

장거리 비행을 위한 드론 배터리 팩과 배터리 교환 스테이션의 개발*

박재석, 이재필, 이진구, 조한별, 강우철
 인천대학교 임베디드시스템공학과

(pjszzang2, kws00100, ckzkswlsm, gksquf4028, wchkgang)@inu.ac.kr

Development of Battery Pack and Battery Replacement for long-range flight Drone

JaeSeok Park, JaePhil Lee, Jin-Gu Lee, HanByeol Jo, WooChul Kang
 Dept of Embedded System Engineering, Incheon National University

요 약

본 논문에선 드론의 장거리 비행을 합리적으로 수행하기 위한 배터리 교환 스테이션과 스테이션으로의 비행 유도 및 균일화된 배터리 형태를 제공해줄 배터리 팩의 개발을 제안하고자 한다. 장거리 비행을 필요로 하는 드론은 제시된 배터리 팩을 사용하여 주변의 배터리 교환 스테이션을 이용할 수 있다. 드론은 주기적으로 배터리를 교환받으므로 장거리 비행 임무를 수행할 수 있게 된다.

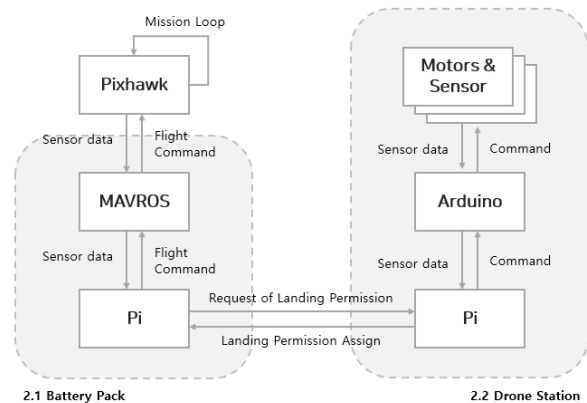
1. 서론

현재 제4차 산업혁명을 주도할 기술로 인공지능과 로봇공학, 사물인터넷, 자율 주행 자동차, 3D 프린팅, 나노기술, 생명공학, 재료공학, 에너지 저장기술, 유비쿼터스 컴퓨팅 등 다양한 첨단 기술들이 거론되고 있다. 이 중 인공지능과 로봇공학을 결합한 드론 기술은 일부 지역에서 새로운 유통시스템으로 부상하여 아직 도로와 유통시스템이 발달하지 않은 신흥국의 새로운 유통수단으로 활용될 가능성이 커지고 있다.[1] 이런 드론을 통한 물류 유통시스템을 구축하기 위해선 드론의 장거리 임무 수행 능력이 필수로 갖춰져야 하는데, 장시간 비행을 위해선 드론 배터리의 용량 대비 무게가 필히 향상되어야 한다. 하지만 이런 전기 배터리의 고효율화는 세계의 다양한 기업체에서 시도하고 있지만 개선이 쉽지 않아 고착화를 겪고 있는 것이 현재 상황이다.[2]

따라서 본 논문에선 배터리 용량 한계를 합리적으로 극복하여 드론의 장거리 비행을 돕기 위한 해결책으로써 자동 배터리 교환 스테이션을 제안하고자 한다.

2. 설계 및 구조

본 논문에선 광범위 한 지역에 주기적으로 설치하여 드론의 장거리 비행을 합리적으로 수행할 수 있도록 도울 드론 스테이션과 스테이션으로의 비행 유도 및 균일화된 배터리 형태를 제공해줄 배터리 팩의 개발을 제안하고자 한다.

