



## 고정밀 RTK 보정 GPS 를 이용한 실외 헥사로터 무인항공기 제어

Outdoor Hexarotor UAV Control with a High-Precision Real-Time Kinematic Differential GPS

---

저자 (Authors)	이승재, 김현진
출처 (Source)	<a href="#">제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집</a> , 2015.5, 425-426 (2 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">제어로봇시스템학회</a> Institute of Control, Robotics and Systems
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06358124">http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06358124</a>
APA Style	이승재, 김현진 (2015). 고정밀 RTK 보정 GPS 를 이용한 실외 헥사로터 무인항공기 제어. 제어로봇시스템학회 국내 학술대회 논문집, 425-426.
이용정보 (Accessed)	서울대학교 147.46.240.*** 2018/04/30 13:42 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

# 고정밀 RTK 보정 GPS 를 이용한 실외 헥사로터 무인항공기 제어

## Outdoor Hexarotor UAV Control with a High-Precision Real-Time Kinematic Differential GPS

이 승 제<sup>1</sup>, 김 현 진<sup>2\*</sup>

- 1) 서울대학교 기계항공공학부 (TEL: 02-880-1552; E-mail:sjlazza@snu.ac.kr )
- 2) 서울대학교 기계항공공학부 (TEL: 02-000-9252; E-mail:hjinkim@snu.ac.kr)

**Abstract** This paper presents a systematic introduction of an outdoor hexarotor helicopter platform, which measures its location via real-time kinematic differential GPS (RTK-DGPS). One of the limitations for an outdoor UAV in identifying its position using GPS is inaccurate position data. It is because of multiple errors generated while satellite signal travels from space to ground. Using an augmented system that helps an outdoor rover to decrease the GPS positional error, the rover's positional accuracy could increase. This paper introduces an autonomous UAV flight using 1cm accuracy level position data generated by the RTK augmentation method that installs a base station to broadcast error signal for a moving platform. For control, a PID controller is implemented, which generates a command for a hexarotor UAV to move toward the desired position using the RTK DGPS data. An attitude controller for generating desired roll, pitch and yaw command to maneuver toward the desired direction is also implemented. Experiments are presented to evaluate the flight performance of the hexarotor platform with the integrated DGPS.

**Keywords** DGPS, Hexarotor, PID control, attitude control, position control

### 1. 서론

멀티로터 무인항공기(이하 명칭 멀티로터 드론)는 고정익 항공기와 달리 정지비행 및 수직 이착륙이 가능한 항공기이다. 또한 헬리콥터 항공기에 비해 비교적 간단한 구조를 가지고 있어 신뢰도가 높다. 이로 인해 멀티로터 드론은 다양한 분야에서 활용되고 있으며 각 분야별 요구조건을 충족시키며 비행하기 위해 최근까지 다양한 연구가 진행되어 왔다.

멀티로터 드론은 각 프로펠러의 회전수를 제어하여 발생하는 양력의 차이를 이용해 기체에 모멘트를 발생시키고, 이 모멘트를 제어함으로써 자세를 제어한다. 멀티로터 드론의 자세 피드백 제어를 수행하기 위해서는 롤, 피치, 요 각도와 같은 자세 값을 측정해야 한다. 또한 정지비행이나 경로추종 비행을 수행하기 위해서 멀티로터 드론의 위치정보도 측정해야 한다. 자세 값 측정을 위하여 대다수의 멀티로터 드론은 내부에 attitude heading reference system(AHRS) 를 장착한다. 위치정보의 획득은 다양한 방법이 있으나 널리 알려진 방법은 VICON 으로 대표되는 모션 캡처 장비를 사용하는 것이다. 이 경우 정확한 위치 및 자세 정보를 얻을 수 있는 반면 장비가 설치된 특정 실내에서만 운용할 수 있다는 단점이 있다. 실외 위치정보 측정은 GPS를 통해

서 이루어질 수 있으나 단독 측위 시 1~2m의 수평오차와 2~4m의 수직오차를 가지고 있어 정밀 위치정보를 획득하기 힘들다.

