

3면 영상분석을 이용한 멀티콥터 프로펠러 뒤틀림 측정

장치 개발

김승현[○] 심재성 정윤교

공군사관학교 컴퓨터과학과

songhyeon511@gmail.com, jesung830@naver.com, ykjung.rokafa@gmail.com

Development of Multi-copter Propeller Distortion Measurement Device

Using Three-side Image Analysis

Songhyeon Kim[○] Jaesung Sim Yoonkyo Jung

Department of Computer Science, Republic of Korea Air Force Academy

요 약

멀티콥터(Multi-copter)는 2개 이상의 모터와 프로펠러를 사용하여 추진하는 항공기를 뜻한다. 멀티콥터에서 프로펠러의 상태는 비행 안정성, 조종성, 비행효율과 직결되는 중요한 요소이다. 프로펠러 뒤틀림이 발생하면, 멀티콥터의 비행 안정성, 조종성, 효율, 수명에 심각한 영향을 줄 수 있기에 비행 전 프로펠러의 상태 확인은 중요한 과정이다. 하지만, 기존 연구에서 제시한 인간의 시력에 의존한 프로펠러 상태 확인은 부정확할 뿐만 아니라 부상의 위험이 있다. 또한, 기체의 진동을 측정하거나 모터-프로펠러 간 회전 속도 차이를 측정하는 기법은 비행 시작 전에 프로펠러의 상태를 확인할 수 없다는 한계점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 카메라 3대를 이용하여 프로펠러의 면적 변화를 3차원적으로 측정하여 프로펠러의 뒤틀림을 측정하여 사용자에게 통지하고, 사용자는 이를 이용해 신속, 안정, 정확하게 프로펠러의 뒤틀림을 확인하고, 비행 전 선제적 조치를 취할 수 있는 시스템을 제시하고자 한다.

1. 서 론

멀티콥터(Multi-copter)는 기체에 프로펠러를 2개 이상 장착해 추진하는 항공기이다. 멀티콥터는 기존의 헬리콥터보다 구조가 간단하고, 소형화하여 제어하기에 간편하다는 특징으로 인해 개인, 산업용 무인기 시장의 상당한 부분을 차지하고 있다.

멀티콥터는 다수의 프로펠러와 모터가 장착되기 때문에 모터나 프로펠러로부터 상당한 진동이 발생하고, 이러한 진동은 주로 뒤틀림이 발생한 프로펠러나 모터로부터 생긴다[1]. 이러한 비정상적 진동은 멀티콥터에 크게 세 가지의 문제점을 야기한다.

먼저 멀티콥터의 조종성(manueverability)이 감소한다. 멀티콥터는 PID 제어로 현재 센서값과 정상값을 비교하여 안정적으로 비행할 수 있게 도와주는 제어방식을 사용하고 있다. 하지만 비행체에서 진동은 불규칙적, 예측 불가능하게 발생하므로[2] 입력값에 오차를 발생, 누적되어 설정값에 도달하는 속도가 느려져 사용자의 의도와는 다른 부정확한 움직임을 초래하여 조종 난도의 증가 또는 조종 불능 상태가 발생할 수 있다.

다음으로, 멀티콥터의 효율이 감소하는 문제가 발생한다. 정상적 멀티콥터는 안정적 상태를 방해하는 외부적 요인인 기압의 급격한 변화나 돌풍 등에만 대처하면 된다. 하지만 자체 진동이라는 내부적 요인이 발생할 경우, 이를 보정 하기 위해서 추가적 에너지 소요가 발생하고, 뒤틀린 프로펠러는 프로펠러 각속도의 저하도 초

래하여[3], 결과적으로 비행 가능 시간이 감소하게 된다.

또한, 멀티콥터의 비정상적 진동은 멀티콥터 부품의 수명을 단축시킨다. 멀티콥터는 모터의 회전수를 제어하기 위해 전자속도제어장치(Electronic Speed Controller)가 장착되어 있다. 진동으로 인해서 지속적으로 모터에 제어 신호를 보내야 하는 상황에서는 변속기의 처리량이 증가, 비정상적 발열이 발생하고, 이러한 발열은 부품의 수명을 단축시킨다[4].

