지만 통신 범위에 제약이 있고 극초단파 통신은 10 km 이상의 송수신 범위를 가지지만 대용량의 데이터를 전송하기에 적합하지 않다. 위성을 이용한 방법은 광범위에서 고속으로 통신이 가능하지만 높은 초기 구축비용과 고도의 기술이 요구되므로 대부분 군사용으로 사용되고 있다[1],[2].

이러한 문제점을 보완하기 위해 최근에는 기반 시설이 잘 갖춰진 상용 이동 통신망을 이용하여 무인항공기와 지상제어시스템 간 데이터를 송수신하는 연구가 활발히 진행되고 있다 [3]-[6]. 현재 국내 상용 이동통신망은 3세대인 CDMA (code division multiple access)와 HSDPA (high speed downlink packet access)뿐만 아니라 4세대 통신 방식인 LTE/ LTE-A (long term evolution/advanced)가 널리 사용되고 있고, 전 세계적으로 166 개 국가에서 577개 이상의 통신사업자가 4세대 규격으로 서비스를 실시하고 있다[7],[8]. 4세대의 통신 표준 최고 속도는 하향 100 Mbps, 상향 50 Mbps 로 기존의 3세대보다 12 배 이상 상승되었고, 향후 국내에서는 2017년 이후 5세대의 통신 서비스가 시행될 예정이다[9],[10]. 또한, 모바일용으로 제작된 네트워크 통신 모듈은 소형 무인항공기 (UAV; unmanned aerial vehicle)의 탑재 중량을 줄일 수 있을 만큼 무게가 감소되었고 크기도 소형화되었다. 이와 같은 조건으로 기존의 무인항공기 통신방법과 비교한다면, 상용 이동통신 모듈을 이용한 운용 시스템은 소형 무인항공기의 원거리 통신하는 수단으로써 적합하다고 판단된다.

이를 바탕으로 본 논문에서는 현재 상용화 되고 있는 모바일 네트워크를 이용하여 근거리뿐만 아니라 원거리에서 무인항공기를 운용하고 관제하기 위한 시스템을 설계하였고, 중앙 서버와 다수의 클라이언트를 이용하여 실시간으로 비행 및 영상 데이터와 제어 명령을 통신해 봄으로써 모바일 네트워크의 통신 상태 신뢰성과 구현 가능성에 대하여 확인하였다. 또한, 자체 제작한 쿼드콥터 방식의 UAV를 이용하여 모바일 네트워크 통신의 신뢰성이 확인된 범위 내에서 실제 비행 시험을 수행하여 제작한 데이터 모듈의 통신 신뢰성을 검증하였다[12].

II. 시스템 구성

본 시스템은 그림 1과 같이 중앙관제시스템(점선 내부), UAV 운용시스템(점선), 모바일 어플리케이션(application)(실선)으로 구성되어있다. 중앙관제시스템은 중앙 서버와 데이터베이스 서버, 중앙관제용 GCS (ground control system)로 구성

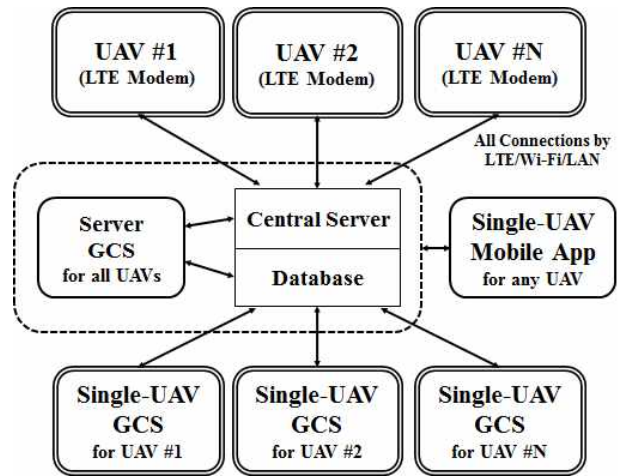


그림 1. 복수의 클라이언트를 이용한 무인항공기 운용 시스템 네트워크 구성도

Fig. 1. Schematic diagram of the UAV operation system based on multiple clients control network.

