

Embedded Linux 기반 무인비행로봇의 저가 고정밀 위치 모니터링 시스템 구현 연구

An Implementation Study on a Low-cost High-accuracy Position Monitoring System for Unmanned Flying Robots

임준후, 김희성, 이제영, 최광호, 조정호, 이형근*
(Joonhoo Lim¹, Hee Sung Kim¹, Je Yong Lee¹, Kwang Ho Choi¹, Jeongho Cho², and Hyung Keun Lee^{1,*})

¹School of Electronics, Telecomm. & Computer Eng., Korea Aerospace University

²Department of Avionics Eng., Hanseo University

Abstract: Recently, UFRs (Unmanned Flying Robots) have begun to be utilized in various areas for civilian and military applications. Due to this increased utilization, accidents involving UFRs are also increasing. To prevent or monitor accidents caused by UFRs, high-accuracy positioning information is one of the most important technical elements. This paper proposes an efficient UFR monitoring system which provides accurate UFR positioning information with low-cost onboard elements; a small ARM module based on an embedded Linux operating system, a low-cost single frequency GPS receiver with a cheap patch antenna, and a versatile wireless network interface module. The ground monitoring system employs a dual frequency GPS receiver to generate exact UFR coordinates with cm-level accuracy. By processing the UFR measurements based on the Inverse RTK (Real Time Kinematic) method, the ground monitoring system determines the cm-level accurate coordinates of the UFR. The feasibility of the proposed UFR monitoring system was evaluated by three experiments in terms of data loss and accuracy.

Keywords: URF, embedded linux, GPS, inverse RTK, monitoring system

I. 서론

최근 무인비행로봇(UFR: Unmanned Flying Robots)에 대한 연구는 유인항공기에 비해 가격이 저렴할 뿐만 아니라, 위험도가 높은 작업과 좁은 공간에서의 작업이 용이한 장점으로 인하여 국가적인 차원에서 활발히 진행되고 있다 [1]. 또한 UFR의 임무반경과 비행고도에 따라 여러 종류로 분류할 수 있고 [1], 그에 따라 다양한 분야에서 활용이 가능하다. 그 중 국내 모니터링 활용 측면을 살펴보면, 크게 재난/재해 분야와 시설물 관리 분야 목적인 민간 분야와 군사적인 목적으로도 활용되고 있다 [2].

UFR의 이용분야가 점차 증가됨에 따라 UFR의 위치를 정확하게 판단하기 위한 연구가 중요시되고 있다. UFR로 취득된 자료를 상용 기술로 처리한 결과 GPS (Global Positioning System)와 INS (Inertial Navigation System) 자료를 처리했을 경우 약 10 m, 지상기준점을 이용했을 경우 약

10 cm의 오차가 발생됨을 확인한 연구결과가 최근에 발표되었다 [2]. 또한 다수의 안테나를 사용한 자세 측정용 GPS (ADGPS: Attitude Determination GPS) 수신기와 IMU (Inertial Measurement Unit)의 결합을 통하여 정밀 위치 추정을 위한 기법이 제안되었다 [3]. 이는 삼차원의 자세정보까지 제공할 수 있는 ADGPS를 활용하여 IMU의 오차를 효과적으로 보정함으로써 보다 향상된 위치 정확도를 제공한다. UFR의 정밀한 위치 추정이 필요한 이착륙 유도를 위하여 영상을 활용한 연구도 최근에 시작되고 있다 [4].

본 논문에서는 UFR의 정밀한 위치 추정을 위하여 RTK (Real Time Kinematic) 기법을 활용한 모니터링 시스템을 제안한다. UFR에 탑재될 장비는 저가·소형화 및 경량화를 위하여 단일 GPS 수신기와 임베디드 리눅스(Embedded Linux) 시스템을 활용하였다. 기준국은 중앙 모니터링 시스템과 연동되며, 정밀한 위치 결정을 위하여 이중 주파수 수신기를 활용한다. 기존 RTK 기술의 구성은 기준국에서 오차 보정정보를 이동국으로 전송하여 이동국에서 정확한 위치를 결정하는데 반하여, 본 논문에서 제안된 방법은 이동국으로부터 획득된 데이터와 기준국에서 생성된 보정정보를 기준국 모니터링 시스템에서 보정하여 UFR의 정밀한 위치를 중앙 모니터링 시스템에서 결정하는 Inverse RTK 기법 [5,6]을 활용하였다. Inverse RTK 기법은 기존 RTK 기법을 통하여 수 cm의 정확도를 유지하며, 사용자의 계산능력의 제한 사항을 극복할 수 있다. 이러한 Inverse RTK 기법을 활용하여 UFR에 설치된 Embedded Linux 보드에서

* Corresponding Author

Manuscript received August 30, 2014 / revised September 15, 2014 / accepted September 22, 2014

임준후, 김희성, 이제영, 최광호, 이형근: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

(limjh@kau.ac.kr/hskim07@kau.ac.kr/jeylee@kau.ac.kr/sahnara@kau.ac.kr/hyknlee@kau.ac.kr)

조정호: 한서대학교 항공전자공학과(jcho@hanseo.ac.kr)

* 본 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2010-0010899)의 결과물이며, 주 저자는 해양수산부 해양시설과 해양교통 전문인력 양성사업(GNSS 부분)의 지원을 받았다.