이러한 프로펠러의 뒤틀림을 포착하기 위해 기존에는 프로펠러를 모터에 끼운 뒤 회전시켜 보면서 프로펠러의 회전을 직접 눈으로 확인하면서 프로펠러의 상태를 확인했다. 이러한 방법은 인간의 시력에 의존하기 때문에, 미세한 뒤틀림을 포착하기 어려웠다. 또한, 고속으로 회전하는 프로펠러에 접근하여 확인해야 하므로 부상을 초래할 가능성 또한 존재했다.

본 연구에서는 3개의 카메라를 이용한 3면 영상으로 프로펠러의 뒤틀림을 측정한다. 초기의 상태에서 뒤틀림이 전혀 발생하지 않은 프로펠러를 3면에서 촬영하여 기준점으로 잡은 뒤, 뒤틀림이 발생했을 것으로 예측되는 프로펠러를 촬영, 기준값과 비교한다. 프로그램은 이를 기준값과 비교, 뒤틀림 정도를 계산하여 사용자에게 통보하고, 사용자는 이 결과를 바탕으로 프로펠러 교체 여부를 판단할 수 있다. 이로 인해 멀티콥터의 비행 안정성, 조종성, 비행효율을 제고 할 뿐만 아니라, 프로펠러 상태를 확인하는 과정에서의 안전과, 정확성을 확보하여 멀티콥터 운용의 편의에 기여하는 것이 이 연구의 목표이다.

2. 기존 연구 분석

기존에 드론의 비정상적 상태를 측정하는 연구로는, 프로펠러와 모터의 회전수 차이를 비교하여 프로펠러가 모터에 완전히 결합했는지 판단하거나, 비행 중 드론의 진동을 측정하여 동력부의 이상 여부를 판단하는 연구가 있다[5, 6].

이러한 기존 연구는 드론이 비행을 시작한 후에야 드론의 이상 증세를 판단할 수 있어 불의의 사고를 예방할 수 없다는 한계가 있었기에, 본 연구는 드론이 비행을 시작하기 전에 프로펠러의 정상 여부를 판단하여 비행 전 선제적 조치가 가능하게 한다.

3. 시스템 설계

본 연구에서는 프로펠러의 뒤틀림 정도를 파악하기 위해 3면에서 프로펠러를 촬영하여 3면에서 본 프로펠러의 단면적을 기준값과 비교해 뒤틀림 정도를 계산하는 시스템을 그림 1과 같이 설계하였다.

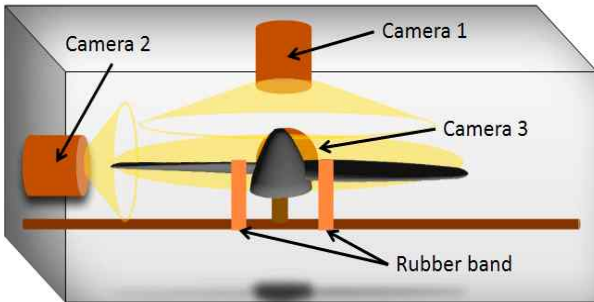


그림 1. 프로펠러 뒤틀림 측정 장치의 기본 구조

먼저 3대의 카메라를 x축, y축, z축에 설치하고, 프로펠러를 하단의 거치대에 두 개의 고무줄을 이용하여 프로펠러가 회전하지 않도록 고정한다. 이후 3개의 카메라로 각 축에서 보이는 단면을 촬영하고 단면의 넓이를 기준값과 비교하여 뒤틀림 정도를 계산한다.

프로펠러 단면적의 계산은 배경색과 프로펠러 색의 대비를 이용해, OpenCV 라이브러리로 Contour를 검출하는 방법을 사용하여 구현했다.

x축과 평행하게 프로펠러가 정렬되지 않으면, x축과 y축의 단면적 측정값에 오류가 생길 수 있다. 따라서, x축에 대해 항상 평행으로 정렬될 수 있도록 상자 아래쪽에 x축과 평행한 봉을 하나 두고, 세워진 프로펠러와 해당 봉을 프로펠러 양쪽에서 두 개의 고무줄로 연결하여 항상 x축과 평행하게 정렬되게 하였다.

