

차등 위성항법 보정을 이용한 정밀 드론 위치추적 시스템 구현

정재영

서울과학기술대학교 전기정보공학과, 서울과학기술대학교 전기정보기술연구소

Implementation of Precise Drone Positioning System using Differential Global Positioning System

Jae-Young Chung

Dept. of Electrical & Information Engineering, SeoulTech
Research Center for Electrical & Information Technology, SeoulTech

요약 본 논문은 차등 위성항법 보정 시스템을 이용한 측위 오차 보정을 통해 소형 드론의 위치를 정밀하게 측정할 수 있는 시스템 구현에 대해 서술하고 있다. 본 시스템은 고정된 위치에 자리하는 기준국과 실시간으로 움직이는 이동국(드론)으로 이루어져 있다. 자체 기준국 위치 정보와 국가에서 제공하는 관측 정보를 함께 후처리하여 기준국의 정밀 좌표를 획득하는 과정에 대해 서술하고, 이동국을 정밀 추적하기 위한 차등 위성 항법 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 구성에 대해 설명한다. 기준국 및 이동국 구현에 있어 저가의 경량 위성 항법 수신기 및 오픈소스 소프트웨어 코드와 라이브러리를 활용하여 범용성과 경제성을 극대화 하였으며, 오차 보정 정보 송수신에는 비 면허 주파수 대역 무선통신인 지그비(Zigbee)를 사용하였다. 본 시스템을 이용하여 소형 드론 위치 추적 시험 결과, 평균 측위 오차가 0.8m 및 최대 측위 오차가 1.2m로, 단일 위성 항법 수신기를 사용했을 경우 대비 오차가 86% 개선됨을 확인할 수 있었다.

Abstract This paper proposes a precise drone-positioning technique using a differential global positioning system (DGPS). The proposed system consists of a reference station for error correction data production, and a mobile station (a drone), which is the target for real-time positioning. The precise coordinates of the reference station were acquired by post-processing of received satellite data together with the reference station location data provided by government infrastructure. For the system's implementation, low-cost commercial GPS receivers were used. Furthermore, a Zigbee transmitter/receiver pair was used to wirelessly send control signals and error correction data, making the whole system affordable for personal use. To validate the system, a drone-tracking experiment was conducted. The results show that the average real-time position error is less than 0.8 m.

Keywords : Global Navigation Satellite Systems(GNSS), Global Positioning System(GPS), Differential GPS, Real-Time Kinematic(RTK), Dron, Unmanned Aerial

1. 서론

최근 무인 비행장치는 감시 및 정찰 수행을 위한 군사 용도뿐 아니라 농축 산업, 재해 대응, 택배 운송 등의 민간 분야에 활발히 적용되고 있다[1]. 무인비행장치의 3가

지 요소기술은 주변 환경을 인식하고, 주행 전략을 생성하고, 장치를 제어하는 것이다[2]. 예를 들어, 카메라와 라이다(Lidar) 및 레이더(Radar)를 이용하여 주변 환경을 인식하고 측위 시스템을 이용해 획득한 위치 정보를 정밀 지도에 매칭하는 기술을 통해 주행전략을 생성한다

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jae-Young Chung(SeoulTech)

email: jychung@seoultech.ac.kr

Received September 10, 2019

Accepted January 3, 2020

Revised October 21, 2019

Published January 31, 2020

[3]. 정확한 위치 데이터가 확보되어야 올바른 구동제어가 가능하고 주행 안정성이 보장될 수 있다.

무인비행장치의 측위는 주로 Global Positioning System(GPS)을 기반으로 한다. 하지만, 일반적인 GPS의 경우, 위성궤도 오차, 위성시계 오차, 대류층 지연 오차, 전리층 지연 오차 등으로 인해 위치 결정 오차가 수 m에 달하는 것으로 알려져 있다[4-5]. 이는 최대 허용 측위 오차가 1m 이하인 소형 드론의 운용에 적합하지 않다.

