

빅데이터를 활용한 드론의 이상 예측시스템 연구

A Study on the Anomaly Prediction System of Drone Using Big Data

이 양 규¹ 홍 준 기² 홍 성 찬*
Yang-Kyoo Lee Jun-Ki Hong Sung-Chan Hong

요 약

최근 국내외 빅데이터가 4차 산업혁명의 핵심기술로 급부상하고 있다. 또한, 4차 산업혁명의 발달과 더불어 드론에 대한 활용도와 수요가 계속 증가하고 있으며, 이에 관한 결과로 이제 드론은 일상생활과 다양한 산업 활동에 많이 활용되고 있다. 하지만 드론의 활용이 많아지면서 추락의 위험 또한 높아지고 있다. 드론은 비행 시 드론 내부 특성상의 간단한 구조로 인하여 작은 문제에도 쉽게 추락할 수 있는 위험요소를 항상 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 드론 추락 위험요소를 예측하고 추락을 방지하기 위하여 드론의 구동 모터와 일체형으로 ESC(Electronic Speed Control)를 부착하고 그 안에 가속도 센서를 장착해 진동 데이터를 실시간으로 수집 및 저장하고 그 데이터를 실시간으로 처리 및 모니터링 한다. 그리고 모니터링 상황에서 얻어진 빅데이터를 통한 데이터를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform,FFT) 알고리즘을 이용하여 수집된 빅데이터를 분석하여 드론 추락의 위험을 최소화하는 예측시스템을 제안하였다.

☞ 주제어 : 빅데이터, 드론, 위험예측

ABSTRACT

Recently, big data is rapidly emerging as a core technology in the 4th industrial revolution. Further, the utilization and the demand of drones are continuously increasing with the development of the 4th industrial revolution. However, as the drones usage increases, the risk of drones falling increases. Drones always have a risk of being able to fall easily even with small problems due to its simple structure. In this paper, in order to predict the risk of drone fall and to prevent the fall, ESC (Electronic Speed Control) is attached integrally with the drone's driving motor and the acceleration sensor is stored to collect the vibration data in real time. By processing and monitoring the data in real time and analyzing the data through big data obtained in such a situation using a Fast Fourier Transform (FFT) algorithm, we proposed a prediction system that minimizes the risk of drone fall by analyzing big data collected from drones.

☞ keyword : Big Data, Drones, Risk Prediction

1. 서 론

4차 산업은 미래를 열어갈 최대의 화두이며, 인공지능 기반의 디지털기술과 연결되는 초지능(super intelligence), 초연결(hyper connectivity) 시대를 말하며 빅데이터가 최대 핵심기술로 급부상하고 있다. 또한, 4차 산업의 발달로 드론에 대한 활용도와 수요가 점차 증가하고 있으며, 다양한

곳에 활용되고 있다. 하지만 드론의 비행 임무 수행 시 안전에 대한 예측 및 긴급 고장에 대한 대응은 드론 업체에서 기본 제공하는 비상 착륙 및 귀환(Return - Home) 기능만이 사용되고 있으므로 대부분 드론은 취약한 내부 안전 장치 (Fail-safe)을 갖고 있다.

대다수 드론은 직관적으로 연결된 단일 회로와 폐루프(Close Loop) 방식이 아닌 신호를 주고 반응하는 방식으로 구성되어 있어 관성측정 장치(Inertial Measurement Unit,IMU)의 인식이 없으면 어떠한 구동도 인식할 수 없다. 드론을 안정적으로 비행시키기 위해서는 뛰어난 신뢰성의 자세 데이터가 필요하며, 이를 위해서는 상보 필터(Complementary Filter, CF) 및 칼만 필터(Kalman Filter, KF) 등을 이용하여 IMU 센서 데이터를 융합할 수 있는 기술이 필요하다. 드론의 자세 정보를 얻기 위해서는 기본적으로 지구 중력에 대한 관성 데이터를 수집해야 하며 이를 위해서는 IMU 센서가 필요하다. IMU 센서는 중력 가속도 벡

¹ Division of Information and Telecommunication, Hanshin University, Osan, 18101, Korea.

² Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon, 35345, Korea.

* Corresponding author: schong@hs.ac.kr

[Received 7 November 2019, Reviewed 11 November 2019(R2 2 January 2020, R3 16 February 2020, R4 4 March 2020), Accepted 21 April 2020]

☆ 이 논문은 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

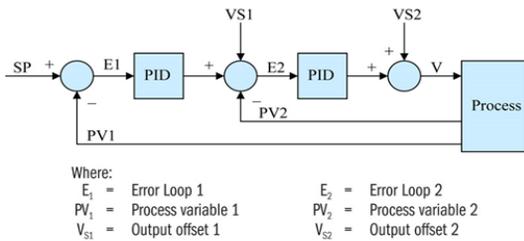
☆ 본 논문은 2019년도 인터넷정보학회 춘계학술발표대회 우수 논문 추천에 따라 확장 및 수정된 논문임.

터를 측정하는 3개 축의 가속도 센서(Accelerometer), 동체의 회전속도를 측정하는 자이로스코프 센서(Gyroscope) 센서, 비행체의 방향을 알기 위한 지구 자기장의 세기를 측정하는 지자기 센서(Magnetometer)로 구성되어 있다. 따라서 본 논문에선 드론의 센서들로부터 수집된 신호 빅데이터를 분석하여 비정상적인 동작을 감지하고 추락을 방지하는 알고리즘을 제안한다.

