

UAV 탑재용 5G 기반 RTK 개발을 위한 Network-RTK 정확도 비교 분석

김건우^{1*}, 김무승²
¹유피오 기술연구소, ²유피오

Network-RTK Accuracy Comparison Analysis for 5G-based RTK Development for UAV Mounting

Geonwoo Kim^{1*}, Moo-seung Kim²
¹Technical Research Institute, UPO
²UPO

요약 위성 항법 시스템인 GNSS를 기반으로 인공위성에서 제공하는 GPS 신호를 이용하여 실시간으로 이동체(UAV: Unmanned Ariel Vehicle)의 위치 정보 측정과 활용이 다양한 분야에서 늘어나고 있다. 이동체에 대한 정확도가 높은 측위 데이터를 얻기 위해 이동체에서 RTK 방식을 기반으로 측정한 위치 정보 데이터를 5G 통신을 이용하여 위치 정보를 보정하기 위한 알고리즘이 탑재된 오차 보정 엔진 서버로 위치 정보 데이터를 전송한다. 국토정보지리원에서 제공하는 GPS 오차 보정 데이터를 기반으로 한 Network-RTK 기법을 적용하여 이동체의 동일 위치에 대한 위치 정보 데이터를 획득하여 오차 보정 엔진 서버로 전송된 측정 위치 정보 데이터에 대한 오차 보정 과정을 엔진 서버의 알고리즘을 통해 수행한다. RTK 장비를 이용하여 측정한 이동체의 위치 정보와 Network-RTK 기법을 적용하여 보정한 위치 정보를 상호 비교하여 보정된 위치 정보 데이터에 대한 정확도를 분석한 결과 Network-RTK 기법과 오차 보정 알고리즘을 적용하여 위치 정보 데이터 보정 시 상대적으로 오차율이 낮은 결과를 보였다.

Abstract Measurement and utilization of location information of a mobile vehicle (UAV: Unmanned Ariel Vehicle) in real-time using a GPS signal provided by a satellite is increasing in various fields. This setup is based on the GNSS satellite navigation system. The location information data measured based on the RTK method from the mobile object is transmitted using 5G communication to the error correction engine server equipped with an algorithm for correcting the location information. This error correction ensures high accuracy positioning data for the moving object. The location information data of the moving object is acquired by applying the Network-RTK technique based on the GPS error correction data provided by the National Geographic Information Institute. Subsequently, the error correction process is performed for the measurement location information data transmitted to the error correction engine server. In particular, the error correction is achieved through the algorithm of the engine server. The accuracy of the corrected position information data is analyzed by comparing the position information of the moving object measured using the RTK equipment and the one corrected by applying the Network-RTK method. The Network-RTK method and the error correction algorithm were applied sufficiently based on the feedback from this analysis. Altogether, the error rate was relatively low when correcting the location information data.

Keywords : 5G, UAV, GNSS, RTK, Network-RTK

이 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원이 시행하고 한국도로공사가 총괄하는 "스마트건설기술개발 국가R&D사업(과제번호 21SMIP-A158708-02)"의 지원으로 수행하였습니다.

*Corresponding Author : Geonwoo Kim(Technical Research Institute, UPO)

email: acevicious@upokorea.co.kr

Received December 6, 2021

Revised January 4, 2022

Accepted March 4, 2022

Published March 31, 2022

1. 서론

인공위성에서 송출되는 신호를 기반으로 한 전 지구적 무선 항법 시스템인 GNSS(위성항법시스템: Global Navigation Satellite System)는 군사 목적으로 개발이 되었지만 현대에는 항공, 육상, 농업 등 다양한 민간 분야에서 이동체의 정밀한 위치를 실시간으로 획득하기 위하여 사용되고 있다.

GNSS는 위성으로부터 신호를 수신하므로 위성 시간 오차, 궤도 오차, 전리/대류층에서의 굴절 다중 경로 등 다양한 원인으로 인한 오차가 발생하게 되며 이러한 오차를 보정하여 측위의 정확도를 향상시키기 위한 기법으로 DGPS(Differential GPS)와 RTK (Real-Time Kinematic) 기법이 개발되었다.

