

## 출원번호통지서

출원일자 2025.10.30  
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(KP250070)  
출원번호 10-2025-0160057 (접수번호 1-1-2025-1210709-67)  
(DAS접근코드B717)  
출원인명칭 포항공과대학교 산학협력단(2-2004-043336-1) 외 1명  
대리인성명 남슬앞(9-2022-000168-1)  
발명자성명 황다윤 황병일 김동주 서영주 유수호 조범동 정유진 심용헌  
발명의명칭 드론의 비행 단계별 다변량 센서 데이터를 활용한 이상 탐지 장치 및 방법

## 지식재산처장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지([www.patent.go.kr](http://www.patent.go.kr))에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 지식재산처 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.  
※ 심사제도 안내 : <https://www.moip.go.kr>-지식재산제도

**【서지사항】**

<b>【서류명】</b>	특허출원서
<b>【참조번호】</b>	KP250070
<b>【출원구분】</b>	특허출원
<b>【출원인】</b>	
<b>【명칭】</b>	포항공과대학교 산학협력단
<b>【특허고객번호】</b>	2-2004-043336-1
<b>【출원인】</b>	
<b>【명칭】</b>	주식회사 브이스페이스
<b>【특허고객번호】</b>	1-2018-035933-7
<b>【대리인】</b>	
<b>【성명】</b>	남솔잎
<b>【대리인번호】</b>	9-2022-000168-1
<b>【대리인】</b>	
<b>【성명】</b>	최성규
<b>【대리인번호】</b>	9-2020-000243-4
<b>【대리인】</b>	
<b>【성명】</b>	정요한
<b>【대리인번호】</b>	9-2022-000087-1
<b>【발명의 국문명칭】</b>	드론의 비행 단계별 다변량 센서 데이터를 활용한 이상 탐 지 장치 및 방법
<b>【발명의 영문명칭】</b>	DEVICE AND METHOD FOR DETECTING ANOMALIES USING MULTIVARIATE SENSOR DATA BY FLIGHT PHASE OF A DRONE

**【발명자】**

**【성명】** 황다운

**【성명의 영문표기】** HWANG, Da Yoon

**【국적】** KR

**【주민등록번호】** 000000-0XXXXXX

**【우편번호】** 37673

**【주소】** 경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)

**【거주국】** KR

**【발명자】**

**【성명】** 황병일

**【성명의 영문표기】** HWANG, Bueng Il

**【국적】** KR

**【주민등록번호】** 000000-0XXXXXX

**【우편번호】** 37673

**【주소】** 경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)

**【거주국】** KR

**【발명자】**

**【성명】** 김동주

**【성명의 영문표기】** KIM, Dong Ju

**【국적】** KR

**【주민등록번호】** 000000-0XXXXXX

**【우편번호】** 37673

【주소】 경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)

【거주국】 KR

【발명자】

【성명】 서영주

【성명의 영문표기】 SUH, Young Joo

【국적】 KR

【주민등록번호】 000000-0XXXXXX

【우편번호】 37673

【주소】 경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)

【거주국】 KR

【발명자】

【성명】 유수호

【성명의 영문표기】 YU, Su Ho

【국적】 KR

【주민등록번호】 000000-0XXXXXX

【우편번호】 39171

【주소】 경상북도 구미시 산동읍 첨단기업1로 17, 303호(구미전자정보기술원)

【거주국】 KR

【발명자】

【성명】 조범동

【성명의 영문표기】 CH0, Bum Dong

【국적】 KR

【주민등록번호】 000000-0XXXXXX

【우편번호】 39171

【주소】 경상북도 구미시 산동읍 첨단기업1로 17, 303호(구미전자정보기술원)

【거주국】 KR

【발명자】

【성명】 정유진

【성명의 영문표기】 JUNG, Yu Jin

【국적】 KR

【주민등록번호】 000000-0XXXXXX

【우편번호】 39171

【주소】 경상북도 구미시 산동읍 첨단기업1로 17, 303호(구미전자정보기술원)

【거주국】 KR

【발명자】

【성명】 심용헌

【성명의 영문표기】 SIM, Yong Heon

【국적】 KR

【주민등록번호】 000000-0XXXXXX

【우편번호】 39171

【주소】 경상북도 구미시 산동읍 첨단기업1로 17, 303호(구미전자정보기술원)

【거주국】 KR

【출원언어】 국어

【심사청구】 청구

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 2340036711

【과제번호】 NR070870

【부처명】 교육부

【과제관리(전문)기관명】 한국연구재단

【연구사업명】 이공학학술연구기반구축

【연구과제명】 인공지능연구원

【과제수행기관명】 포항공과대학교

【연구기간】 2025.03.01 ~ 2026.02.28

【취지】 위와 같이 지식재산처장에게 제출합니다.

대리인 남솔잎 (서명 또는 인)

대리인 최성규 (서명 또는 인)

대리인 정요한 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원

【가산출원료】 51 면 0 원

【우선권주장료】	0	건	0	원
【심사청구료】	10	항	676,000	원
【합계】			722,000원	
【감면사유】	소기업(70%감면)[1], 전담조직(50%감면)[1]			
【감면후 수수료】	288,800		원	
【첨부서류】	1.기타첨부서류_1통			

1 : 기타첨부서류

[PDF 파일 첨부](#)

## 【발명의 설명】

### 【발명의 명칭】

드론의 비행 단계별 다변량 센서 데이터를 활용한 이상 탐지 장치 및 방법  
 {DEVICE AND METHOD FOR DETECTING ANOMALIES USING MULTIVARIATE SENSOR DATA BY  
 FLIGHT PHASE OF A DRONE}

### 【기술분야】

【0001】 본 발명의 실시예들은 드론의 비행 단계별 센서 데이터 패턴 분석을 통한 이상 탐지 기술에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 이륙, 순항, 선회, 착륙의 각 비행 단계마다 최적화된 LSTM 오토인코더 모델을 적용하여 실시간으로 이상 상태를 탐지하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

【0002】 본 발명은 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(RS-2022-NR070870) 내 연구의 일환이다.

【0003】 또한, 본 발명은 2025년도 경상북도 기업지원과의 재원으로 (재)포항테크노파크에서 시행중인 기업지원 사업(2025년 중소벤처기업 AI 융합 Scale-up 지원사업, 경상북도 기업 지원과-2602(2025.3.21.), 40031156)의 지원을 받아 수행된 연구의 일환이다.

### 【발명의 배경이 되는 기술】

【0004】 최근 드론 기술은 물류 운송, 항공 촬영, 정찰 및 감시, 재난 대응, 농업 방제 등 다양한 분야로 급속히 확산되고 있으며, 이에 따라 드론의 운용 시간



과 비행 횟수가 증가함에 따라 안전 운용의 중요성이 크게 대두되고 있다. 드론은 전기 모터, 배터리, 비행제어 컴퓨터, 관성센서, 위성항법장치, 무선통신 모듈 등 복수의 전자·기계 부품으로 구성되며, 이들 중 어느 하나라도 이상이 발생하면 곧바로 추락·충돌 등 사고로 이어질 수 있다.

【0005】 종래 드론의 이상 탐지 기술은 주로 단일 센서 값에 대한 고정 임계치 기반 방식에 의존하였다. 예컨대, 배터리 전압이 일정 전압 이하로 하락하면 배터리 이상으로 간주하거나, 고도 센서 값이 일정 시간 동안 변하지 않으면 고도 유지 이상으로 판정하는 방식이 일반적으로 사용되어 왔다. 또한 일부 연구에서는 특정 센서의 시계열 데이터를 활용하여 간단한 통계적 모델이나 머신러닝 분류기를 적용하기도 하였다.

【0006】 그러나 드론의 비행은 이륙, 순항, 선회, 착륙 등 단계별로 구분되며, 동일한 센서 값이라도 단계별 정상 범위와 패턴이 크게 달라진다. 예컨대, 이륙 단계에서는 모터 출력 및 전류 값이 급격히 상승하고 가속도가 크게 증가하는 것이 정상이나, 순항 단계에서 동일한 현상은 추력 불균형이나 센서 이상을 의미할 수 있다. 반대로, 순항 중 고도가  $\pm 2m$  이내에서 안정적으로 유지되는 것은 정상적 현상이지만, 착륙 단계에서는 고도가 지속적으로 감소해야 하므로 동일 현상이 비정상적일 수 있다.

【0007】 이와 같이 비행 단계의 특성을 고려하지 않는 단일 임계치 기반 탐지 방식은 정상적인 상태를 이상으로 오인하는 오탐 문제와 실제 이상을 정상으로 간주하여 탐지하지 못하는 미탐 문제가 빈번히 발생한다. 특히 실제 비행 로그 데

이터에서 이상 상황은 드물고 수집이 어렵기 때문에, 지도학습 기반 이상 탐지 모델을 적용하는 데도 한계가 존재한다.

【0008】 따라서, 드론의 비행 단계별 맥락을 반영하여 다변량 센서 데이터의 상호작용을 종합적으로 고려하고, 정상 데이터만으로 학습 가능한 비지도 학습 기반의 정밀한 이상 탐지 기법의 개발이 요구되고 있다.

### 【발명의 내용】

#### 【해결하고자 하는 과제】

【0009】 본 발명의 실시예들은, 상기한 문제점을 해결하기 위한 비행 단계별 다변량 센서 데이터 기반 이상 탐지 시스템을 제공한다.

【0010】 실시예들에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 사항들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 이하 설명할 다양한 실시예들로부터 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 고려될 수 있다.

#### 【과제의 해결 수단】

【0011】 본 발명의 일 실시예에 따른 방법은, 전자장치에 의해, 드론으로부터 다변량 센서 데이터를 실시간으로 수집하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 상기 다변량 센서 데이터를 기초로 현재 비행 단계를 이륙, 순항, 선회, 착륙 중 하나로 판별하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 판별된 비행 단계에 대응하는 LSTM 오토인코더 모델을 선택하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 선택된 LSTM 오토인코더 모델

에 상기 다변량 센서 데이터를 입력하여 복원 데이터를 생성하는 단계; 상기 전자 장치에 의해, 상기 다변량 센서 데이터와 상기 복원 데이터 간의 복원 오차를 산출하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 상기 복원 오차와 상기 비행 단계에 대응하는 임계값을 비교하는 단계; 및 상기 전자장치에 의해, 상기 복원 오차가 상기 임계값을 초과하는 경우 이상 상태로 판정하고 경고 신호를 생성하는 단계;를 포함할 수 있다.

【0012】 상기 다변량 센서 데이터는 고도, 수직 속도, 수평 속도, 모터 PWM 값, 자세각, 각속도, 전압, 전류 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

【0013】 상기 비행 단계를 판별하는 단계는, 상기 고도의 변화율과 상기 수직 속도를 기초로 상기 비행 단계를 판별할 수 있다.

【0014】 상기 비행 단계를 판별하는 단계는, 상기 고도가 지속적으로 증가하고 상기 수직 속도가 양수이며 상기 모터 PWM 값이 기설정된 제1 임계치 이상인 경우 이륙 단계로 판별할 수 있다.

【0015】 상기 비행 단계를 판별하는 단계는, 상기 고도가 기설정된 범위 내에서 유지되고 상기 자세각의 변동이 기설정된 제2 임계치 이내인 경우 순항 단계로 판별할 수 있다.

【0016】 상기 비행 단계를 판별하는 단계는, Yaw 각속도 또는 Roll 각속도가 기설정된 제3 임계치 이상이고 상기 모터 PWM 값의 분포가 불균형한 경우 선회 단계로 판별할 수 있다.