2. 빅데이터를 이용한 드론 이상 예측시스템 개요

2.1 드론 비행 자세 제어 기술

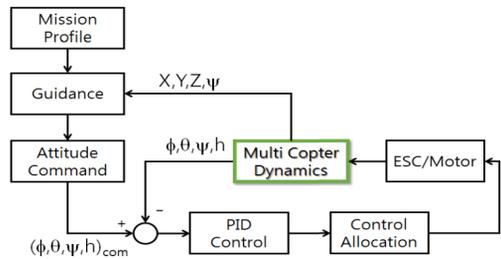
드론의 자세 및 방위 추정 시스템(Attitude & Heading Reference System, AHRS)은 관성 센서(X, Y, Z) 3개의 축에서 측정되는 값과 고도계 및 GPS를 바탕으로 드론의 자세 및 방위를 추정한다. AHRS 기술은 드론의 비행 안정성과 항법 정밀도를 좌우하는 가장 중요한 요소이며, 알고리즘이나 값에 오류가 생기면 드론이 추락으로 이어질 수 있는 만큼 신뢰성이 중요한 요소이다. 4축 IMU 데이터를 기반으로 사원수(Quaternion)을 계산한 후 이를 바탕으로 좌표변환을 수행하고 상보 필터 혹은 칼만 필터를 이용하여 데이터를 보정하여 최종적으로 자세를 추정하는 것이 일반적이다.



(그림 1) Cascade PID 제어기 기반의 비행체 자세제어기술
(Figure 1) Cascade PID controller based aircraft attitude control technology

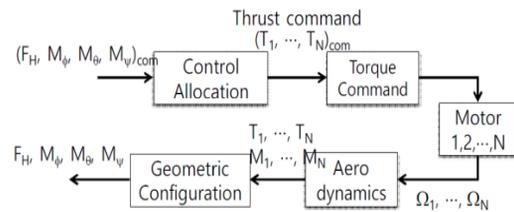
(그림 1)은 Cascade PID((Proportional Integral Derivative) 제어기 기반의 비행체 자세제어 기술의 순서도를 나타낸다. Cascade PID 제어기의 알고리즘은 비행체의 Angle Error를 증폭한 후 이를 다시 설정값(Set Point)으로 설정한 후 각속도(Angular Velocity) 데이터를 이용하여 비행체 제어에 필요한 오차를 만들어내는 형식의 자동제어기이다.

PID 제어기는 제어하고자 하는 대상의 정확한 수학적 모델 없이 가능하다는 장점이 있으나 경험에 의한 이득(Gain)의 튜닝에 의존하여 시행착오가 많고 특정 상황에서는 정상적으로 제어를 수행하지 못하는 현상(Saturation)이 발생할 수 있다. 따라서 해당 문제점을 보완하기 위해서는 다양한 변수를 사용하여 제어기를 구성할 필요가 있으며 특히 드론은 빠른 속도로 자세를 제어해야 하므로 정확도와 제어 속도를 얻기 위해서 Cascade PID 제어기를 이용한다. 증폭된 오차는 각속도 제어기를 통하여 최종적으로 각 모터별 제어값으로 변환되며 이는 다시 PWM(Pulse Width Modulation) 제어 신호로 변환되어 드론의 자세를 제어하게 된다.



(그림 2) 제어 및 유도 루프
(Figure 2) Control and guidance loop

또한, (그림 2)와 같이 드론의 최종회전축을 제어하기 위해서는 다음과 같은 자세 루프 구조가 실행된다 [1].



(그림 3) 모터 제어 및 할당
(Figure 3) Motor control and allocation

드론의 위치와 자세 명령을 따라 각 모터의 추력을 계산하는 것을 제어력 할당(Control allocation)이라고 하며, 다음에 해당한다 [2-4]. (그림 3)에서 확인할 수 있듯이 모터와 일체형인 ESC(Electronic Speed Control)에 가속도 센서의 데이터 값을 실시간으로 받아 빅데이터 분석을 통해 이상 상황을 예측하게 된다.

2.2 제안한 드론의 이상 예측시스템

2.2.1 드론 이상 예측시스템의 정의

일체형(All-in-one) 구동 모듈의 상태를 진단하기 위해 구동 드라이버에 부착된 가속도 센서 동작 상태에 따른 측정값을 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT)을 이용하였다.

FFT는 주파수 대역 값으로 변형해 정상과 비정상을 진단한다. 가속도 센서를 이용한 고장진단은 온도 센서, 압력 센서 또는 진류 센서에 비해 많은 정보를 포함하고 빠른 반응을 보이기 때문에 드론 프로펠러들의 파손 시 이상 진단에 매우 적합하다. 이러한 이유로 드론 이상 예측시스템에서 가속도 센서를 사용하였다. 모터와 프로펠러에 의한 드론의 추락 원인은 아래 표1과 같다.

(표 1) 모터, 프로펠러에 대한 불량 검출
(Table 1) Defect detection of motor and propeller.

항 목	고장 원인 및 세부고장 내용	
	고장 원인	세부고장 내용
모터	모터 구동 불량	1) 전자자 코일파손/과열 2) 회전축 베어링 마모
프로펠러	프로펠러 파손	3) 외부충격으로 인한 크랙

2.2.2 드론 이상 예측시스템의 측정 방법 및 절차

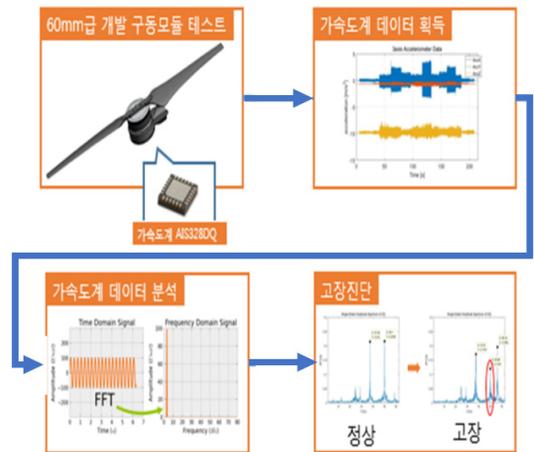
드론 이상 시스템의 측정 방법은 고장 유형별 가속도 센서 데이터를 분석하여 고장 원인으로 보았다. 프로펠러 손상, 모터의 베어링 마모로 총 2가지 고장 유형에 대해 멀티콥터가 호버링 상태를 가정하여 PWM 신호가 1.5ms일 때의 정상 구동 모듈의 가속도 센서 데이터와 비교하였다. 가속도 센서 데이터는 시간영역데이터(Time domain data)에 FFT를 적용하여 에너지 차원의 단방향 스펙트럼을 분석하였다.