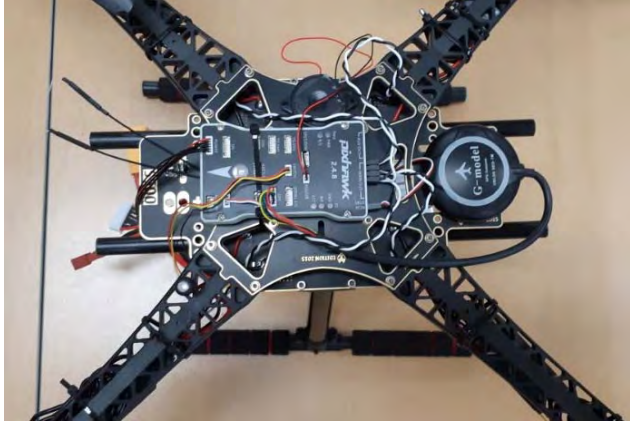


(그림 1) 시스템 구조

그림 1은 전체적인 시스템 동작 구조를 나타낸다. 시스템에서의 드론은 정해진 비행 임무를 수행하며, 배터리 팩에 장착되어 있는 라즈베리 파이와 센서 정보를 주고받는다. 현재 드론 배터리의 전압이 기준치보다 낮아졌을 경우 파이는 주변 스테이션에게 착륙 허가를 요청한 후 MAVROS[3]를 통해 FC(Flight Controller)에게 착륙 명령을 내려 드론을 착륙 시킨다. 착륙 시엔 2.1에서 후술할 방법으로 GPS 좌표값과 배터리 팩에 장착된 카메라를 통해 착륙 위치 오차를 보정한다.

* 이 논문은 2018 한이음 ICT 멘토링 프로젝트의 연구비 지원을 받은 결과물입니다.

드론 스테이션은 드론 수용 여부에 따라 착륙 허가 명령을 내려주며 1개의 초음파 센서로 착륙 여부를 판단하고 1개의 리니어 액추에이터, 2개의 DC 모터, 드론과 통신하기 위한 라즈베리파이 1개와 모터 제어를 위한 아두이노 2개를 이용하여 드론의 배터리를 교환해준다.



(그림 2) 개발에 사용된 드론

그림 2는 시스템 개발에 사용된 드론으로써 가장 범용적인 4익 형태의 드론을 채용하였다. 사용된 FC(Flight controller)는 Pixhawk 2.4.8이며 F450급 PCB 프레임을 이용하여 개발을 진행하였다. 드론은 이후 후술할 배터리 팩 지지대에 라즈베리파이를 장착한 상태이다.

2.1 배터리 팩

현재 드론 배터리로 보편적으로 사용되는 리튬폴리머(LiPo) 배터리는 용량에 따른 셀의 크기가 변칙적이며 커넥터 또한 그 위치가 고정돼 있지 않은 사용자 친화적으로 설계가 되어있다. 이러한 배터리 커넥터의 유연한 구조는 교환의 자동화가 쉽지 않으며, 배터리 종류에 따라 다른 배터리 지지대를 필요로 한다.

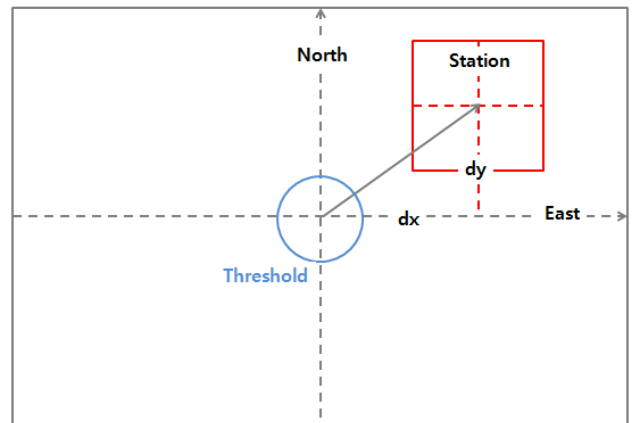


(그림 3) 배터리 팩 구조

그림 3은 이러한 한계점을 극복할 수 있도록 설계한 배터리팩이며 커넥터 위치를 고정시킬 수 있고 다양한 형태의 배터리를 수납하여 사용할 수 있도록 제작하였다.