【0017】상기 비행 단계를 판별하는 단계는, 상기 고도가 지속적으로 감소하고 상기 수직 속도가 음수이며 상기 모터 PWM 값이 점진적으로 감소하는 경우 착륙 단계로 판별할 수 있다.

【0018】상기 임계값은 이륙 단계에서 가장 높고, 순항 단계에서 가장 낮으며, 선회 단계와 착륙 단계에서 중간 수준일 수 있다.

【0019】상기 경고 신호를 생성하는 단계는, 상기 복원 오차에 기여도가 높은 센서 파라미터를 식별하여 이상 원인을 분류하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

【0020】상기 경고 신호를 생성하는 단계는, 특정 모터의 PWM 값에 대한 복원 오차가 큰 경우 추력 불균형으로 분류하고, 전류 대비 PWM 비율에 대한 복원 오차가 큰 경우 배터리 열화로 분류할 수 있다.

【0021】본 발명의 다른 실시예에 따른 드론 이상 탐지 시스템은, 드론으로부터 다변량 센서 데이터를 실시간으로 수집하는 데이터 수집부; 상기 다변량 센서 데이터를 기초로 현재 비행 단계를 이륙, 순항, 선회, 착륙 중 하나로 판별하는 비행 단계 판별부; 각 비행 단계에 대응하여 개별적으로 학습된 복수의 LSTM 오토인코더 모델을 저장하는 모델 저장부; 판별된 비행 단계에 대응하는 LSTM 오토인코더 모델을 선택하고, 선택된 모델에 상기 다변량 센서 데이터를 입력하여 복원 데이터를 생성하며, 상기 다변량 센서 데이터와 상기 복원 데이터 간의 복원 오차를 산출하는 이상 탐지부; 각 비행 단계에 대응하는 임계값을 저장하는 임계값 저장부; 상기 복원 오차와 상기 임계값을 비교하여 이상 여부를 판정하는 판정부; 및 이상 상

태로 판정된 경우 경고 신호를 생성하는 경고 생성부;를 포함할 수 있다.

【0022】 상기 비행 단계 판별부는, 고도, 수직 속도, 수평 속도, 모터 PWM 값, 자세각, 각속도 중 적어도 하나를 기초로 규칙 기반 알고리즘을 이용하여 비행 단계를 판별할 수 있다.

【0023】 상기 이상 탐지부는, 상기 복원 오차에 기여도가 높은 센서 파라미터를 식별하여 이상 원인을 추력 불균형, 배터리 열화, 센서 비정합 중 적어도 하나로 분류할 수 있다.

【0024】 상기 LSTM 오토인코더 모델은, 정상 비행 데이터만을 이용하여 학습된 비지도 학습 모델일 수 있다.

【0025】 상기 임계값은, 각 비행 단계의 정상 데이터에 대한 복원 오차 분포를 기초로 백분위수 또는 평균과 표준편차를 이용하여 설정될 수 있다.

### 【발명의 효과】

【0026】 본 발명의 실시예들에 따르면, 드론의 비행 단계별로 최적화된 LSTM 오토인코더 모델을 적용함으로써 단일 고정 임계값 기반 방식의 오탐 및 미탐 문제를 효과적으로 해결할 수 있다. 각 비행 단계의 정상 패턴이 명확히 학습되어 있으므로, 이륙 단계에서의 정상적인 높은 PWM 값이 오탐으로 판정되지 않으며, 순항 단계에서의 미세한 이상도 민감하게 탐지할 수 있다. 또한 정상 데이터만으로 학습하는 비지도 학습 방식을 채택함으로써 실제 환경에서 수집이 어려운 이상 데이터 없이도 효과적인 모델 구축이 가능하다. 복원 오차 기반의 이상 탐지 방식은 새로

운 유형의 이상도 탐지할 수 있는 범용성을 제공하며, 센서 파라미터별 복원 오차 분석을 통해 이상의 원인까지 식별할 수 있어 신속하고 적절한 대응 조치가 가능하다. 이러한 기술적 효과는 드론의 비행 안전성을 근본적으로 향상시켜 다양한 상업적 및 공공 분야에서의 드론 활용을 더욱 활성화할 것이다.

### 【도면의 간단한 설명】

【0027】 실시예들에 대한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함된, 첨부 도면은 다양한 실시예들을 제공하고, 상세한 설명과 함께 다양한 실시예들의 기술적 특징을 설명한다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 드론 이상 탐지 전자장치(100)의 전체 구성을 도시한 블록도이다.

도 2는 도 1의 LSTM 오토인코더 모델의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 드론 이상 탐지 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 5는 도 4의 비행 단계 판별 단계(S430)를 설명하기 위한 흐름도이다.

도 5는 비행 단계별 센서 데이터 패턴을 설명하기 위한 그래프이다.

### 【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0028】 이하의 실시예들은 실시예들의 구성요소들과 특징들을 소정 형태로 결합한 것들이다. 각 구성요소 또는 특징은 별도의 명시적 언급이 없는 한 선택적인 것으로 고려될 수 있다. 각 구성요소 또는 특징은 다른 구성요소나 특징과 결합

되지 않은 형태로 실시될 수 있다. 또한, 일부 구성요소들 및 특징들을 결합하여 다양한 실시예들을 구성할 수도 있다. 다양한 실시예들에서 설명되는 동작들의 순서는 변경될 수 있다. 어느 실시예의 일부 구성이나 특징은 다른 실시예에 포함될 수 있고, 또는 다른 실시예의 대응하는 구성 또는 특징과 교체될 수 있다.

【0029】도면에 대한 설명에서, 다양한 실시예들의 요지를 흐릴 수 있는 절차 또는 단계 등은 기술하지 않았으며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자의 수준에서 이해할 수 있을 정도의 절차 또는 단계는 또한 기술하지 아니하였다.

【0030】명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함(comprising 또는 including)"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

【0031】이하, 다양한 실시예들에 따른 실시 형태를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 첨부된 도면과 함께 이하에 개시될 상세한 설명은 다양한 실시예들의 예시적인 실시형태를 설명하고자 하는 것이며, 유일한 실시형태를 나타내고자 하는 것이 아니다.

【0032】도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 드론 이상 탐지 전자장치(100)의 전체 구성을 도시한 블록도이다.

【0033】 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 드론 이상 탐지 전자장치(100)은 데이터 수집부(110), 전처리부(120), 비행 단계 판별부(130), 모델 저장부(140), 이상 탐지부(150), 임계값 저장부(160), 판정부(170), 경고 생성부(180), 로깅부(190)를 포함할 수 있다.

【0034】 전자장치(100)은 드론에 탑재되거나 지상 관제 시스템에 위치할 수 있으며, 드론의 비행 중 실시간으로 센서 데이터를 수집하고 분석하여 이상 상태를 조기에 탐지할 수 있다.

【0035】 데이터 수집부(110)는 드론으로부터 다변량 센서 데이터를 실시간으로 수집할 수 있다. 데이터 수집부(110)는 드론의 비행 제어 시스템과 연결되어 일정 주기로 센서 데이터를 수신할 수 있다.

【0036】 일 실시예에서, 데이터 수집부(110)는 100Hz의 샘플링 주기로 센서 데이터를 수집할 수 있다. 높은 샘플링 주기는 빠른 변화를 정확하게 포착할 수 있도록 할 수 있다.

【0037】 다른 실시예에서, 데이터 수집부(110)는 50Hz 또는 200Hz의 샘플링 주기로 센서 데이터를 수집할 수 있다. 샘플링 주기는 드론의 비행 속도, 처리 능력, 통신 대역폭 등을 고려하여 조정될 수 있다.

【0038】 데이터 수집부(110)가 수집하는 다변량 센서 데이터는 드론의 비행 상태를 나타내는 다양한 파라미터를 포함할 수 있다. 다변량 센서 데이터는 고도, 수직 속도, 수평 속도, 모터 PWM 값, 자세각, 각속도, 전압, 전류, 누적 전류,



GNSS 품질 지표 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

【0039】 고도는 드론의 지면 또는 해수면으로부터의 수직 거리를 의미할 수 있다. 고도는 기압 센서, GPS, 초음파 센서, 레이저 거리 센서 등을 통해 측정될 수 있다. 수직 속도는 드론의 상승 또는 하강 속도를 의미하며, 미터/초 단위로 표현될 수 있다. 수직 속도는 고도의 시간에 대한 미분값으로 계산되거나 IMU 센서의 가속도계 데이터로부터 추정될 수 있다.

【0040】 수평 속도는 드론의 전방 또는 측면 이동 속도를 의미할 수 있다. 수평 속도는 GPS 데이터 또는 광학 흐름 센서를 통해 측정될 수 있다. 일 실시예에서, 수평 속도는 전방 속도와 측면 속도로 구분되어 수집될 수 있다.

【0041】 모터 PWM 값은 각 모터에 인가되는 PWM 신호의 듀티 사이클을 의미할 수 있다. PWM은 Pulse Width Modulation의 약어로, 모터의 회전 속도를 제어하기 위한 신호이다. 멀티콥터 드론의 경우 복수의 모터를 가지므로, 각 모터에 대한 PWM 값이 개별적으로 수집될 수 있다.

【0042】 일 실시예에서, 쿼드콥터 드론의 경우 4개의 모터 PWM 값(C1, C2, C3, C4)이 수집될 수 있다.

【0043】 다른 실시예에서, 헥사콥터 드론의 경우 6개의 모터 PWM 값(C1, C2, C3, C4, C5, C6)이 수집될 수 있다.

【0044】 또 다른 실시예에서, 옥토크터 드론의 경우 8개의 모터 PWM 값(C1~C8)이 수집될 수 있다.

【0045】 자세각은 드론의 3차원 공간에서의 회전 각도를 의미하며, Roll, Pitch, Yaw로 구성될 수 있다. Roll은 드론의 좌우 기울기를 의미하고, Pitch는 전후 기울기를 의미하며, Yaw는 수평면에서의 회전 각도를 의미할 수 있다. 자세각은 IMU 센서의 자이로스코프와 가속도계 데이터를 융합하여 계산될 수 있다.

【0046】 각속도는 드론의 회전 속도를 의미하며, Roll 각속도( $p$ ), Pitch 각속도( $q$ ), Yaw 각속도( $r$ )로 구성될 수 있다. 각속도는 자이로스코프 센서를 통해 직접 측정될 수 있다. 각속도는 도/초 또는 라디안/초 단위로 표현될 수 있다.

【0047】 전압은 드론의 배터리 전압을 의미할 수 있다. 배터리 전압은 배터리의 충전 상태와 건강도를 나타내는 중요한 지표이다. 전류는 드론의 모터와 전자 장치에 공급되는 전류를 의미할 수 있다. 전류는 암페어 단위로 측정되며, 드론의 전력 소비량을 나타낼 수 있다.

【0048】 누적 전류는 비행 시작 이후 소비된 총 전류량을 의미하며, mAh 단위로 표현될 수 있다. 누적 전류는 배터리의 잔여 용량을 추정하는 데 사용될 수 있다.

【0049】 GNSS 품질 지표는 GPS 신호의 품질을 나타내는 파라미터로, 위성 수, HDOP(Horizontal Dilution of Precision), 신호 강도 등을 포함할 수 있다. GNSS 품질 지표는 위치 측정의 정확도를 평가하는 데 사용될 수 있다.

【0050】 일 실시예에서, 데이터 수집부(110)는 스로틀 제한값을 추가로 수집할 수 있다. 스로틀 제한값은 비행 제어 시스템에서 설정한 최대 모터 출력 한계를

의미할 수 있다.