1m 이하 오차 수준의 정밀 위성 항법 측위 기술로는 복수의 GPS 수신기를 활용하는 차등 위성항법 보정 시스템(Differential GPS, DGPS)가 있다. 이는 기준국(reference or base station)과 이동국(rover or mobile station) 각각에 설치된 복수의 GPS 수신기의 측위 데이터 오차를 보정하는 기술이다. 기준국이 지상의 고정된 위치에 존재하는 응용 예가 많으나, 이동국과 동일한 차체에 설치되어 함께 움직이는 이동기준국(moving base) 기술 역시 측위오차 개선 효과가 상당한 것으로 알려져 있다[3-4].

우리나라 국토지리정보원의 Global Navigation Satellite Systems(GNSS) 데이터 통합센터에서 GPS 상시 관측 데이터를 Network Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP)의 형식으로 제공하고 있다 [6]. 국립해양측위정보원 또한 중파방송 및 NTRIP 등을 통해 DGPS를 위한 서비스를 제공 중이다[7]. 하지만, 오차 보정 정보를 실시간으로 수신하기 위해서는 이동통신망에 가입하거나 별도의 네트워크 연결 프로그램 설치가 요구된다. 통신을 위한 모뎀이나 연산 프로세서의 추가는 적재 무게를 증가시키는 요인으로 소형 드론 운용을 위해 피해야 될 사안이다. 자체 보정 기술이 접목된 GPS 모듈이 시중에 있지만 상당히 고가로, 일반 사업자 또는 사용자가 사용하기에 부담스러운 면이 있다[8-9].

본 논문에서는 저가이면서도 정확한 DGPS 시스템 구축의 예에 대해 서술한다. 일반 GPS 수신기, 개방형 소프트웨어를 이용하여 자체 기준국을 설치하였다. 기준국의 정밀좌표는 6시간의 관측 정보와 서울시에서 제공하는 Real-Time Kinematic(RTK) 정보[7]를 함께 후처리하여 획득하였다. 이동국은 저가형 GPS 수신 모듈로 구성되어 있으며 데이터의 송수신 및 제어는 개방형 소프트웨어와 하드웨어, Raspberry pi를 이용하여 구현하였다. 기준국과 이동국 사이의 무선통신 역시 개방형 통신 프로토콜인 지그비(Zigbee)를 사용하였다. DGPS 성능 검증 및 드론의 정밀 위치 추적 시험을 교내 운동장 트랙에서 실시하여 측위 오차를 수집하였다. 단일 GPS 수신기 사용시 평균 10m를 넘는 측위 평균 오차가 제한

하는 DGPS 시스템 사용 시 0.8m 이내로 감소됨을 확인하였다.

본 논문의 2장에서는 DGPS 시스템의 전체적 개요와 본 연구에서 구현한 시스템의 상세 사양에 대해 설명한다. 이와 더불어 정밀한 고정국 위치 데이터를 획득하는 과정과 결과값에 대한 분석을 서술하였다. 3장은 DGPS, 지그비, 마이크로 컨트롤러를 설치한 소형 드론을 추적한 위치 데이터를 제시하고 측위 오차 개선에 대한 시연 결과에 대해 논의한다.

2. 차등위성항법 시스템

Fig. 1은 DGPS의 개요도를 보여준다. 기준국(reference station)은 위성으로부터 수신한 위치정보와 국가에서 제공하는 정밀 좌표 정보를 기반으로 측위 오차를 검출하고 보정 정보를 생성한다. 이 보정정보는 무선통신을 이용해 이동국(mobile station)으로 실시간 전송된다. 이동국의 위치 정보는 수신된 보정정보를 바탕으로 재처리되어 정확도가 향상된다[4].