(그림 4) 손상된 프로펠러와 베어링
(Figure 4) Damaged propeller and bearing

고장상태의 하나인 프로펠러 파손은 외부충격으로 인한 5%의 프로펠러 손실 조건으로 실험결과, 가속도 신호의 FFT 분석결과가 정상상태보다 확연히 다르게 나타나 이상 신호의 주파수 대역을 확인할 수 있었다. 이에 대한 실험은 (그림 2.6)에서 논한다.

제안한 이상 예측시스템의 순서도는 아래 (그림 4)와 같이 나타낼 수 있다.

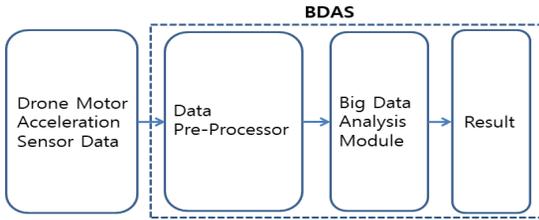


(그림 5) 제안한 이상 예측시스템의 순서도
(Figure 5) Flowchart of proposed anomaly prediction system

(그림 5)에서 확인할 수 있듯, 60mm급 개발 구동 모듈 테스트를 통해 ESC 내 진동 센서(AIS328DQ)에서 가속도 계에서 발생하는 빅데이터와 가속도계에서 발생하는 신호를 바탕으로 실시간으로 속도계 데이터를 분석하여 고장 진단을 통해 드론의 비행 중 이상 신호를 검출할 수 있도록 처리하였다.

2.3 빅데이터 수집 및 이상 예측 분석을 위한 BDAS (Big Data Analysis System)

빅데이터를 활용한 드론의 이상 예측시스템을 구현하고 드론의 모터로부터 빅데이터를 수집하고 분석하기 위해 BDAS를 제안하였다. BDAS는 드론의 모터와 함께 부착된 ESC 내 가속도 센서의 신호를 실시간으로 저장 후 분석해 모터의 이상 상황을 판단하여 정상 데이터를 계속해서 수집 분석하여 정상 비행 데이터를 정리하고 예측한다 (그림 6)[5].



(그림 6) BDAS 개념도

(Figure 6) BDAS Conceptual diagram

(그림 6)의 BDAS 시스템 예측기는 드론 모터의 진동 센서 데이터(Drone Motor Acceleration Sensor Data)와 수집된 데이터를 신호 처리를 할 수 있도록 가공하는 'Data Pre-Processor(데이터 전처리기)', 축적된 데이터를 보관 및 데이터를 분석해주는 'Big Data Analysis Module' 이렇게 총 3단계로 구성된다. 제한한 BDAS 시스템의 단계별 자세한 설명은 다음절(2.3.1~2.3.3)에서 기술한다 [6].

2.3.1 Drone Motor Acceleration Sensor Data (드론 모터 가속도 센서 데이터) 수집

이상 예측을 위해 사용된 데이터는 가속도 센서에서 진동량에 따른 전기 신호를 출력한 신호 데이터를 수집한다.

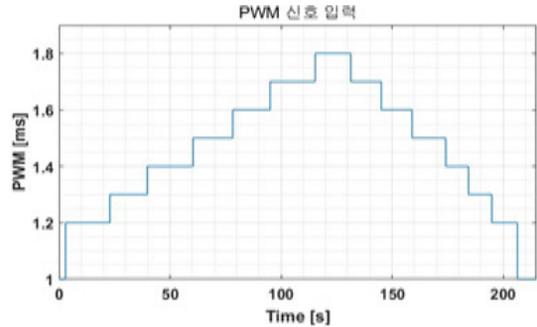


(그림 7) 드론 모터 데이터 취득 방법

(Figure 7) Motor control and allocation

(그림 7)과 같이 드론 전축에 ESC를 부착하고 가속도 센서(AIS328DQ)를 장착한 후 드론의 데이터를 수집한다.

데이터 수집은 드론 기체 내부 모터 (3축)를 중심으로 ESC에서 나오는 신호를 데이터 저장 장치를 통해 실시간으로 저장하며 모터 주변의 진동에 대한 영향도 같이 저장한다 [7].



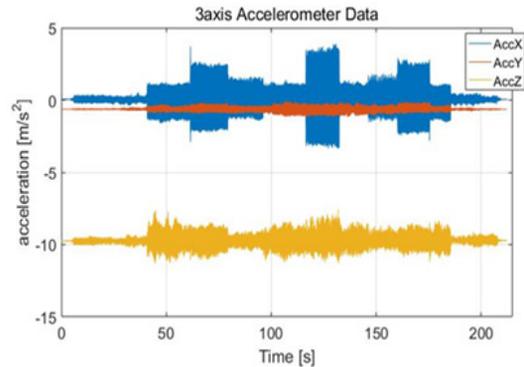
(그림 8) 가속도 데이터 획득 실험 PWM 신호 입력

(Figure 8) Acceleration data acquisition experiment PWM signal input

(그림 8)과 같이 PWM(Pulse Width Modulation) 신호 인가에 따른 구동 모듈의 가속도를 측정하였으며, 측정 실험은 PWM 신호 1.3ms부터 0.1ms 간격으로 1.8ms까지 측정하여 구간별로 3축 가속도 데이터를 측정하였다.

2.3.2 Data Pre-Processor(데이터 전처리기)

Data Pre-Processor는 수집된 신호를 수치화해서 빅데이터 분석을 할 수 있도록 데이터의 품질을 높여서 변환해주는 장치이다.