【0051】 다른 실시예에서, 데이터 수집부(110)는 온도 센서 데이터를 추가로 수집할 수 있다. 온도 데이터는 모터, 배터리, 전자 속도 제어기의 온도를 포함할 수 있으며, 과열 상태를 감지하는 데 활용될 수 있다.

【0052】 또 다른 실시예에서, 데이터 수집부(110)는 진동 센서 데이터를 추가로 수집할 수 있다. 진동 데이터는 모터나 프로펠러의 불균형을 감지하는 데 활용될 수 있다.

【0053】 데이터 수집부(110)는 센서 데이터의 품질을 검증하고 이상 값을 필터링할 수 있다. 데이터 수집부(110)는 센서 값의 유효 범위를 확인하고, 범위를 벗어난 값은 이전 정상 값 또는 보간 값으로 대체할 수 있다.

【0054】 일 실시예에서, 데이터 수집부(110)는 고도 값이 음수이거나 10,000m를 초과하는 경우 이상 값으로 판단하고 이전 프레임의 고도 값을 사용할 수 있다.

【0055】 다른 실시예에서, 데이터 수집부(110)는 PWM 값이 0% 미만이거나 100%를 초과하는 경우 이상 값으로 판단하고 보간법을 적용하여 값을 추정할 수 있다.

【0056】 데이터 수집부(110)는 타임스탬프 정보를 함께 수집하여 센서 데이터의 시간 동기화를 수행할 수 있다. 타임스탬프는 각 센서 데이터가 측정된 시간을 나타내며, 밀리초 단위로 기록될 수 있다.

【0057】 전처리부(120)는 수집된 다변량 센서 데이터를 전처리하여 후속 분석에 적합한 형태로 변환할 수 있다. 전처리부(120)는 결측치 보간, 이상치 제거, 정규화, 시계열 윈도우 생성 등의 작업을 수행할 수 있다.

【0058】 전처리부(120)는 결측치 보간을 수행할 수 있다. 결측치는 센서 고장, 통신 지연, 데이터 손실 등으로 인해 발생할 수 있다. 전처리부(120)는 결측치를 보간하여 데이터의 연속성을 유지할 수 있다.

【0059】 일 실시예에서, 전처리부(120)는 선형 보간법을 이용하여 결측치를 보간할 수 있다. 선형 보간법은 결측치 이전과 이후의 정상 값을 이용하여 선형적으로 값을 추정할 수 있다.

【0060】 다른 실시예에서, 전처리부(120)는 이동 평균 기법을 이용하여 결측치를 보간할 수 있다. 이동 평균 기법은 결측치 주변의 여러 데이터 포인트의 평균 값을 사용할 수 있다.

【0061】 또 다른 실시예에서, 전처리부(120)는 결측치가 연속으로 발생하는 경우 마지막 정상 값을 유지하는 방식을 사용할 수 있다. 이 방식은 단기간의 센서 장애에 대응할 수 있다.

【0062】 전처리부(120)는 이상치 제거를 수행할 수 있다. 이상치는 센서 오류, 전자기 간섭, 급격한 외부 충격 등으로 인해 발생할 수 있다. 전처리부(120)는 통계적 방법을 이용하여 이상치를 식별하고 제거할 수 있다.

【0063】 일 실시예에서, 전처리부(120)는 Z-점수 방법을 이용하여 이상치를 제거할 수 있다. Z-점수는 데이터 포인트가 평균으로부터 얼마나 떨어져 있는지를 표준편차 단위로 나타낼 수 있다. 전처리부(120)는 Z-점수가 3을 초과하는 데이터 포인트를 이상치로 판단하고 제거할 수 있다.

【0064】 다른 실시예에서, 전처리부(120)는 IQR(Interquartile Range) 방법을 이용하여 이상치를 제거할 수 있다. IQR 방법은 데이터의 25번째 백분위수와 75번째 백분위수를 이용하여 이상치 범위를 설정할 수 있다.

【0065】 전처리부(120)는 정규화를 수행할 수 있다. 정규화는 서로 다른 스케일을 가진 센서 데이터를 동일한 범위로 변환하여 모델 학습의 효율성을 높일 수 있다. 전처리부(120)는 Z-점수 표준화, Min-Max 스케일링, 로그 변환 중 적어도 하나의 정규화 기법을 적용할 수 있다.

【0066】 일 실시예에서, 전처리부(120)는 Z-점수 표준화를 적용할 수 있다. Z-점수 표준화는 각 파라미터의 평균을 0, 표준편차를 1로 변환할 수 있다. Z-점수 표준화된 값  $z$ 는 다음의 <수학식 1>과 같이 계산될 수 있다.

【0067】 <수학식 1>

$$\text{【0068】 } z = (x - \mu) / \sigma$$

【0069】 <수학식 1>에서,  $z$ 는 표준화된 값을 의미하고,  $x$ 는 원본 센서 값을 의미하며,  $\mu$ 는 해당 센서 파라미터의 평균을 의미하고,  $\sigma$ 는 표준편차를 의미할 수 있다. Z-점수 표준화는 데이터가 정규 분포를 따르는 경우 효과적일 수 있다.

【0070】 다른 실시예에서, 전처리부(120)는 Min-Max 스케일링을 적용할 수 있다. Min-Max 스케일링은 데이터를 0과 1 사이의 범위로 변환할 수 있다. Min-Max 스케일링된 값  $x'$ 는 다음의 <수학식 2>와 같이 계산될 수 있다.

【0071】 <수학식 2>

$$\text{【0072】 } x' = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

【0073】 <수학식 2>에서,  $x'$ 는 스케일링된 값을 의미하고,  $x$ 는 원본 센서 값을 의미하며,  $x_{\min}$ 은 해당 센서 파라미터의 최소값을 의미하고,  $x_{\max}$ 는 최대값을 의미할 수 있다. Min-Max 스케일링은 데이터의 분포가 균등하지 않은 경우에도 적용할 수 있다.

【0074】 또 다른 실시예에서, 전처리부(120)는 로그 변환을 적용할 수 있다. 로그 변환은 데이터의 분포가 치우쳐 있거나 극단값이 있는 경우 분포를 정규화할 수 있다. 로그 변환은 전류, 누적 전류 등 지수적으로 증가하는 파라미터에 적용될 수 있다.

【0075】 전처리부(120)는 시계열 윈도우를 생성할 수 있다. 시계열 윈도우는 일정 길이의 연속된 센서 데이터를 하나의 입력 시퀀스로 묶은 것을 의미할 수 있다. LSTM 오토인코더 모델은 시계열 윈도우를 입력으로 받아 시간적 패턴을 학습할 수 있다.

【0076】 일 실시예에서, 전처리부(120)는 1.0초 길이의 시계열 윈도우를 생성할 수 있다. 샘플링 주기가 100Hz인 경우, 1.0초 윈도우는 100개의 데이터 포인

트를 포함할 수 있다.

【0077】 다른 실시예에서, 전처리부(120)는 2.0초 길이의 시계열 윈도우를 생성할 수 있다. 더 긴 윈도우는 장기적인 패턴을 포착할 수 있으나, 계산 복잡도가 증가할 수 있다.

【0078】 또 다른 실시예에서, 전처리부(120)는 0.5초 길이의 시계열 윈도우를 생성할 수 있다. 짧은 윈도우는 빠른 변화를 민감하게 감지할 수 있으나, 장기적인 패턴을 놓칠 수 있다.

【0079】 전처리부(120)는 슬라이딩 윈도우 방식을 이용하여 시계열 윈도우를 생성할 수 있다. 슬라이딩 윈도우는 일정 간격으로 윈도우를 이동시키면서 연속적인 윈도우를 생성할 수 있다.

【0080】 일 실시예에서, 전처리부(120)는 0.1초 간격으로 윈도우를 슬라이딩할 수 있다. 작은 슬라이드 간격은 높은 시간 해상도로 이상을 탐지할 수 있다.

【0081】 다른 실시예에서, 전처리부(120)는 0.2초 간격으로 윈도우를 슬라이딩할 수 있다. 큰 슬라이드 간격은 계산량을 줄일 수 있으나, 이상 탐지의 시간 지연이 발생할 수 있다.

【0082】 비행 단계 판별부(130)는 전처리된 다변량 센서 데이터를 기초로 현재 비행 단계를 이륙, 순항, 선회, 착륙 중 하나로 판별할 수 있다. 비행 단계 판별부(130)는 규칙 기반 알고리즘 또는 머신러닝 분류 모델을 이용하여 비행 단계를 판별할 수 있다.

【0083】 비행 단계 판별부(130)는 규칙 기반 알고리즘을 이용하여 비행 단계를 판별할 수 있다. 규칙 기반 알고리즘은 센서 데이터의 특정 조건을 검사하여 비행 단계를 결정할 수 있다. 규칙 기반 알고리즘은 계산이 간단하고 실시간 처리가 용이하다는 장점이 있다.

【0084】 비행 단계 판별부(130)는 이륙 단계를 판별할 수 있다. 이륙 단계는 드론이 지면에서 이륙하여 목표 고도까지 상승하는 단계를 의미할 수 있다. 비행 단계 판별부(130)는 고도가 지속적으로 증가하고, 수직 속도가 양수이며, 모터 PWM 값이 높은 경우 이륙 단계로 판별할 수 있다.

【0085】 일 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 고도가 최근 N개 프레임 동안 지속적으로 증가하고, 수직 속도가 3m/s 이상이며, 평균 모터 PWM 값이 70% 이상인 경우 이륙 단계로 판별할 수 있다. 여기서 N은 10일 수 있다.

【0086】 다른 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 고도 변화율이 양수이고, 수직 속도가 5m/s 이상이며, 모터 PWM 값이 급격히 상승하는 패턴을 보이는 경우 이륙 단계로 판별할 수 있다. 모터 PWM 값의 급격한 상승은 최근 5개 프레임에서 PWM 값이 20% 이상 증가하는 것으로 정의될 수 있다.

【0087】 이륙 단계에서는 드론이 중력을 극복하고 상승해야 하므로 모터 출력이 최대치에 가까운 수준으로 증가할 수 있다. 이륙 단계에서는 전류 소비가 급격히 증가하고, 자세각이 일시적으로 불안정할 수 있다. 이러한 특성은 이륙 단계의 정상 패턴에 포함될 수 있다.



【0088】비행 단계 판별부(130)는 순항 단계를 판별할 수 있다. 순항 단계는 드론이 목표 고도에서 안정적으로 비행하는 단계를 의미할 수 있다. 비행 단계 판별부(130)는 고도가 일정 범위 내에서 유지되고, 자세각의 변동이 작으며, 모터 PWM 값이 중간 수준인 경우 순항 단계로 판별할 수 있다.

【0089】일 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 고도가  $\pm 2m$  범위 내에서 유지되고, 수직 속도가  $\pm 0.5m/s$  이내이며, Roll과 Pitch 각도가  $\pm 5^\circ$  이내이고, 평균 모터 PWM 값이 40%에서 60% 사이인 경우 순항 단계로 판별할 수 있다.

【0090】다른 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 고도 변화율이 최소이고, 각속도가 모두 작은 값을 유지하며, 모터 PWM 값들의 분산이 작은 경우 순항 단계로 판별할 수 있다. 모터 PWM 값들의 분산이 작다는 것은 모든 모터가 유사한 출력을 내고 있음을 의미하며, 안정적인 비행을 나타낼 수 있다.

【0091】순항 단계에서는 외부 바람이나 기류의 영향을 받을 수 있으나, 비행 제어 시스템이 자세와 고도를 일정하게 유지하려고 시도할 수 있다. 따라서 순항 단계의 센서 데이터는 작은 변동 범위 내에서 안정적인 패턴을 보일 수 있다.

