

광대역 분산 빔합성을 위한 소형 무인 이동체 비행 제어기 비교

김선교, 박철순, 나선필, 조성진, 장재원, 김경민

국방과학연구소

seonkyo.kim@gmail.com

Comparison of flight controllers for broadband distributed beamforming

Seon-Kyo Kim, Cheol-Sun Park, Sun-Phil Nah, SungJin Jo, Jaewon Chang, Gyungmin Kim

Agency for Defense Development

요약

소형 무인 이동체가 특정 배열 형태로 공중에 전개 후 저피탐 신호 탐지를 위한 광대역 분산형 빔합성 시 현재 위치와 고도를 유지해주는 호버링이 빔합성 성능에 중요하다. 이는 바람과 같은 외부 요인을 제외하고 드론이 현재 위치에서 안정적인 자세로 위치와 고도를 유지하기 위해 비행 제어기(Flight Controller)가 드론을 얼마나 정교하게 제어하는지에 달렸다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 광대역 분산 빔합성을 하는 소형 무인 이동체 제작을 위해 현재 출시된 상용 비행 제어기 상위 3종을 선별하여 프로세서, 온보드 센서, 보드 종류 및 확장성을 비교 정리하였다. 향후 소형 무인 이동체 및 비행 제어기 요구사항에 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서론

저피탐 신호탐지를 위해 소형 무인 이동체를 특정 배열 형태로 전개 후 광대역 분산 빔 합성 시 배열 소자의 위치가 고정되어야 빔합성 성능을 유지할 수 있다. 만약 배열 소자의 위치가 고정되지 못하고 흔들리거나 이동한다면 빔합성 성능은 저하될 것이다. 이렇게 공중에서 소형 무인 이동체가 안정적으로 현재 위치 및 고도를 유지하는 것을 호버링이라고 하고 소형 무인 이동체 기반 광대역 분산 빔 합성 시 중요하다.

무인기(UAV)의 호버링 정확도에 영향을 미치는 요소를 내부와 외부로 구분해보면 다음과 같다. 먼저 비행 제어기(Flight Controllers), 자이로스코프, 가속도계, 기압계, GNSS, 무인기 설계 구조 등 무인기 내부적 요인이 있을 수 있다. 그리고 비행 중 풍속, 기압, 습도 변화 등 외부환경으로부터의 간섭 등의 외부적 요인이 있을 수 있다. 이렇게 내부적·외부적 요인으로 인해 무인기가 호버링 시 고정된 지점에서 벗어나면 이동 궤적을 그리면서 X-Y축 위치 좌표 오류가 발생할 수 있다[1].

비행 제어기의 주요 목적은 드론의 바람직한 자세(Attitude)를 얻기 위해 모터 세트를 제어하는 것으로서[2], 드론이 호버링 시 자이로스코프, 가속도계가 장착된 관성 측정 장치(IMU)와 지자기센서, GPS, RTK(Real-Time Kinematic) 등이 사용될 수 있다.

본 논문에서는 광대역 분산 빔합성을 하는 소형 무인 이동체 제작을 위해 현재 출시된 상용 비행 제어기 중 상위 제품 3종(CUAV사의 X7+ Pro, Holybro사의 Pixhawk 6X Pro, CubePilot사의 Cube Orange+)을 선별하여 프로세서, 온보드 센서, 보드 종류 및 확장성을 비교 정리하였다.

II. 비행 제어기 사양 비교

2.1 프로세서

ST마이크로일렉트로닉스사의 32비트 Arm Cortex MCU STM32H7 시리즈[3]의 고성능 마이크로 컨트롤러가 프로세서로 비행 제어기의 빠른 처리를 위해서 내장되었다.