의 처리 속도에 대한 제한 사항을 극복할 수 있으며, 위치 정확도를 향상시킬 수 있다.

제안된 방법을 활용하여 중앙 모니터링 시스템은 각 UFR들의 정밀한 위치를 기반으로 안전 영역과 통제 불가 영역에 있는 UFR을 식별할 수 있다. 여기서 통제 불가 영역이란, 각 UFR 기종에 따른 고도와 통신 거리, 기준국과 UFR사이의 거리에 따른 정확도 등을 판단하여 중앙 지휘소에서 제어가 불가능한 지역을 의미한다. 정밀 위치 모니터링 시스템을 통하여 안전 영역을 벗어난 UFR들의 제어를 다른 중앙 지휘소에 이관하는 방안을 통하여 유실 및 사고를 예방할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 정밀 위치 추정 기법을 위하여 저가형 수신기에서 발생하는 시계 오차를 보정할 수 있는 방안에 대하여 설명한다. 다음으로 Embedded Linux 시스템의 구성과 Inverse RTK 기법을 활용한 모니터링 시스템의 구현 방안에 대하여 기술한다. 마지막으로 제안된 Embedded Linux 기반 Inverse RTK 기법을 활용한 정밀 UFR 모니터링 시스템의 성능 평가를 위하여 모니터링 시스템과 가상 이동국간의 통신 방식에 따른 데이터 유실율을 판단하였다. 또한 설계된 Embedded Linux 시스템에서 획득한 자료를 처리하여 시계 오차를 보정한 Inverse RTK 성능을 분석 하였다.

II. 정밀 위치 추정 기법

차분 위성항법시스템(DGPS: Differential GPS)은 위성 항법 공통 오차의 시간 및 공간 상관성을 이용하여 기준국에서 생성한 보정정보를 사용자 수신기에 적용함으로써 정확도를 1~3m 수준으로 향상시키는 방법이다[7]. 이와 같은 DGPS 개념을 발전시켜 위성 신호의 고장을 검사하는 기능을 추가하여 정밀 항법 서비스를 제공할 수 있는 이동형 DGPS 개념에 대한 연구도 진행되었다[8]. 위성 항법 신호의 고장 여부 검출과 더불어 DGPS 기법을 활용하여 정밀한 위치 결정을 위하여 기준국과 이동국의 수신기 시계 오차를 정확하게 추정하여야 한다. DGPS 기법은 코드 관측치를 이용하여 보정정보를 생성하는 반면, RTK 기법은 위상 관측치를 이용하여 모호정수 및 보정치를 생성하여 상대측위 기법을 통해 수 cm 수준의 정밀도로 결정하는 방법이다[9].

RTK 기법 적용에 있어서 기준국의 수신기와 저가형 이동국 수신기와의 시계 오차에 따른 위치 오차가 발생하게 된다. 일반적으로 저가형 GPS 수신기에는 수정 발진기를 활용하기 때문에 기준국과 동일 시점의 측정치에 의해 계산된 위성 위치의 차이가 발생하며, 이러한 차이는 기준국과 이동국 시계 오차의 차이가 커질수록 커지게 된다[10]. 따라서 본 논문에서는 중앙 지휘소(기준국)와 각 무인비행로봇(이동국)들의 시계 오차를 보정하고, 위치 결정을 정확도를 향상시키기 위하여 단일 차분 Hatch 필터[11]를 활용한 기법을 활용하였다.

DGPS 기법을 활용하여 위성 시계, 궤도 오차와 이온층, 그리고 전리층 오차와 같은 공통 오차는 제거할 수 있고, 다중 경로 오차와 같은 환경에 의하여 발생하는 오차는 완

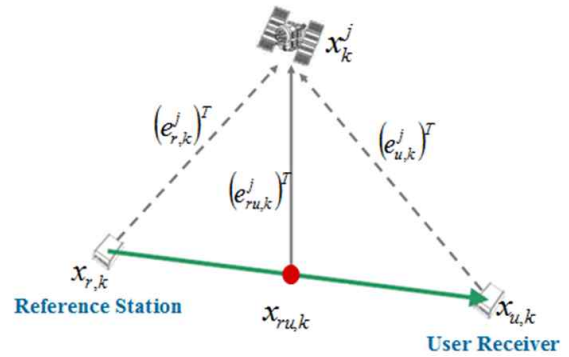


그림 1. 상대측위 방식의 개형 [10].

Fig. 1. Configuration of relative positioning.

화할 수 있다. 다음의 수식 (1)은 수신기에서 수신된 각 위성의 의사거리와 반송파 위상 측정치를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \tilde{\rho}_{u,k}^j &= (e_{u,k}^j)^T [x_k^j - x_{u,k}] + b_{u,k} + \epsilon_k^j + v_{j,k} \\ \tilde{\phi}_{u,k}^j &= (e_{u,k}^j)^T [x_k^j - x_{u,k}] + b_{u,k} + \epsilon_k^j + n_{j,k} + \lambda N_j \end{aligned} \quad (1)$$

여기서

- $\tilde{\rho}_{u,k}^j$: 의사거리 측정치
- $\tilde{\phi}_{u,k}^j$: 반송파 위상 측정치
- $e_{u,k}^j$: 시선각(LOS : Line Of Sight) 벡터
- x_k^j : 위성 위치 (ECEF 좌표계)
- $x_{u,k}$: 수신기의 위치 (ECEF 좌표계)
- $b_{u,k}$: 수신기 시계 오차
- $v_{j,k}$: 의사거리 측정 오차
- $n_{j,k}$: 누적 위상 측정 오차
- N_j : 미지정수
- ϵ_k^j : 공통오차

식 (1)에서 아래첨자 u 는 각 측정치를 수신한 수신기를 나타내고, j 는 신호의 송신원인 위성, k 는 수신 받는 시간을 나타낸다.