【0092】비행 단계 판별부(130)는 선회 단계를 판별할 수 있다. 선회 단계는 드론이 방향을 전환하거나 회전하는 단계를 의미할 수 있다. 비행 단계 판별부(130)는 Yaw 각속도 또는 Roll 각속도가 높고, 모터 PWM 값의 분포가 불균형한 경우 선회 단계로 판별할 수 있다.

【0093】 일 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 Yaw 각속도가  $20^{\circ}/s$  이상이거나 Roll 각속도가  $15^{\circ}/s$  이상이고, 모터 PWM 값들 간의 차이가 10% 이상인 경우 선회 단계로 판별할 수 있다. 모터 PWM 값들 간의 차이는 최대 PWM 값과 최소 PWM 값의 차이로 계산될 수 있다.

【0094】 다른 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 Yaw 각도가 지속적으로 변하고, 특정 모터의 PWM 값이 다른 모터에 비해 높거나 낮은 비대칭 패턴을 보이는 경우 선회 단계로 판별할 수 있다. 예를 들어, 시계 방향 회전 시에는 특정 방향의 모터 출력이 증가하고 반대 방향의 모터 출력이 감소하는 패턴을 보일 수 있다.

【0095】 선회 단계에서는 드론이 회전 토크를 생성하기 위해 모터 출력을 비대칭적으로 조절할 수 있다. 이로 인해 모터 PWM 값들의 분산이 커지고, 각속도가 급격히 변할 수 있다. 고도는 선회 중에도 안정적으로 유지될 수 있으나, 급격한 선회 시에는 일시적인 고도 변화가 발생할 수 있다.

【0096】 비행 단계 판별부(130)는 착륙 단계를 판별할 수 있다. 착륙 단계는 드론이 목표 고도에서 지면으로 하강하여 착륙하는 단계를 의미할 수 있다. 비행 단계 판별부(130)는 고도가 지속적으로 감소하고, 수직 속도가 음수이며, 모터 PWM 값이 점진적으로 감소하는 경우 착륙 단계로 판별할 수 있다.

【0097】 일 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 고도가 최근 N개 프레임 동안 지속적으로 감소하고, 수직 속도가  $-2m/s$ 에서  $-4m/s$  사이이며, 모터 PWM 값이

점진적으로 감소하는 경우 착륙 단계로 판별할 수 있다. 여기서 N은 20일 수 있다.

【0098】 다른 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 고도가 특정 임계값 이하로 떨어지고, 수직 속도가 음수이며, 지면과의 거리가 줄어드는 패턴을 보이는 경우 착륙 단계로 판별할 수 있다. 지면과의 거리는 초음파 센서 또는 레이저 거리 센서를 통해 측정될 수 있다.

【0099】 착륙 단계에서는 드론이 안전하게 착륙하기 위해 하강 속도를 제어할 수 있다. 너무 빠른 하강 속도는 충격으로 인한 손상을 유발할 수 있으므로, 착륙 단계에서는 일정한 하강 속도를 유지하려고 시도할 수 있다. 모터 PWM 값은 고도가 낮아질수록 점진적으로 감소하며, 지면 접촉 직전에는 최소 수준으로 낮아질 수 있다.

【0100】 일 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 상태 머신 방식을 이용하여 비행 단계를 판별할 수 있다. 상태 머신은 현재 상태와 센서 조건에 따라 다음 상태로 전이할 수 있다. 예를 들어, 이륙 단계에서 고도가 목표 고도에 도달하고 안정화되면 순항 단계로 전이할 수 있다.

【0101】 다른 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 머신러닝 분류 모델을 이용하여 비행 단계를 판별할 수 있다. 머신러닝 분류 모델은 센서 데이터를 입력으로 받아 비행 단계를 출력할 수 있다. 분류 모델은 Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine, Neural Network 중 적어도 하나로 구현될 수 있다.

【0102】 또 다른 실시예에서, 비행 단계 판별부(130)는 비행 제어 시스템으로부터 비행 모드 신호를 직접 수신하여 비행 단계를 판별할 수 있다. 많은 드론 비행 제어 시스템은 이륙, 순항, 착륙 등의 비행 모드를 제공하며, 이 정보를 활용하면 비행 단계 판별이 더욱 정확해질 수 있다.

【0103】 비행 단계 판별부(130)는 판별된 비행 단계 정보를 이상 탐지부(150)에 전달하여 적절한 LSTM 오토인코더 모델이 선택되도록 할 수 있다.

【0104】 모델 저장부(140)는 각 비행 단계에 대응하여 개별적으로 학습된 복수의 LSTM 오토인코더 모델을 저장할 수 있다. 모델 저장부(140)는 이륙 단계 모델, 순항 단계 모델, 선회 단계 모델, 착륙 단계 모델을 저장할 수 있다. 각 모델은 해당 비행 단계의 정상 데이터만을 이용하여 학습될 수 있다.

【0105】 LSTM 오토인코더는 입력 시퀀스를 압축된 잠재 표현으로 변환하는 인코더와, 잠재 표현을 다시 원본 시퀀스로 복원하는 디코더로 구성될 수 있다. LSTM은 Long Short-Term Memory의 약어로, 시계열 데이터의 장기 의존성을 학습할 수 있는 순환 신경망 구조이다.

【0107】 도 2는 도 1의 LSTM 오토인코더 모델의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

【0108】 도 2를 참조하면, LSTM 오토인코더 모델(200)은 인코더(210)와 디코더(220)로 구성될 수 있다. 인코더(210)는 입력 시퀀스(201)를 받아 압축된 잠재

벡터(215)를 생성할 수 있다. 디코더(220)는 잠재 벡터(215)를 받아 복원된 시퀀스(225)를 생성할 수 있다.

【0109】 인코더(210)는 복수의 LSTM 레이어를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 인코더(210)는 32개 유닛을 가진 제1 LSTM 레이어와 16개 유닛을 가진 제2 LSTM 레이어를 포함할 수 있다. 제1 LSTM 레이어는 입력 시퀀스의 시간적 패턴을 추출하고, 제2 LSTM 레이어는 추출된 패턴을 더욱 압축할 수 있다.

【0110】 인코더(210)는 선형 압축층을 포함할 수 있다. 선형 압축층은 제2 LSTM 레이어의 출력을 더 작은 차원의 잠재 벡터로 변환할 수 있다. 일 실시예에서, 잠재 벡터의 차원은 8일 수 있다. 잠재 벡터는 입력 시퀀스의 핵심 특징을 압축적으로 표현할 수 있다.

【0111】 디코더(220)는 인코더(210)와 대칭적인 구조를 가질 수 있다. 디코더(220)는 선형 확장층과 복수의 LSTM 레이어를 포함할 수 있다. 선형 확장층은 잠재 벡터를 더 큰 차원으로 확장할 수 있다. LSTM 레이어는 확장된 벡터로부터 시계열 패턴을 복원할 수 있다.

【0112】 일 실시예에서, 디코더(220)는 16개 유닛을 가진 제1 LSTM 레이어와 32개 유닛을 가진 제2 LSTM 레이어를 포함할 수 있다. 디코더(220)는 출력층을 포함하여 최종적으로 입력 시퀀스와 동일한 형태의 복원 시퀀스를 생성할 수 있다.

【0113】 LSTM 오토인코더 모델(200)의 학습은 정상 비행 데이터만을 이용하여 수행될 수 있다. 학습 과정에서 모델은 입력 시퀀스와 복원 시퀀스 간의 차이를

최소화하도록 파라미터를 업데이트할 수 있다. 손실 함수는 평균 제곱 오차(MSE) 또는 평균 절대 오차(MAE)를 사용할 수 있다.

【0114】 평균 제곱 오차는 다음의 <수학식 3>과 같이 계산될 수 있다.

【0115】 <수학식 3>

【0116】  $MSE = (1/n) \times \sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2$

【0117】 <수학식 3>에서, MSE는 평균 제곱 오차를 의미하고, n은 시퀀스의 길이를 의미하며,  $x_i$ 는 i번째 원본 데이터 포인트를 의미하고,  $x'_i$ 는 i번째 복원 데이터 포인트를 의미할 수 있다.

【0118】 일 실시예에서, LSTM 오토인코더 모델(200)은 Adam 옵티마이저를 이용하여 학습될 수 있다. Adam 옵티마이저는 적응적 학습률을 사용하여 빠르고 안정적인 학습을 제공할 수 있다.

【0119】 다른 실시예에서, LSTM 오토인코더 모델(200)은 100 에폭 동안 학습될 수 있다. 에폭은 전체 학습 데이터셋을 한 번 통과하는 것을 의미할 수 있다. 학습 과정에서 검증 데이터셋을 이용하여 과적합을 방지할 수 있다.

【0120】 각 비행 단계별 LSTM 오토인코더 모델은 해당 단계의 정상 데이터 특성을 학습할 수 있다. 예를 들어, 이륙 단계 모델은 고도의 급격한 증가, 높은 PWM 값, 큰 전류 소비 등의 패턴을 정상으로 학습할 수 있다. 순항 단계 모델은 안정적인 고도, 작은 자세각 변동, 균일한 모터 출력 등의 패턴을 정상으로 학습할 수 있다.

【0121】 학습된 모델은 정상 데이터에 대해서는 낮은 복원 오차를 보이고, 이상 데이터에 대해서는 높은 복원 오차를 보일 수 있다. 이는 모델이 학습하지 않은 패턴을 제대로 복원하지 못하기 때문이다.

【0122】 일 실시예에서, 모델 저장부(140)는 드론의 기체 특성에 따라 여러 버전의 모델을 저장할 수 있다. 예를 들어, 쿼드콥터용 모델과 헥사콥터용 모델을 별도로 저장할 수 있다.

【0123】 다른 실시예에서, 모델 저장부(140)는 환경 조건에 따라 여러 버전의 모델을 저장할 수 있다. 예를 들어, 바람이 강한 환경용 모델과 무풍 환경용 모델을 별도로 저장할 수 있다.

【0124】 이상 탐지부(150)는 비행 단계 판별부(130)로부터 현재 비행 단계 정보를 수신하고, 모델 저장부(140)로부터 해당 비행 단계에 대응하는 LSTM 오토인코더 모델을 선택할 수 있다. 이상 탐지부(150)는 선택된 모델에 전처리된 다변량 센서 데이터를 입력하여 복원 데이터를 생성하고, 복원 오차를 산출할 수 있다.

【0125】 이상 탐지부(150)는 시계열 윈도우 형태의 센서 데이터를 LSTM 오토인코더 모델에 입력할 수 있다. 모델은 입력 시퀀스를 인코더를 통해 잠재 벡터로 압축하고, 디코더를 통해 다시 복원 시퀀스로 변환할 수 있다.

【0126】 이상 탐지부(150)는 원본 센서 데이터와 복원 데이터 간의 복원 오차를 산출할 수 있다. 복원 오차는 각 센서 파라미터별로 계산될 수 있으며, 전체 복원 오차는 모든 파라미터의 오차를 합산하거나 평균하여 계산될 수 있다.

【0127】 일 실시예에서, 이상 탐지부(150)는 평균 제곱 오차를 복원 오차로 사용할 수 있다. 평균 제곱 오차는 시퀀스의 모든 데이터 포인트에 대한 제곱 오차의 평균을 의미할 수 있다.

【0128】 다른 실시예에서, 이상 탐지부(150)는 평균 절대 오차를 복원 오차로 사용할 수 있다. 평균 절대 오차는 다음의 <수학식 4>와 같이 계산될 수 있다.