RTK 기법이 적용된 장비를 이용하면 이동체에 대한 측위는 수 cm 수준의 정확도로 위치 정보를 얻을 수 있으나 이러한 장비들은 고가인 제약이 있다.

Network-RTK 기법을 기반으로 국토정보지리원(GNII)에서 제공하는 GPS 상시관측소의 위치정보 데이터와 RTK 장비의 대체 기준점으로 사용하고 소프트웨어 알고리즘으로 보정을 하여 정확도가 유사한 위치정보를 얻을 수 있다면 이러한 제약을 보완할 수 있을 것이다.

UAV 기체의 위치정보 데이터는 5G 무선 통신을 통해 엔진 서버로 전송한다. 5G 이동통신은 표준화 과정에서 위치정보의 중요성이 높아짐에 따라 높은 위치 정확도를 고려하여 만들어 지고 있으며 5G 이동통신의 높은 주파수, 넓은 대역폭 및 낮은 지연율 등의 특성은 GNSS를 이용한 측위 기술과 더불어 드론, 자율주행차의 통신 등의 차세대 기술발전에 기여할 것으로 보인다.

5G 무선통신 기술의 위치정보를 활용한 사례

1. Channel State Prediction
2. Resource Allocation
3. Massive MIMO
4. Ad-Hoc Network
5. Cooperative Positioning

엔진 서버에서는 이동체 위치 정보와 오차 보정 데이터(GNII)를 함께 수신하여 보정 후 RTK 기법으로 획득한 위치 정보와의 정확도를 비교 분석한다.

2. 본론

2.1 기준점 데이터

국토지리정보원에서 운영하는 전국 44개소의 GPS 상시관측소 위치정보 자료를 기준점으로 사용하기 위해 인터넷을 통해 국토지리정보원에 접속하여(gps.ngii.go.kr) 데이터를 제공받는다.



Fig. 1. GPS Observatory (Source:NGII)

2.2 Network based RTK

Network-RTK 방식은 상시관측소들의 데이터를 기반으로 네트워크 모델링을 이용하여 이동국 인근에 가상 기준점(VRS)을 생성하고, 기준국 위치를 기반으로 한 GNSS 측정치 또는 보정정보를 이동국에 전송하여 위치를 결정한다[3,6].

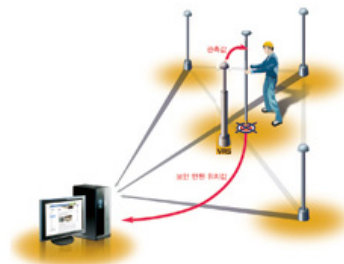


Fig. 2. Network-RTK (Source:NGII)

이동국 인근의 정밀한 위치 값을 알고 있는 기준국인 GPS 상시관측소의 GNSS 데이터를 위치 보정 정보로 이용해 사용자의 무선 단말기에 실시간으로 제공하여 cm급 정밀도의 좌표 값을 구할 수 있으며 관측소간 간격이 조밀할수록 정확도가 높은 특성을 보인다.

2.3 5G 통신 & 데이터 오차 보정

드론(UAV)의 위치정보 데이터를 드론에 장착된 5G 모듈을 통하여 실시간으로 전송되며 드론의 위치정보 데

이터는 5G 통신망을 경유하여 위치정보에 대한 오차 보정을 위한 알고리즘이 탑재된 엔진 서버로 전달된다.

위치정보 데이터 오차 보정 엔진에서는 전송된 드론의 위치 데이터를 기반으로 가장 인접한 GPS 기준국을 매칭하여 NGII에서 해당 GPS 기준국의 GNSS 보정정보 데이터를 수신하여 드론의 위치정보에 대한 오차 보정을 수행한다. 오차 보정된 위치정보 데이터는 5G 통신망을 통하여 엔진 서버에서 드론으로의 전송도 가능하다.

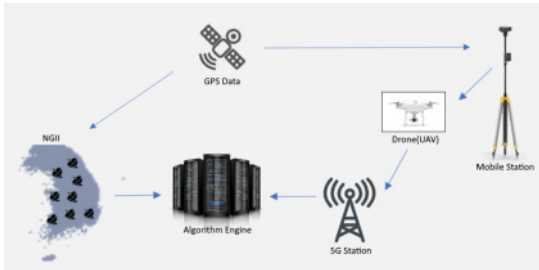


Fig. 3. Receiving drone location information using 5G communication

2.4 실험 방법

드론을 이용하여 항공촬영을 수행함과 동시에 이동형 RTK 장비(mobile station)로부터 GNSS 보정데이터를 전달받아 오차 보정된 위치정보를 함께 수집하는 1차 실험을 수행한다.

