



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2014년01월14일  
 (11) 등록번호 10-1350242  
 (24) 등록일자 2014년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G05D 1/02 (2006.01) B64C 13/18 (2006.01)  
 B64C 27/08 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0056757  
 (22) 출원일자 2012년05월29일  
 심사청구일자 2012년05월29일  
 (65) 공개번호 10-2013-0133480  
 (43) 공개일자 2013년12월09일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 이승현, “무인항공기 유도제어를 위한 스테레오  
 비전 위치 추정 연구”, 서울대학교 대학원 석사  
 학위논문 (2008년 08월)\*  
 JP2001328600 A\*  
 JP2011178186 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 서울대학교산학협력단  
 서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)  
 (72) 발명자  
 김유단  
 서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12 (방배동,  
 방배아트힐아파트) 107동 301호  
 박중호  
 서울특별시 관악구 솔밭로7길 16 (봉천동, 낙성  
 대현대홈타운아파트) 301동 803호  
 (74) 대리인  
 도진봉, 유상건

전체 청구항 수 : 총 11 항

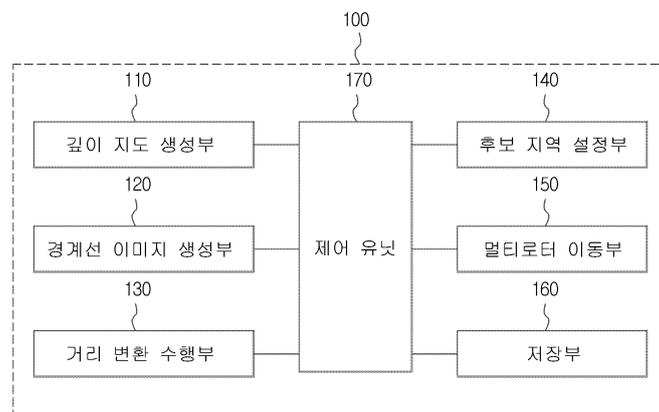
심사관 : 김문성

(54) 발명의 명칭 **깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법 및 그 장치**

**(57) 요약**

깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법 및 그 장치가 개시된다. 착륙 위치 결정 장치가 멀티로터의 착륙 위치를 결정하는 방법에 있어서, 스테레오 비전을 이용하여 지형을 촬영하고 깊이 지도 이미지를 생성하는 단계; 상기 생성된 깊이 지도 이미지에서 경계선을 추출하여 경계선 이미지를 생성하는 단계; 상기 경계선 이미지의 경계선에 대해 거리 변환을 수행하는 단계; 상기 거리 변환의 결과를 이용하여 도출된 내접원 중 가장 큰 반지름을 가지는 내접원의 원 중심을 착륙 후보 지역으로 설정하는 단계; 및 상기 착륙 후보 지역으로 멀티로터를 이동시키는 제어 신호를 생성하는 단계를 포함하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법은 사전에 정보가 주어지지 않은 상태에서 지형을 분석하여 멀티로터를 착륙시키는 장소를 효과적으로 결정할 수 있다.

**대표도 - 도1**



이 발명을 지원한 국가연구개발사업  
과제고유번호 N04100002-15  
부처명 국방과학연구소  
연구사업명 특화연구사업  
연구과제명 영상인지자동이착륙기술 연구  
기여율 1/1  
주관기관 국방무인화기술 특화연구센터  
연구기간 2010.03.02 ~ 2012.12.31