그림 1은 일반적인 상대측위 방식을 나타낸다. 기준국과 이동국은 위치가 동일한 위성으로부터 획득된 의사거리 측정치를 활용한다는 가정 하에 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다[10].

$$\begin{aligned} \bar{\rho}_{ru,k}^j &= \tilde{\rho}_{r,k}^j - \tilde{\rho}_{u,k}^j \\ &= (e_{ru,k}^j)^T [x_{u,k} - x_{r,k}] + (b'_{ru}) + v'_{j,k} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서

- $\bar{\rho}_{ru,k}^j$: 단일차분 의사거리
- b'_{ru} : 단일차분 시계 오차
- $v'_{j,k}$: 단일차분 의사거리 측정오차

일반적인 상대측위 방식은 동일한 위치의 위성에서 수신된 측정치를 기반으로 단일차분 의사거리를 계산하기 때문

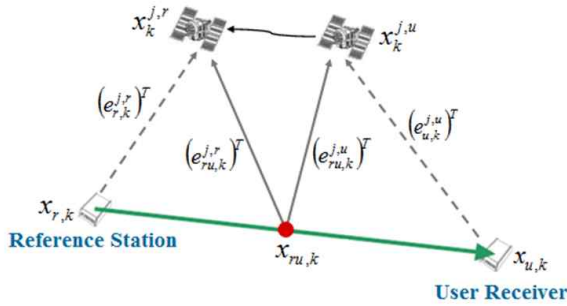


그림 2. 시계 오차에 의한 상대측위 방식[10].

Fig. 2. Relative positioning by receiver's clock error.

에 수신기 시계 오차로 발생하는 위성 위치가 고려되지 않는다. 그림 2는 수신기 시계 오차로 인한 위성 위치의 변화에 따른 상대측위 방식을 나타낸다.

수신기 시계 오차로 인하여 같은 시점에서 수신된 측정치로 위성의 위치를 구하게 되면 그림 2와 같이 기준국과 이동국에서 계산된 위성 위치가 다르게 된다. 이를 적용하여 식 (2)를 다시 전개하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{\rho}_{ru,k}^j &= \tilde{\rho}_{r,k}^j - \tilde{\rho}_{u,k}^j \\ &= (e_{ru,k}^{j,r})^T [x_k^{j,r} - x_{r,k}] \\ &\quad - (e_{ru,k}^{j,u})^T [x_k^{j,u} - x_{u,k}] + (b'_{ru}) + v'_{j,k} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서

- $x_k^{j,r}$: 기준국에서 계산된 위성의 위치
- $x_k^{j,u}$: 이동국에서 계산된 위성의 위치
- $e_{ru,k}^{j,r}$: 기준국에서 계산된 위성의 위치에 대한 시선각 벡터
- $e_{ru,k}^{j,u}$: 이동국에서 계산된 위성의 위치에 대한 시선각 벡터

식 (3)으로부터 시계 오차를 보정할 수 있는 보정치는 다음과 같이 생성할 수 있다[10].

$$\begin{aligned} C &= (e_{ru,k}^{j,u})^T x_{r,k} - (e_{ru,k}^{j,r})^T x_{r,k} \\ &\quad + (e_{ru,k}^{j,r})^T x_k^{j,r} - (e_{ru,k}^{j,u})^T x_k^{j,u} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서 생성된 시계 오차 보정치를 활용하여 보정된 단일 차분 측정치를 전개하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \rho_{ru,k}^j &= \tilde{\rho}_{ru,k}^j - C \\ &= (e_{ru,k}^j)^T [x_{u,k} - x_{r,k}] + b'_{ru} + v'_{j,k} \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)와 같이 시계 오차가 보정된 단일 차분 측정치를 활용하게 되면 저가형 수신기로도 정밀한 위치를 결정할 수 있게 된다.

III. 임베디드 리눅스 기반 온보드 모듈

임베디드 리눅스 시스템은 소형 저가 고성능의 특성으로 인하여 최근에 다양한 분야에 활용되기 시작하고 있다. 특히, 유무선 네트워크에 대한 다양한 인터페이스 제공성과

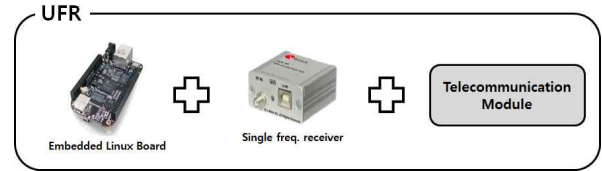


그림 3. 임베디드 리눅스 기반 UFR의 구성.

Fig. 3. The configuration of UFR based on Embedded Linux.