동일 드론으로 동일한 비행경로를 설정하여 실험을 반복하되 2차 실험에서는 RTK 장비의 보정데이터가 없는 위치정보 데이터를 수집하고 엔진 서버로 전송하여 오차 보정 엔진에서 드론의 위치정보 데이터와 GPS 기준국의 GNSS 보정데이터를 이용하여 데이터 오차의 보정을 수행한다. 소프트웨어를 이용하여 보정한 위치정보와 RTK 장비를 통하여 보정된 데이터간의 정확도를 비교한다.

2.5 실험 장비 제원

실험에 사용된 UAV 및 카메라의 제원은 Table 1과 같으며 RTK 장비의 제원은 Table 2와 같다[2].

Table 1. Specifications of UAV and Camera

MATRICE 300 RTK	
Weight	Approx. 3.6kg (excluding battery) Approx. 6.3kg (with TB60 battery x 2)
Flight Time	approx. 55 minutes
GNSS System	GPS + BeiDou + Galileo + GLONASS

Operating Frequency	2.4000~2.4835 GHz 5.725~5.850 GHz
RTK GNSS Precision	Horizontal ± 10 mm + 1 ppm RMS Vertical ± 15 mm + 1 ppm RMS
Gimbal Control Range	Pitch: -120~30°, Yaw: $\pm 320^\circ$
Camera Sensor	1/2.3" CMOS; Effective pixels: 12 M
Lens	FOV 82.9° / 24 mm
Max Image Size	4,056 × 3,040
Photo	JPEG

Table 2. Specification of GNSS Receiver

D-RTK 2	
GPS	L1C/A, L2, L5
GLONASS	F1, F2
GALILEO	E1, E5A, E5B
BEIDOU	B1, B2, B3
Communication Distance	2 km
Operating Time	2 hours
Real Time Kinematic surveying (Network RTK)	Horizontal ± 10 mm + 1 ppm RMS
	Vertical ± 20 mm + 1 ppm RMS

2.6 실험 결과 - 드론 비행 오차 측정

Table 3. RTK drone flight error

Round	Flight Test Measurements	
	X-AXIS [cm]	Y-AXIS [cm]
1	8	-1
2	22	-13
3	1	11
4	5	-7
5	9	-8.5
6	2	13
7	13	-3
8	1	-8
9	8	2.5
10	11	-3
11	6	-2
12	10	0
13	-7	-2
14	0	-7
15	13	0
16	13	-6
17	18	-10
18	11	-2
19	11	-11
20	9	-9
Experience Statistics		
Avg	8.2	-3.3
Max	22	13

2.7 실험 결과 - 오차 보정 엔진을 통한 위치정보 데이터의 보정

- 반송파 이중차분 측정치 산출 [1]

$$\Delta \nabla \Phi_f - \Delta \nabla d = \Delta \nabla (T - I_f + \epsilon_{ff}) + \lambda_f \Delta \nabla N_f \quad (1)$$

- 후처리 미지정수 추정 [1]

$$\Delta \nabla \hat{N}_f = \partial \left(\frac{\Delta \nabla \phi_f - \Delta \nabla d}{\lambda} \right) \quad (2)$$

- 반송파 측정치 이중 차분잔차 산출 [1]

$$\Delta \nabla r_{\phi_f} = (\Delta \nabla \phi_f - \Delta \nabla d) - \lambda_f \Delta \nabla \hat{N}_f \quad (3)$$

- 최적화된 Network RTK 보정의 생성 [4]

$$\begin{aligned} \delta \hat{\phi}_{user} &\equiv \delta \phi_{mas} + \sum_{r=1}^m wt_r \cdot MAC_r \\ &\approx -\hat{I}_{user} + \hat{T}_{user} + \delta \hat{R}_{user} + \delta N \lambda + \epsilon' + \Theta \end{aligned} \quad (4)$$