【0129】 <수학식 4>

【0130】  $MAE = (1/n) * \sum_{i=1}^n |x_i - x'_i|$

【0131】 <수학식 4>에서, MAE는 평균 절대 오차를 의미하고, n은 시퀀스의 길이를 의미하며,  $x_i$ 는 i번째 원본 데이터 포인트를 의미하고,  $x'_i$ 는 i번째 복원 데이터 포인트를 의미할 수 있다.

【0132】 또 다른 실시예에서, 이상 탐지부(150)는 유클리드 거리를 복원 오차로 사용할 수 있다. 유클리드 거리는 원본 시퀀스와 복원 시퀀스를 다차원 벡터로 간주하여 두 벡터 간의 거리를 계산할 수 있다.

【0133】 이상 탐지부(150)는 센서 파라미터별 복원 오차를 개별적으로 산출할 수 있다. 센서 파라미터별 복원 오차는 특정 센서에서 이상이 발생했는지를 식별하는 데 활용될 수 있다.

【0134】 일 실시예에서, 이상 탐지부(150)는 각 모터의 PWM 값에 대한 복원 오차를 개별적으로 산출할 수 있다. 특정 모터의 PWM 복원 오차가 다른 모터에 비해 현저히 큰 경우, 해당 모터 또는 ESC에 이상이 있을 가능성이 높을 수 있다.



【0135】 다른 실시예에서, 이상 탐지부(150)는 전압과 전류에 대한 복원 오차를 개별적으로 산출할 수 있다. 전압 또는 전류의 복원 오차가 큰 경우, 배터리 또는 전력 시스템에 이상이 있을 가능성이 높을 수 있다.

【0136】 이상 탐지부(150)는 복원 오차를 정규화할 수 있다. 정규화는 서로 다른 스케일을 가진 센서 파라미터들의 오차를 동일한 기준으로 비교할 수 있게 할 수 있다.

【0137】 일 실시예에서, 이상 탐지부(150)는 각 센서 파라미터의 복원 오차를 해당 파라미터의 표준편차로 나누어 정규화할 수 있다. 이를 통해 원래 변동성이 큰 파라미터의 오차가 과도하게 평가되는 것을 방지할 수 있다.

【0138】 임계값 저장부(160)는 각 비행 단계에 대응하는 임계값을 저장할 수 있다. 임계값은 복원 오차가 정상 범위를 벗어났는지를 판단하는 기준값을 의미할 수 있다. 임계값은 각 비행 단계의 정상 데이터에 대한 복원 오차 분포를 분석하여 설정될 수 있다.

【0139】 임계값은 통계적 방법을 이용하여 설정될 수 있다. 일 실시예에서, 임계값은 정상 데이터의 복원 오차 평균에 표준편차의  $\lambda$  배를 더한 값으로 설정될 수 있다. 여기서  $\lambda$ 는 2.5에서 3.5 사이의 값일 수 있다.

【0140】 임계값  $\tau$ 는 다음의 <수학식 5>와 같이 계산될 수 있다.

【0141】 <수학식 5>

【0142】  $\tau = \mu_{\text{error}} + \lambda * \sigma_{\text{error}}$

【0143】 <수학식 5>에서,  $\tau$ 는 임계값을 의미하고,  $\mu_{\text{error}}$ 는 정상 데이터의 복원 오차 평균을 의미하며,  $\sigma_{\text{error}}$ 는 복원 오차의 표준편차를 의미하고,  $\lambda$ 는 조정 계수를 의미할 수 있다.  $\lambda$  값이 클수록 임계값이 높아져 미탐 가능성이 줄어들지만 오탐 가능성이 증가할 수 있다.

【0144】 다른 실시예에서, 임계값은 정상 데이터의 복원 오차 백분위수로 설정될 수 있다. 예를 들어, 95번째 백분위수, 99번째 백분위수를 임계값으로 사용할 수 있다. 백분위수 기반 임계값은 데이터의 분포가 정규 분포를 따르지 않는 경우에도 효과적일 수 있다.

【0145】 각 비행 단계별로 임계값은 다르게 설정될 수 있다. 이륙 단계와 착륙 단계는 동적 변화가 크고 변동성이 높으므로 상대적으로 높은 임계값이 설정될 수 있다. 순항 단계는 안정적인 비행 패턴을 보이므로 낮은 임계값이 설정될 수 있다.

【0146】 일 실시예에서, 이륙 단계의 임계값은  $\tau_{\text{takeoff}} = 20.0$ 으로 설정될 수 있다. 이는 이륙 단계에서 정상적으로도 센서 데이터의 변동이 크기 때문에 높은 임계값이 필요함을 의미할 수 있다.

【0147】 다른 실시예에서, 순항 단계의 임계값은  $\tau_{\text{cruise}} = 8.0$ 으로 설정될 수 있다. 이는 순항 단계에서는 안정적인 패턴이 예상되므로 낮은 임계값으로도 이상을 민감하게 탐지할 수 있음을 의미할 수 있다.

【0148】 또 다른 실시예에서, 선회 단계의 임계값은  $\tau_{\text{turn}} = 15.0$ 으로 설정될 수 있다. 선회 단계는 방향 전환으로 인한 동적 변화가 있으나 이륙 단계보다는 안정적이므로 중간 수준의 임계값이 설정될 수 있다.

【0149】 또 다른 실시예에서, 착륙 단계의 임계값은  $\tau_{\text{land}} = 12.0$ 으로 설정될 수 있다. 착륙 단계는 고도가 지속적으로 감소하는 패턴이 있으나, 안전한 착륙을 위해 제어가 중요하므로 적절한 수준의 임계값이 설정될 수 있다.

【0150】 임계값은 주기적으로 재보정될 수 있다. 드론의 하드웨어 변경, 환경 조건 변화, 비행 패턴 변화 등에 따라 정상 데이터의 분포가 변할 수 있으므로, 임계값도 이에 맞춰 조정될 필요가 있다.

【0151】 일 실시예에서, 임계값 저장부(160)는 새로운 정상 비행 데이터가 축적될 때마다 임계값을 재계산하여 업데이트할 수 있다. 이를 통해 드론의 노화나 환경 변화에 적응할 수 있다.

【0152】 다른 실시예에서, 임계값 저장부(160)는 온라인 학습 방식을 이용하여 임계값을 실시간으로 조정할 수 있다. 온라인 학습은 새로운 데이터가 들어올 때마다 임계값을 점진적으로 업데이트할 수 있다.

【0153】 판정부(170)는 이상 탐지부(150)로부터 산출된 복원 오차와 임계값 저장부(160)로부터 제공된 임계값을 비교하여 이상 여부를 판정할 수 있다. 판정부(170)는 복원 오차가 임계값을 초과하는 경우 이상 상태로 판정하고, 임계값 이하인 경우 정상 상태로 판정할 수 있다.

【0154】 판정부(170)는 단일 프레임의 복원 오차만으로 즉시 이상을 판정할 수 있다. 일 실시예에서, 판정부(170)는 현재 프레임의 복원 오차가 임계값을 초과하면 즉시 이상 상태로 판정할 수 있다. 이는 빠른 이상 탐지를 가능하게 하지만, 순간적인 노이즈에 의한 오탐 가능성이 있을 수 있다.

【0155】 다른 실시예에서, 판정부(170)는 연속된 여러 프레임의 복원 오차를 고려하여 이상을 판정할 수 있다. 예를 들어, 최근 5개 프레임 중 3개 이상의 프레임에서 복원 오차가 임계값을 초과하는 경우에만 이상 상태로 판정할 수 있다. 이는 오탐을 줄일 수 있으나, 이상 탐지에 지연이 발생할 수 있다.

【0156】 또 다른 실시예에서, 판정부(170)는 이동 평균 기법을 이용하여 복원 오차를 평활화한 후 임계값과 비교할 수 있다. 이동 평균은 최근 N개 프레임의 복원 오차를 평균하여 계산될 수 있다. 평활화된 복원 오차는 순간적인 변동에 덜 민감하므로 안정적인 판정을 제공할 수 있다.

【0157】 판정부(170)는 이상 정도를 등급으로 분류할 수 있다. 이상 정도는 복원 오차의 크기에 따라 주의, 경고, 위험 등의 등급으로 나뉘어질 수 있다.

【0158】 일 실시예에서, 판정부(170)는 복원 오차가 임계값의 1.0배에서 1.5배 사이인 경우 주의 등급으로 분류하고, 1.5배에서 2.0배 사이인 경우 경고 등급으로 분류하며, 2.0배 이상인 경우 위험 등급으로 분류할 수 있다.

【0159】 판정부(170)는 이상 원인을 분석할 수 있다. 판정부(170)는 센서 파라미터별 복원 오차를 분석하여 어느 센서 또는 시스템에서 이상이 발생했는지를

식별할 수 있다.

【0160】 판정부(170)는 추력 불균형 이상을 식별할 수 있다. 추력 불균형은 특정 모터의 출력이 다른 모터에 비해 현저히 다른 경우 발생할 수 있다. 판정부(170)는 특정 모터의 PWM 값에 대한 복원 오차가 다른 모터에 비해 크고, 전체 복원 오차에 대한 기여도가 높은 경우 추력 불균형으로 분류할 수 있다.

【0161】 일 실시예에서, 판정부(170)는 C1 모터의 PWM 복원 오차가 전체 복원 오차의 40% 이상을 차지하는 경우, C1 모터 또는 C1 ESC의 이상으로 판단할 수 있다. 판정부(170)는 경고 메시지에 "C1 모터 추력 불균형"과 같은 구체적인 원인 정보를 포함시킬 수 있다.

【0162】 판정부(170)는 배터리 열화 이상을 식별할 수 있다. 배터리 열화는 배터리의 내부 저항이 증가하여 전압 강하가 커지거나, 동일한 부하에서 전류 소비가 증가하는 현상을 의미할 수 있다. 판정부(170)는 전류 대비 PWM 비율에 대한 복원 오차가 크고, 전압의 복원 오차도 함께 큰 경우 배터리 열화로 분류할 수 있다.

【0163】 일 실시예에서, 판정부(170)는 전류의 복원 오차와 전압의 복원 오차가 모두 전체 복원 오차의 30% 이상을 차지하는 경우, 배터리 시스템의 이상으로 판단할 수 있다.

【0164】 판정부(170)는 센서 비정합 이상을 식별할 수 있다. 센서 비정합은 센서가 잘못된 값을 출력하거나, 센서 간의 데이터가 일치하지 않는 경우를 의미할 수 있다. 판정부(170)는 고도, GNSS 위치 등의 센서 값에 대한 복원 오차가 크고,

다른 센서들은 정상인 경우 센서 비정합으로 분류할 수 있다.

【0165】 일 실시예에서, 판정부(170)는 고도 센서의 복원 오차는 크지만 수직 속도의 복원 오차는 정상인 경우, 고도 센서의 오류로 판단할 수 있다. 이는 IMU 기반의 수직 속도는 정상이지만 기압 센서 기반의 고도만 이상을 보이는 상황을 의미할 수 있다.

【0166】 판정부(170)는 판정 결과를 경고 생성부(180)와 로깅부(190)에 전달할 수 있다.

【0167】 경고 생성부(180)는 판정부(170)로부터 이상 상태 판정 결과를 수신하면 경고 신호를 생성할 수 있다. 경고 생성부(180)는 시각적 경고, 청각적 경고, 제어 신호 중 적어도 하나를 생성할 수 있다.

【0168】 경고 생성부(180)는 시각적 경고를 생성할 수 있다. 시각적 경고는 드론의 LED, 디스플레이, 또는 지상 관제 시스템의 화면에 표시될 수 있다.

【0169】 일 실시예에서, 경고 생성부(180)는 이상 정도에 따라 LED의 색상을 변경할 수 있다. 주의 등급은 노란색 LED, 경고 등급은 주황색 LED, 위험 등급은 빨간색 LED로 표시될 수 있다.