본 논문에서는 GPS 의 오차정보를 별도의 기지국을 이용하여 보정하는 real-time kinematic differential GPS (RTK-DGPS) 를 구성하여 1~2cm 정확도 수준의 위치정보를 이용한 실외 멀티로터 드론의 자율비행 및 제어기법을 소개하고자 한다.

### 2. RTK-DGPS 를 이용한 위치정보 획득

RTK-DGPS 는 단독 측위로 위치정보를 획득하는 기존 GPS와 달리 별도의 고정 기준점에 기지국을 설치하고 반송파 오차 보정치를 이동국에 전송하여 수 cm 단위의 정밀도를 유지하는 관측치를 획득할 수 있는 방식이다.

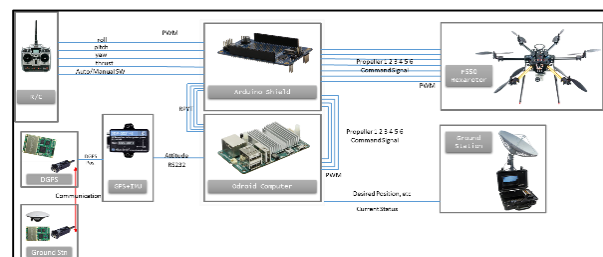


그림 1. RTK-DGPS 드론 시스템 구성도

\* 이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2014R1A1A3050306)

실험에서 사용한 멀티로터 드론 시스템에서는 획득한 위도 경도 및 고도 정보와 AHRS에서 획득한 가속도 정보, 바로미터 기압 정보를 모아 external kalman filter (EKF) 를 이용하여 위치추정을 실시하였다.

### 3. PID 제어기를 이용한 자세 및 위치 제어

#### 3.1 PID 제어기를 이용한 자세 제어

멀티로터 드론의 자세는 각각의 롤, 피치, 요를 제어함으로써 얻을 수 있다. 본 실험에서는 PID 제어를 사용하였다.

$$\tau = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (1)$$

식 (1)에서  $\tau$  는 각 축에 작용하는 모멘트의 크기이고  $e$  는 멀티로터 드론의 자세 오차를 의미하며,  $e = \eta_d - \eta$  로 정의한다. 여기서  $\eta = [\phi \ \theta \ \psi]^T$  이고  $\eta_d$  는 목표 자세값이며  $\phi, \theta, \psi$  는 각각 롤, 피치, 요에 해당한다.  $K_p, K_I, K_D$  는 자세 제어기의 PID 제어이득 값을 의미한다. 프로펠러가 60 도의 간격을 두고 배치되어 있는 헥사로터의  $x, y, z$  축에 작용하는 모멘트의 크기는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\sqrt{3}}{2}kl & \frac{\sqrt{3}}{2}kl & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2}kl & -\frac{\sqrt{3}}{2}kl \\ -kl & -\frac{1}{2}kl & \frac{1}{2}kl & kl & \frac{1}{2}kl & -\frac{1}{2}kl \\ -b & b & -b & b & -b & b \\ k & k & k & k & k & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \\ \omega_5^2 \\ \omega_6^2 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \\ \omega_5^2 \\ \omega_6^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서  $k$  와  $b$  는 프로펠러 고유 상수,  $l$  은 질량 중심점부터 모터까지의 거리,  $\omega$  는 프로펠러의 각속도를,  $T$  는 프로펠러의 총 추력을 의미한다. 따라서 아래 3.2 에서 소개될 PID 위치 제어를 통해 구해진 제어입력을 대입하고 식의 양변에  $A$  행렬의 역행렬을 곱하면 각 프로펠러에 필요한 회전 수를 구할 수 있다.