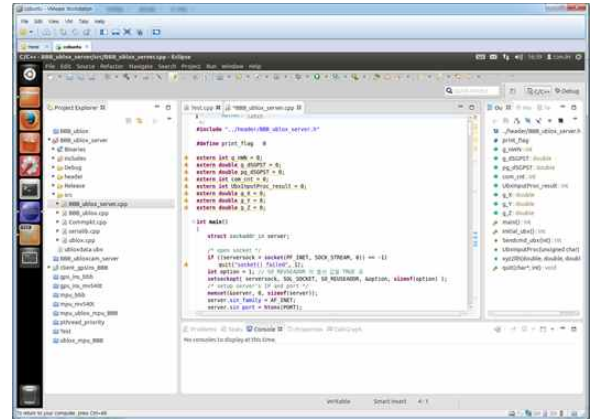


그림 4. 프로그램 개발 환경.

Fig. 4. Program development environment.

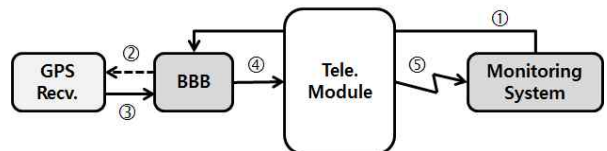


그림 5. 모니터링 시스템과의 통신.

Fig. 5. Communication with Monitoring system.

편리한 개발 환경은 소형 저가 UFR 모니터링 시스템의 개발에 매우 적합하다[12,13]. 그림 3은 임베디드 리눅스 시스템을 기반으로 저가형 단일 주파수 GPS 수신기와 모니터링 시스템과의 통신을 위한 통신모듈로 구성된 UFR의 구성도이다.

본 논문에서 활용한 임베디드 리눅스 모듈은 ARM 계열의 BBB (BeagleBone Black) 보드이다[14]. GPS 모듈로는 U-Blox사의 저가형 단일 주파수 수신기인 AEK-4T 모델을 활용하였다. 각 UFR에 장착된 BBB는 저가 단일 주파수 수신기로부터 획득한 데이터를 통신모듈을 통하여 모니터링 시스템으로 전달하는 역할을 수행한다.

그림 4는 임베디드 리눅스 시스템에서 동작하는 프로그램의 개발 환경이다. 프로그램 개발을 위한 OS는 Ubuntu이며 eclipse를 활용하여 개발하였다. 개발된 프로그램은 gcc cross-compiler를 활용하여 BBB에서 실행된다.

그림 5는 BBB와 모니터링 시스템간의 통신 순서를 도식화한 것이다. 모니터링 시스템에서 통신 모듈을 통하여 BBB로 데이터 전송 요청 명령을 내리고, BBB는 수신기로부터 데이터를 획득한 후 통신모듈을 통하여 모니터링 시스템으로 전송하게 된다. 여기서 BBB와 GPS 수신기는 물

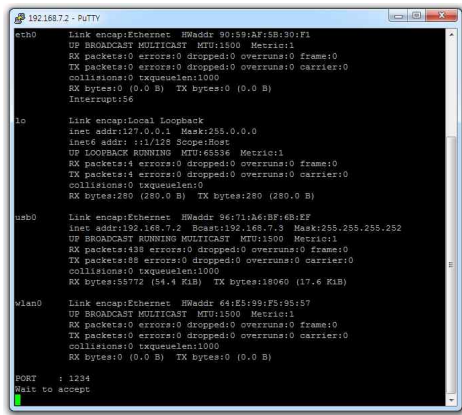


그림 6. PuTTY를 활용한 UFR 연결 프로그램의 실행 화면.
Fig. 6. Execution scene of the UFR connection program utilizing PuTTY.

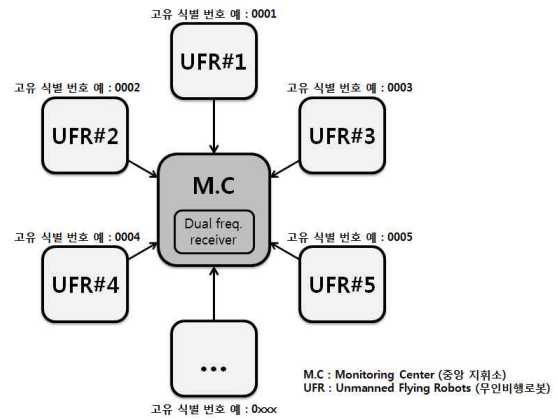


그림 8. 지상 모니터링 시스템의 구성.
Fig. 8. Configuration of ground monitoring system.

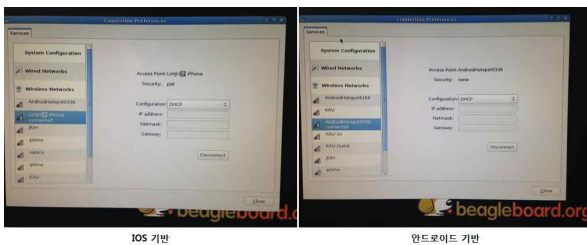


그림 7. 무선 통신을 위한 스마트폰 테더링.
Fig. 7. Smartphone tethering for wireless communication.



그림 9. 지상 모니터링 프로그램과 PuTTY의 연동.
Fig. 9. Co-implementation of ground monitoring system and PuTTY.

리적으로 연결되어 있기 때문에 시리얼 통신을 하게 되고, BBB와 모니터링 시스템은 무선 통신에 의하여 연결된다.