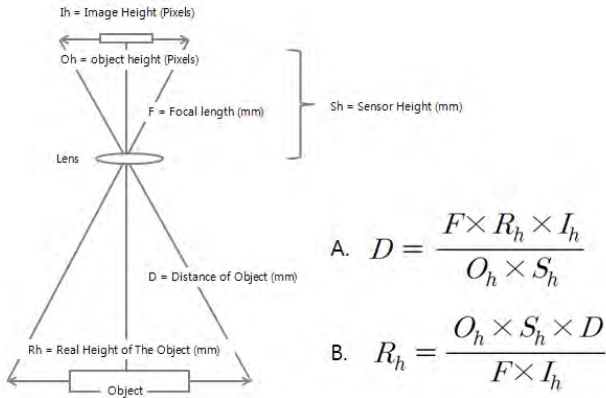
그림 3-A 는 드론에 배터리팩을 장착할 수 있는 지지대이며, 지지대의 상단엔 라즈베리파이와 카메라를 장착할 수 있는 구조로 설계되어있다. 지지대에 설치된 라즈베리파이는 Pixhawk의 Telem 포트에 연결되며 MAVLink가 활성화된 Pixhawk와 MAVROS를 통해 통신하게 된다.[3] 그림 3-B와 3-C는 배터리가 수납될 공간이며 앞면엔 리튬폴리머 배터리에 많이 사용하는 커넥터 중 하나인 XT-60형 커넥터 규격을 채택하여 커넥터 공간을 확보하였으며 커넥터 위치를 고정할 수 있도록 설계하였다.

라즈베리파이는 Pixhawk로부터 센서 정보를 받아오며 드론에 장착되어있는 전원모듈을 통해 측정된 전압량을 모니터링 하여 저전압 여부를 판단 한다. 리튬폴리머 배터리는 완충전시 4.2V의 전압을 가지며 전압 량이 2.8V 미만으로 떨어질 경우 심각한 전압강하를 일으키며 배터리에 영구손상을 준다.[4] 따라서 각 셀의 전압이 2.8V 보다 아래로 내려가게 해선 안 되므로 안정선 3.0V에서 여유를 둔 3.2V를 착륙이 필요한 위험전압 량(Low Voltage Cut-Off)으로 판단하도록 설계하였다.



(그림 4) 영상에서의 좌표계

배터리가 위험전압 량에 도달하면 해당 GPS 좌표로 드론에게 이동 명령을 내린다. GPS 좌표에 이동했으면 오차를 줄이고 정확한 위치에 착륙하기 위해 부착된 카메라를 통해 주변 스테이션 위치를 찾는다. 카메라는 드론을 기준으로 하향 배치되었으며 영상처리를 쉽게 하기 위해 스테이션의 상단부는 빨간색으로 표시하여 영상에서의 중앙과 빨간 사각형의 중점 좌표 간 거리를 계산하여 이동할 픽셀 값 dx와 dy를 계산한다.



(그림 5) 영상 속 물체의 픽셀 크기를 이용한 실제 거리 측정 방법

영상으로부터 계산된 \$dx\$와 \$dy\$은 픽셀 단위이지만 제어에 필요한 MAVROS의 좌표계(Eeast Nort Up)는 미터 단위로서 서로 단위가 다르기 때문에 이를 환산해 줄 필요가 있다. 이미지 내의 물체 크기와 현실의 물체 크기의 크기 비율이 초점 거리(Focal Length)와 카메라와 물체 간 거리의 비율과 동일하기 때문에 그림 5의 A식을 비례식을 전개하여 얻어 낼 수 있다.[5] 이 식을 \$R_h\$(Real Height of The Object)에 대하여 다시 정리하면 그림 5의 B식을 얻어 낼 수 있다.

<표 1> 실제 사용된 카메라의 제원 표

변수	변수표기	값
Sensor Height (mm)	\$S_h\$	2.76
Sensor Width (mm)	\$S_w\$	3.68
Focal Length (mm)	\$F\$	3.04
Image Height (Pixels)	\$I_h\$	2464
Image Width (Pixels)	\$I_w\$	3280

$$R_h = \frac{d_y \times 2.76 \times (Altitude)}{3.04 \times 2464} \times \frac{1}{2}$$

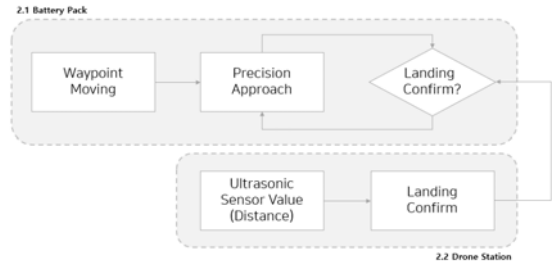
$$R_w = \frac{d_x \times 3.68 \times (Altitude)}{3.04 \times 3280} \times \frac{1}{2}$$

