

GPS 기반의 UAV용 안테나 추적기의 개발

김경하¹, 김은태², 류욱재², 장윤석³

¹대진대학교 컴퓨터공학과 석사과정

²드론소프트웨어기술연구소

³대진대학교 컴퓨터공학과 교수

th4203@gmail.com, kimmans11@dstlabs.co.kr, skyroom7@dstlabs.co.kr,
cosmos@daejin.ac.kr

A Development of a GPS based UAV Automatic Antenna Tracker

Kyungha Kim¹, Euntae Kim², Ukjae Ryu², Yunseok Chang³

¹Dept. of Computer Engineering, Daejin University

²Drone Software Technology Laboratory

³Dept. of Computer Engineering, Daejin University

요약

비행 중의 UAV는 실시간으로 촬영하는 영상 데이터를 무선 영상 링크를 통하여 지상국으로 전송 한다. 지상국은 장거리에서도 무선 영상 링크를 안정적으로 연결하기 위하여 지향성 안테나를 사용하는데, 지향성 안테나는 UAV와 정확하게 정렬할수록 높은 품질의 영상 데이터를 수신할 수 있다. 본 연구에서는 UAV가 MAVLink를 통하여 전송하는 GPS 정보를 바탕으로 지향성 안테나를 UAV의 방향과 정렬할 수 있도록 하는 안테나 추적기를 설계하였다. 또한, 안테나의 방향각과 기울기를 정밀하게 측정할 수 있는 센서들을 사용함으로써 UAV에 대한 향상된 추적 성능을 제공하고, 전계 강도 측정 센서를 사용하여 지향성 안테나의 영상 링크 수신 품질을 측정할 수 있도록 함으로써 안테나 추적기의 최적 정렬 여부를 직접 검증하는 방법을 제시하였다.

1. 서론

최근 드론이나 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)와 같은 무인 항공기, 그리고 UAM(Urban Aerial Mobility)과 같은 도심형 무인 이동수단 관련 기술은 기본적으로 GPS 기술과 무선 통신 기술을 바탕으로 많은 발전을 이루고 있다. 이러한 무인 항공기들은 크게 군용과 민간용으로 구분되고, 군용의 경우에는 주로 정찰이나 공격 작전에, 민간용은 영화나 드라마, 유튜브 영상 등을 제작하거나 취미 용도로 사용되고 있는데, 카메라를 이용한 영상 촬영 기능은 무인 항공기가 가지고 있는 다양한 기능 중 매우 활용도가 높은 기능이라고 할 수 있다. 특히 무선 영상 전송 기술을 기반으로 하는 실시간 영상 전송 기능은 민, 군, 관용을 막론하고 매우 활용 가치가 높은 기능인데, 실시간으로 전송하는 영상의 품질은 무선 링크의 품질과 직결된다. 따라서 원거리에서도 높은 품질의 실시간 무선 영상 전송 링크를 유지하기 위하여 촬영용 드론이나 UAV는 안테나 추적기와 조합하여 사용하는 것이 효율적이다[1]. 안테나 추적기는 지향성 안테나를 사용하여 무선 영상

데이터 수신 효율을 높이는 기능을 제공하지만, 안테나의 방향이 무인 비행체의 방향과 정렬되어야만 충분한 수신 거리와 수신 품질을 유지할 수 있으므로 안테나 추적기들은 수직, 수평 방향으로 지향성 안테나를 구동할 수 있는 구동계와 구동계를 효율적으로 제어할 수 있는 제어 장치 및 소프트웨어가 필요하다. 본 연구에서는 이러한 구동계를 가지는 GPS 기반의 안테나 추적기를 설계하고 기존의 안테나 추적기 기술에 방향각 센서와 고도각 센서, 전파 수신 강도를 측정하는 전계 강도 측정 센서 활용 기술을 더하여 높은 안테나 정렬 정확성을 가지는 안테나 추적기를 설계, 구현하였다.