그림 6은 PuTTY를 활용하여 BBB를 연결하여 GPS 데이터를 모니터링 시스템으로 전송하기 위한 UFR 프로그램을 실행한 화면이다. UFR 프로그램을 실행하면 임베디드 보드에서 활용할 있는 통신 모듈별 IP를 확인할 수 있다. 모니터링 시스템은 각 UFR에 할당 된 통신 모듈별 IP를 활용하여 UFR과 통신을 하게 된다. BBB는 USB (Universal Serial Bus) IP가 할당되어 있어, USB를 통한 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)이 가능하다. 또한 무선랜 카드를 활용하여 무선랜(Wireless LAN) 통신도 활용할 수 있다.

그림 7은 BBB에서 무선 통신을 위하여 스마트폰의 테더링(Tethering) 기법을 활용하여 연결한 화면이다. 본 논문에서는 임베디드 리눅스 기반 플랫폼인 BBB에서 IOS 기반 스마트폰과 안드로이드 기반 스마트폰의 테더링 기법을 활용하여 무선 통신을 수행할 수 있음을 확인하였다.

IV. 지상 모니터링 시스템

저가형 UFR 모듈을 채용함에 따라 온보드 시스템에서 지상의 기준국으로부터 보정정보를 전송받아 RTK 기법을 적용하여 정밀 위치결정은 수행하는 방식에는 난점이 있다. 본 논문에서는 지상 모니터링 시스템에서 다수 UFR의 GPS 데이터를 전송 받아 RTK 기법을 통하여 다수 UFR의 정밀 위치를 각각 결정하는 Inverse RTK 기법을 활용하였다.

그림 8은 제안된 UFR의 정밀 위치 결정을 위한 모니터링 시스템의 구성도를 나타낸다. 중앙 지휘소는 모니터링 시스템으로부터 각 UFR의 위치를 파악하여 제어하게 된다. 각 UFR들은 각각의 고유 식별 번호가 부여되어 지상 모니터링 시스템에서는 각각의 UFR들로부터 획득한 GPS 데이터를 활용하여 UFR의 위치를 모니터링한다. 각각의 UFR들에서 획득한 GPS 데이터의 구분을 위하여 할당된 고유 식별 번호를 활용한다.

지상 모니터링 시스템은 이중 주파수 GPS 수신기를 활용하여 보정정보를 생성하고, 각 UFR로부터 전송 받은 GPS 데이터와 결합하여 정밀 위치를 결정한다. 지상 모니터링 시스템에서 결정된 UFR들의 정밀 위치를 기반으로 중앙 지휘소에서 통제 불가 구역 근처에 있는 UFR들의 위치를 파악하여 안전 영역으로 이동시키거나, UFR의 제어권을 다른 중앙 지휘소에 이관하여 UFR의 유실 및 사고를 방지할 수 있다.

지상 모니터링 시스템을 빠른 시간 내에 개발하기 위하여 RTK 소프트웨어 엔진인 GAFAS (GNSS Algorithm for Accuracy & Safety) [16-18]를 활용하였다. 그림 9는 GAFAS 기반 지상 모니터링 시스템과 UFR의 무선 연결을 위한 PuTTY 프로그램의 연동 화면을 나타낸다.

그림 10은 모니터링 시스템을 위한 GAFAS 설정화면이다. 그림 10의 왼쪽은 UFR로부터 데이터를 받기 위하여 TCP/IP 통신을 위한 설정 화면이며, 오른쪽 그림은 이중 주파수 수신기인 기준국 데이터를 받기 위한 설정 화면이다.

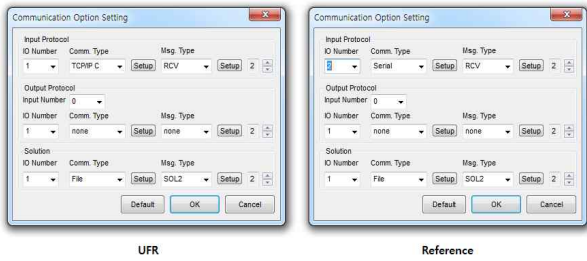


그림 10. 지상 모니터링 시스템의 RTK 설정 화면.
Fig. 10. RTK setup screen of the monitoring system.



그림 11. 온보드 모듈과 지상 모니터링 시스템의 구성 및 외형.
Fig. 11. Configuration and appearance of onboard module and ground monitoring system.

그림 11은 구현된 온보드 모듈과 지상 시스템 모듈의 구성과 외형을 나타낸 것이다.

V. 실험

제안된 시스템의 성능 평가를 위하여 세 종류의 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험은 정밀 측위 기법의 정밀도를 판단하기 위한 영기저선 실험이다. 두 번째 실험은 정지 상태 실험에 해당하며 세 번째 실험은 이동 실험에 해당한다. 각 실험에서 온보드 모듈에는 저가형 단일 주파수 GPS 수신기에 해당되는 U-Blox사의 AEK-4T 모델이 활용되었으며 지상 모니터링 시스템에는 이중 주파수 GPS 수신기에 해당되는 Novatel사의 DL-V3 모델이 활용되었다.

