

## 비행 시간을 최대화하는 드론의 최적 부품 선정 알고리즘에 대한 연구

류현수<sup>1</sup>, 이하림<sup>1</sup>, 김영준<sup>2</sup>, 양현종<sup>1\*</sup><sup>1</sup>포항공과대학교, <sup>2</sup>울산과학기술원[hslyu4@postech.ac.kr](mailto:hslyu4@postech.ac.kr), [hrlee@aislab.io](mailto:hrlee@aislab.io), [kimyj@aislab.io](mailto:kimyj@aislab.io), [hyunyang@postech.ac.kr](mailto:hyunyang@postech.ac.kr)

## A Study on the Optimal Drone Hardware Component Selection Algorithm Maximizing Flight Time

Hyeonsu Lyu<sup>1</sup>, Harim Lee<sup>1</sup>, Yeongjun Kim<sup>2</sup>, Hyun Jong Yang<sup>1\*</sup><sup>1</sup>POSTECH, <sup>2</sup>UNIST

## 요 약

본 논문은 드론 비행 시간을 최대화 하는 최적의 드론 부품 선정 알고리즘을 소개한다. 드론 페이로드에는 프로펠러, 모터, 배터리, 전자속도기를 포함한 하드웨어의 사양에 따라 결정되고, 하드웨어의 사양 또한 주어진 페이로드를 감당할 수 있도록 설계해야 한다. 이러한 조합 최적화 문제를 드론의 추력 시스템 흐름의 역순으로 하드웨어를 선정하는 알고리즘을 이용하여 해를 제시한다. 제안한 알고리즘을 이용하여 선정한 드론의 하드웨어를 바탕으로 드론의 이론적 비행 시간을 도출하고, 설계한 드론이 안정적으로 비행하는 것을 보인다.

## I. 서 론

드론의 사양은 드론 시스템 전반에 영향을 끼치는 중요한 요소이다. 드론의 하드웨어 사양에 따라 수행 가능한 미션, 비행 시간, 기체 자유도, 최대 운반 중량 등이 결정되기 때문에 드론의 하드웨어 부품은 신중히 결정되어야 한다. 반대로, 페이로드와 비행 시간은 드론의 사양에 의해 결정되므로 드론의 부품을 선택하는 것은 복잡한 조합 최적화 문제이다 [1]. 본 논문에서는 비행 시간을 최대화하는 최적의 부품을 선택하는 알고리즘을 제안한다. 비행 시간은 추진 시스템과 밀접한 연관이 있기 때문에 제안한 알고리즘은 추진 시스템을 구성하는 모터, 프로펠러, ESC, 배터리를 선정하는 방법을 제시한다. 이 때, 기체의 프레임, 장착할 센서, 비행 제어기 및 모터의 수는 미리 결정된 것으로 가정한다.

## II. 본론

부품 선정 알고리즘은 배터리의 전력이 추력으로 변환되는 에너지 흐름의 역순으로 부품을 선택한다. 그러므로 프로펠러와 모터를 먼저 선정하고, ESC와 배터리는 나중에 선택하게 된다. 이러한 하드웨어 선정은 이전에 선택한 부품의 요구 사양을 충족하도록 다음 부품을 선택하기 때문에, 이전 단계에서 선정한 부품들의 제한 조건을 만족하지 않는 경우가 생기지 않는다.

드론을 안정적으로 제어하려면 프로펠러가 생성하는 최대 추력이 드론의 총 중량보다 커야한다. 일반적으로 드론의 추력 대 무게비는 수행하는 미션에 따라 2에서 7 사이로 설정된다[2].

드론의 초기 추정 무게를  $W$ , 모터 수를  $n$ , 추력 대 무게 비를  $r$  이라고 하자.  $P$ 를 가용 모터-프로펠러 쌍의

집합,  $E$ 를 가용 ESC의 집합,  $B$ 를 가용 배터리의 집합,  $V$ 를 배터리의 가용 전압이라고 하자.

**Algorithm 1** Component selection algorithm**Require:**  $W, n$ **Ensure:**  $a^*, b^*, v^*, I^*, e^*$ 

1: Motor-propeller pair selection stage:

Find  $I^*, v^*$ , and  $a^*$  according to (1)-(3),

2: Battery and ESC selection stage:

Find  $I^*$  and  $e^*$  and  $B^*$  according to (4)-(7)3: Update  $W$  with the weight of  $e^*, a^*$ , and  $B^*$ .4:  $\hat{e}^* \leftarrow e^*, \hat{a}^* \leftarrow a^*$  and  $\hat{b}^* \leftarrow b^*$ 5: Repeat above state until  $\hat{e}^* = e^*, \hat{a}^* = a^*$  and  $\hat{b}^* = b^*$ 

알고리즘 1. 드론 부품 선정 알고리즘

$a \in P$ 에 대하여,  $f_v(a): P \mapsto \mathbb{R}^2$ 을  $a$ 를 전압  $v$ 에 대하여 모터 출력이 100%일 때의 전력 소모량과 추력으로 대응하는 함수  $f_v(a) = (p_i, g_i)$ 로 정의하자.