표 1. 프로세서 비교

제조사	CUAV	Holybro	CubePilot
제품	X7+ Pro	Pixhawk 6X Pro	Cube Orange +
프로세서	STM32H743	STM32H753	STM32H757
코어	Cortex-M7 (싱글)	Cortex-M7 (싱글)	Cortex-M7 Cortex-M4 (듀얼)
클럭 속도	480MHz	480MHz	400MHz(M7) 200MHz(M4)
Flash memory	2MB	2MB	2MB
RAM	1MB	1MB	1MB

CUAV사의 X7+ Pro는 STM32H743, Holybro사의 Pixhawk 6X Pro는 STM32H753, 그리고 CubePilot사의 Cube Orange+는 STM32H757으로 3종 모두 다른 프로세서가 탑재되었다. STM32H743과 STM32H753은 32비트 Arm Cortex-M7코어(이중 정밀도 부동 소수점 장치 포함)로 최대 480MHz의 클럭 속도로 작동되며 STM32H753은 STM32H743 대비 암호화/해시 하드웨어 가속 기능이 추가된 제품이다. 마지막 STM32H757은 32비트 Arm Cortex-M7(이중 정밀도 부동 소수점 장치 포함)과 Cortex-M3(단일 정밀도 부동 소수점 장치 포함)가 결합된 듀얼코어 제품으로 암호화/해시 하드웨어 가속 기능이 포함되어 있다. 세 제품 모두 Flash memory, RAM 용량은 2MB와 1MB로 동일했다. 추가로 Holybro사와 CubePilot사는 STM32F103 (32비트 Arm Cortex-M3, 72MHz, 64KB SRAM)[3]가 더 장착된 것이 확인되었는데 각각 입/출력을 관리하는 IO프로세서와 CPU가 비정상적인 동작이나 장애 발생 시 시스템의 안정성을 유지하는 프로세서로 작동해 비행 제어기의 안정성과 신뢰성을 더욱 높일 수 있을 것이다.

2.2 온보드 센서

비행 제어기에는 드론의 자세 및 비행을 제어하기 위해 가속도계, 자이로스코프, 지자기센서, 기압계 등의 다양한 센서가 탑재되어 있다.

표 2. 온보드 센서 비교

제조사	CUAV	Holybro	CubePilot
제품	X7+ Pro	Pixhawk 6X Pro	Cube Orange +
IMU (가속도계) (자이로스코프)	ADI16470 (±40g) (±2000dps)	ADI16470 (±40g) (±2000dps)	ICM-42688-P (±16g) (±2000dps)
	ICM-42688-P (±16g) (±2000dps)	IIM-42652 (±16g) (±2000dps)	ICM-20948 (±16g) (±2000dps)
	ICM-20689 (±16g) (±2000dps)	ICM-45686 (±32g) (±4000dps)	ICM-20649 (±30g) (±4000dps)
지자기센서 (측정 범위)	RM3100 (±4900μT)	BMM150 (±1300μT-x,y축) (±2500μT-z축)	ICM-20948 (±4900μT)
기압계 (측정 범위)	MS5611 (10~1200mbar)	ICP-20100 (30~110kPa)	MS5611 (10~1200mbar)
	MS5611 (10~1200mbar)	BMP388 (300~1250hPa)	MS5611 (10~1200mbar)

※ dps=degrees per second

관성 측정 장치(IMU)는 Analog Devices사의 ADIS16470[4]와 TDK사의 Invensense 제품군(ICM-42688-P, ICM-45686, IIM-42652, ICM-20649, ICM-20689, ICM-20948)[5]이 장착되었다. 비행 제어기 모두 IMU를 3중 중복으로 장착해서 한 센서에만 의존하지 않고 3종의 센서 값으로 종합적인 판단을 할 수 있는 구조로 되어 있어 신뢰성을 더욱 높였다. 그리고 IMU 3중 중 2중은 충격 및 진동 완화를 위해 따로 기계적으로 격리되어(isolated) 있었다.