1. 영기저선 실험

제안된 모니터링 시스템의 성능 평가를 위하여 영기저선 실험을 수행하였다. 영기저선 실험을 통하여 통신 모듈에 따른 데이터 유실율과 제안된 측위 기법의 기능적 정확도를 판단할 수 있다. 통신 모듈에 따른 데이터 유실율을 측정하기 위하여 USB를 통한 TCP/IP통신과 무선랜을 통한 2 가지 통신 모듈 환경에서 실험을 수행하였다.

실험에 의하면 유선 TCP/IP 통신 시 약 22시간동안 약 1%의 유실율을 무선 통신을 사용할 경우에는 약 12시간동안 약 1.4%의 유실이 있음을 확인하였다. 이를 정리하면, 표 1과 같다.

통신 모듈에 따른 데이터 유실율 실험을 통해 확인해 본 결과 UFR에 적합한 무선통신의 경우 유선통신에 비하여 상대적으로 높은 유실율을 확인할 수 있다.

그림 12와 표 2는 통신 모듈에 따른 영기저선 실험 결과를 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이 처음 초기화 부분

표 1. 통신 모듈에 따른 데이터 유실율.

Table 1. The rate of data loss according to communication type.

	전체구간(s)	유실구간(s)	유실율(%)
USB	81879	837	1.022
WLAN	49724	728	1.464

표 2. 통신 모듈에 따른 위치 오차.

Table 2. The positioning error according to communication type.

	X축 RMS (m)	Y축 RMS (m)
USB	0.0143	0.0065
WLAN	0.0173	0.0078

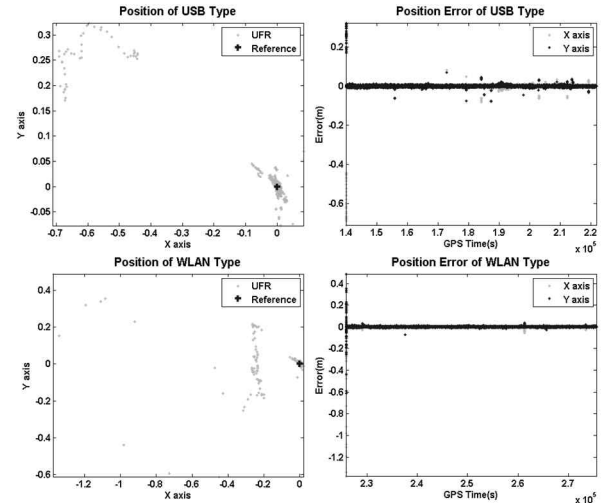


그림 12. 영기저선 실험 결과.

Fig. 12. The results of zero-base line.

을 제외하면 cm 이내로 위치 오차가 거의 없음을 확인할 수 있다. 이를 통하여 제안된 모니터링 시스템의 알고리즘의 기능적인 정확성에 이상이 없음을 확인할 수 있다.

2. 정지 실험

무선 통신 방식의 통신 모듈을 활용한 경우에 제안된 모니터링 시스템의 온라인 정확도를 판단하기 위하여 정지된 상태에서의 위치 결정 정밀도를 판단하였다.

그림 13은 모니터링 시스템에서 결정한 정지 상태 UFR 궤적을 나타낸다. 그림 13에서 검은색 ‘*’가 모니터링 시스템의 위치를 나타내며 회색점은 산출된 UFR의 위치를 나타낸다. 그림 14는 수평, 수직방향 위치를 나타낸다. 왼쪽 그림은 수평방향에서의 UFR의 위치를 나타내며, 오른쪽 그림은 수직방향의 UFR의 위치를 나타낸다. 또한, 그림 15는 위치 정확도를 판단하기 위한 위치 추정 오차를 나타낸다.

그림 15에 도시된 바와 같이 초기화 시간 영역을 제외하면 제안된 시스템에 의하여 온보드 모듈의 위치가 수 cm 이내의 정확도로 획득될 수 있음을 확인할 수 있다.

3. 이동 실험

제안된 기법의 이동 실험을 위하여 가상 UFR로부터 획득된 데이터를 처리하는 과정을 수행하였다. 이동 실험을 위한 가상 UFR의 환경은 정지 실험과 동일하다. 그림 16은 모니터링 시스템과 이동 실험을 위한 장소를 구글 어스[19]

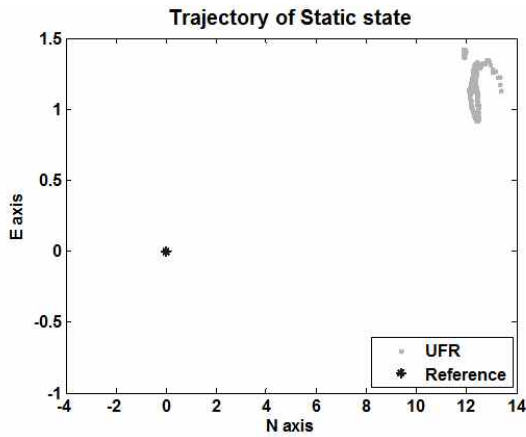


그림 13. 정지 상태의 UFR의 궤적.
Fig. 13. Trajectory of UFR in static state.

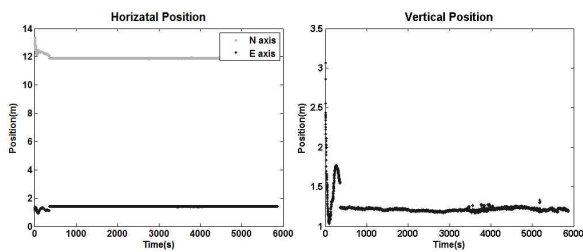


그림 14. 정지 상태의 UFR의 위치.
Fig. 14. Position of UFR in static state.