뒤틀림 정도를 나타내는 지표로 뒤틀림 계산식을 활용하였다. 먼저, 뒤틀림 값은 T 로 표기하며, 기존 단면 넓이를 a 라고 하고 측정 단면 넓이를 a' 라고 했을 때 뒤틀림 값 T_n 은 식 (1)과 같이 정의한다:

$$T_n = \left(\frac{|a_n - a_n'|}{a_n} \right) \times 100 (\%) \quad (1)$$

뒤틀림 값이 0일 경우 뒤틀림이 없는 상태이며, 뒤틀림 값이 커질수록 많이 뒤틀린 상태로 해석한다. 기존 면적과 뒤틀림 후 면적을 비교하여 각 축의 뒤틀림 정도인 T_x , T_y , T_z 를 계산한다. 각 축의 카메라에서 촬영한 값에 뒤틀림 계산식을 사용하여 도출한 세 가지 뒤틀림 값을 모두 모니터를 통해 출력하여, 프로펠러의 뒤틀림 형상에 따른 값의 변화를 관찰하였다.

4. 결과 분석

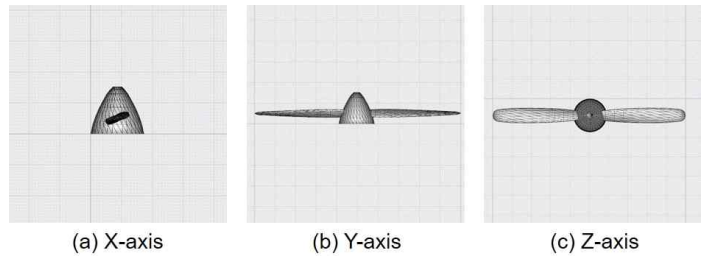


그림 2. 각 축에서 촬영한 프로펠러

분석 장치는 그림 2와 같은 세 장의 이미지가 촬영한다. 이때 프로펠러의 날개를 기준으로 값을 검출하여야 하는데 프로펠러 중앙 부분이 방해가 되기 때문에 Y축과 Z축의 경우 좌우 날개의 넓이를 따로 구하여 더하였다.

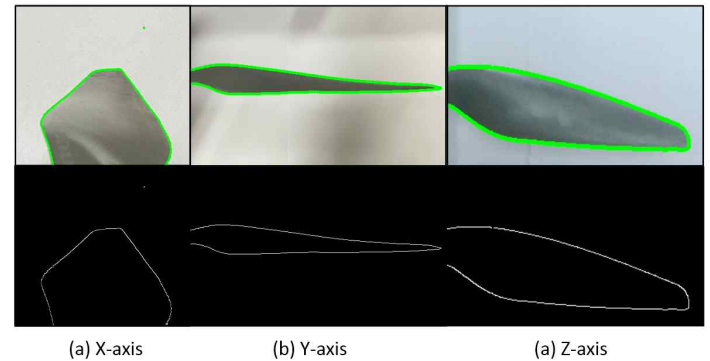


그림 3. OpenCV를 이용해 검출한 Contour

실제 촬영된 이미지와 OpenCV를 이용하여 검출한 Contour 이미지는 그림 3과 같다. 그리고 Contour를 통해 프로펠러의 단면적 넓이를 구한다.

프로펠러의 뒤틀림은 크게 세 가지의 종류가 발생했다. 먼저 피치각의 뒤틀림이 확인되었다. 피치각이란 프로펠러의 날개가 양력을 발생시키기 위해 xy평면과 이루고 있는 각도를 의미한다. 피치각 뒤틀림 시 y축과 z축의 촬영 단면적이 변화했다.

또한, 프로펠러의 양쪽 날개에서 좌우 뒤틀림이 발생했다. 프로펠러 양측에 달린 날개가 x축과 평행을 이루

지 못하고 한쪽 또는 양쪽 모두가 올라가거나 내려간 경우이다. 좌우 뒤틀림 시 X축과 Z축의 촬영 단면적이 변화했다.