되며, 모바일 네트워크 모듈이 장착된 무인항공기에서 비행 및 영상 데이터를 수신한 뒤 원거리에서 위치한 UAV GCS로 전송을 하고 동시에 데이터베이스로 저장 한다. UAV 운용시스템은 무인항공기와 지상관제시스템으로 구성되며, 서버로부터 승인된 무인항공기의 데이터를 받아 비행제어컴퓨터 (FCC; flight control computer)의 상태를 화면에 출력하거나 운용자가 선택한 명령을 전송하는 역할을 한다. 모바일 어플리케이션은 운용자 및 나머지 인원의 편의성을 위한 관제 시스템으로 안드로이드환경의 스마트폰에서 구동을 하며 독립적으로 운용되는 지상관제시스템과 동일한 역할을 수행한다.

각 장치들은 상황에 따라 LTE 또는 IEEE 802.11로 연결되며, 전송 방식은 TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol)로 이루어진다.

III. 시스템 설계 및 제작

3-1 모바일 네트워크 모듈

상용 모바일 네트워크에 접속하기 위해 이동통신사에서 제공하는 M2M (machine to machine) 모듈을 사용하여 그림 2와 같이 LTE방식으로 연결 가능한 통신 모듈을 제작하였고,



그림 2. 모바일 네트워크 모듈
Fig. 2. Mobile network modem.

표 1. M2M용 LTE 모듈 상세 사양
Table 1. Specification of the M2M LTE module.

Item	Specification
Form Factor	PCI express mini card
Technology	Release 8 LTE FCC Cat3
Typical Data Speed	Download: 35 Mbps Upload : 10 Mbps
Maximum Data Speed	Download: 73 Mbps Upload: 25 Mbps
LTE Frequency	(TX) 839 ~ 849 MHz (RX) 884 ~ 894 MHz
Dimension	30 mm × 26.8 mm × 4.5 mm
Interface	USB / UART / UICC / GPIOs
Supported OS	Linux, Android, Windows
Antenna	2 (Main and diversity antenna)

LTE모듈의 상세 사양은 표 1과 같다[11]. 제작한 모델은 시제품 형태(prototype)로 제작하였으며, 외부 크기는 100×80 mm 이고, M2M 용 LTE 모듈이 장착된 보드와 중앙처리장치(CPU; central processing unit)가 장착된 보드를 상하로 결합한 복층 형태로 제작하였다. 데이터 처리를 위한 CPU는 1.2GHz ARM 프로세서를 탑재하였고, 주변 장치로 데이터 송수신을 위해 RS-232 포트를 장착하였다. HD (high definition video) 급의 영상 데이터 전송을 위해 HDMI (high definition multimedia interface) 케이블 입력 단자도 추가하였다. 유선 LAN (local area network) 커넥터로 초기 성능 테스트가 가능하고, 일반 컴퓨터에서 모델 동작상태 확인을 위해 USB 2.0 (universal serial bus) 포트도 추가하였다(그림 3). 내부 프로그램은 미들웨어 (middleware)와 어플리케이션 (application)으로 구성되며

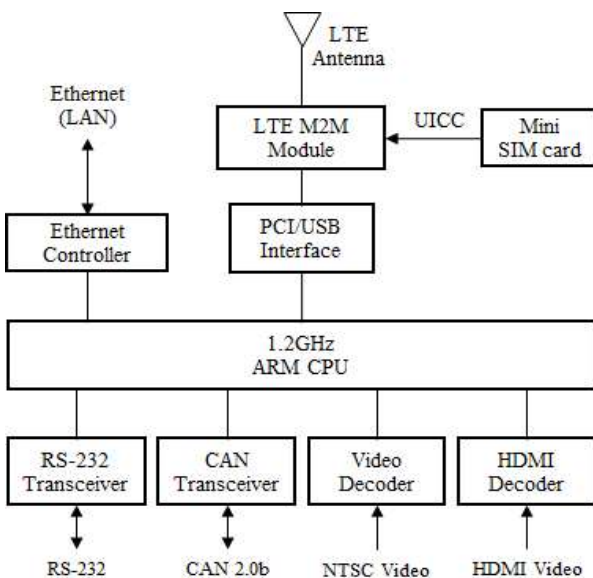


그림 3. 모바일 네트워크 모뎀의 하드웨어 구조
Fig. 3. Hardware structure of the mobile network modem.