(그림 9) PWM 신호 입력에 따른 가속도 데이터

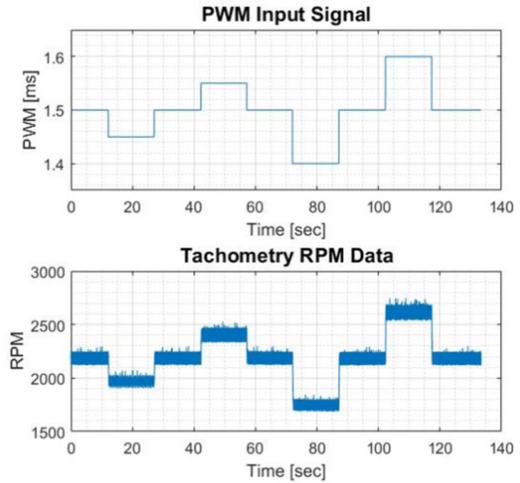
(Figure 9) Acceleration data according to PWM signal input

3축의 가속도 데이터는 실제 모터의 회전 시 발생하는 가속도 값이며 모터 주변에 동체 파손이나 드론 비행 시 심하게 흔들리는 경우가 발생 될 때도 가속도 센서의 값에 영향을 미쳐 이상 신호를 감지하는 데 사용할 수 있다.

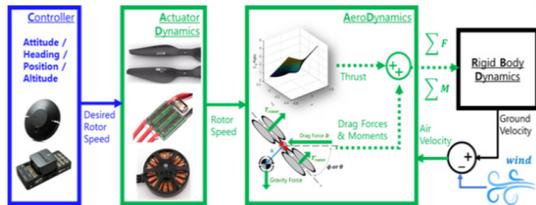
2.3.3 드론의 빅데이터 분석

빅데이터에서 드론의 이상 상황을 분석 감지하여 비행 긴급 상황에 대한 예측 판단할 수 있도록 대응한다. 자료 수집 기간은 2018년 2월부터 2019년 6월까지의 ESC 가속도 센서에서 얻어진 데이터로 약 125,000건의 데이터를 분석하여 기술적으로 분류한다.

가속도 센서는 질량에 의해 나누어진 비율이다. 전자력은 고정자 전류의 제곱에 비례하기 때문이다. 모터 단독운전 시 또는 무부하 운전 시는 문제의 진동 조짐이 잘 나타나지 않으나 부하가 걸렸을 때 특히 100% 부하 근방에서 뚜렷한 징조가 잘 나타난다. 진동분석을 통해 다음과 같은 전기적인 문제를 탐지할 수 있다 [3]. 그래서 다음과 같은 고정자 편심, 단락권선, 회전자 편심 등을 가속도 센서의 진동에 의한 스펙트럼 분석으로 기존의 정상적인 자료와 비정상적인 자료를 통해 고장 유무를 판단할 수 있다.



(그림 11) 60mm급 모터 회전속도 반응성 측정
(Figure 11) 60mm motor speed reactivity measurement



(그림 10) 드론 이상 예측시스템 구조
(Figure 10) Drone anomaly prediction system structure

2.4. 드론 이상 예측 시뮬레이션 환경

드론의 ESC는 PWM 입력 신호를 받아 프로펠러를 회전시키고 추력과 토크가 발생 되면서 비행하게 된다.

그러나 프로펠러가 손상될 경우 모터 회전 시 진동이 발생 되고 추력과 토크의 효율이 떨어지게 된다.

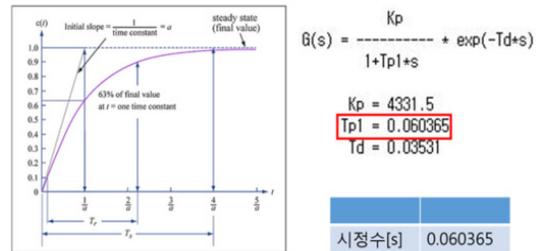
본 연구는 모터 진동 실험하기 위해 이상 예측시스템을 구축하였다 (그림 10).

구동 방식 중 일반적으로 많이 사용되는 단일로터형 드론 이상의 모델에서 구동부 모델을 단일형으로 선택하여 사용할 수 있게 Matlab / Simulink를 사용하여 구축하였다.

구동 모듈(모터+프로펠러)의 회전속도 반응성을 실험하기 위해 모터 회전 중심축에 마그네틱 엔코더를 부착해 회전에 따라 교차하는 N/S극의 변화를 감지하여 회전속도를 측정한다.

PWM 신호 입력은 0.05ms, 0.1ms, 0.15ms씩 변화를 주는 것으로 반응성 측정 실험을 진행하였다.

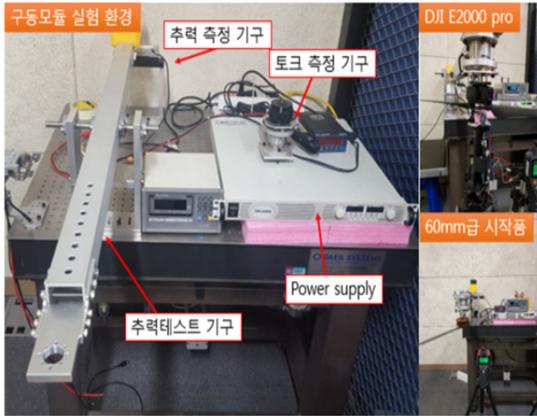
(그림 11)과 같이 PWM 입력 신호와 측정 데이터를 Matlab의 System Identification 기능을 이용하여 프로세스 모델기반으로 모터의 시정수를 도출하였다 [8].