2. 관련 연구

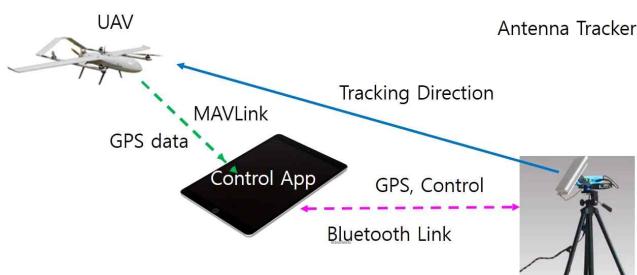
안테나 추적기에 관한 연구는 아직 국내외적으로 그다지 활발하다고 할 수는 없다. 그러나 이는 공개적인 연구 결과에 국한되는 것으로, 실제로 드론이나 UAV와 같은 무인 항공기를 제조, 생산하는 대기업의 경우에는 자체적으로 생산하는 무인 항공기에 대응하는 안테나 추적기를 개발하여 활용하고 있고, 연구개발 과정에서 도출되는 기술적인 내용은 대부

분 비공개로 다루어진다. 무인 항공기에 대응하는 안테나 추적기 연구는 크게 구동 장치의 설계에 관한 연구[2, 3] 방위각 산출방법에 관한 연구[4, 5], 안테나 성능과 수신 최적화에 관한 연구[6, 7]의 3개 분야로 분류할 수 있다. 이들 연구는 각각 안테나 추적기의 설계 방법을 제시하고, 안테나의 수신 성능을 분석하는 과정을 거치고 있으나, 정작 안테나 추적기 기술의 핵심인 펌웨어와 제어 앱과 같은 소프트웨어의 설계나 소프트웨어 최적화와 같은 분야의 연구는 거의 이루어지지 않거나 공개되지 않고 있다. 최근에는 많은 개발자와 기업체들이 다양한 무인항공기용 소프트웨어 기술들을 오픈소스의 형태로 개발하고 공유하고 있으며 Ardupilot[8]이나 PX4[9]와 같은 대표적인 커뮤니티형 오픈소스 그룹이 형성되어 소프트웨어 부문에서 많은 기여를 하고 있다.

3. 안테나 추적기의 설계

3.1 중계 구조의 설계

본 연구에서 설계한 안테나 추적기는 (그림 1)과 같이 제어 앱을 통하여 UAV와 연결한다. UAV는 MAVLink[10] 인터페이스를 통하여 비행 정보와 위치 정보를 제어 앱에 전송하고, 제어 앱은 블루투스 통신을 통하여 안테나 추적기에 UAV의 위치 정보를 중계한다. 이와 같은 동작을 수행하기 위하여 제어 앱은 안테나 추적기에 대한 사용자 인터페이스 역할과 동시에 UAV와 안테나 추적기 사이의 데이터를 중계하는 두 가지 역할을 하도록 설계되어 있다.

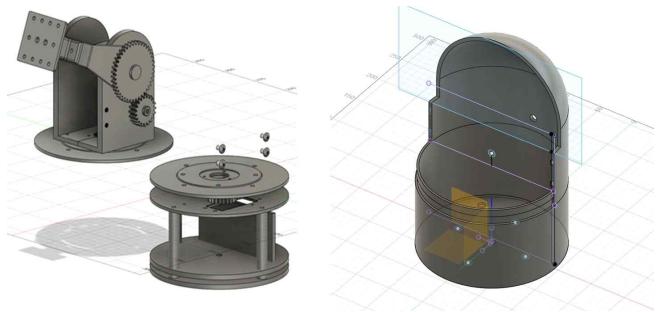


(그림 1) 안테나 추적기의 동작 구조

3.2 구동계의 설계

구동계는 수평 방향(YAW)과 수직 방향(TILT)으로 각각 움직이는 2개의 기어 일체형 스텝 모터와 벨트폴리, 그리고 이들을 지지하는 프레임으로 구성되어 있으며, 기어비는 25.2:1로 회전하도록 설계되어 있다. 각각의 스텝 모터는 제어회로에 포함된 별

도의 모터 드라이버 회로에 의하여 구동된다. 구동계는 수평 방향으로는 360°로 자유로운 회전이 가능하고, 수직 방향으로는 -15°부터 90° 범위의 회전이 가능하다. 프레임은 구동계와 제어회로 전체를 지지하고 부착, 연결하는 구조로 (그림 2)와 같이 3D 설계 도구를 통하여 각각의 구조 부품을 설계하고 3D 프린터로 출력한다.