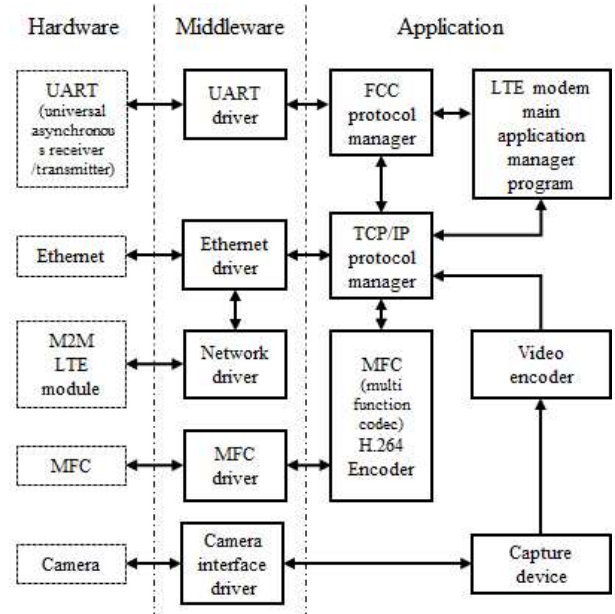


그림 4. 모바일 네트워크 모뎀의 소프트웨어 구조
Fig. 4. Software structure of the mobile network modem.

(그림 4), 어플리케이션은 영상 입력 단자를 통해 수신 받은 데이터를 H.264 형태로 변환하여 서버로 전송시키고, 서버에서 수신 받은 데이터를 무인항공기로 전송하는 역할을 한다.

3-2 중앙관제시스템

중앙관제시스템은 중앙서버(central server)와 데이터베이스 서버(database server), 중앙관제 프로그램으로 구성되며 중앙 서버와 무인항공기, 지상관제시스템 간 데이터 흐름을 제어한다. 중앙 서버를 통해 수신된 무인항공기의 비행 및 영상데이터를 데이터베이스에 저장하고 지상관제시스템 또는 모바일 어플리케이션에서 요청 시 실시간으로 영상 전송 및 재생이 가능하도록 제작하였다. 중앙관제 프로그램은 운용되고 있는 전체 무인항공기의 상황을 파악할 수 있으며, 필요시 개별로 운용되고 있는 무인항공기의 상황도 관제 가능하다. Microsoft Windows Server 2012 환경에서 구동되며, 데이터베이스 시스템으로의 저장 및 수정을 위해 MS-SQL 프로그램을 사용하였다. 그림 5는 운용되고 있는 전체 무인항공기를 관제하는 경우와 개별로 운용 중인 무인항공기 관제 화면을 나타내었다.

3-3 UAV 운용시스템

UAV 운용시스템은 무인항공기와 지상관제시스템으로 구성되며, 한명 이상의 인원이 실시간으로 비행을 제어하고 전체 운용 상황을 관제한다. 데이터는 무선 LAN을 통하여 서버로부터 수신되지만 모바일 네트워크의 지연 시간이 크거나 상황에 따라 RS-232 포트로 직접 수신 받을 수 있다. 지상관제시스템에서 사용되는 프로그램은 Microsoft Windows 운영체제에서

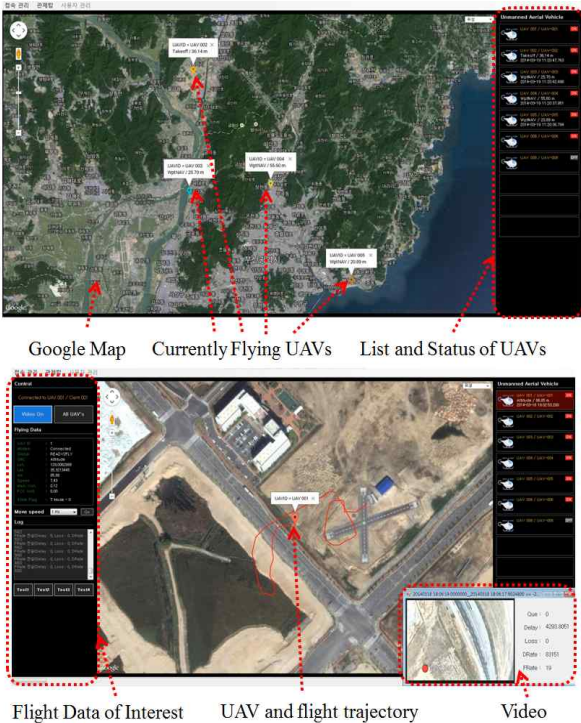


그림 5. 중앙관제용 프로그램 - 전체 관제화면 (위), 개별 관제화면 (아래)
 Fig. 5. Central control program - multiple mode(up) and single mode (down).