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

착륙 위치 결정 장치가 멀티로터의 착륙 위치를 결정하는 방법에 있어서,  
 스테레오 비전을 이용하여 지형을 촬영하고 깊이 지도 이미지를 생성하는 단계;  
 상기 생성된 깊이 지도 이미지에서 경계선을 추출하여 경계선 이미지를 생성하는 단계;  
 상기 경계선 이미지의 경계선에 대해 거리 변환을 수행하는 단계;  
 상기 거리 변환의 결과를 이용하여 도출된 내접원 중 가장 큰 반지름을 가지는 내접원의 원 중심을 착륙 후보 지역으로 설정하는 단계; 및  
 상기 착륙 후보 지역으로 멀티로터를 이동시키는 제어 신호를 생성하는 단계를 포함하되,  
 상기 거리 변환 수행 단계는, 상기 경계선 이미지 중 특정 픽셀과 상기 특정 픽셀과 가장 가까운 영이 아닌 픽셀간의 유클리드 거리를 계산하여 픽셀의 거리를 표현하는 거리 행렬을 생성하며,  
 상기 착륙 후보 지역 설정 단계는, 상기 거리 행렬의 성분 중 가장 크기가 큰 성분에 상응하는 픽셀의 좌표를 상기 멀티로터의 착륙 후보 지역의 좌표로 설정하고, 상기 거리 행렬의 성분 중 가장 크기가 큰 성분을 상기 멀티로터의 착륙 후보 지역의 반지름으로 설정하는 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서,  
 상기 경계선 이미지 생성 단계는,  
 상기 깊이 지도 이미지에서 영이 아닌 픽셀 성분을 경계선으로 표현하는 바이너리 이미지로 상기 경계선 이미지를 생성하는 캐니 기법(Canny method)을 사용하는 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

청구항 1에 있어서,  
 상기 깊이 지도 이미지에서 각 픽셀의 깊이(depth)는 다음과 같은 식으로 산출되는 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

$$z = \frac{fb}{u_L - u_R}$$

여기서, z는 깊이,  $u_L - u_R$  은 스테레오 비전에서 좌측 및 우측 이미지 평면의 특정 점의 x축 성분간 간격, f는 초점 거리, b는 베이스 라인임.

**청구항 6**

청구항 5에 있어서,

산출된 간격 중 마지막 간격에 상응하는 장소는 배제하고 상기 착륙 후보 지역의 좌표를 설정하는 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

**청구항 7**

청구항 1에 있어서,

크기가 미리 설정된 반지름 임계치보다 작은 상기 거리 행렬의 성분은 상기 착륙 후보 지역의 좌표에서 배제되는 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

**청구항 8**

청구항 7에 있어서,

상기 미리 설정된 반지름 임계치는 상기 멀티로터의 무게중심으로부터 로터 축까지의 거리인 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

**청구항 9**

청구항 7에 있어서,

상기 착륙 후보 지역의 좌표를 중심으로 상기 착륙 후보 지역의 반지름 영역 내에 있는 상기 거리 행렬의 성분 에 상응하는 좌표는 상기 착륙 후보 지역의 좌표에서 배제되는 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

**청구항 10**

청구항 1에 있어서,

상기 거리 변환의 결과를 이용하여 상기 멀티로터의 착륙 후보 지역이 아닌 좌표는 비추천 지역의 좌표로 설정하는 단계를 더 포함하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

**청구항 11**

청구항 10에 있어서,

상기 경계선 이미지 생성 단계는,

상기 비추천 지역을 제외한 지형에 대한 깊이 지도 이미지에서 경계선을 추출하여 경계선 이미지를 생성하는 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법.

**청구항 12**

멀티로터의 착륙 위치를 결정하는 착륙 위치 결정 장치에 있어서,

스테레오 비전을 이용하여 지형을 촬영하고 깊이 지도 이미지를 생성하는 깊이 지도 생성부;

상기 생성된 깊이 지도 이미지에서 경계선을 추출하여 경계선 이미지를 생성하는 경계선 이미지 생성부;

상기 경계선 이미지의 경계선에 대해 거리 변환을 수행하는 거리 변환 수행부;

상기 거리 변환의 결과를 이용하여 도출된 내접원 중 가장 큰 반지름을 가지는 내접원의 원 중심을 착륙 후보 지역으로 설정하는 후보 지역 설정부; 및

상기 착륙 후보 지역으로 멀티로터를 이동시키는 제어 신호를 생성하는 멀티로터 이동부를 포함하되,

상기 거리 변환 수행부는 상기 경계선 이미지 중 특정 픽셀과 상기 특정 픽셀과 가장 가까운 영이 아닌 픽셀간의 유클리드 거리를 계산하여 픽셀의 거리를 표현하는 거리 행렬을 생성하며,

상기 후보 지역 설정부는 상기 거리 행렬의 성분 중 가장 크기가 큰 성분에 상응하는 픽셀의 좌표를 상기 멀티로터의 착륙 후보 지역의 좌표로 설정하고, 상기 거리 행렬의 성분 중 가장 크기가 큰 성분을 상기 멀티로터의 착륙 후보 지역의 반지름으로 설정하는 것을 특징으로 하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 장치.