【0170】 다른 실시예에서, 경고 생성부(180)는 지상 관제 시스템의 화면에 경고 메시지를 팝업으로 표시할 수 있다. 경고 메시지는 이상 발생 시간, 비행 단계, 복원 오차 값, 추정 원인 등의 정보를 포함할 수 있다.

【0171】 경고 생성부(180)는 청각적 경고를 생성할 수 있다. 청각적 경고는 드론의 부저 또는 지상 관제 시스템의 스피커를 통해 출력될 수 있다.

【0172】 일 실시예에서, 경고 생성부(180)는 이상 정도에 따라 부저의 소리 패턴을 다르게 할 수 있다. 주의 등급은 짧은 비프음, 경고 등급은 연속적인 비프음, 위험 등급은 사이렌 소리로 출력될 수 있다.

【0173】 경고 생성부(180)는 제어 신호를 생성할 수 있다. 제어 신호는 드론의 비행 제어 시스템에 전달되어 자동 안전 조치를 수행하도록 할 수 있다.

【0174】 일 실시예에서, 경고 생성부(180)는 위험 등급의 이상이 발생한 경우 RTL(Return To Launch) 모드로 전환하는 제어 신호를 생성할 수 있다. RTL 모드는 드론이 자동으로 이륙 지점으로 귀환하여 착륙하는 모드이다.

【0175】 다른 실시예에서, 경고 생성부(180)는 배터리 이상이 감지된 경우 전력 제한 모드로 전환하는 제어 신호를 생성할 수 있다. 전력 제한 모드는 최대 PWM 값을 제한하고, 상승률과 속도를 제한하여 배터리 부하를 줄일 수 있다.

【0176】 또 다른 실시예에서, 경고 생성부(180)는 모터 이상이 감지된 경우 비상 착륙 모드로 전환하는 제어 신호를 생성할 수 있다. 비상 착륙 모드는 가능한 빨리 안전한 지점에 착륙하도록 드론을 제어할 수 있다.

【0177】 경고 생성부(180)는 이상 원인 정보를 경고 메시지에 포함시킬 수 있다. 이를 통해 조종자나 관리자가 적절한 대응 조치를 신속하게 취할 수 있도록 도울 수 있다.

【0178】 일 실시예에서, 경고 생성부(180)는 "C2 모터 추력 불균형 감지. 즉시 착륙을 권장합니다."와 같은 구체적인 메시지를 생성할 수 있다.

【0179】 다른 실시예에서, 경고 생성부(180)는 "배터리 성능 저하 감지. 비행 시간이 단축될 수 있습니다."와 같은 예측 정보를 포함한 메시지를 생성할 수 있다.

【0180】 로깅부(190)는 시스템의 동작 과정과 결과를 기록할 수 있다. 로깅부(190)는 센서 데이터, 비행 단계 정보, 복원 오차, 판정 결과, 경고 이력 등을 저장할 수 있다. 로깅 데이터는 사후 분석, 모델 재학습, 시스템 성능 평가 등에 활용될 수 있다.

【0181】 일 실시예에서, 로깅부(190)는 모든 센서 데이터를 타임스탬프와 함께 저장할 수 있다. 로깅 파일은 CSV, JSON, 또는 바이너리 형식으로 저장될 수 있다.

【0182】 다른 실시예에서, 로깅부(190)는 이상 판정이 발생한 시점 전후의 데이터를 별도로 저장할 수 있다. 이상 발생 전후 10초 간의 데이터를 저장하여 이상 원인 분석에 활용할 수 있다.

【0183】 또 다른 실시예에서, 로깅부(190)는 복원 오차 시계열을 저장하여 임계값 재보정에 활용할 수 있다. 정상 비행 데이터의 복원 오차 분포를 주기적으로 분석하여 임계값을 업데이트할 수 있다.



【0184】 로깅부(190)는 통신 모듈을 통해 로깅 데이터를 지상 관제 시스템 또는 클라우드 서버로 전송할 수 있다. 전송된 데이터는 중앙 집중식 분석 시스템에서 처리될 수 있다.

【0185】 일 실시예에서, 로깅부(190)는 실시간으로 주요 이벤트(이상 탐지, 경고 발생 등)를 지상 관제 시스템으로 전송할 수 있다. 실시간 전송은 LTE, WiFi, 또는 전용 무선 통신을 통해 이루어질 수 있다.

【0186】 다른 실시예에서, 로깅부(190)는 비행 종료 후 전체 로그 파일을 클라우드 서버로 업로드할 수 있다. 클라우드 서버는 다수의 드론으로부터 수집된 데이터를 분석하여 전체적인 비행 안전성 통계를 생성할 수 있다.

【0188】 도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 드론 이상 탐지 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

【0189】 도 4을 참조하면, S410 단계에서, 전자장치는 드론으로부터 다변량 센서 데이터를 실시간으로 수집할 수 있다. 다변량 센서 데이터는 고도, 수직 속도, 수평 속도, 모터 PWM 값, 자세각, 각속도, 전압, 전류 등을 포함할 수 있다. 전자장치는 일정 주기(예: 100Hz)로 센서 데이터를 수집할 수 있다.

【0190】 S420 단계에서, 전자장치는 수집된 센서 데이터를 전처리할 수 있다. 전처리는 결측치 보간, 이상치 제거, 정규화, 시계열 윈도우 생성 등을 포함할 수 있다. 전자장치는 정규화를 통해 서로 다른 스케일의 센서 데이터를 동일한

범위로 변환할 수 있다. 전자장치는 일정 길이의 시계열 윈도우를 생성하여 LSTM 모델 입력에 적합한 형태로 만들 수 있다.

【0191】 S430 단계에서, 전자장치는 전처리된 센서 데이터를 기초로 현재 비행 단계를 판별할 수 있다. 전자장치는 고도, 수직 속도, 자세각, 각속도, 모터 PWM 값 등을 분석하여 이륙, 순항, 선회, 착륙 중 하나로 판별할 수 있다. 비행 단계 판별은 규칙 기반 알고리즘 또는 분류 모델을 이용하여 수행될 수 있다.

【0192】 S440 단계에서, 전자장치는 판별된 비행 단계에 대응하는 LSTM 오토인코더 모델을 선택할 수 있다. 전자장치는 모델 저장부에 저장된 복수의 모델 중에서 현재 비행 단계에 맞는 모델을 선택할 수 있다.

【0193】 일 실시예에서, 현재 비행 단계가 이륙으로 판별된 경우, 전자장치는 이륙 단계에 특화되어 학습된 LSTM 오토인코더 모델을 선택할 수 있다.

【0194】 S450 단계에서, 전자장치는 선택된 LSTM 오토인코더 모델에 전처리된 센서 데이터를 입력하여 복원 데이터를 생성할 수 있다. LSTM 오토인코더는 입력 시퀀스를 인코더를 통해 압축하고, 디코더를 통해 다시 복원할 수 있다. 모델이 정상 패턴으로 학습되어 있으므로, 정상 데이터는 잘 복원되고 이상 데이터는 복원이 잘 되지 않을 수 있다.

【0195】 S460 단계에서, 전자장치는 원본 센서 데이터와 복원 데이터 간의 복원 오차를 산출할 수 있다. 복원 오차는 평균 제곱 오차, 평균 절대 오차, 유클리드 거리 등으로 계산될 수 있다. 전자장치는 전체 복원 오차뿐만 아니라 센서 파

라미터별 복원 오차도 산출할 수 있다.

【0196】 S470 단계에서, 전자장치는 산출된 복원 오차와 현재 비행 단계에 대응하는 임계값을 비교할 수 있다. 임계값은 각 비행 단계별로 다르게 설정되어 있을 수 있다. 이륙 및 착륙 단계는 높은 임계값을, 순항 단계는 낮은 임계값을 가질 수 있다.

【0197】 S480 단계에서, 전자장치는 복원 오차가 임계값을 초과하는 경우 이상 상태로 판정할 수 있다. 전자장치는 복원 오차가 임계값 이하인 경우 정상 상태로 판정할 수 있다. 전자장치는 이상 상태로 판정된 경우 이상 원인을 분석할 수 있다.

【0198】 S490 단계에서, 전자장치는 이상 상태로 판정된 경우 경고 신호를 생성할 수 있다. 경고 신호는 시각적 경고, 청각적 경고, 제어 신호 등을 포함할 수 있다. 전자장치는 경고 메시지에 이상 발생 시간, 비행 단계, 복원 오차 값, 추정 원인 등의 정보를 포함시킬 수 있다. 전자장치는 필요한 경우 자동 안전 조치를 수행하도록 비행 제어 시스템에 제어 신호를 전달할 수 있다.

【0200】 도 5는 도 4의 비행 단계 관별 단계(S430)를 설명하기 위한 흐름도이다.

【0201】 도 5를 참조하면, S431 단계에서, 전자장치는 현재 센서 데이터로부터 고도 변화율, 수직 속도, 자세각 변동, 각속도, 모터 PWM 평균값 및 분산 등의

특징을 추출할 수 있다. 이러한 특징들은 비행 단계를 판별하는 데 사용될 수 있다.

【0202】 S432 단계에서, 전자장치는 이륙 단계 조건을 검사할 수 있다. 전자장치는 고도가 지속적으로 증가하고, 수직 속도가 양수이며, 모터 PWM 값이 높은지를 확인할 수 있다. 조건이 만족되면 S425 단계로 진행하여 비행 단계를 이륙으로 판별할 수 있다. 조건이 만족되지 않으면 S430 단계로 진행할 수 있다.

【0203】 S433 단계에서, 전자장치는 순항 단계 조건을 검사할 수 있다. 전자장치는 고도가 일정 범위 내에서 유지되고, 자세각 변동이 작으며, 모터 PWM 값이 중간 수준인지를 확인할 수 있다. 조건이 만족되면 S435 단계로 진행하여 비행 단계를 순항으로 판별할 수 있다. 조건이 만족되지 않으면 S440 단계로 진행할 수 있다.

【0204】 S434 단계에서, 전자장치는 선회 단계 조건을 검사할 수 있다. 전자장치는 Yaw 각속도 또는 Roll 각속도가 높고, 모터 PWM 값들 간의 차이가 큰지를 확인할 수 있다. 조건이 만족되면 S445 단계로 진행하여 비행 단계를 선회로 판별할 수 있다. 조건이 만족되지 않으면 S450 단계로 진행할 수 있다.

【0205】 S435 단계에서, 전자장치는 착륙 단계 조건을 검사할 수 있다. 전자장치는 고도가 지속적으로 감소하고, 수직 속도가 음수이며, 모터 PWM 값이 점진적으로 감소하는지를 확인할 수 있다. 조건이 만족되면 S455 단계로 진행하여 비행 단계를 착륙으로 판별할 수 있다. 조건이 만족되지 않으면 S460 단계로 진행할 수 있다.

【0206】 S436 단계에서, 전자장치는 어느 조건에도 해당하지 않는 경우 이전 비행 단계를 유지하거나 미분류 상태로 설정할 수 있다. 이는 비행 단계 전환 과정에서 일시적으로 발생할 수 있는 애매한 상태를 처리하기 위함이다.

【0207】 일 실시예에서, 전자장치는 상태 머신을 이용하여 비행 단계 전환을 관리할 수 있다. 상태 머신은 현재 상태에서 다음 상태로 전환할 때 일정한 조건이 연속으로 만족되어야 한다는 규칙을 적용할 수 있다. 이를 통해 순간적인 센서 변동으로 인한 잘못된 단계 판별을 방지할 수 있다.