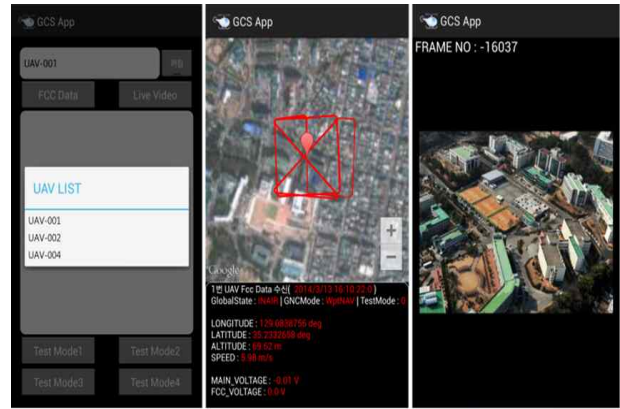


그림 7. 모바일 어플리케이션 GCS 화면
 Fig. 7. GCS layout for mobile application.

구동 가능한 C/C++ 언어로 제작되었으며, 터치 입력이 가능한 tablet PC에서도 운용 가능하도록 명령 버튼(자동 이/착륙, 경로 점 비행 등)을 구성하였다. 야외에서 시스템 운용 시 실제 비행 위치의 정확도를 높이기 위하여 비상업용으로 공개된 다음지도 API (Daum map application programming interface)와 구글 지도(google map) API를 적용하여 원거리에서 이동하는 무인항공기의 위치와 경로점 좌표를 2D 또는 3D 시점의 형태로 확인할 수 있게 하였다(그림 6).

3-4 모바일 어플리케이션

안드로이드 버전으로 제작된 프로그램으로써 화면 구성은 그림 7과 같다. 현재 운용 중인 무인항공기의 번호와 위치, 경로, 전압 등의 정보를 확인할 수 있으며 실시간으로 영상 데이터 확인도 가능하다. 프로그램을 구동한 뒤 사전에 등록된 ID와 비밀번호를 입력하여 서버로부터 허용 승인이 이루어지면 중앙 서버로 접속이 되며, 접속한 ID에 따라 명령 전송이 가능하다(그림 7).

IV. 시스템 성능 시험 및 검증

제작한 모뎀과 프로그램을 이용하여 데이터 송수신 지연 시간, 초당 영상 수신 프레임, 연결 가능한 클라이언트 수를 확인하고, 실험 목적으로 제작한 쿼드콥터 형태의 무인항공기의 하단부에 모바일 네트워크 모뎀을 장착하여 실제 비행 시험을 통해 고도에 따른 모바일 네트워크의 수신 상태를 확인하였다.

4-1 네트워크 지연 시간

송수신 지연 시간은 중앙 서버와 지상관제시스템에서 처리되는 연산 시간을 최소화하고 네트워크에서 소요되는 시간을 최대화시키기 위하여 데이터 송수신 시 발생하는 전기적 신호

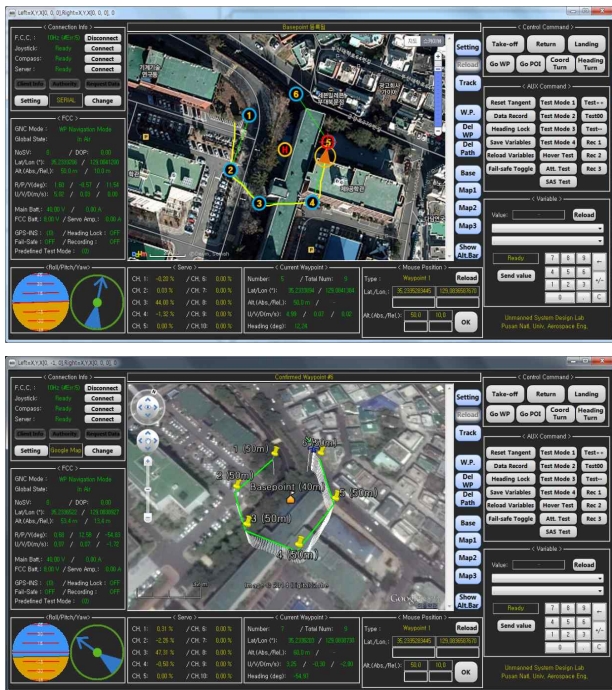


그림 6. 개별 UAV GCS 프로그램 - 다음지도(위)와 구글지도(아래)
 Fig. 6. Single-UAV GCS program - Daum map(Up) and Google map(Down).