그림 1. ADIS16470[4]



그림 2. ICM-45686[5]

TDK사의 Invensense ICM-45686는 3축 자이로스코프와 3축 가속도계가 결합한 6축 MEMs(Micro-Electro Mechanical Systems) 움직임 추적 장치로서 ±4000°/sec의 동적 범위 내에서 각속도와 ±32g의 동적 범위 내에서의 가속도를 측정할 수 있어서 비교 제품들 중에서 자이로스코프 성능이 우수했다. 그리고 Analog Devices사의 ADIS16470은 소형 MEMs로 3축 디지털 자이로스코프와 3축 가속도계가 내장되어 각각 ±2000°/sec의 동적 범위 내에서 각속도와 ±40g의 넓은 동적 범위 내에서 가속도를 측정할 수 있어 비교 제품 중에서 가속도계 성능이 가장 뛰어났다.



그림 3. BMM150[7]



그림 4. RM3100[6]

지자기 센서는 지구의 자기장을 측정하는 센서로서, PNI Sensor사의 RM3100[6], Bosch사의 BMM150[7], TDK사의 ICM-20948[5]이 각각 장착되었다. RM3100 센서의 측정 범위는 ±4900μT, Bosch사의 BMM150은 저 노이즈(0.3-1.4μT)가 특징인 3축 지자기 센서로서 X, Y축은 ±1300μT, Z축은 ±2500μT의 측정 범위를 갖는다. TDK사의 Invensense ICM-20948은 3축 가속도계, 3축 자이로스코프, 3축 지자기 센서가 결합한 9축 MEMs 움직임 추적 장치로서 ±4900μT의 측정 범위를 갖는다.

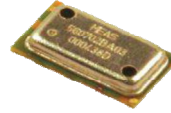


그림 5. MS5611[8]



그림 6. BMP388[7]

기압계 센서는 드론의 고도 측정 및 수직 위치를 유지하여 비행을 안정화하는 데 사용된다. 3중의 비행 제어기에 장착된 기압계는 TE Connectivity 사의 MS5611[8], TDK사의 Invensense ICP-20100[8], Bosch 사의 BMP388[7]로 비행 제어기 제조사는 기압계 센서를 2개 중복으로 장착해 신뢰성을 높이고자 하였다. 각 기압계 센서의 측정 범위는 표2에 표기하였다.

2.3 보드 종류 및 확장성

제조사 3곳 중에서 Holybro사가 Mini, Standard, 그리고 Raspberry Pi, NVIDIA Jetson 보드가 탑재된 비행 제어기 등 가장 많은 형태의 보드를 공급하고 있었다. 그리고 제조사별로 호환되는 GPS안테나, RTK 모듈, 광학 유량(Optical Flow) 센서 등을 판매하고 있어서 고정밀 포지셔닝을 위해서 이러한 주변기기들의 장착도 고려해볼 수 있을 것이다.

III. 결론

본 논문에서는 광대역 분산 빔합성을 하는 소형 무인 이동체 제작을 위해 현재 출시된 상용 비행 제어기 상위 3종을 선별하여 프로세서, 온보드 센서, 보드 종류 및 확장성을 비교 정리하였다. 향후 소형 무인 이동체 및 비행 제어기 요구사항에 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(방위사업청)의 채원으로 미래도전국방기술과제(No. 915087201)를 통해 연구가 수행되었다.

참고 문헌

- [1] Q. Wang, W. Wang, S. Suzuki, A. Namiki, H. Liu, Z. Li" Design and Implementation of UAV Velocity Controller Based on Reference Model Sliding Model Control," *Drones, MDPI*, vol. 7, no. 30, pp. 1-21, 2023
- [2] M. Waliszkiwicz, K. Wojtowicz, Z. Rochala, E. Balestrieri" The Design and Implementation of a Custom Platform for the Experimental Tuning of a Quadcopter Controller," *Sensors, MDPI*, vol. 20, no. 1940, pp.1-29, 2020
- [3] <https://www.st.com>
- [4] <https://www.analog.com>
- [5] <https://Invensense.tdk.com>
- [6] <https://www.pnicorp.com/rm3100/>
- [7] <https://www.bosch-sensortec.com>
- [8] <https://www.te.com/en/product=MS561101BA03-50.html>