(그림 12) 60mm급 모터 회전속도 반응성 시정수 도출
(Figure 12) Derivation of 60mm motor speed responsive time constant

(그림 12)과 같이 시험기에 대한 시정수를 구하고 표준화된 기준을 잡아서 일정한 시정수가 나오는지 판단한다. 모터의 진동 부분과 같이 비교하여 이상 신호를 검색할 수 있도록 드론 이상 예측시스템을 구성하였다 [9].

아래 (그림 13)은 실제 시뮬레이션을 위해 사용한 테스트베드이다. 추력 측정기구는 프로펠러가 장착된 상태에서 드론이 들 수 있는 무게를 측정하고 토크 측정기는 모터의 회전력을 측정한다.



(그림 13) 모터의 각종 신호를 측정할 수 있는 테스트베드
(Figure 13) Test bed for measuring various signals from the motor

일반적으로 구동 드라이버에 사용되는 신호인 PWM 신호를 인가하여 모터와 프로펠러의 회전에 따른 추력, 토크, 회전속도, 전류량을 측정하여 60mm급 구동 모듈(모터+ESC)과 같은 급의 고급제품인 DJI 사의 E2000 pro 구동 모듈의 신호를 측정한다 (그림 13).

두 종의 모듈을 실제 실험은 PWM 신호 1.2ms부터 0.05ms 간격으로 증가시키면서 진행하였다. 각 구동 모듈 별 PWM 신호 입력 대비 추력, 토크, 회전속도, 전류 측정 결과는 아래 (표2), (표3) 와 같다.

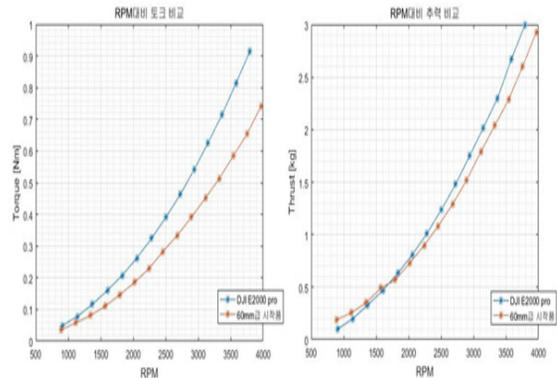
(표 2) DJI E2000 PRO 구동 모듈 측정 실험결과 일부
(Table 2) Partial results of DJI E2000 PRO drive module measurement

No.	PWM	Thrust(kg)	Torque(N.m)	RPM	Amps(A)
1	1.20	0.1	0.049	907	0.22
2	1.25	0.2	0.078	1139	0.36
3	1.30	0.33	0.116	1370	0.56
4	1.35	0.47	0.161	1605	0.83
5	1.40	0.63	0.208	1832	1.18
6	1.45	0.81	0.263	2058	1.62
7	1.50	1.01	0.324	2282	2.15
8	1.55	1.24	0.392	2506	2.82
9	1.60	1.48	0.463	2725	3.6
10	1.65	1.75	0.542	2940	4.5
11	1.70	2.02	0.626	3153	5.57
12	1.75	2.3	0.716	3370	6.89
13	1.80	2.67	0.814	3582	8.32
14	1.85	3	0.914	3795	9.98

(표 3) 60mm 모터 구동 모듈 측정 실험결과 일부
(Table 3) Partial results of 60mm motor drive module measurement test result

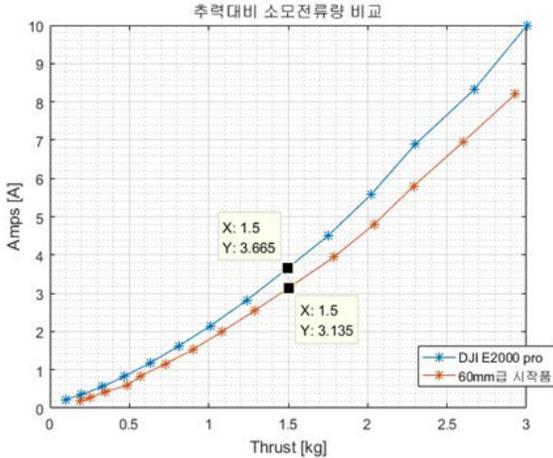
No.	PWM	Thrust(kg)	Torque(N.m)	RPM	Amps(A)
1	1.20	0.19	0.036	893	0.18
2	1.25	0.255	0.058	1117	0.27
3	1.30	0.35	0.081	1343	0.43
4	1.35	0.49	0.111	1571	0.6
5	1.40	0.57	0.147	1797	0.84
6	1.45	0.73	0.185	2018	1.16
7	1.50	0.9	0.229	2242	1.53
8	1.55	1.08	0.282	2454	1.99
9	1.60	1.29	0.334	2678	2.55
10	1.65	1.52	0.391	2895	3.19
11	1.70	1.79	0.452	3113	3.95
12	1.75	2.04	0.514	3328	4.8
13	1.80	2.29	0.586	3544	5.8
14	1.85	2.6	0.655	3756	6.95

DJI E2000 pro 구동 모듈과 60mm급 제품 구동 시 신호를 측정하여 프로펠러와 모터 등 이상 현상을 만들어 데이터를 측정하여 빅데이터 분석을 통한 이상 예측 기능의 알고리즘(2.5절의 DFT 변환 공식)을 통해 구현한다. (표1), (표2)를 이용하여 드론의 모터 모듈에서의 정상적인 구동과 비정상적인 동작을 판단한다. 이후 데이터를 분석 후 (그림 16)과 같이 이상 프로펠러를 장착하여 기존 정상 신호와 비정상적인 신호를 추출할 수 있도록 FFT (Fast Fourier Transform)를 사용하여 분석하고 고장진단을 할 수 있는 빅데이터 BRAS 시스템을 구축한다.



(그림 14) 구동 모듈의 RPM(회전속도) 대비 추력과 토크 비교
(Figure 14) Thrust vs. torque vs. RPM of drive module

모터 모듈의 추력 대비 전류량이 (DJI E2000 pro)와 60mm 제품이 동일 추력에서 소모전류량이 비슷한 응답성을 확인할 수 있다. (그림14).