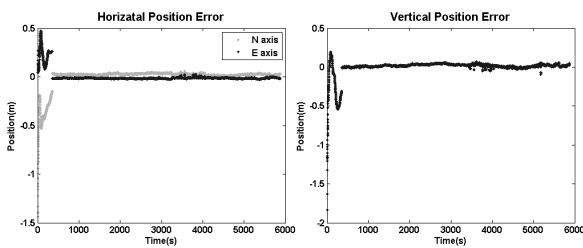


그림 15. 위치 추정 오차.
Fig. 15. Error of estimated position.

를 활용하여 나타낸 것이다. 모니터링 시스템은 항공대학교 연구동 옥상에 설치된 안테나로부터 획득한 GPS 데이터를 활용하여 보정 정보를 생성하였고, 가상 UFR로서 한국항공대학교 농구장의 라인을 따른 궤적으로 온보드 모듈을 이동하였다. 모니터링 시스템과 온보드 모듈 사이의 거리는 약 0.5km이다.

그림 17은 산출된 온보드 모듈의 이동 궤적을 나타낸다. 그림의 도시된 바와 같이 온보드 모듈은 시작지점을 기준으로 실선 화살표의 궤적을 이동 후 점선 화살표의 방향으로 이동하였다. 그림 17에서 확인할 수 있듯이 가상 UFR의 궤적에서 위치가 급격하게 변화하는 구간이 발생하지 않고, 이동 방향 또한 연속적이며 급격한 변화가 없음을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 시스템은 온보드 모듈의 이동 중에서 위치 산출의 기능을 정상적으로 수행하고 있음을 확인할 수 있다.

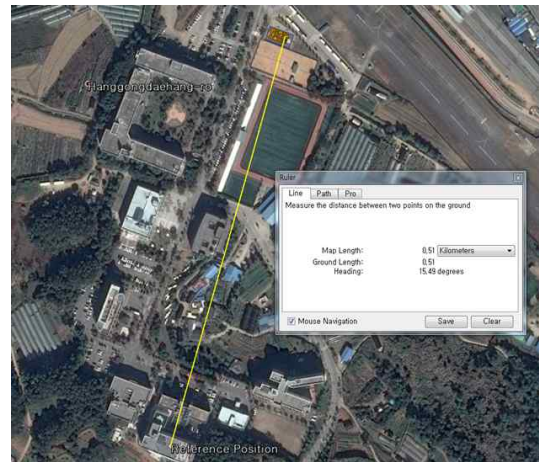


그림 16. 이동 실험 장소.
Fig. 16. Placement of kinematic experiment.

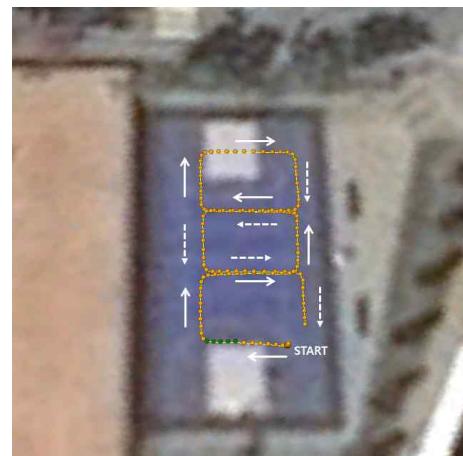


그림 17. 가상 UFR의 이동 궤적.
Fig. 17. Trajectory of virtual UFR.

VI. 결론 및 향후 계획

최근 UFR의 이용 범위가 확대됨에 따라 UFR에 의한 사고 또한 증가되는 추세이다. 이러한 사고를 방지하기 위하여 Embedded Linux 기반 Inverse RTK 기법을 활용한 UFR 모니터링 시스템을 제안하였다.

제안된 시스템은 임베디드 리눅스 모듈과 저가형 단일 주파수 GPS 수신기를 UFR에 설치하여 활용하는 개형에 해당된다. UFR의 위치를 cm급 정확도로 산출하기 위하여 지상 모니터링 시스템은 이중 주파수 GPS 수신기와 무선 데이터 링크에 의하여 전달된 온보드 GPS 수신기의 측정 정보에 Inverse RTK 기법을 적용하였다.

제안된 Inverse RTK 기법을 활용한 모니터링 시스템의 성능 평가를 위하여 통신 모듈에 따른 데이터 유실율과 영기저선, 정지, 이동 시의 위치 정확도를 판단하였다. 실험 결과 제안된 시스템은 단거리 영역에서 UFR의 정확한 위치를 산출하는데 효과적으로 활용할 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서 수행한 실험은 제시한 위치 모니터링의 가능성을 평가하기 위함이다. 향후 고유 식별 번호를 고려한

다수의 UFR들의 정밀 위치 추정 모니터링에 대한 추가적인 실험을 통하여 제안된 기법의 적용 가능성을 평가할 것이다. 또한 제안된 기법이 추후 Inverse RTK/INS 결합과 중장기저선 정밀 위치 결정 연구에 의하여 보완될 경우 보다 다양한 UFR의 정밀 위치 모니터링에 효과적으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