그림 8. 지연시간 측정을 위한 오실로스코프와 네트워크 modem
Fig. 8. The Oscilloscope and network modem for delay time test.

표 2. RSSI 에 따른 지연 시간 측정
Table 2. Test result on delay time on RSSI.

RSSI	Round Trip Time (ms)		Average (ms)
	min	max	
25~30	min	67.200	96.380
	max	125.560	
15~24	min	138.01	209.514
	max	281.018	
0~14	min	286.510	288.274
	max	290.039	

를 오실로스코프 장비를 이용하여 검출하였고, 모바일 네트워크 모뎀에서 중앙 서버로 테스트 메시지(데이터가 포함되지 않은 헤더만 있는 메시지)를 보낸 뒤 다시 네트워크 모뎀으로 테스트 메시지가 수신된 시간을 측정하였다(그림 8). 실험 장소는 주변 상황(기지국과의 거리, 건물 내부, 전자장비 근처, 동시 접속자 수, 무선 통신에 의한 혼선 등)에 따라 통신 품질이 변동하는 모바일 네트워크 특성으로 인하여 모듈 제조사에서 내부적으로 출력되는 RSSI (received signal strength indicator) 값에 따라 위치를 구분하여 수행하였다. 측정 결과 RSSI 값이 25 이상일 경우에는 지연시간이 평균 100 ms 이하로 측정되었고, RSSI 값이 25 미만일 경우에는 평균 200 ms 보다 높게 측정이 되었다(표 2). 같은 공간에서 측정을 하였다더라도 시간에 따라 접속 상태가 변동하였으며, 무선 통신 전자장비(블루투스, 무선 공유기, RF 조종기)가 있을 경우 서버와 접속이 끊기는 현상도 나타났다.

4-2 영상 데이터 수신

초당 영상 수신 프레임은 0.01초 단위로 출력되는 전자시계를 모바일 네트워크 모뎀에 연결된 카메라로 1초 동안 DB서버에 수신 성공한 이미지 파일 개수로 측정하였다. 이미지 파일의 해상도는 320×200, 640×480, 1280×700 으로 변환 가능하지만 시작품 모뎀의 성능과 네트워크 상태를 고려하여 VGA급인 640×480 로 설정하였으며, 실시간으로 서버에 저장된 영상데이터의 최대 개수는 평균 19~20 frame/s 인 것을 확인하였다. 그림 9에 서버로 수신된 20개의 영상데이터 중 일부 파일을 나타내었다.

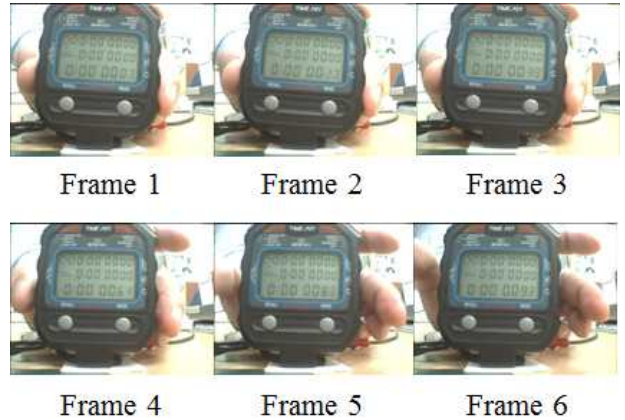


그림 9. DB 서버에 수신된 영상 데이터 중 일부
Fig. 9. Several image file received in the DB server.



그림 10. 서버에 접속된 클라이언트 형태
Fig. 10. Type of clients connected to the central server.