(그림 2) 안테나 추적기 구동계의 3D 설계

3.3 제어회로의 설계

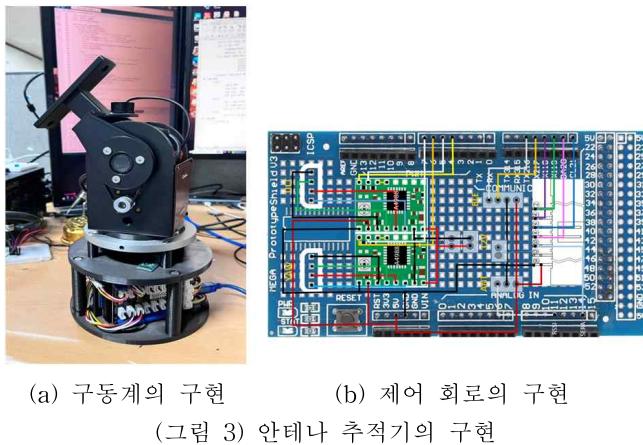
제어회로는 구동계의 스텝 모터를 구동하는 동작을 수행한다. 이를 위하여 제어회로는 드론의 위치 정보를, 즉 GPS 데이터를 제어 앱으로부터 블루투스 통신 링크를 통하여 전달받고, 이를 바탕으로 현재 UAV가 비행하고 있는 위치에 대한 방위각과 고도를 산출한 다음, 이를 스텝 모터의 제어 펄스 신호로 변환하여 모터 드라이버 회로에 전달하여 스텝 모터를 구동한다. 또한, 스텝 모터 구동으로 움직이는 지향성 안테나의 방향이 올바른 방향인지를 검증하기 위하여 수평 방향(YAW)에 대한 방향각을 측정하는 지자기 센서(Compass)와 수직 방향(TILT)에 대한 기울기 각을 측정하는 각도 센서(Angle Sensor)를 연동하도록 설계한다. 이를 통하여 안테나 추적기는 매번 UAV의 위치로 움직일 때마다 지향성 안테나가 올바른 방향으로 향하고 있는지를 확인함으로써 안테나 정렬 오차를 줄일 수 있도록 한다.

4. 안테나 추적기의 구현

4.1 구동계의 구현

구동계의 핵심인 스텝 모터는 12V로 구동되는 모터 드라이버에 직결되고, 모터의 회전축은 회전 베어링에 의하여 프레임에 연결된다. 프레임은 모두 3D 프린터로 출력한 부품들로 만들어지므로 스텝 모터 축의 회전이 이루어지는 부품들은 마모되기 때문에 회전 베어링은 강철제의 볼 베어링을 사용하여

회전 시에 발생하는 마찰을 줄이고 지지력을 최대화하도록 하였다. (그림 3a)는 구현된 구동계 전체를 나타내고 있다.



4.2 제어 회로의 구현

제어 회로는 제어 앱과 연결하여 UAV의 위치에 대한 방위각과 고도 계산을 수행하고, 모터 드라이버와 센서들을 연결하여 안테나의 구동 동작으로 처리하는 MPU 보드와 Shield로 (그림 3b)와 같이 구성하였다. MPU 보드는 아두이노 MEGA를 사용하였으며, 여기에 A4988 모터 드라이버와 M8N GPS 모듈, HMC5833L 지자기 센서, STS60HV1 2축 기울기 센서 그리고 여러 전자 부품들을 와이어로 연결하여 MPU 보드의 IO port에 직접 연결되는 Shield 형태로 구현하였다. GPS 모듈과 지자기 센서, 그리고 기울기 센서는 구동계의 상부에 설치하였으며, 구동계와 같이 회전하도록 구현되었다. 반면에 MPU 보드와 Shield는 구동계의 하부에 설치하고, 구동계 상부와 하부의 신호 연결은 12채널의 슬립 링(Slip-ring)으로 연결하였다. 수신용 지향성 안테나로는 900MHz ~ 6GHz 범위의 신호를 수신할 수 있는 평면형 와이드밴드 안테나를 사용하고, RSSI 측정 모듈에 연결하여 측정한 전계 강도 값을 MPU 보드에서 처리할 수 있도록 하였다.