(그림 15) 구동 모듈의 추력 대비 소모전류량 비교
(Figure 15) Some 60mm motor drive module measured

구동 모듈의 추력 대비 전류량이 “DJI E2000 pro”과 “60mm 제품”이 동일 추력에서 소모전류량과 응답성이 좋은 것으로 나타났다 (그림15).

모든 비행기록과 시간별 동작 상태를 정리하여 정상 대한 기준을 설정하고 각 신호가 이상 동작이 될 때 예측하여 문제점을 파악한다.

2.5 가속도 센서에 의한 검출 결과

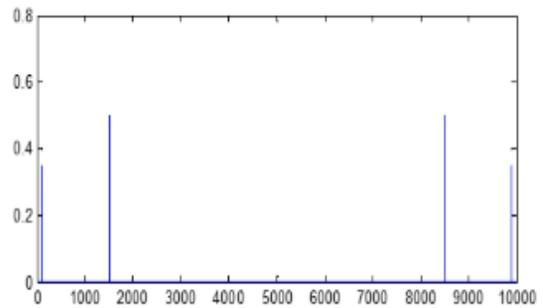
모터 내부에 가속도 센서를 설치 후 프로펠러의 이상 시 예측 부분에 관한 결과는 (그림 16)의 프로펠러의 손상 여부에 따른 주파수 영역의 변화를 비교하는 것으로 고장 진단 실험을 진행하였고, 정상적인 프로펠러와 팁 부분이 손상된 프로펠러를 장착하여 각 PWM 신호 입력 구간별 가속도 데이터를 빅데이터 분석하여 예측하는 부분을 FFT를 통해 주파수 영역으로 분석하여 구동 모듈의 이상 상태를 확인할 수 있다 [10]. 이는 Matlab의 FFT(X) 함수를 사용하여 이상 주파수를 찾는 것을 FFT를 적용할 수 있다.

하지만 FFT() 명령어를 수행해보면 한 결과를 살펴보면 파형을 허수부와 실수부로 나누어 처리되며, 주파수 해석의 목적은 주파수별로 크기가 어느 정도인지 알아내는 것이기 때문에 Matlab의 절댓값 함수 ABS()를 이용해서 크기를 표현할 수 있다.



(그림 16) 고장진단 실험에 사용된 프로펠러
(Figure 16) Propeller used for troubleshooting test

이 결과 2개의 켈레 복소수 크기를 확인할 수 있다.



(그림 17) 켈레 복소수를 갖는 FFT
(Figure 17) FFT with condensation complex

(그림 17)과 같이 2개의 크기를 하나의 크기로 합하여 표현하기 위해 아래와 같은 작업을 수행한다.

$$P1 = P2(1 : (L/2) + 1)$$

(P1:단방향 스펙트럼)

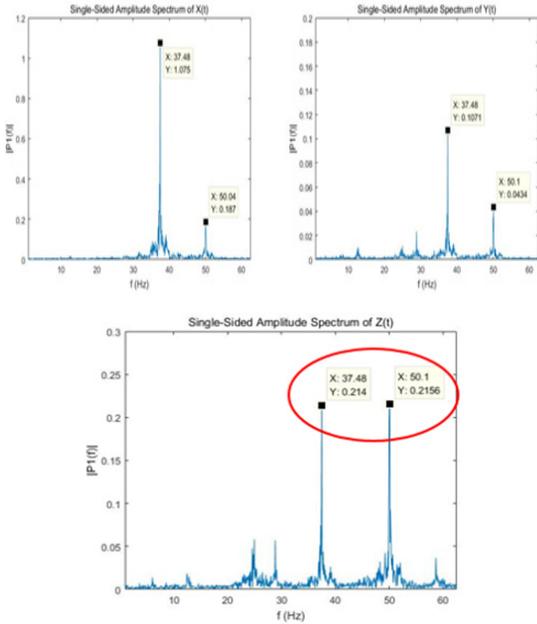
$$P1(2 : End - 1) = 2P1(2 : End - 1)$$

$$F = fs * (0 : (L/2)) / L$$

(fs:sampling frequency, L:Length of signal)

위와 같은 작업을 통해 아래 (그림 18. a, b)와 같은 결과를 얻을 수 있다.

2.5.1. 정상 프로펠러 FFT



(그림 18. a) 가속도 Z, Y, Z 데이터 FFT를 이용한 고장진단
(Figure 18. a) Fault diagnosis using acceleration X, Y, Z data FFT

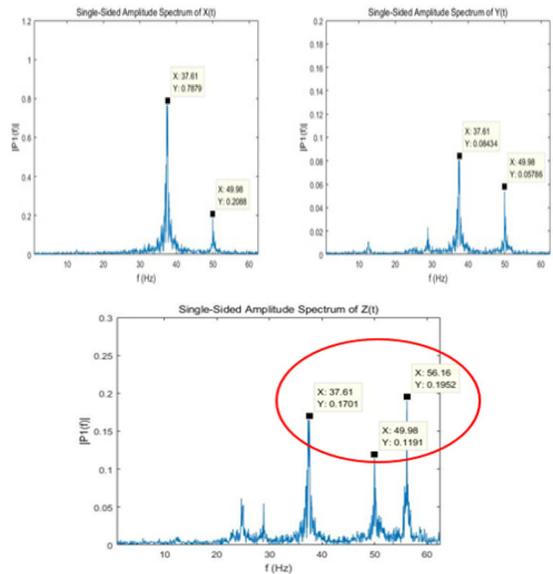
상기의 (그림 18. a)는 정상적인 프로펠러를 구동하여 나온 Z 가속도 센서 데이터이다.