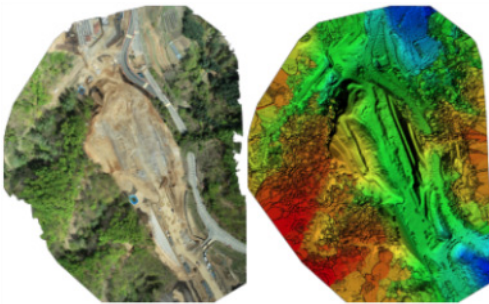


Fig. 4. 1st test video image

Table 4. 1st test calibration data result

Error [m]		Geolocation Error [%]		
Min	Max	X	Y	Z
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	42.70	50.14	52.89
0.00	3.00	57.30	49.86	47.11
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.000000	0.000000	0.000000
Sigma [m]		0.027145	0.030509	0.056591
RMS Error [m]		0.027145	0.030509	0.056591

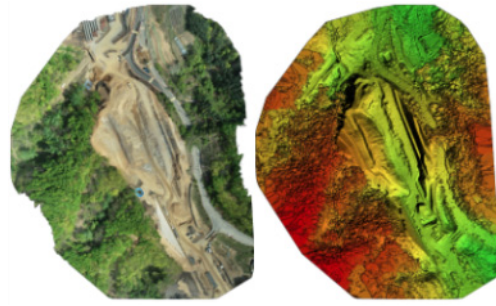


Fig. 5. 2nd test video image

Table 5. 2nd test calibration data result

Error [m]		Geolocation Error [%]		
Min	Max	X	Y	Z
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	42.98	49.04	49.86
0.00	3.00	57.02	50.96	50.14
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.000000	0.000000	0.000000
Sigma [m]		0.029178	0.029406	0.078722
RMS Error [m]		0.029178	0.029406	0.078722

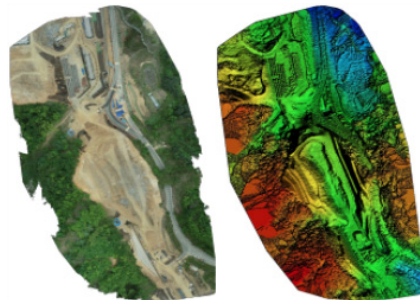


Fig. 6. 3rd test video image

Table 6. 3rd test calibration data result

Error [m]		Geolocation Error [%]		
Min	Max	X	Y	Z
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00

-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	49.20	47.28	49.20
0.00	3.00	50.80	52.72	50.80
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.000000	0.000000	0.000000
Sigma [m]		0.019768	0.022066	0.036484
RMS Error [m]		0.019768	0.022066	0.036484

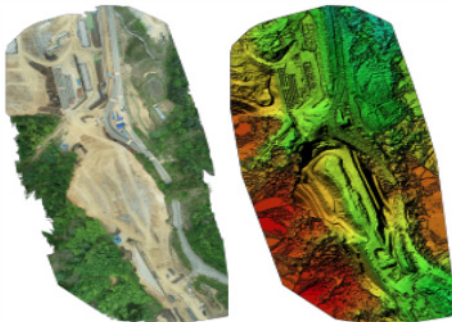


Fig. 7. 4th test video image

Table 7. 4th test calibration data result

Error [m]		Geolocation Error [%]		
Min	Max	X	Y	Z
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	50.77	51.38	43.08
0.00	3.00	49.23	48.62	56.92
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.000000	0.000000	0.000000
Sigma [m]		0.022734	0.020516	0.105274
RMS Error [m]		0.022734	0.020516	0.105274

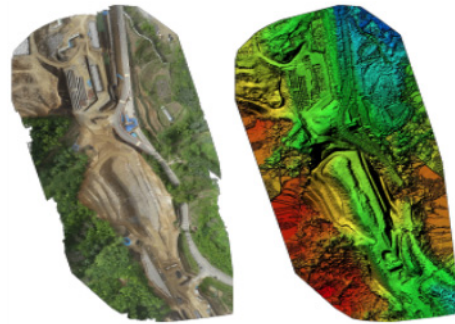


Fig. 8. 5th test video image

Table 8. 5th test calibration data result

Error [m]		Geolocation Error [%]		
Min	Max	X	Y	Z
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	55.69	48.31	44.92
0.00	3.00	44.31	51.69	55.08
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.000000	0.000000	0.000000
Sigma [m]		0.022039	0.021422	0.041112
RMS Error [m]		0.022039	0.021422	0.041112