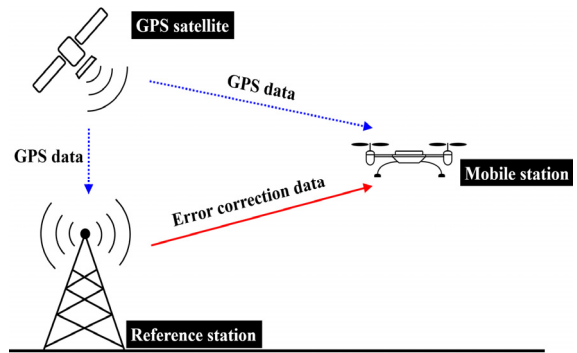


Fig. 1. Operation principle of DGPS

DGPS 시스템 구축의 첫 단계는 보정정보를 생성하는 자체 기준국의 설치이다. 위에서 언급한 바와 같이 기준국은 제공받은 고정 좌표 정보와 실시간 위성 측위 정보간의 오차를 검출하여 보정정보를 생성하므로 정밀한 고정 좌표 획득이 중요하다. Fig. 2는 기준국의 정밀 고정 좌표를 획득하는 후처리 과정을 보여준다. 자체 설치한 기준국에 대한 측위를 6시간 이상 실시하여 획득된 무보정 위치 데이터를 GPS 데이터 파일 형식인 Receiver INdependent EXchange(RINEX)으로 저장한다. 이와 동시에 국가에서 제공하는 외부 기준국 관측 정보를 인

터넷을 통해 다운로드 받는다. 여기서 외부 기지국 데이터는 자체 기준국의 위치로부터 10km 이내에 설치된 기지국의 데이터를 활용하는 것이 정확한 보정정보 생성에 유리하다[6]. 본 연구에서는 서울 RTK 관측 기지국 중 하나인 도봉 기지국의 데이터를 30초 간격으로 다운로드 받아서 활용하였다. 제공받은 데이터에는 의사거리, 안테나 정보, 기선 거리, 위성시계 측 및 시간 이동 정보 등이 포함되어 있다.

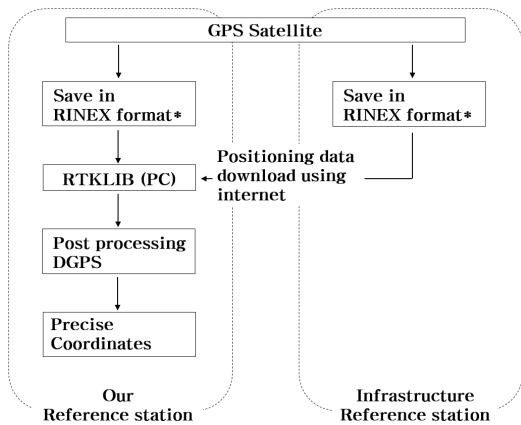


Fig. 2. Flow chart of the reference station's coordinate data generation process

이렇게 확보한 자체 기준국과 외부 기지국의 측위 데이터를 포함하고 있는 RINEX파일을 DGPS 후처리 프로세서에 입력하여 기준국에 대한 정밀 좌표 정보를 생성한다. 본 연구에서 사용한 DGPS 모듈은 EMLID사의 REACH RTK kit는 DGPS 신호처리 라이브러리인 RTKLIB[11]와 연동하여 위성신호 해독 및 보정정보 생성에 유용하다. 자체 기준국의 위성 측위 신호 수집에는 U-blox사의 LEA-6T GNSS 모듈을 사용하였다.