#### 3.2 PID 제어기를 이용한 위치 제어

목표 자세 각  $\eta_d$  의 생성은 다음 식에 의해 이루어진다.

$$\eta_d = k_p S + k_I \int S dt + k_D \frac{dS}{dt} \quad (3)$$

식 (3)에서  $S = \xi_d - \xi$  이며  $\xi = [x \ y \ z]^T$  이다.  $x, y, z$  는 각각 관성 좌표계에서 정의된 멀티로터 드론의 위치좌표이다.  $k_p, k_I, k_D$  는 위치제어기의 PID 제어이득 값을 의미한다.

## 4. 실험 결과

#### 4.1 DGPS 성능시험

그림 2는 고정된 지점에서 단일 GPS 와 RTK-DGPS

의 고도 정보를 시간에 따라 표기한 것이다. 대략 4m 의 오차가 발생하는 단일 GPS 와 달리 RTK-DGPS 는 4cm 오차범위 이하의 정확도를 보여주고 있다.

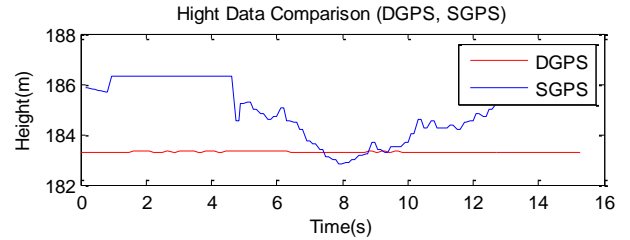


그림 2. 고정지점에서의 DGPS 성능비교

#### 4.2 멀티로터 드론 실외 호버링 시험

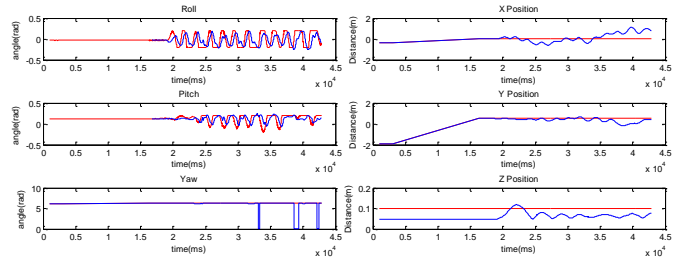


그림 3. 실외환경에서 드론 비행 시험

멀티로터 드론의 실외 비행 결과는 그림 3 과 같다. 우측 그림에서 보여지는 바와 같이 목표 위치와 현재 위치의 차이로 발생된 S 값으로 인해 위치 제어기에서  $\eta_d$  를 생성하고, 각도 추종을 위해 자세 제어기가 동작함을 알 수 있다. 위 실험에서의 제어이득 값은 각각  $k_p = 0.15, k_I = 0, k_D = 0.4, K_p = 1, K_I = 0, K_D = 0.5$  이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 RTK-DGPS 기반 오차 보정 실외 위치정보를 이용한 드론의 위치 제어를 수행하였다. 좌표정보와 AHRS 정보의 EKF 를 통해 보다 신뢰도 있는 위치 및 속도정보를 추출하였으며, 결과적으로 수평오차 2cm, 수직오차 4cm 이내의 좌표정보를 획득할 수 있었다. 또한 이를 이용한 실외 드론 위치 제어를 수행하였고 드론이 목표점을 향해 접근함을 알 수 있었다. 그러나 실외비행의 특성상 바람과 같은 다양한 외란 요소가 존재하여 목표 지점에 수렴하는 상태를 유지하기가 어려웠다. 따라서 보다 다양한 외란 환경에 대응할 수 있는 제어기 설계 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] Artale, V., C. Milazzo, and A. Ricciardello. "Mathematical modeling of hexacopter." Appl. Math. Sci. 7.97 (2013): 4805-4811.
- [2] Corke, Peter. Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB. Vol. 73. Springer Science & Business Media, 2011.
- [3] Bouabdallah, Samir, Andre Noth, and Roland Siegwart. "PID vs LQ control techniques applied to an indoor micro quadrotor." Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004). Proceedings.