**청구항 13**

제1항 내지 제2항, 제5항 내지 제11항 중 어느 하나의 항에 기재된 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법을 수행하며 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 프로그램을 기록한 기록매체.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 특히 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 일반적으로 항공기는 지표면에 대한 공기의 반작용으로 대기 중에서 지지력을 획득할 수 있는 기체를 의미한다. 항공기 중에서 멀티로터 항공기는 복수의 회전자(rotor)를 이용하여 지지력을 획득하거나 추진력을 얻는 항공기이다.

[0003] 종래 기술인 대한민국등록특허 제10-1042200호에 따르면, PCB를 이용하여 무인 비행체 구조물을 구현한 기술이 개시된다. 즉, 메인보드와 모터를 연결하는 부분을 PCB 프레임으로 형성하여 조립성을 향상시키고 경량화를 구현한 기술이 개시된다.

[0004] 하지만, 종래 기술에 따르면, 미지의 지형에서 착륙하기에 충분할 정도로 평평하고 크기가 큰 장소를 결정하는 방법이 개시되어 있지 않다. 미지의 지형에서 자동 착륙하는 기술은 특정 임무를 수행할 때 연료 또는 에너지가 없어지는 등의 위급한 상황에서 매우 중요한 기술이다. 또한, 경우에 따라서 특정 미션은 무인 항공기가 지정되거나 또는 특정되지 않은 영역에 착륙하도록 요구한다. 따라서 미리 설정된 특정 패턴 및/또는 특징을 이용하지 않고 착륙을 유도하는 방법을 개발할 필요성이 대두된다.

[0005] 전술한 배경기술은 발명자가 본 발명의 도출을 위해 보유하고 있었거나, 본 발명의 도출 과정에서 습득한 기술 정보로서, 반드시 본 발명의 출원 전에 일반 공중에게 공개된 공지기술이라 할 수는 없다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 발명은 사전에 정보가 주어지지 않은 상태에서 지형을 분석하여 멀티로터를 착륙시키는 장소를 효과적으로 결정하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법 및 그 장치를 제공한다.

[0007] 본 발명이 제시하는 이외의 기술적 과제들은 하기의 설명을 통해 쉽게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 본 발명의 일 측면에 따르면, 착륙 위치 결정 장치가 멀티로터의 착륙 위치를 결정하는 방법에 있어서, 스테레오 비전을 이용하여 지형을 촬영하고 깊이 지도 이미지를 생성하는 단계; 상기 생성된 깊이 지도 이미지에서 경계선을 추출하여 경계선 이미지를 생성하는 단계; 상기 경계선 이미지의 경계선에 대해 거리 변환을 수행하는 단계; 상기 거리 변환의 결과를 이용하여 도출된 내접원 중 가장 큰 반지름을 가지는 내접원의 원 중심을 착륙 후보 지역으로 설정하는 단계; 및 상기 착륙 후보 지역으로 멀티로터를 이동시키는 제어 신호를 생성하는 단계를 포함하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법이 제공된다.

[0009] 여기서, 상기 경계선 이미지 생성 단계는, 상기 깊이 지도 이미지에서 영이 아닌 픽셀 성분을 경계선으로 표현하는 바이너리 이미지로 상기 경계선 이미지를 생성하는 캐니 기법(Canny method)을 사용할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 거리 변환 수행 단계는, 상기 경계선 이미지 중 특정 픽셀과 상기 특정 픽셀과 가장 가까운 영이 아닌 픽셀간의 유클리드 거리를 계산하여 픽셀의 거리를 표현하는 거리 행렬을 생성할 수 있다.