Fig. 3은 6시간 동안 관측한 기준국의 위치 데이터를 보여준다. Fig. 3(a)는 기준국에 설치된 단일 GPS 수신기를 이용해 획득한 위성 측위 데이터로, DGPS 후처리 과정을 거치지 않은 것이다. 반면, Fig. 3(b)는 DGPS 후처리 과정을 거친 것으로, 외부 기지국 정보를 기반으로 후처리 보정과정을 거친 위치 데이터이다. 보다시피, 고정된 기준국임에도 불구하고 단일 GPS로부터 수신된 위치 데이터는 관측된 시간에 따라 측위 오차가 최대 5m 이상을 보인다. 이에 반해 DGPS 후처리 과정을 거친 데이터는 시간에 따라 측위 오차가 급격하게 줄어, 최종적으로 0.3m의 오차만을 보인다. Fig. 4는 Fig. 3와 동일한

데이터를 3축 East-North-Up(ENU) 좌표계에 전개한 것이다. 보다시피, 단일 GPS 수신 위치정보는 모든 축에 대해 시간에 따른 측위오차가 최대 -10m에서 10m를 보이는 반면, DGPS 후처리 보정 데이터의 경우 약 1시간 이후의 측위오차는 0.3m 이하에 불과하다.

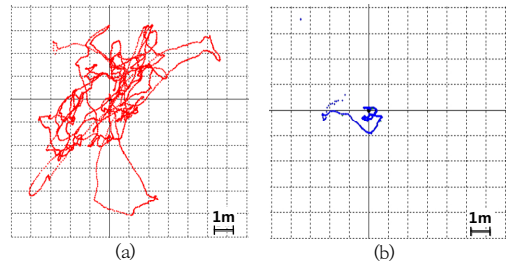
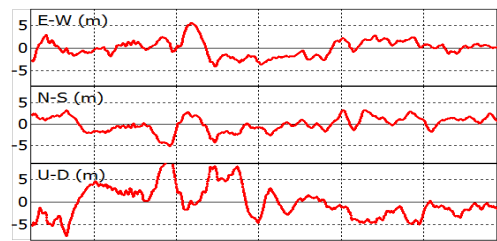
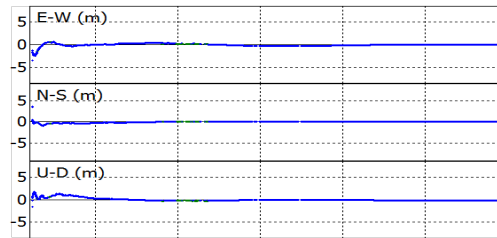


Fig. 3. Position data of the reference station varied by time (observed over 6 hours)
(a) Single GPS (b) Post-processed DGPS



(a)



(b)

Fig. 4. Variation of the position data along the measurement time in ENU coordinate (observed over 6 hours)
(a) Single GPS (b) Post-processed DGPS

3. 이동국 위치정보 측정

고정된 기준국의 정확한 위치정보를 기반으로 한 DGPS 시스템을 이용하여 이동하는 드론(mobile

station, 이동국)의 위치정보를 보정하였다. Fig. 5(a)는 건물 옥상에 설치된 기준국을 보여준다. 삼각대 상단에 설치된 상용 GNSS 안테나로부터 수신된 위성신호가 하단의 GPS 신호처리 모듈을 거쳐 노트북으로 전달된다. 노트북에는 DGPS 후처리 소프트웨어와 함께 Zigbee 통신모듈이 설치되어 있다. 앞서 언급했듯이 기준국과 이동국 사이 데이터 통신은 915MHz Zigbee를 이용한다.

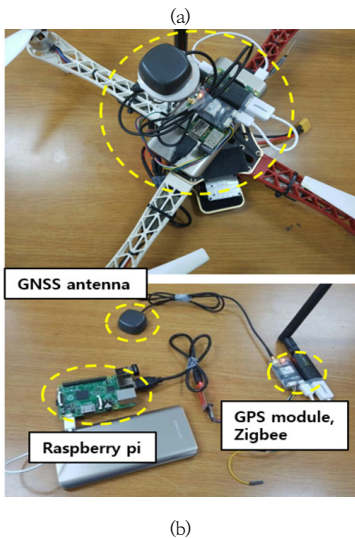
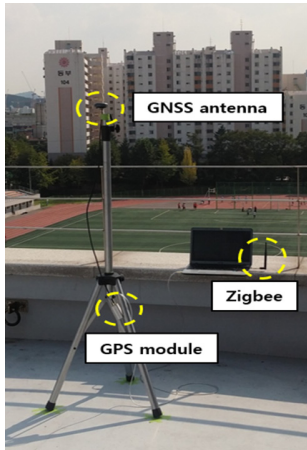