2.5.2 비정상 프로펠러 FFT

PWM 신호 입력 1.5ms에서의 FFT 분석결과를 보면 37, 50Hz 부근에서 공통으로 두드러진 주파수 영역을 확인할 수 있다. 그러나 (그림 16)의 프로펠러 틸이 손상되었을 경우 Z축 가속도 값의 FFT 분석결과 (그림 18. b)에서 56Hz의 주파수 영역이 추가된 것을 확인할 수 있다. 위와 같이 정상적인 상태의 구동 모듈을 구동하였을 때 발생하는 주파수 영역을 제외한 모터, 프로펠러 등의 손상 때문에 추가로 발생하는 주파수 영역을 검출하는 것으로 구동 모듈의 고장진단을 판단할 수 있다.

본 자료에 대한 데이터를 추출 후 푸리에 전개나 푸리에 변환으로 이용하여 데이터에 대한 주파수 성분을 분석할 수 있다. 이때 이상 주파수 발생에 대한 검출을 통해 이상 신호를 예측할 수 있다. Discrete time domain에서 주파수 특성을 해석하기 위하여 고속 푸리에 변환(Fast Fourier

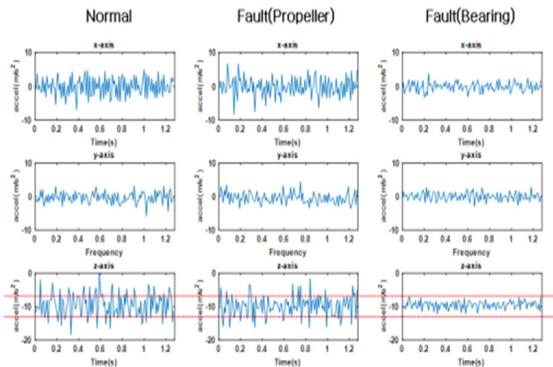
Transform,FFT)를 이용하여 분석하며, 데이터를 분석하기 위하여 Matlab을 이용한 FFT는 고속 푸리에 변환 알고리즘을 이용해 이산 푸리에 변환(DFT)을 연산하여 (그림 18. a, b)와 같이 다른 채널에서 더 크게 나오는 것과 추가로 나오는 것을 찾아 이상 원인을 예측하도록 한다. (그림 18. a)와 (그림 18. b)를 비교 시 정상적인 프로펠러를 사용 구동을 했을 때 (그림 18. a)의 X, Y의 가속도 데이터는 비정상 데이터(그림 18. b)와 비교 시 같은 데이터가 나왔지만, Z축 가속도 데이터에서는 이상 신호가 나온 것을 검출하였다.



(그림 18. b) 가속도 X, Y, Z 데이터 FFT를 이용한 고장진단
(Figure 18. b) Fault diagnosis using acceleration X, Y, Z data FFT

2.6 Time domain(시간 영역) 이용한 측정 진동 측정

기계적 스트레스로 인한 모터의 베어링 마모조건으로 실험의 경우 Time domain 가속도의 원자료(Raw Data)와 FFT 분석을 동시에 진행함. 실험결과, 베어링 고장 시 Z축의 가속도 원자료(raw data)의 표준편차가 정상상태의 50% 이하로 유의미하게 감소하여 FFT 분석결과보다 고장진단의 기준으로 적합하다고 판단되었다.



(그림 19) 정상상태, 프로펠러 손상, 베어링 손상에 대한 3축 가속

(Figure 19) 3-axis acceleration for steady state, damaged propeller and bearing

가속도 센서를 통한 고장진단은 실제 비행 시 고장의 유무를 판단하는 데 있어 기체의 진동으로 인한 불확실성을 가지고 있으나 프로펠러와 구동기의 고장을 분리할 수 있는 장점이 있다. Time domain 신호를 이용해서 고장진단의 경우 실제 비행 때에도 고장이 발생한 구동 모듈의 위치와 추력이 손실된 정도를 추정할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 또한, 추력 손실의 원인이 구동부의 고장인지, 프로펠러의 손상인지 등을 구분할 수가 없다는 한계가 있다.

3. 결론 및 향후 과제

본 연구는 드론의 모터 모듈에서 발생하는 다량의 빅데이터를 이용하여 이상 위험을 예측할 수 있도록 드론 이상 예측시스템을 구성했다. 이러한 빅데이터를 통해 실제 이상 예측시스템의 필요성을 확인했다. 또한, 모터 쪽에서 얻을 수 있는 진동 신호와 추력, 회전수, 시정수를 파악하여 고장의 진단 할 방법을 제안하였다. 그러나 향후 더 향상된 드론 위험예측을 위해서는 공기역학, GPS 데이터, IMU(Inertial Measurement Unit) 등 외부 요인도 반영되어야 한다. 따라서 본 논문은 내부에 대한 특정 모터 모듈 신호만을 추출하여 연구했지만 차후 더 많은 내부와 외부 데이터를 가지고 연구해 더욱 신뢰성이 높은 드론 비행의 안정성을 가질 수 있도록 하는 부분이 과제로 남는다.

참고문헌(References)