4-3 클라이언트

동시 접속을 위해 사용된 클라이언트는 중앙관제시스템용 프로그램 2 개, 모바일 어플리케이션 프로그램 3개, 지상 실험용 모바일 네트워크 모뎀 1개로 총 6개의 클라이언트를 동시 접속시켰으며 모든 클라이언트의 프로그램이 안정적으로 구동됨을 확인하였다(그림 10).

4-4 UAV 운용 시험

실제 비행 시험은 부산대학교 양산캠퍼스 무인비행시험센터에서 수행하였으며(그림 11), 고도에 따른 모바일 통신 네트워크의 전송 상태 신뢰성을 실험하였다. 중앙 서버는 시험 장소로부터 직선거리로 약 36 km 떨어진 장소에 설치하였고, 비행 시험은 주거 지역의 안전을 고려하여 비행장 내에서만 시험을 수행하였고 최대 상승 고도는 지면에서 약 300 m 까지 실시하였다. 그림 12는 실제 비행시험을 통해 무인항공기에서 중앙



그림 11. 쿼드-로터 형태 UAV(위)와 비행 테스트(아래)
 Fig. 11. Quad-rotor type UAV(Up) and flight test(down).

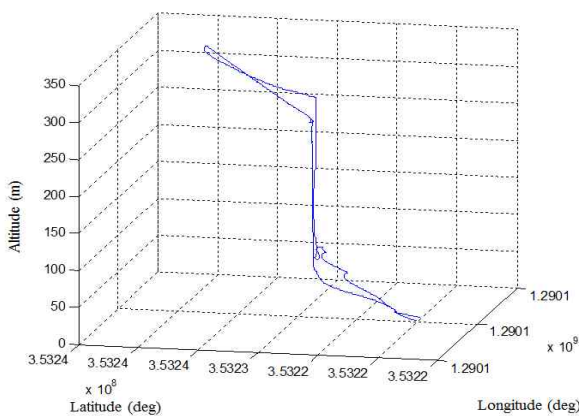


그림 12. 위치와 고도에 따른 비행경로 데이터
 Fig. 12. Flight trajectory data with respect to position and altitude.

서버로 저장된 비행 데이터로써 고도를 기준으로 위치와 고도에 따른 데이터를 그래프로 표시한 것이다. 전체 비행시간(약 10분) 동안 300 m 고도 이하에서 데이터 손실 없이 위도와 경도 데이터가 저장된 것을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 모바일 네트워크를 이용하여 복수의 클라이언트를 위해 무인항공기를 원거리에서 운용하기 위한 시스템을 제작하고 시스템의 운영 성능 결과에 관하여 기술하였다. 모바일 네트워크에 접속하기 위해 LTE모듈이 내장된 데이터 모뎀을 제작하였고, 중앙 서버를 구축하여 무인항공기에서 전송되는 영상과 비행데이터를 저장하고 UAV 운용시스템과 모바일 어플리케이션을 이용하여 저장된 데이터를 출력 및 재생 할

수 있도록 하였다. 성능 실험을 통하여 지연 시간, 초당 영상 프레임, 접속 가능한 클라이언트 수와 상태를 확인하였고, 실제 비행을 통해 지면 300 m 이하에서 모바일 네트워크를 통한 무인항공기와의 통신 신뢰성을 확인할 수 있었다.

끝으로, 현재 4세대(LTE/LTE-A) 방식으로 대부분의 서비스가 이루어지고 있는 국내 모바일 네트워크는 3세대(CDMA/WCDMA) 방식의 서비스보다 무인항공기와의 데이터 통신 적용에 적합하지만 실제로 HD급 영상 데이터와 같은 고용량의 데이터를 전송하기에는 부족하다고 판단된다. 향후 5세대 방식의 통신 서비스가 국내에 구현이 된다면 기존의 모바일 네트워크 방식보다 고성능으로 무인항공기 운용 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 본 연구는 지식경제부, 한국산업기술진흥원, 동남 지역사업평가원의 지원으로 수행된 광역경제권 선도산업 육성 사업의 연구결과입니다. 또한 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2012R1A5A1048294)에 의해 수행되었으며, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] H. G. Kim, J. B. Song, W. J. Song and B. S. Kang, "The study of the peer-to-peer communication system for a UAV navigational monitoring using a HSDPA", *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 15, No. 6, pp. 1025-1033, Dec. 2011.