Fig. 5. Pictures of DGPS testing prototypes:
 (a) Reference station
 (b) Drone as DGPS mobile receiver

Fig. 5(b)는 소형 드론 이동국을 보여준다. 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 4축 드론에 설치된 라즈베리파이 마이크로 컨트롤러(MCU)를 기준으로 안테나, GPS 및 Zigbee 모듈(ZU-10)이 연결되어 있다. MCU에

RTKLIB가 설치되어 있어 실시간으로 GPS 신호와 오차 보정 정보를 합성한다. 이를 통해 생성된 정밀 위치 정보는 Zigbee통신을 통해 노트북에 보내져 저장된다. 본 실험에서의 이동국 주행경로는 400m 거리의 대학 운동장 달리기 트랙이다.

Fig. 6(a)와 (b)는 각각 단일 GPS와 본 논문에서 구축한 DGPS를 이용해 취득한 드론의 측위 데이터를 ENU 좌표계에 표시하여 비교한 것이다. 보이는 바와 같이 단일 GPS 수신기 측위 데이터는 평균 오차가 6m 내외로 최대 오차가 10m 이상 발생하는 구간도 존재한다. 반면에 DGPS 시스템 측위 결과는 드론이 이착륙하는 시작 시점과 종료 시점을 제외한 구간에서의 오차가 현저히 감소했음을 알 수 있다. 평균오차는 0.8m, 최대오차는 1.2m로 측정되었다. 이는 DGPS 시스템 사용을 통해 측위 오차를 86% 저감한 것이다. Fig. 7은 측정된 드론의 두 경로를 도식한 것으로, DGPS 시스템을 통해 보정된 경로가 실주행 경로와 거의 일치하는 반면, 단일 GPS만을 이용해 도식된 경로는 간과할 수 없는 측위오차가 포함되어 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 독자 기준국 설립을 통해 차등 위성항법 측위보정 시스템 구현에 대해 논의하였으며 이를 활용하여 드론의 위치 정밀도 향상을 관찰하였다. 자체 기준국을 저가의 GPS수신기 및 Zigbee통신 모듈, RTKLIB를 포함한 오픈 소프트웨어를 이용해 구축하였으며, 이동국인 소형 드론에 장착 가능한 경량송수신기 및 연산기를 이용하여 실시간 측위 데이터 보정이 가능하도록 하였다.

본 시스템을 통해 개선된 측위 오차는 평균 0.8m로, 여전히 다중경로 또는 모호 정수 계산으로 인한 오차가 존재하는 것으로 판단된다. 더 정밀한 측위 데이터 획득을 위해 모호 정수 계산이 가능하도록 소프트웨어 알고리즘을 업그레이드 하고, 다중경로 오차에 강인한 GPS 수신기를 활용해야 될 것이다. 또, 고정국 설치 장소, GPS 안테나 종류 및 설치 위치에 따른 측위 데이터 수집을 통해 최적 시스템 구성 방법을 학습할 수 있을 것이다. 본 시스템에서는 비 먼허 주파수 대역 Zigbee통신을 이용해 무선 데이터를 송수신 하였다. 보다 장거리 통신을 위해서 TCP/IP방식의 LoRa통신 등을 활용할 수 있을 것으로 보인다.