- [1] Kim Sun Uk, Kim Hack Seong, Kim Jae Moon, Kim Deok Kun, Won Chung Yeun, "A Study on Speed Control of a Brushless DC Motor using Fuzzy Controlle", The Institute of Electronics and Information Engineers, 1111-1114(4 pages), 1996.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NOD E06325235>
- [2] Jaehyun Jin, "Integrated Flight Simulation Program for Multicopter Drones by Using Acausal and Object-Oriented Language Modelica", Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences 45(5), 2017.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NOD E07177232>
- [3] Sun-Geun Hwang, Hyun-Joon Park, Woo-Sung Kim, Gil-Dong Kim, Kwang-Bok Shin, Yun-Sup Byun, Tae-Hyung Jang, Dong-Wook Jang, Han-Sup Han, Young-Jae Baek, Gwang-Seon Han, Sung-Ho Kim, Jin-Whan Han, Young-Jae Lee, Soo-Kil Kim, Dae-Hyung Moon, "Development of Core Technology for performance Enhancement of Railway System: The field of Electricity", Korea Railroad Research Institute 204, 2002.
<http://www.riss.kr/link?id=G3633119>
- [4] Hyung-Su Kim, Young-Hwan Han. "Implementation of Fail-Safe During Drone's Flight", The Journal of Korean Institute of Information Technology 15(2), 2017.2, 33-40(8 pages), 2017.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NO DE07111268>
- [5] Hyoungrae Kim, Do-hong Jeon, Sunghyun Jee, "Bigdata Analysis Project Development Methodology" Journal of the Korea Society of Computer and Information 19(3), 2014.3, 73-85(13 pages)
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NO DE06529169>
- [6] Byung Ho Jung, Dong Hoon Lim, "Comparison analysis of big data integration models", Journal of the Korean Data And Information Science Society 28(4), 2017, 755-768(14 pages)",

- <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NOD E07404557>
- [7] Hoon Jung, Moonsung Park, "A Study of Big data-based Machine Learning Techniques for Wheel and Bearing Fault Diagnosis" Korea Academy Industrial Cooperation Society 19(1), 2018.1, 75-84(10 pages)
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NO DE07336618>
- [8] Jae-Yung Lee, Sung-Jun Yoon, Jae-Gon Kim and Jong-Ki Han, "Weighted DCT-IF for Image up Scaling," KSII Transactions on Internet and Information Systems, vol. 13, no. 2, pp. 790-809, 2019.
DOI: 10.3837/tiis.2019.02.017
- [9] Kamran Siddique, Zahid Akhtar, Muhammad Ashfaq Khan, Yong-Hwan Jung and Yangwoo Kim, "Developing an Intrusion Detection Framework for High-Speed Big Data Networks: A Comprehensive Approach," KSII Transactions on Internet and Information Systems, vol. 12, no. 8, pp. 4021-4037, 2018.
<https://doi.org/10.3837/tiis.2018.08.026>
- [10] Y. Hong, E. Na, Y. Jung and Y. Kim, "Outlier Detection Based on MapReduce for Analyzing Big Data," Journal of Internet Computing and Services, vol. 18, no. 1, pp. 27-36, 2017.
DOI: 10.7472/jksii.2017.18.1.27.
- [11] M. A. Qureshi, E. Mostajeran, R. M. Noor, A. Shamim and C. Ke, "A Computationally Inexpensive Radio Propagation Model for Vehicular Communication on Flyovers and Inside Underpasses," KSII Transactions on Internet and Information Systems, vol. 10, no. 9, pp. 4123-4144, 2016.
<https://doi.org/10.3837/tiis.2016.09.006>
- [12] Y. HE, H. TAN, W. LUO, S. FENG, and J. FAN, "MR-DBSCAN: a scalable MapReduce -based DBSCAN algorithm for heavily skewed data," Front. Comput. Sci., vol. 8, no. 1, pp. 83-99, 2014.
<https://doi.org/10.1007/s11704-013-3158-3>.
- [13] S. Rio, V. Lopez, J. M. Benitez, and F. Herrera, "On the use of MapReduce for imbalanced big data using Random Forest," Journal of Information Sciences, vol.285, pp. 112-137, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.03.043>.
- [14] Crawley S. Rio, V. Lopez, J. M. Benitez, and F. Herrera, "On the use of MapReduce for imbalanced big data using Random Forest," Journal of Information Sciences, vol.285, pp. 112-137, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.03.043>.
- [15] J. R. Phillips and J. K. White, "A precorrected-FFT method for electrostatic analysis of complicated 3-D structures," IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, vol. 16, no. 10, pp. 1059 - 1072, 1997.
<https://doi.org/10.1109/43.662670>
- [16] E. Bleszynski, M. Bleszynski, and T. Jaroszewicz, "AIM:adaptive integral method for solving large-scale electromagnetic scattering and radiation problems," Radio Science, vol. 31, no. 5, pp. 1225 - 1251, 1996.
<https://doi.org/10.1029/96RS02504>
- [17] P. N. Patel, M. A. Patel, R. M. Faldu, and Y. R. Dave, "Quadcopter for agricultural surveillance", Advance in Electronic and Electric Engineering, Vol. 3, No. 4, pp. 427-432, 2013.
<http://www.ripublication.com/aeece.htm>

● 저 자 소 개 ●



이 양 규(Yang-Kyoo Lee)

2015년 방송통신대학교 컴퓨터학과(공학사)
2017년 방송통신대학교 대학원 정보학과(공학석사)
2018년 3월~현재 한신대학교 정보통신학과 박사과정
2019년 4월~현재 ㈜에어로비전 대표
관심분야 : 빅데이터, 머신러닝, 드론, 인공지능
E-mail : 69leeyk@gmail.com



홍 준 기(Jun-Ki Hong)

2010년 Carleton University 컴퓨터 시스템 공학과 (학사)
2017년 연세대학교 전기전자공학과 (박사)
2017년 한국정보통신기술협회(TTA) 선임연구원
2017년~2020년 2월 영산대학교 전기전자공학과 조교수
2020년~현재 배재대학교 컴퓨터공학과 조교수
관심분야: IoT, 빅데이터, 인공지능, 항공체, 통신 등
E-mail : jkhong@pcu.ac.kr



홍 성 찬(Sung-Chan Hong)

1983년 2월 고려대학교 통계학과(공학사)
1990년 3월 KEIO Univ 대학원 관리공학(공학석사)
1994년 3월 KEIO Univ 대학원 관리공학(공학박사)
2011년 1월~2012년 12월 한국 인터넷정보학 회장
1997년~현재 한신대학 정보통신학과 교수
관심분야 : 빅데이터, 인공지능, 통계학, 정보시스템
E-mail : schong@hs.ac.kr