Table 9. Error rate between location information

Geolocation Error [%]	X	Y	Z
P01	0.095158	0.065135	-
P02	0.027145	0.030509	0.056591
P03	0.027145	0.030509	0.056591
P04	0.029178	0.029406	0.078722
P05	0.019768	0.022066	0.036484
P10	0.022039	0.021422	0.041112

3. 결론

본 논문에서는 5G 통신망을 기반으로 하여 엔진 서버로 데이터를 전송하여 오차 보정 알고리즘을 통해 위치 정보를 보정을 사용할 경우 RTK 장비를 이용하는 방식 대비 위치정보 보정 데이터의 오차 범위가 20.77% ~ 46.84% 향상된 결과를 보이고 있다.

오차 보정 엔진의 정확도를 높이기 위해 매칭되는 기준국을 가장 인접한 GPS 상시관측소 외 차상위 인접 관측소 2곳을 추가로 매칭하여 삼변측량과 같은 측량법을 알고리즘에 적용[5]한다면 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 예상되며 오차 보정 엔진 및 UAV 탑재가 가능한 알고리즘의 개발을 위한 추가적인 방법을 탐구하고자 한다.

RTK 장비와 99% 이상 유사한 위치정보 데이터를 얻을 수 있거나 더 향상된 정확도를 가진 위치정보를 확보할 수 있다면 고가의 RTK 장비를 사용하는 대신 5G 통신과 알고리즘만을 이용하여 동일한 효과를 얻게 되므로 시스템 구성의 복잡도가 낮아지고 비용적인 측면에서도 이점을 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Cheolsoon Lim · Byungwoon Park, "Performance Comparison of VRS and FKP Network RTK User According to Baseline Length", *J. Adv. Navig. Technol.* 24(6): 540-548, Dec. 2020
DOI: <https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.6.540>
- [2] Jungmin Cho, Jongseok Lee, Jaewoo Yang, and Byoungkil Lee, "A Study on the Displacement Measurement of the Slope using Network RTK UAV", *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* Vol. 21, No. 2 (Apr. 2021), pp.129~135
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2021.21.2.129>
- [3] Sun-joon No · Joong-hee Han · Jay Hyoun Kwon, "Accuracy Analysis of Network-RTK(VRS) for Real Time Kinematic Positioning", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Volume 30 Issue 4 Pages.389-396
DOI: <https://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2012.30.4.389>
- [4] Junesol Song, Byungwoon Park, Changdon Kee, "A Study on Compact Network RTK for Land Vehicles and Real-Time Test Results", *JPNT* 7(1), 43-52 (2018)
DOI: <https://doi.org/10.11003/JPNT.2018.7.1.43>
- [5] Soohee Han · Chang-Ki Hong, "Accuracy Assessment of Aerial Triangulation of Network RTK UAV", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* Vol. 38, No. 6, 663-670, 2020

DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.6.663>

- [6] Young Jin Lee, Hung Kyu Lee, Kyoung Ho Bae, Kwang Ho Jeong, "Tests of RTK GPS Positioning Using Multiple Reference Stations", *Journal of the Korean Society of Cadastre*, Volume 23 Issue 1 2007. 6(1) : 133 ~ 142
DOI: <http://doi.org/10.22988/ksc.2007.23.1.009>
- [7] Chul-sun Park, Sung-kwon Park, "Development of Low-cost RTK Device base on LTE-M for Precise Location Positioning"
<http://koreascience.or.kr/article/CFKO201835146901661.page>

김 건 우(Geonwoo Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 계명대학교 계명대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2013년 7월 ~ 2021년 1월 : ㈜아프로스 부설연구소 책임연구원
- 2021년 2월 ~ 현재 : ㈜유피오 기술연구소 책임연구원

<관심분야>

정보통신

김 무 승(Moo-seung Kim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 숭실대학교 산업공학과 (공학사)
- 2012년 11월 ~ 2015년 6월 : 한국플랜트관리 기획
- 2015년 7월 ~ 현재 : 유피오 대표

<관심분야>

정보통신