[0011] 또한, 본 실시예는 상기 거리 행렬의 성분 중 가장 크기가 큰 성분에 상응하는 픽셀의 좌표를 상기 멀티로터의 착륙 후보 지역의 좌표로 설정하고, 상기 거리 행렬의 성분 중 가장 크기가 큰 성분을 상기 멀티로터의 착륙 후보 지역의 반지름으로 설정할 수 있다.

[0012] 여기서, 상기 깊이 지도 이미지에서 각 픽셀의 깊이(depth)는 다음과 같은 식으로 산출될 수 있다.

$$z = \frac{fb}{u_L - u_R}$$

[0014] 여기서, z는 깊이,  $u_L - u_R$  은 스테레오 비전에서 좌측 및 우측 이미지 평면의 특정 점의 x축 성분간 간격, f는 초점 거리, b는 베이스 라인이다.

[0015] 또한, 본 실시예는 산출된 간격 중 마지막 간격에 상응하는 장소는 배제하고 상기 착륙 후보 지역의 좌표를 설정할 수 있다.

[0016] 여기서, 크기가 미리 설정된 반지름 임계치보다 작은 상기 거리 행렬의 성분은 상기 착륙 후보 지역의 좌표에서 배제될 수 있으며, 상기 미리 설정된 반지름 임계치는 상기 멀티로터의 무게중심으로부터 로터 축까지의 거리가 될 수 있다.

[0017] 여기서, 상기 착륙 후보 지역의 좌표를 중심으로 상기 착륙 후보 지역의 반지름 영역 내에 있는 상기 거리 행렬의 성분에 상응하는 좌표는 상기 착륙 후보 지역의 좌표에서 배제될 수 있다.

[0018] 또한, 본 실시예는 상기 거리 변환의 결과를 이용하여 상기 멀티로터의 착륙 후보 지역이 아닌 좌표는 비추천 지역의 좌표로 설정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019] 여기서, 상기 경계선 이미지 생성 단계는, 상기 비추천 지역을 제외한 지형에 대한 깊이 지도 이미지에서 경계선을 추출하여 경계선 이미지를 생성할 수 있다.

[0020] 또한, 본 발명의 다른 측면에 따르면, 멀티로터의 착륙 위치를 결정하는 착륙 위치 결정 장치에 있어서, 스테레오 비전을 이용하여 지형을 촬영하고 깊이 지도 이미지를 생성하는 깊이 지도 생성부; 상기 생성된 깊이 지도 이미지에서 경계선을 추출하여 경계선 이미지를 생성하는 경계선 이미지 생성부; 상기 경계선 이미지의 경계선에 대해 거리 변환을 수행하는 거리 변환 수행부; 상기 거리 변환의 결과를 이용하여 도출된 내접원 중 가장 큰 반지름을 가지는 내접원의 원 중심을 착륙 후보 지역으로 설정하는 후보 지역 설정부; 및 상기 착륙 후보 지역으로 멀티로터를 이동시키는 제어 신호를 생성하는 멀티로터 이동부를 포함하는 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 장치가 제공된다.

[0021] 또한, 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 상술한 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법을 수행하며 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 프로그램을 기록한 기록매체가 제공된다.

[0022] 전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점이 이하의 도면, 특허청구범위 및 발명의 상세한 설명으로부터 명확해질

것이다.

**발명의 효과**

[0023] 본 발명에 따른 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법 및 그 장치는 사전에 정보가 주어지지 않은 상태에서 지형을 분석하여 멀티로터를 착륙시키는 장소를 효과적으로 결정할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0024] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 장치의 블록 구성도.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 멀티로터의 구조를 도시한 도면.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 멀티로터의 스테레오 비전 구조를 도시한 도면.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 실제 지형의 단면과 깊이 지도를 비교하여 도시한 도면.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 간격과 깊이와의 관계를 수치로 나타낸 도면.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 멀티로터에서 획득한 실제 지형 정보와 깊이 지도를 비교한 도면.
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법의 흐름을 지도로 나타낸 도면.
- 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법의 흐름도.
- 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법을 수행하는 알고리즘을 도시한 도면.
- 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 멀티로터의 궤적을 시뮬레이션한 도면.
- 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 멀티로터 각도의 시간 궤적을 도시한 도면.
- 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 멀티로터 제어 입력의 이력을 도시한 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0025] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0026] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0027] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0028] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...모듈", "...수단" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0029] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인