(그림 6) 그림 5의 B식으로 유도한 픽셀변환 식

그림 5의 B식은 물체와의 거리와 픽셀 값을 통해 실제 물체의 크기를 알 수 있는데 B식에서 미지수는 물체와의 거리뿐이고 물체와의 거리 \$D\$는 Pixhawk의 고도계를 통해 얻어낼 수 있다. 나머지 모든 값들은 카메라에 제공되는 사양을 통해 얻어낼 수 있기 때문에 그림 5의 B식에

그림 4의 픽셀 값(\$dx\$, \$dy\$)을 대입하면 그림 6과 같이 실제 거리 \$R_w\$, \$R_h\$를 mm 단위로 구할 수 있다.

이렇게 계산된 실제 거리를 바탕으로 스테이션이 영상에서 중앙에 올 수 있도록 드론의 위치를 지속적으로 제어한다. 그림 4의 Threshold에 스테이션의 중심이 접근했다면 서서히 고도를 낮춰 착륙 과정을 실시한다.



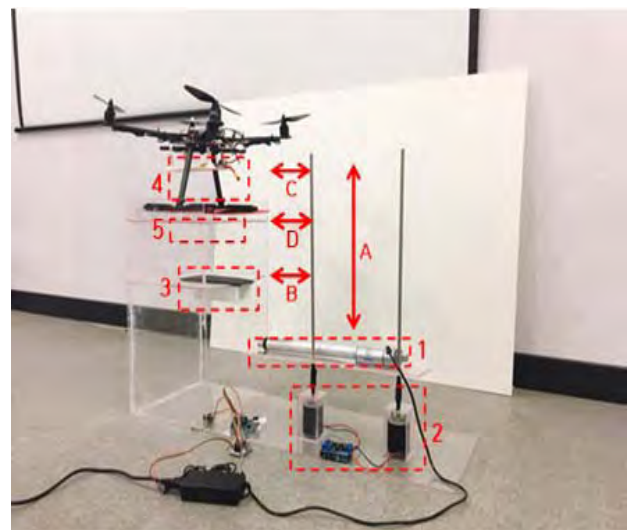
(그림 7) 드론 착륙 절차

착륙 과정에서 스테이션에 부착된 초음파센서로 드론과의 거리를 측정하여 착륙 여부를 판단한다. 판단된 착륙 여부로 드론에게 착륙 확인 메시지를 전송하여 착륙이 완료되었음을 드론에게 알린다. 착륙 완료 메시지를 전송받은 드론은 즉시 시동을 끄고 대기모드로 전환한다.

이후 드론은 대기한 상태로 배터리 교환을 기다리며, 배터리가 연결되는 즉시 이륙 준비가 끝난 것이므로 이륙 후 임무를 수행하게 된다.

2.2 드론 스테이션

드론 스테이션은 그림 8와 같이 복층 구조로 설계되어 있으며 1개의 라즈베리파이로 전체 움직임을 관리하고 1개의 리니어 액추에이터(이하 실린더 그림8의 1번)와 2개 DC모터(2)를 제어할 아두이노 2개를 포함하고 있다. 3층에 드론이 안착하면 1층(3)과 2층(5)에서 미리 충전된 배터리로 교환해주는 장치이다.