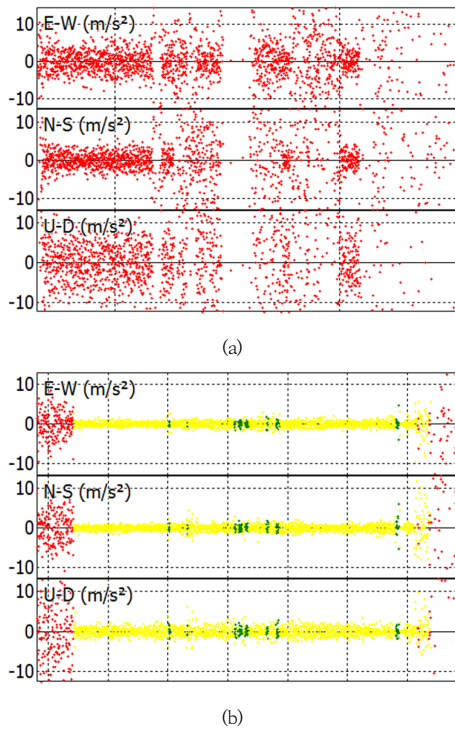


Fig. 6. Comparison of drone tracking data in the ENU coordinates (observed over a 400m running track)
 (a) Single GPS (b) Post-processed DGPS



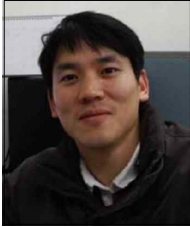
Fig. 7. Comparison of drone tracking results obtained with single GPS (red line) and with DGPS (yellow line)

References

- [1] G. Cai, J. Dias, L. Seneviratne, "A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends", *Unmanned Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 175-199, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1142/S2301385014300017>
- [2] J. Yee, T. Kim, H. Kim, "Vehicle position estimation using low-cost RTK module, wheelpulse, and IMU sensor", *Transactions of KSAE*, Vol. 26, No. 3, pp. 407-415, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2018.26.3.407>
- [3] M. A. Quddus, W. Y. Ocheing, R. B. Noland, "Current map-matching algorithms for transport applications: State-of-the art and future research directions", *Transportation research part c: Emerging technologies*, Vol. 15, No. 5, pp. 312-328, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2007.05.002>
- [4] P. Misra, P. Enge, *Global Positioning System, Signals, Measurements, and Performance*, 2nd Ed.. Lincoln, MA: Ganga-Jamuna Press, 2010.
- [5] Z. Zhu, C. Li, X. Zhou, "An accurate high-order errors suppression and cancellation method for high-precision airborne POS", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 56, No. 9, pp. 5357-5367, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2815079>
- [6] E. Kaplan, C. Hegarty, *Understanding GPS: principles and applications*, Artech house, 2006, pp. 379-458
- [7] National Geographic Information Institute, 2015, Available From: <https://gnss.ngii.go.kr/>.
- [8] S. Mahato, A. Santra, S. Dan, P. Rakshit, P. Banerjee, A. Bose, "Preliminary Results on the Performance of Cost-effective GNSS Receivers for RTK", *Proceedings of URSI AP-RASC*, pp. 1-4, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.23919/URSIAP-RASC.2019.8738736>
- [9] C. Torresan, A. Berton, F. Carotenuto, U. Chiavetta, F. Miglietta, A. Zaldei, B. Gioli, "Development and performance assessment of a low-cost UAV laser scanner system (LasUAV)", *Remote Sensing*, Vol. 10, 1094, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10071094>
- [10] National Maritime PNT Office, 2013, Available From: <https://www.nmpnt.go.kr>
- [11] T. Takasu, A. Yasuda, "Development of the low-cost RTK-GPS, receiver with open source program package RTKLIB", *Proceedings of International Symposium on GPS/GNSS*, pp. 4-6, 2009.

정 재 영(Jae-Young Chung)

[정회원]



- 2002년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (공학사)
- 2002년 6월 ~ 2004년 6월 : 모토로라코리아 연구원
- 2010년 6월 : 오하이오주립대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 (공학박사)

- 2010년 6월 ~ 2012년 8월 : 삼성전자 책임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 조교수, 부교수

<관심분야>

안테나 설계, 전자파 측정