[2] H. G. Kim, Y. S. Byun, J. B. Song, W. J. Song and B. S. Kang, "A study on the WCDMA-based network communication for UAV control", in *Conference of Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Jeju-do: Korea, pp. 1315-1318, Nov. 2010.

[3] B. J. Lee, C. J. Kim, S. C. Yun and S. K. Sung, Advanced Science Letters, "Design and implementation of rotary unmanned aerial vehicle onboard flight control system with 3G-WiFi dual linkage performance", *American Scientific Publishers*, Vol. 15, No. 1, pp. 246-251, Aug. 2012.

[4] D. A. Shukla and A. A. Deshpande, "A study paper on 4G and MANET, wireless network of battlefield in future", *The International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 4, No. 12, pp. 262-269, Dec. 2013.

[5] S. W. Kwak, H. Choi and J. M. Yang, "A real-time video transferring and localization system in HSDPA network", *The*

Journal of Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 1, pp. 21-26, Feb. 2012.

- [6] H. Jensen and J. Sharpe, LTE infrastructure for command and control networks, Radisys, Hillsboro, OR 97124 USA, White Paper, Jun. 2013.
- [7] Global Mobile Suppliers Association (GSA) [Internet]. Available: <http://www.gsacom.com>
- [8] Ministry of Science, ICT and Future Planning [Internet]. No. 485. Available: <http://www.msip.go.kr/web/msipContents/contents.do?mId=MTQ2>
- [9] K. S. Lee, W. H. Seok, and Y. K. Song, "Current status and prospect of LTE market", *Electronics and Telecommunications*

Trends, Vol. 26, No. 4, pp. 152-164, Aug. 2011.

- [11] Ministry of Science, ICT and Future Planning, pp. 14, 2013. Oct. [Internet]. Available: <http://www.msip.go.kr/web/msipContents/contentsView.do?cateId=mssw44&artId=1215668>
- [10] N. Goddemeier, K. Daniel and C. Wietfeld, "Coverage evaluation of wireless networks for unmanned aerial systems", *Communication Networks Institute, IEEE Globecom workshop on Wireless Networking for UAV*, Miami, FL, pp. 1760-1765, Dec. 2010.
- [12] LG Innotek Wireless Modem(3G/4G) [Internet]. Available: http://www.lginnotek.co.kr/products/network_wireless_modem.jsp



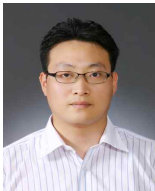
박 성 현 (Seong-Hyeon Park)

2013년 2월: 경희사이버대학교 자산관리학과 (경영학사)
 2013년 2월~현재: 부산대학교 대학원 항공우주공학과 석사과정
 ※ 관심분야: 무인기체계시스템, 지상관제 프로그램



송 준 범 (Joon-Beom Song)

2005년 8월: 부산대학교 항공우주공학과 (공학사)
 2015년 2월: 부산대학교 항공우주공학과 (공학박사)
 2015년 3월~현재: 부산대학교 대학원 항공우주공학과 박사 후 과정
 ※ 관심분야: 무인기시스템 설계, 임베디드 시스템 개발, 유도 및 제어



노 민 식 (Min-Shik Roh)

2005년 2월: 부산대학교 항공우주공학과 (공학사)
 2007년 2월: 부산대학교 항공우주공학과 (공학석사)
 2012년 3월~현재: 부산대학교 대학원 항공우주공학과 박사과정
 2012년 11월~현재: ㈜경인테크 기술연구소 근무
 ※ 관심분야: 유도 및 제어, 항법, 무인시스템 등



송 우 진 (Woo-Jin Song)

1999년 2월: 부산대학교 항공우주공학과 (공학사)
 2005년 8월: 부산대학교 항공우주공학과 (공학박사)
 2006년 3월~현재: 부산대학교 일반대학원 융합학부 그린수송시스템설계 전공 교수
 ※ 관심분야: 무인기, 소성가공 공정설계 및 항공기 구조해석



강 범 수 (Beom-Soo Kang)

1981년 2월: 부산대학교 기계공학과 (공학사)
 1983년 2월: KAIST 항공우주공학과 (공학석사)
 1990년 2월: Dept. of Mechanical Eng., Univ. of California at Berkeley, USA (공학박사)
 1991년~현재: 부산대학교 항공우주공학과 교수
 ※ 관심분야: 무인시스템, 가변성형, 소성가공