【0208】 다른 실시예에서, 전자장치는 히스테리시스 로직을 적용하여 비행 단계 전환의 안정성을 높일 수 있다. 히스테리시스는 상태 전환 임계값에 여유를 두어 빈번한 상태 변화를 방지할 수 있다.

【0209】 전술한 비행 단계별 센서 데이터 패턴은 다변수 그래프로 설명될 수 있다. 예를 들면, 그래프는 시간에 따른 고도, 수직 속도, 모터 PWM 평균값의 변화를 보여줄 수 있다. 그래프의 x축은 네 개의 구간으로 나뉘며, 각 구간은 이륙, 순항, 선회, 착륙 단계를 나타낼 수 있다.

【0210】 이륙 구간(T1)에서는 고도가 급격히 증가하고, 수직 속도가 높은 양수 값을 유지하며, 모터 PWM 평균값이 70% 이상의 높은 수준을 보일 수 있다. 이 구간에서는 센서 데이터의 변동성이 크고, 가속도와 전류 소비도 높을 수 있다.

【0211】 순항 구간(T2)에서는 고도가 일정하게 유지되고, 수직 속도가 거의 0에 가까우며, 모터 PWM 평균값이 50% 전후의 중간 수준을 보일 수 있다. 이 구간

에서는 센서 데이터가 안정적이고 변동이 작을 수 있다.

【0212】 선회 구간(T3)에서는 고도가 약간 변할 수 있고, 각속도가 급격히 증가하며, 모터 PWM 값들의 분산이 커질 수 있다. 그래프에서는 모터 PWM 평균값이 일시적으로 변동하는 패턴을 보일 수 있다.

【0213】 착륙 구간(T4)에서는 고도가 지속적으로 감소하고, 수직 속도가 음수 값을 유지하며, 모터 PWM 평균값이 점진적으로 감소할 수 있다. 이 구간에서는 지면 접촉이 가까워질수록 센서 데이터의 변화율이 줄어든 수 있다.

【0214】 이러한 비행 단계별 센서 데이터 패턴의 차이는 각 단계에 특화된 LSTM 오토인코더 모델이 필요한 이유를 설명할 수 있다. 단일 모델로는 모든 단계의 다양한 패턴을 효과적으로 학습하기 어렵기 때문에, 본 발명은 단계별 모델을 사용하여 각 단계의 정상 패턴을 정밀하게 학습하고 이상을 정확하게 탐지할 수 있다.

【0215】 이하에서는 비행 단계별 정상 및 이상 기준을 구체적으로 설명한다.

【0216】 이륙 단계에서 고려되는 주요 파라미터는 고도, 수직 속도, 모터 PWM 값, 전류일 수 있다. 이륙 단계의 정상 패턴은 고도가 지속적으로 상승하고, 수직 속도가 3m/s에서 5m/s 사이를 유지하며, 모터 PWM 값이 70%에서 90% 범위에서 급상승하는 것을 포함할 수 있다. 전류 소비는 이륙 시 급격히 증가하여 높은 수준을 유지할 수 있다.

【0217】이륙 단계의 이상 패턴은 고도 증가가 없거나 매우 느린 경우, PWM 값은 높으나 수직 속도가 거의 0에 가까운 경우, 전류 소비가 과도하게 높은 경우 등을 포함할 수 있다. 이러한 이상 패턴은 모터 고장, 프로펠러 손상, 과부하 등을 나타낼 수 있다.

【0218】일 실시예에서, 이륙 단계에서 모터 PWM 값이 85%인데 수직 속도가 1m/s에 불과한 경우, LSTM 오토인코더는 이 패턴을 제대로 복원하지 못하고 높은 복원 오차를 출력할 수 있다. 이는 추력과 상승률 간의 불일치를 나타내며, 모터 효율 저하 또는 기체 무게 과다를 의미할 수 있다.

【0219】다른 실시예에서, 이륙 단계에서 특정 모터의 PWM 값만 다른 모터에 비해 현저히 낮은 경우, 해당 모터의 복원 오차가 크게 증가할 수 있다. 이는 모터 또는 ESC 고장을 나타낼 수 있다.

【0220】순항 단계에서 고려되는 주요 파라미터는 고도, 수직 속도, 자세각, 모터 PWM 값, 전류일 수 있다. 순항 단계의 정상 패턴은 고도가  $\pm 2\text{m}$  범위 내에서 유지되고, 수직 속도가 거의 0에 가까우며, Roll과 Pitch 각도가  $\pm 5^\circ$  이내이고, 모터 PWM 값이 40%에서 60% 범위에 있으며, 전류 대비 PWM 비율이 정상 범위인 것을 포함할 수 있다.

【0221】순항 단계의 이상 패턴은 고도 요동이  $\pm 5\text{m}$  이상인 경우, 특정 모터의 PWM 값이 다른 모터에 비해 불균형한 경우, 전류 대비 PWM 비율이 비정상적인 경우 등을 포함할 수 있다. 이러한 이상 패턴은 바람 교란, 모터 불균형, 배터리

열화 등을 나타낼 수 있다.

【0222】 일 실시예에서, 순항 단계에서 고도가 안정적이고 자세각 변동도 작는데, 전류 소비가 정상보다 30% 높은 경우, 전류 파라미터의 복원 오차가 크게 증가할 수 있다. 이는 배터리 내부 저항 증가 또는 모터 효율 저하를 나타낼 수 있다.

【0223】 다른 실시예에서, 순항 단계에서 한 개 모터의 PWM 값이 다른 모터보다 지속적으로 10% 이상 높거나 낮은 경우, 해당 모터의 복원 오차가 증가할 수 있다. 이는 모터 불균형 또는 프로펠러 손상을 나타낼 수 있다.

【0224】 선회 단계에서 고려되는 주요 파라미터는 Yaw 각속도, Roll 각속도, 모터 PWM 값 분포, 고도일 수 있다. 선회 단계의 정상 패턴은 Yaw 각속도가  $20^{\circ}/s$  이상이거나 Roll 각속도가  $15^{\circ}/s$  이상이고, 모터 PWM 값들이 불균형하게 분포하는 것이 정상이며, 고도는 대체로 안정적으로 유지되는 것을 포함할 수 있다.

【0225】 선회 단계의 이상 패턴은 Yaw나 Roll 각속도가 난조를 보이는 경우, 특정 모터의 출력이 급락하는 경우, 고도가 급격히 하강하는 경우 등을 포함할 수 있다. 이러한 이상 패턴은 모터 고장, 제어 시스템 오류, 센서 오류 등을 나타낼 수 있다.

【0226】 일 실시예에서, 선회 단계에서 Yaw 각속도가 높는데 특정 모터의 PWM 값이 예상보다 낮은 경우, 해당 모터의 복원 오차가 증가할 수 있다. 이는 모터를 요구되는 출력을 내지 못하고 있음을 나타낼 수 있다.



【0227】 다른 실시예에서, 선회 중 고도가 예상치 않게 2m 이상 하강하는 경우, 고도와 수직 속도의 복원 오차가 증가할 수 있다. 이는 추력 부족 또는 제어 불안정을 나타낼 수 있다.

【0228】 착륙 단계에서 고려되는 주요 파라미터는 고도, 수직 속도, 모터 PWM 값, 전류일 수 있다. 착륙 단계의 정상 패턴은 고도가 지속적으로 하강하고, 수직 속도가 -2m/s에서 -4m/s 사이를 유지하며, 모터 PWM 값이 점진적으로 감소하는 것을 포함할 수 있다.

【0229】 착륙 단계의 이상 패턴은 수직 속도가 -6m/s 이하로 자유낙하하는 경우, 고도 변화가 없는 경우, 착륙 직전 PWM 값이 요동치는 경우 등을 포함할 수 있다. 이러한 이상 패턴은 제어 상실, 모터 고장, 센서 오류 등을 나타낼 수 있다.

【0230】 일 실시예에서, 착륙 단계에서 수직 속도가 -7m/s로 과도하게 빠른 경우, 수직 속도와 모터 PWM 값의 복원 오차가 증가할 수 있다. 이는 제어 시스템이 하강 속도를 제어하지 못하고 있음을 나타낼 수 있다.

【0231】 다른 실시예에서, 착륙 단계에서 지면 접촉이 예상되는 시점에 모터 PWM 값이 갑자기 증가하는 경우, PWM 값의 복원 오차가 증가할 수 있다. 이는 지면 감지 센서 오류 또는 제어 알고리즘 문제를 나타낼 수 있다.

【0232】 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명은 각 비행 단계별로 고려되는 주요 파라미터와 정상/이상 패턴이 명확히 정의되어 있으며, LSTM 오토인코더 모델은 이러한 패턴을 학습하여 복원 오차를 통해 이상을 탐지할 수 있다.

【0233】 일 실시예에서, 전자장치(100)은 드론에 탑재되어 온보드 방식으로 동작할 수 있다. 드론의 비행 제어 컴퓨터 또는 별도의 컴패니언 컴퓨터가 전자장치(100)을 실행할 수 있다. 온보드 방식은 통신 지연 없이 실시간으로 이상을 탐지하고 즉각적인 대응이 가능하다는 장점이 있다.

【0234】 다른 실시예에서, 전자장치(100)은 지상 관제 시스템에 위치하여 오프보드 방식으로 동작할 수 있다. 드론은 센서 데이터를 무선 통신을 통해 지상 관제 시스템으로 전송하고, 지상 관제 시스템에서 이상 탐지를 수행할 수 있다. 오프보드 방식은 고성능 컴퓨팅 자원을 활용할 수 있으나, 통신 지연과 대역폭 제약이 있을 수 있다.

【0235】 또 다른 실시예에서, 전자장치(100)은 하이브리드 방식으로 동작할 수 있다. 기본적인 이상 탐지는 온보드에서 수행하고, 상세한 분석과 모델 업데이트는 오프보드에서 수행할 수 있다. 이를 통해 실시간성과 고성능 분석을 모두 확보할 수 있다.

【0236】 일 실시예에서, 전자장치(100)은 적응적 학습 기능을 포함할 수 있다. 시스템은 정상으로 판정된 새로운 비행 데이터를 축적하고, 주기적으로 모델과 임계값을 재학습할 수 있다. 이를 통해 드론의 노화, 부품 교체, 환경 변화 등에 적응할 수 있다.

【0237】 다른 실시예에서, 전자장치(100)은 전이 학습 기능을 포함할 수 있다. 한 드론에서 학습된 모델을 유사한 기체 특성을 가진 다른 드론에 적용하고,

소량의 추가 데이터로 미세 조정할 수 있다. 이를 통해 새로운 드론에 대한 초기 학습 시간을 단축할 수 있다.

【0238】 일 실시예에서, 전자장치(100)은 다중 드론 협업 기능을 포함할 수 있다. 여러 드론이 동시에 비행하는 경우, 각 드론의 이상 탐지 정보를 공유하여 상호 검증하거나, 군집 전체의 안전성을 평가할 수 있다.

【0239】 본 발명은 특정 드론 플랫폼에 한정되지 않으며, 멀티콥터, 틸트로터, 고정익 VTOL 등 다양한 기체에 동일한 절차로 적용 가능하다. 또한, 로봇, 자율주행 차량, 산업 설비 등 다변량 시계열 센서 데이터를 사용하는 다른 시스템의 이상 탐지에도 확장될 수 있다.