이 때, 프로펠러의 요구 추력을 만족하는 모터-프로펠러 쌍의 부분집합은 다음과 같이 정의된다.

$$P' = \{a \in P | f_v(a) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = g_i \geq Wr/n\}$$

$P'$ 에 대하여 단위 전력당 높은 추력을 내는 모터-프로펠러 쌍이 효율적이므로, 전압  $v$ 에 대하여 최적의 모터-프로펠러를 다음과 같이 선정한다.

$$a_v^* = \operatorname{argmin}_{i \in P'} \frac{g_i}{p_i} \quad \dots (1)$$

$a_v^*$ 의 효율을 최대화 하는 전압  $v^*$ 는 다음과 같다.

$$v^* = \operatorname{argmin}_{v \in V} \frac{g_{a_v^*}}{p_{a_v^*}} \quad \dots (2)$$

$a_v^*$  를 단순하게,  $a_v^* = a^*$  라고 표현한다. 100%의 모터 출력에서  $a^*$ 가 소모하는 전력  $I^*$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$I^* = f_v(a^*) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} / v^* \quad \dots (3)$$

따라서 ESC 의 최대 허용 전류  $I_{ESC}$ 가  $I^*$ 보다 큰 ESC  $e$ 를 선택한다.

$$I_e \geq I^* \quad \dots (4)$$

배터리  $b_i \in B, i = 1, 2, \dots$ 에 대하여, 배터리의 전압을  $v_i$ , 방전율을  $d_i$ , 용량을  $C_i$  라고 하자. 배터리의 출력이  $n$  개의 ESC 의 최대 허용 전류량보다 커야 한다.

$$d_i C_i \geq n I_e \quad \dots (5)$$

$B' = \{b_i \in B | d_i C_i \geq n I_e, v_i = v^*\} \dots (6)$ 에 대하여, 최적의 배터리  $b^*$ 는 다음과 같다.

$$b^* = \operatorname{argmin}_{b_i \in B'} C_i \quad \dots (7)$$

선정한  $a^*, I_e, b^*$  를 바탕으로 드론의 페이로드  $W$  를 갱신한다. 최종적으로, 알고리즘 1 에서 볼 수 있듯, (1)-(7)과정과  $W$  갱신을 반복적으로 수행하여 최종적인 드론 부품을 선정한다.

Components	Model
Frame	DJI F550
Propeller	1137 T-motor V2 Carbon Fiber Prop.
Motor	T-motor MN3110 KV780
ESC	T-motor Air 40A
Flight Controller	Holybro Pixhawk4
ESC	Holybro Power Management Board
GPS	ublox Neo-M8N GPS/GLONASS receiver
Battery	8800mah 4S1P LiPo Battery
Offboard Computer	Nvidia Jetson TX2
Camera	ZED Stereo Camera

그림 1. 알고리즘 1.을 이용하여 선정한 드론 하드웨어

### III. 결론

본 논문에서 소개한 알고리즘을 이용하여 그림 1 과 같은 부품을 선정하였다. 해당 부품으로 설계한 드론은 100% 스로틀에서 8.8 분의 비행 시간을 가지는 것으로 계산되며, 호버링 시 17 분 이상의 비행이 가능하다.

그림 2 는 설계한 드론을 조립한 모습과, 안정적으로 호버링에 성공한 모습을 보여준다. 설계한 드론은 Pixhawk4 비행 제어기[3]와 QgroundContrl 을 이용하여 센서를 보정하였다.



그림 2. 그림 1.의 부품을 이용하여 설계한 드론과 드론의 비행 시연 모습.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2018-0-00958, Development of Joint Electrical/Mechanical Drone Beamforming based on Target Detection and Precise Attitude Control) and Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.2021-0-00161, 6G MIMO System Research).

### 참 고 문 헌

- [1] Mandel, Nicolas et al. "A Method for Evaluating and Selecting Suitable Hardware for Deployment of Embedded System on UAVs." *Sensors*. vol. 20,16 4420. 7 Aug. 2020
- [2] V. M. Arellano-Quintana, E. A. Portilla-Flores, E. A. Merchan-Cruz, and P. A. Niño- Suarez, "Multirotor design optimization using a genetic algorithm," in 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2016, pp. 1313-1318.
- [3] L. Meier, P. Tanskanen, L. Heng, G. Lee, F. Fraundorfer, and M. Pollefeys, "Pixhawk: A micro aerial vehicle design for autonomous flight using onboard computer vision," *Autonomous Robots*, vol. 33, 08 2012.