마지막으로 프로펠러에서 전반적으로 뒤틀림이 발생했다. 프로펠러가 어떻게 뒤틀리는지에 관계없이, Z축에서 촬영한 단면적은 항상 변화했다.

	prop A	prop B		prop A	prop B		prop A	prop B
1	24	18.5	1	18	16	1	99	79.5
2	23.5	20	2	18.5	14	2	99.5	80
3	23.5	19.5	3	17.5	15.5	3	101.5	82.5
4	25	19	4	19	15	4	101	83
5	24.5	20	5	18	15.5	5	99	85
Avg	24.1	19.4	Avg	18.2	15.2	Avg	100	82

(a) X-axis

(b) Y-axis

(a) Z-axis

그림 4. 각 축별 프로펠러의 단면적 평균

세 가지 뒤틀림의 경우를 각각 피치각 뒤틀림, 좌우 뒤틀림, 종합 뒤틀림 값이라 정의하고, 뒤틀림 값을 그림 4와 같이 정리하였다. 이때 단면적은 5차례에 걸쳐 구하였는데 이는 빛에 따라 단면적 넓이에 작은 오차가 생기기 때문에 이를 보정하기 위해서 5차례의 데이터에 평균 값을 사용하였다.

그림 4의 데이터를 식 (1)에 대입하여 뒤틀림 값 T 를 구한 결과 X축, Y축, Z축의 뒤틀림 값은 19.5%, 16.4%, 18%이며 평균 뒤틀림 값은 18%로 확인되었다.



그림 5. 실험에 사용된 프로펠러 A, B

그림 5와 같이 눈으로 프로펠러의 뒤틀림 정도를 확인하는 것은 어렵지만, 이 장치를 이용해 사용자는 뒤틀림 계산식을 통해 도출된 정확한 세 가지의 뒤틀림 값을 확인했다. 또한, 이 값을 종합적으로 분석하여, 각 뒤틀림 상태에 알맞은 프로펠러 수리나 교체 필요 여부를 판단할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 멀티콥터 비행의 안전성, 안정성과 효율에 큰 영향을 미치는 프로펠러의 뒤틀림 정도를 계산하여 사용자에게 알려주는 시스템을 설계 및 개발하였

다. 실험을 위해 뒤틀림 정도를 수치화하는 수식과 구체적인 장치 형상을 설계하였고, 해당 수식과 설계를 바탕으로 제작한 장치에서 데이터를 도출하여 사용자가 프로펠러의 교체 여부를 확인할 수 있었다.

실험을 위해 2개의 날개를 가진 프로펠러만을 대상으로 하는 실험 환경을 구성했다. 짝수 개의 날개를 가진 프로펠러는 동일 방법으로 해당 장치에서 뒤틀림 정도를 측정하는 것이 가능하나, 홀수 개의 날개를 가진 프로펠러의 경우에는 측정이 힘들다는 한계점이 존재한다. 따라서 홀수 개의 날개를 가진 프로펠러의 뒤틀림 정도를 측정할 수 있는 고정 방법과 알고리즘을 구하는 것이 앞으로의 연구 과제이다. 3대의 카메라와 고정 장치를 사용하는 것이 아닌, 하나의 카메라와 프로펠러만 가지고 촬영 각도를 UI를 통해 사용자가 직접 설정하면서 뒤틀림 정도를 측정할 수 있게 해주는 시스템 또한 연구 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] Stanisław Radkowski, Przemysław Szulim, Analysis of vibration of rotors in unmanned aircraft, 19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014.
- [2] Mohammad Abdulrahman Al-Mashhadani, Random vibrations in unmanned aerial vehicles, mathematical analysis and control methodology based on expectation and probability, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2018.
- [3] Endrowednes Kuantamal, Ovidiu Gheorghe Moldovan, Ioan Țarcă, Tiberiu Vesselényi, Radu Țarcă, Analysis of quadcopter propeller vibration based on laser vibrometer, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2019.
- [4] 이충성, 박종원, 제어 보드 발열 사양이 드론 내구성에 미치는 영향, 대한기계학회 IT 융합부문 춘계학술대회 논문집, 2018.
- [5] 임휘준, 김규광, 김휘민, 명현, 프로펠러 및 모터 회전 수 차이 측정을 통한 멀티콥터 로터 조립 상태 점검 장치 개발, ICROS, 2016.
- [6] 엄성용, 박지현, 김윤호, 진동 센서를 이용한 드론 동력부의 이상 진단 시스템, Journal of KIIT. Vol.18, 2020.