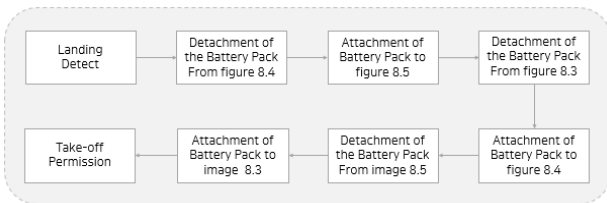


(그림 8) 스테이션 구조



(그림 9) 실린더 홀더

실린더는 피스톤 운동을 통해 드론에 장착된 배터리팩을 분리·결합한다. 이때 실린더는 그림 9의 실린더 홀더를 장착하여 아래에서 위로 배터리팩을 끼워 분리·결합할 수 있도록 설계 하였다. 이는 2개의 DC 모터엔 리드 스크류를 부착하여 실린더의 상하 운동(A)을 가능케 설계하였다. 드론이 스테이션에 착륙을 하게 되면 리드 스크류가 상하운동을 통해서 C지점까지 올라간 뒤 드론에 장착된 배터리(4)를 제거한 뒤 다시 A운동을 통해서 2층으로 이동 후 소모 배터리를 D운동을 통해 5지점에 위치시킨다. 이 후 A운동을 통해 1층으로 이동 후 기존 충전 완료된 배터리팩(3)을 B운동을 통해 결합 후 3층으로 이동하여 배터리 재결합 즉 C가 이루어진다.



(그림 10) 배터리 교환 절차

3. 시스템 성능평가

<표 2> 시스템별 총 임무 수행 예상 시간 비교표

구분	충전 시스템	교환 시스템
비행가능 시간	5분	4분 (배터리팩 추가 전력 소모)
1회 충전 대기 시간	186분	-
1회 교환 대기 시간	-	5분
필요한 비행 시간	10분	
임무수행 간 대기 횟수	1회	2회
총 임무수행 시간	196분	20분

표 2는 비행 가능 시간이 5분인 드론을 기준으로 실험한 결과이다. 실험은 드론으로 비행하여 10분 거리에 위치

한 목표지점까지 도달하는 것을 임무로 설정하고 임무수행에 소요된 총 시간을 계산하여 비교하였다.

충전시스템은 5분 비행 후 186분간 배터리를 충전하고 다시 5분을 비행 하여 임무를 끝마쳐 총 임무 수행시간은 196분이었다. 교환시스템은 4분 비행 후 5분 동안 배터리를 교환 받고 다시 4분 비행 후 5분 동안 배터리를 교환 받아 남은 2분을 비행하고 임무를 끝마쳐 총 임무 수행시간은 20분이었다. 교환시스템은 충전시스템에 비해 총 임무 수행시간을 약 89% 단축시킨 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

우리는 합리적인 장거리 비행 드론의 운용을 위해 드론 배터리팩과 배터리 교환 스테이션 시스템을 제안했다. 제안한 시스템을 구현하여 적용시켰을 때 기존의 충전 시스템 대비 89%의 임무 수행 시간을 단축시킨 결과를 얻을 수 있었다. 보다 더 정밀한 GPS 모듈을 사용하거나 라즈베리파이보다 전력대비 효율이 좋은 MCU 보드를 사용한다면 오차를 보다 더 줄일 수 있고 비행가능 시간 또한 확보할 수 있을 것이다. 본 시스템의 스테이션은 다양한 외부 전원공급 수단을 이용할 수 있기 때문에 태양광 충전패널이나 축전지를 이용하여 각기 다른 지형에서 활용할 수 있으며 광범위한 지역에 일정하게 배치하는 것으로 장거리 비행 임무를 합리적으로 수행할 수 있도록 만들어 줄 것이다. 이를 통해 배터리 용량 제약으로 정체되었던 다양한 드론 산업을 활성화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 장석인. (2017). 제4차 산업혁명 시대의 산업구조 변화 방향과 정책과제. 국토, 424, 22-30.

[2] "Why We Don't Have Battery Breakthroughs." MIT Technology Review. 2018년 9월 11일 수정, 2015년 2월 10일 접속, <https://www.technologyreview.com/s/534866/why-we-dont-have-battery-breakthroughs/>.

[3] "PX4 Development Guide." PX4:ArduPilot. 2018년 6월 19일 수정, 2018년 9월 12일 접속, <https://dev.px4.io/en/>.

[4] Love, Corey T., and A'Dia Gaskins. Performance Loss of Lithium Ion Polymer Batteries Subjected to Overcharge and Overdischarge Abuse. No. NRL/MR/6110--12-9455. NAVAL RESEARCH LAB WASHINGTON DC, 2012.

[5] "Object image and focal distance relationship (proof of formula)." Khan Academy. 2010년 12월 10일 수정, 2018년 09월 17일 접속, <https://www.khanacademy.org/science/physics/geometric-optics/lenses/v/object-image-and-focal-distance-relationship-proof-of-formula>.