인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0030] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 장치의 블록 구성도이다. 도 1을 참조하면, 착륙 위치 결정 장치(100)는 깊이 지도 생성부(110), 경계선 이미지 생성부(120), 거리 변환 수평부(130), 후보 지역 설정부(140), 멀티로터 이동부(150), 저장부(160), 제어 유닛(170)을 포함할 수 있다.

[0031] 본 발명은 미지의 지형에서도 멀티로터가 안전한 착륙 위치를 결정할 수 있는 방법을 제시한다. 구체적으로, 본 발명에 따른 멀티로터는 지형 정보를 분석하여 크기가 충분하고 기울기도 완만한 공간을 찾아서 착륙하는 특징이 있다.

[0032] 본 발명은 항공기에 추진력을 제공하는 구동부와 프로펠러를 포함하는 로터의 수가 복수인 멀티로터에 관한 발명이지만, 이하에서는 설명의 편의상 구체적인 장치를 설명하는 경우 로터의 수가 4개인 쿼드로터의 구성요소, 기능 및 작동원리를 중심으로 설명한다.

[0033] 도 2를 참조하면, 쿼드로터는 수직 이륙 및 착륙이 가능한 무인 항공기의 일종이다. 쿼드로터는 양단에 하나의 로터를 포함하여 모두 네 개의 로터를 가진 두 개의 로드가 서로 교차되는 구조로 형성된다. 로터 1과 3은 시계 방향으로, 로터 2와 4는 반시계방향으로 회전하도록 구성될 수 있다. 이 구조는 복잡하지 않음에도 불구하고, 매우 비선형인 저 구동 시스템(under-actuated system)이다. 따라서 이 구조에 관한 유도 및 제어 시스템을 구현하는 것은 쉽지 않다. 최근에, 스테레오 비전이 지상 및 항공 로봇 시스템의 자동 제어에 폭넓게 적용되고 있다.

[0034] 본 발명의 실시예에 따른 쿼드로터는 구동기(actuator)의 비선형성을 고려하여 뉴턴-오일러 방정식을 이용하여 모델링되었다. 또한, 모델링 및 제어 디자인 과정에서 근사치를 갖지 않도록 궤환 선형화가 사용되었다. 본 실시예에 따른 시스템은 자세와 위치 서브 시스템으로 구분될 수 있으며, 선형 최적 제어기법(linear quadratic tracker)이 컨트롤러 제작시 적용되었다. 여기서, 위치 서브 시스템은 후술할 착륙 위치 결정 장치가 될 수 있다.

[0035] 쿼드로터 시스템 모델링에서, 동체 좌표계에서 표현된 외력을 포함하여 강제 동역학을 기술하기 위해 뉴턴-오일러 방정식이 사용되었다. 동체 좌표계와 관성 좌표계 사이의 관계를 이용하여, 쿼드로터의 이동 및 회전 동역학을 기술하면 다음과 같다.

$$\ddot{\xi} = -\frac{1}{m} R_t^{B \rightarrow I} K_t (R_t^{B \rightarrow I})^{-1} \dot{\xi} - G + \frac{1}{m} R_t^{B \rightarrow I} F \quad (1)$$

$$\ddot{\phi} = -(R_t^{I \rightarrow B})^{-1} J^{-1} K_r R_t^{I \rightarrow B} \dot{\phi} - (R_t^{I \rightarrow B})^{-1} J^{-1} (R_t^{I \rightarrow B} \dot{\phi}) \times (J R_t^{I \rightarrow B} \dot{\phi}) \quad (2)$$

$$- (R_t^{I \rightarrow B})^{-1} \left( \frac{\partial R_t^{I \rightarrow B}}{\partial \theta} \dot{\theta} + \frac{\partial R_t^{I \rightarrow B}}{\partial \psi} \dot{\psi} \right) \dot{\phi}$$

$$- (R_t^{I \rightarrow B})^{-1} J^{-1} \sum_{i=1}^4 J_r \left( (R_t^{I \rightarrow B} \dot{\phi}) \times \hat{e}_3 \right) (-1)^{i+1} w_i + (R_t^{I \rightarrow B})^{-1} J^{-1} T$$