【0240】 전술한 바와 같이, 본 발명의 실시예들에 따르면, 드론의 비행 단계별로 최적화된 LSTM 오토인코더 모델을 적용함으로써 단일 고정 임계값 기반 방식의 오탐 및 미탐 문제를 효과적으로 해결할 수 있다. 각 비행 단계의 정상 패턴이 명확히 학습되어 있으므로, 이륙 단계에서의 정상적인 높은 PWM 값이 오탐으로 판정되지 않으며, 순항 단계에서의 미세한 이상도 민감하게 탐지할 수 있다. 또한 정상 데이터만으로 학습하는 비지도 학습 방식을 채택함으로써 실제 환경에서 수집이 어려운 이상 데이터 없이도 효과적인 모델 구축이 가능하다. 복원 오차 기반의 이상 탐지 방식은 새로운 유형의 이상도 탐지할 수 있는 범용성을 제공하며, 센서 파라미터별 복원 오차 분석을 통해 이상의 원인까지 식별할 수 있어 신속하고 적절한 대응 조치가 가능하다. 이러한 기술적 효과는 드론의 비행 안전성을 근본적으로 향상시켜 다양한 상업적 및 공공 분야에서의 드론 활용을 더욱 활성화할 것이다.

【0241】 이상에서 설명된 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함할 수 있다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

【0242】 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여

대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

【0243】 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

**【청구범위】****【청구항 1】**

전자장치에 의해, 드론으로부터 다변량 센서 데이터를 실시간으로 수집하는 단계;

상기 전자장치에 의해, 상기 다변량 센서 데이터를 기초로 현재 비행 단계를 이륙, 순항, 선회, 착륙 중 하나로 판별하는 단계;

상기 전자장치에 의해, 판별된 비행 단계에 대응하는 LSTM 오토인코더 모델을 선택하는 단계;

상기 전자장치에 의해, 선택된 LSTM 오토인코더 모델에 상기 다변량 센서 데이터를 입력하여 복원 데이터를 생성하는 단계;

상기 전자장치에 의해, 상기 다변량 센서 데이터와 상기 복원 데이터 간의 복원 오차를 산출하는 단계;

상기 전자장치에 의해, 상기 복원 오차와 상기 비행 단계에 대응하는 임계값을 비교하는 단계; 및

상기 전자장치에 의해, 상기 복원 오차가 상기 임계값을 초과하는 경우 이상 상태로 판정하고 경고 신호를 생성하는 단계;를 포함하는,

방법.

**【청구항 2】**

제1항에 있어서,

상기 다변량 센서 데이터는 고도, 수직 속도, 수평 속도, 모터 PWM 값, 자세 각, 각속도, 전압, 전류 중 적어도 하나를 포함하는,  
방법.

### 【청구항 3】

제1항에 있어서,  
상기 비행 단계를 판별하는 단계는,  
상기 고도가 지속적으로 증가하고 상기 수직 속도가 양수이며 상기 모터 PWM 값이 기설정된 제1 임계치 이상인 경우 이륙 단계로 판별하는,  
방법.

### 【청구항 4】

제1항에 있어서,  
상기 비행 단계를 판별하는 단계는,  
상기 고도가 기설정된 범위 내에서 유지되고 상기 자세각의 변동이 기설정된 제2 임계치 이내인 경우 순항 단계로 판별하는,  
방법.

### 【청구항 5】

제1항에 있어서,  
상기 비행 단계를 판별하는 단계는,  
Yaw 각속도 또는 Roll 각속도가 기설정된 제3 임계치 이상이고 상기 모터

PWM 값의 분포가 불균형한 경우 선회 단계로 판별하는,  
방법.

#### 【청구항 6】

제1항에 있어서,

상기 비행 단계를 판별하는 단계는,

상기 고도가 지속적으로 감소하고 상기 수직 속도가 음수이며 상기 모터 PWM 값이 점진적으로 감소하는 경우 착륙 단계로 판별하는,  
방법.

#### 【청구항 7】

제1항에 있어서,

상기 임계값은 이륙 단계에서 가장 높고, 순항 단계에서 가장 낮으며, 선회 단계와 착륙 단계에서 중간인,  
방법.

#### 【청구항 8】

제1항에 있어서,

상기 경고 신호를 생성하는 단계는,

상기 복원 오차에 기여도가 높은 센서 파라미터를 식별하여 이상 원인을 분류하는 단계;를 더 포함하는,  
방법.



**【청구항 9】**

제8항에 있어서,

상기 경고 신호를 생성하는 단계는,

특정 모터의 PWM 값에 대한 복원 오차가 큰 경우 추력 불균형으로 분류하고,

전류 대비 PWM 비율에 대한 복원 오차가 큰 경우 배터리 열화로 분류하는,

방법.

**【청구항 10】**

드론으로부터 다변량 센서 데이터를 실시간으로 수집하는 데이터 수집부;

상기 다변량 센서 데이터를 기초로 현재 비행 단계를 이륙, 순항, 선회, 착륙 중 하나로 판별하는 비행 단계 판별부;

각 비행 단계에 대응하여 개별적으로 학습된 복수의 LSTM 오토인코더 모델을 저장하는 모델 저장부;

판별된 비행 단계에 대응하는 LSTM 오토인코더 모델을 선택하고, 선택된 모델에 상기 다변량 센서 데이터를 입력하여 복원 데이터를 생성하며, 상기 다변량 센서 데이터와 상기 복원 데이터 간의 복원 오차를 산출하는 이상 탐지부;

각 비행 단계에 대응하는 임계값을 저장하는 임계값 저장부;

상기 복원 오차와 상기 임계값을 비교하여 이상 여부를 판정하는 판정부; 및

이상 상태로 판정된 경우 경고 신호를 생성하는 경고 생성부;를 포함하는,

시스템.

## 【요약서】

### 【요약】

실시예들은 드론의 비행 단계별 다변량 센서 데이터를 활용한 이상 탐지 장치 및 방법을 제공한다.

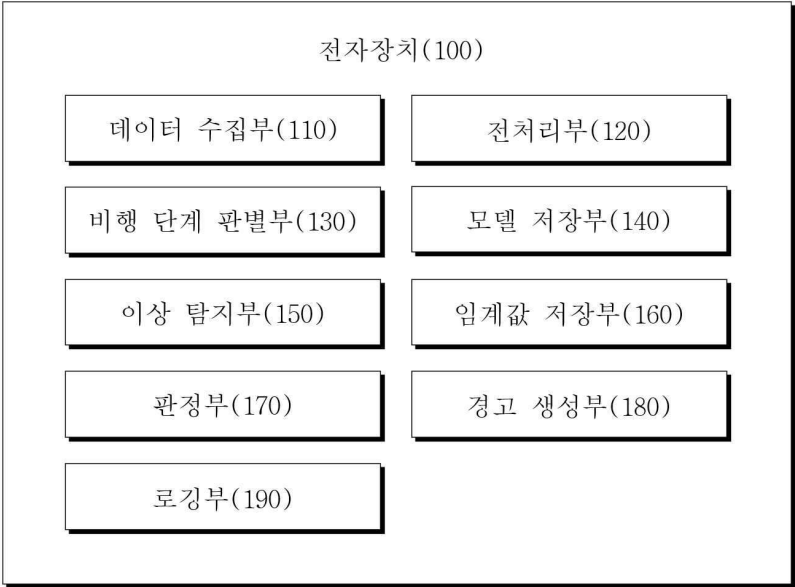
실시예들에 따른 방법은, 전자장치에 의해, 드론으로부터 다변량 센서 데이터를 실시간으로 수집하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 상기 다변량 센서 데이터를 기초로 현재 비행 단계를 이륙, 순항, 선회, 착륙 중 하나로 판별하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 판별된 비행 단계에 대응하는 LSTM 오토인코더 모델을 선택하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 선택된 LSTM 오토인코더 모델에 상기 다변량 센서 데이터를 입력하여 복원 데이터를 생성하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 상기 다변량 센서 데이터와 상기 복원 데이터 간의 복원 오차를 산출하는 단계; 상기 전자장치에 의해, 상기 복원 오차와 상기 비행 단계에 대응하는 임계값을 비교하는 단계; 및 상기 전자장치에 의해, 상기 복원 오차가 상기 임계값을 초과하는 경우 이상 상태로 판정하고 경고 신호를 생성하는 단계;를 포함할 수 있다.

### 【대표도】

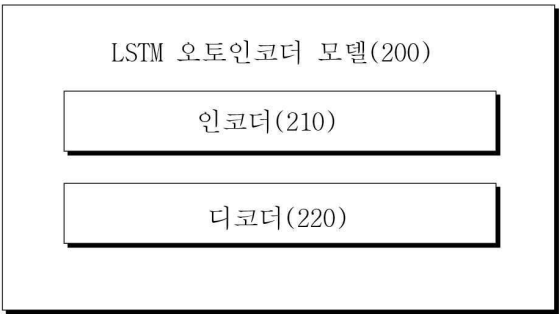
도 4

【도면】

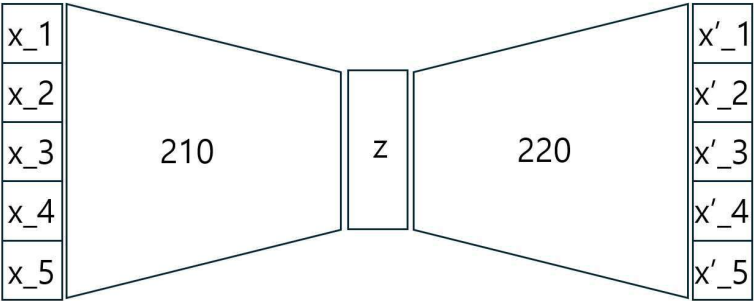
【도 1】



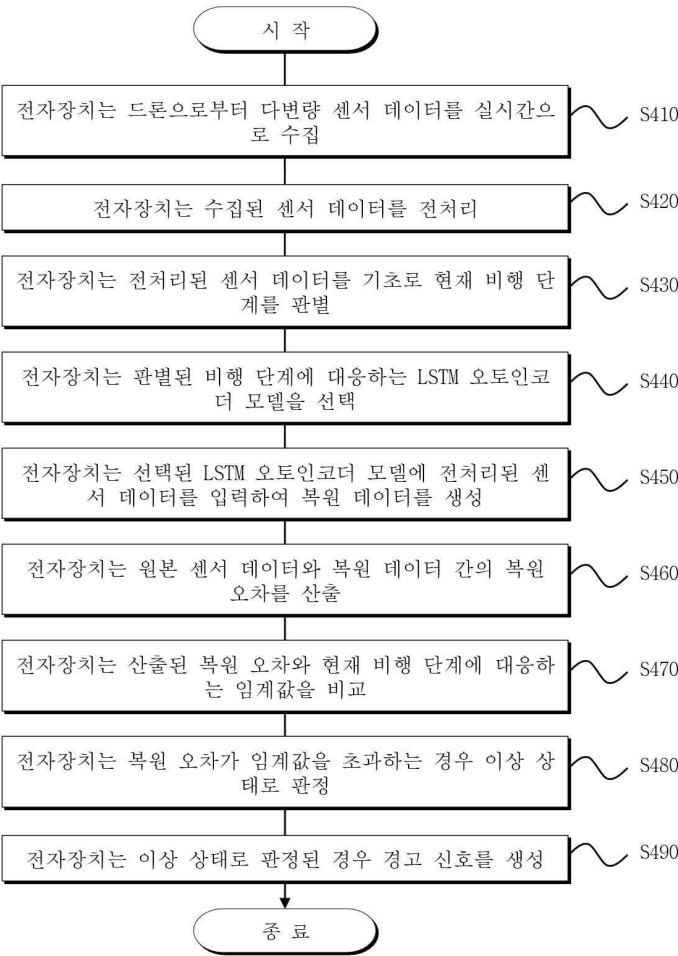
【도 2】



【도 3】



【도 4】



【도 5】