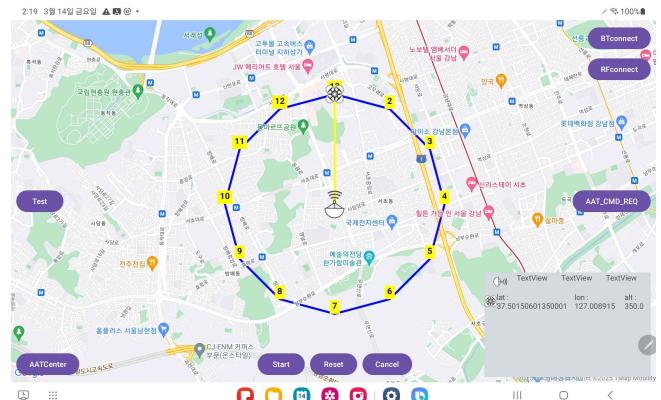
4.3 제어 회로의 구현

안테나 추적기 소프트웨어는 펌웨어와 사용자 소프트웨어인 제어 앱으로 구성된다. 아두이노 기반의 MPU를 구동하는 펌웨어는 아두이노용 Sketch IDE에서 GPS 및 센서 라이브러리를 사용하여 주요 동작 기능과 제어 기능들을 구현하였다. 펌웨어는 다음과 같은 기능들을 수행하도록 프로그램되어 있다.

- 초기화, 재시작 및 정지 기능
- 제어 앱과의 통신 프로토콜 송수신 처리 기능
- GPS, 지자기 센서, 기울기 센서 데이터의 처리 기능
- UAV 위치에 대한 방위각, 고도각 측정 기능
- 모터 드라이버 제어 신호 출력 기능
- 지향성 안테나 수신 전계 강도(RSSI) 측정 및 구동계 보정 기능

제어 앱은 안테나 추적기와 UAV 사이에서 데이터 전송 중계와 사용자 인터페이스의 2가지 역할을 하도록 (그림 4)와 같이 구현되었다. 제어 앱은 안드로이드 버전 13 이상의 API Level 34 이상을 지원하는 Android Studio 소프트웨어개발 플랫폼에서 개발되었다. 제어 앱에서 수행하는 주요 기능들은 다음과 같이 구현되었다.

- MAVLink 통신 프로토콜 수신 및 처리 기능
- 안테나 추적기의 제어 회로와의 통신 프로토콜 처리
- GPS 기반의 UAV 및 안테나 추적기 위치 정보 전송 기능
- 안테나 추적기 사용자 인터페이스 기능
- 가상 UAV 안테나 추적 시뮬레이션 기능



(그림 4) 안테나 추적기 제어 앱의 구현

5. 동작 성능의 평가 기준

본 연구에서 설계, 구현된 안테나 추적기의 동작 성능은 실제 비행 중인 드론을 대상으로 하여 [표 1]과 같은 성능평가 요소들에 대한 결과값을 측정하여 평가할 수 있다. 여기서 요구되는 최소 목표 성능은 안테나 추적기 제조업체인 UAVOS,

MyFlyDream 등의 안테나 추적기 제품 카탈로그에서 보여주는 성능이다. 본 연구에서는 이들 제품과 비교하여 2개의 센서를 추가하고 RSSI 측정값을 사용한 안테나 추적 알고리즘을 적용하였으므로 보다 높은 성능을 나타낼 수 있어야 한다.

<표 1> 안테나 추적기에 대한 성능 평가 요소

성능 평가 요소	평가 사항	최소 목표 성능
UAV 초기 포착 시간	UAV의 위치를 최초로 파악하는 시간	1초 이하
초기 정렬 시간	최초 UAV 방향으로의 안테나 정렬 시간	25초 이하
트래킹 반응 시간	UAV 위치 변동시 안테나 재정렬 시간	400ms 이하
트래킹 정밀도	영상 링크 전송 품질이 90% 이상인 시간	95% 이상