REFERENCES

- [1] S. D. Park and M.-S. Kang, "Surveillance. small unmanned flying robot technology for border," *Journal of Control, Automation, and System Engineering (in Korean)*, vol. 13, no. 1, pp. 22-27, May 2007.
- [2] D. I. Kim, Y.-S. Song, G. H. Kim, and C.-W. Kim, "A study on the application of UAV for korean land monitoring," *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography (in Korean)*, vol. 32, no. 1, pp. 29-38, Feb. 2014.
- [3] S. H. Oh, D.-H. Hwang, S. J. Lee, and C. S. Park, "Design of a low-cost attitude determination GPS/INS integrated navigation system for a UAV(Unmanned Aerial Vehicle)," *Journal of Control, Automation, and System Engineering (in Korean)*, vol. 11, no. 7, pp. 633-643, Jul. 2005.
- [4] Y. D. Kim and H. J. Kim, "Automatic takeoff and landing unmanned aerial guidance and control system design using image information," *Journal of Control, Automation, and System Engineering (in Korean)*, vol. 14, no. 4, pp. 28-41, Dec. 2008.
- [5] C. Rizos, "Alternatives to current GPS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations," *GPS Solutions*, vol. 11, no. 3, pp. 151-158, 2007.
- [6] S. Lim and C. Rizos, "A conceptual framework for server-based GNSS operations," *Journal of Global Positioning Systems*, vol. 7, no. 2, pp. 35-42, 2008.
- [7] B.-W. Park and D.-H. Yoon, "A study on the DGPS service utilization for the low-cost GPS receiver module based on the correction projection algorithm," *Journal of navigation and port research (in Korean)*, vol. 38, no. 2, pp. 121-126, Apr. 2014.
- [8] C. R. Ryu, J. S. Lee, M. C. Kim, and J. Y. Lee, "A conceptual study on mobile DGPS for supporting high reliability navigation of UAVs," *The Korea Society for Aeronautical & Space Sciences (in Korean)*, 2013.
- [9] C. Ayhan, M. Omer, and Y. Ozer, "Cost and accuracy analysis of detail measurements by real-time kinematic GPS (RTK-GPS)," XXIII FIG Congress Munich, Germany, Oct. 2006.
- [10] H. S. Kim and H. K. Lee, "Elimination of clock jump effects in low-quality differential GPS measurements," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 626-635, 2012.
- [11] H. K. Lee and C. Rizos, "Position-domain Hatch Filter for kinematic differential GPS/GNSS," *IEEE Tr. Aerospace and Electronic Systems*, vol. 44, no. 1, pp. 30-40, 2008.
- [12] S. H. Park, E. S. Kim, and S. H. Park, "Implementation of multi-channel serial device of embedded linux system for remote control monitoring system," *Journal of The Korean Institute of Maritime Information and Commuication Sciences (in Korean)*, vol. 9, no. 5, pp. 1039-1044, Jun. 2005.
- [13] W. G. Kim, S. H. Choi, H. Kim, S. B. Kang, and C. Chang, "Development of embedded linux system on ARM SOC MCU for SOHO router," *Korean Institute of Information Scientists and Engineers (in Korean)*, vol. 30, no. 1, pp. 169-171, 2003.
- [14] <http://beagleboard.org/black>
- [15] <http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/>
- [16] H. K. Lee, "GAFAS : GNSS processing software modules for accuracy and safety," *APEC GNSS Implementation Team Meeting*, Seoul, Oct. 2005.
- [17] H. S. Kim, J. Y. Lee, K. H. Choi, J. H. Lim, and H. K. Lee, "Design of real-time network RTK system with GAFAS software package," *Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography (in Korean)*, Apr. 2014.
- [18] <http://nisl.kau.ac.kr/GAFAS> (Precise GNSS SW Engine)___Ver1.0.1_release.zip
- [19] <http://www.google.com/earth/>



임 준 후

2009년 한국산업기술대 메카트로닉스 공과 졸업. 2013년 한국항공대학교 대학 석사. 2013년~현재 동 대학 박사 과정. 관심분야는 복합측위 기법, 임베디드 시스템.



김 희 성

2007년 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업. 2009년 동 대학 석사. 2013년 동 대학 박사. 2013년~현재 항공전자연구소 연구원. 관심분야는 네트워크 RTK, GNSS 정밀 측위.



이 제 영

2009년 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업. 2011년 동 대학 석사. 2011년~현재 동 대학 박사 과정. 관심분야는 GPS/INS, 고장 검출, 적응형 필터.



최 광 호

2010년 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업. 2012년 동 대학 석사. 2012년~현재 동 대학 박사 과정. 관심분야는 항법 및 고정밀 실시간 전리층 오차 추정.



조 정 호

1995년 순천향대 제어계측공학과 졸업. 2001년 University of Florida 석사. 2004년 동 대학 박사. 2006년~2007년 삼성전자 책임연구원. 2007년~2014년 한국항공우주연구원 선임연구원. 2014년~현재 한서대 항공전자공학과 조교수.

관심분야는 위성항법시스템 및 보강시스템 무결성 감시.



이 형 근

1990년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1994 서울대학교 제어계측공학과 석사. 2002년 서울대학교 전기공학부 박사. 2002년~현재 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수. 관심분야는 항법/측위/교통 시스템.