UAV 초기 포착 시간은 UAV와 제어 앱이 MAVLink를 통하여 연결된 순간부터 GPS 데이터를 통하여 제어 앱에 UAV의 위치를 최초로 표시하는 데 걸리는 시간을 나타낸다. 초기 정렬 시간은 UAV의 GPS 값을 수신하는 순간부터 지향성 안테나가 UAV의 방향으로 정렬을 완료하기까지 걸린 시간을 나타낸다. 트래킹 반응 시간은 UAV의 위치 변동을 감지하는 순간부터 지향성 안테나 재정렬이 완료되기까지 걸린 시간으로 나타낸다. 트래킹 정밀도는 지향성 안테나가 UAV의 방향으로 얼마나 정확하게 정렬되었는지를 나타내는 요소이다. 지향성 안테나의 정렬이 정확할수록 안테나를 통하여 수신되는 영상 링크 데이터의 품질이 높아지며, 지향성 안테나가 수신하는 무선 링크의 전체 영상 데이터 전송 시간 중에서 RSSI 값이 90% 이상인 경우가 차지하는 시간의 비율로 표시한다.

6. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 영상 촬영을 목적으로 운용하는 UAV가 비행 중에 실시간으로 안정된 품질의 영상 전송 링크를 유지할 수 있도록 하는 안테나 추적기를 설계하고, 구현하였다. 본 연구에서 설계한 안테나 추적기는 수평 방향과 수직 방향의 회전 각도를 측정할 수 있는 센서들을 사용함으로써, 안테나 추적기의 동작 중에도 항상 정확한 방향으로 구동계가 동작할 수 있도록 보완할 수 있다. 또한, 지향성 안테나의 전파 수신 감도를 상시 측정하여 UAV가 전송하는 영상 데이터 링크의 품질이 최적의 상태를 유지하도록 구동계를 보완함으로써 보다 향상된 안테나 트래킹 성능을 제공할 수 있다. 따라서 본 연구에서 구현한 안테나 추적기는 기존의 안테나 추적

기들보다 우수한 성능을 가지고 고품질의 안정된 영상 전송 링크를 제공함으로써, 영화나 드라마 촬영, 산불 감시와 같은 재난 안전 및 방재 등 고품질의 실시간 영상 전송을 주목적으로 하는 드론이나 UAV의 운용에 효과적으로 활용될 수 있다.

본 연구에서 구현한 안테나 추적기는 여러 가지 성능평가를 통하여 그 성능이 최소 목표 성능에 도달, 혹은 초과 여부를 검증하여야 한다. 이를 위하여, 후속 연구에서는 구현된 안테나 추적기의 성능 측정과 평가에 관한 연구가 계속 수행될 예정이다.

참고문헌

- [1] A. Riyandi, S. Sumardi and T. Prakoso, "PID Parameters Auto-Tuning on GPS-based Antenna Tracker Control using Fuzzy Logic," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, Vol. 6, No. 3, pp.122-128, 2018
- [2] 국태복, 김종건, "무인항공기용 추적 안테나 개발," 2014 한국통신학회 추계종합학술대회 논문집, 2014, pp.377-378
- [3] 정연득, 김성욱, 유혁, "전기 동력 장기 체공 무인 항공기의 안테나 추적기 설계," 한국항공우주학회 학술발표회 초록집 제11권, 2015, pp.1523-1526
- [4] 홍주현, 김인한, 김성수, 장세아, 조상욱, 정명진, 최기영, 유창경, "위치 정보를 이용한 팬-틸트 방식의 무인항공기용 안테나추적기 개발," 한국항공우주학회 학술발표회 초록집 제4권, 2011, pp.692-697
- [5] 김세준, 최종필, 오동현, 김다진솔, "위성시스템 기반 드론용 지상 안테나 트래커 개발," 한국항행학회논문지 제27권, 제6호, pp.740-746, 2023
- [6] H. Yusuf, F. Rahutomo and Sutrisno, "Antenna Tracker System for Unmanned Aerial Vehicles: A Short Review," Journal of Electrical Electronics, Information, and Communication Technology, Vol. 5, No. 2, pp.49-55, 2023
- [7] F. Nurul, N. Valendra, H. Melyanus, F. Desi, A. Dananjaya, T. Hendrana and S. Hery, "GPS-based antenna tracker design with PID control for UAV ground station," In Proceedings of the 2024 API Conference, 2024, pp.1-7
- [8] [\[8\] <http://ardupilot.org>](http://ardupilot.org)
- [9] [\[9\] <http://px4.io>](http://px4.io)
- [10] "MAVLink Developer Guide", <http://mavlink.io>