[0040] 여기서,  $\xi \triangleq [x \ y \ z]^T$  와  $\phi \triangleq [\phi \ \theta \ \psi]^T$  는 각각 관성 좌표계에서 표현된 쿼드로터의 위치 벡터와 자세각 벡터이다.  $V \triangleq [u \ v \ w]^T$  와  $\Omega \triangleq [p \ q \ r]^T$  는 각각 동체 좌표계에서 쿼드로터의 이동 속도 벡터와 회전 속도 벡터이다.

[0041] 또한,  $m$ 과  $J = \text{diag}[J_x, J_y, J_z]$  는 각각 쿼드로터의 질량과 전체 관성 행렬이며,  $R_t^{B \rightarrow I}$  과  $R_t^{I \rightarrow B}$  은 각각 변환 행렬과 회전 속도 행렬이다.  $G$ 는 중력 가속도 벡터이며,  $K_t$  과  $K_r$  은 각각 힘과 토크의 공력 마찰 행렬(aerodynamic friction matrices)이다. 추력(F)과 토크(T)는 쿼드로터의 로터 시스템에 의해 생성되며,  $J_r$  은

로터 관성,  $\hat{e}_3 = [0 \ 0 \ 1]^T$ ,  $w_i$  는  $i \in \{1, 2, 3, 4\}$  를 가지는 로터의 각속도이다.

[0042] 다음과 같은 구동기 동역학을 모델링하기 위하여 BLDC(Brushless Direct Current)가 선택된다.

$$\dot{w}_i = -\frac{k_m k_e}{J_m R_m} w_i - \frac{k_d}{J_m} w_i^2 + \frac{k_m}{J_m R_m} V_g \text{sat}_{\delta_2} (dz_{\delta_1}(\delta_i))$$

[0043] (3)

[0044] 여기서,  $V_g \delta$  는  $\delta \in [0, 1]$  를 가지는 터미널 PWM 전압이고,  $R_m$  은 저항,  $k_m$ ,  $k_d$  및  $k_e$  는 각각 모터 토크 상수, 로드 토크 상수, 역기전력 상수이며,  $J_m$  은 모터의 관성이다.

[0045] 입력 신호  $\delta$  가 보다 실용적이고 실현가능하도록 포화(saturation)와 데드존(deadzone)이 고려되었으며, 이들은 가장 일반적인 구동기의 비선형 특징들로서, 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{sat}_{\bar{u}}(u) \begin{cases} \text{sgn}(u)\bar{u} & \text{if } |u| > \bar{u} \\ u & \text{if } |u| \leq \bar{u} \end{cases}$$

[0046] (4)

$$dz_{\bar{u}}(u) = u - \text{sat}_{\bar{u}}(u)$$

[0047]

[0048] 쿼드로터의 동역학은 매우 비선형적이다. 본 발명에서는, 컨트롤러 제작시 궤환 선형화가 사용된다. 궤환 선형화는 비선형인 초기 시스템을 등가 선형 시스템으로 변환하는 기법이다. 이 기법은 상태 변수와 제어 입력값을 적절하게 변화시킴으로써 수행된다. 이 기법은 초기 동역학의 근사치를 이용하지 않기 때문에, 야코비안(Jacobian)을 이용한 종래의 비선형 시스템의 선형화 기법과는 다른 기법이다.

[0049] 쿼드로터는 네 개의 입력값  $[w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4]^T$  으로 제어되는 6개 상태  $[x \ y \ z \ \phi \ \theta \ \psi]^T$  를 가지기 때문에 저 구동 시스템(under-actuated system)이다. 따라서 두 상태는 가상 입력값으로 선택되며, 이러한 방법은 본 실시예의 쿼드로터를 완전 구동 시스템(fully-actuated system)으로 만든다. 본 실시예에서는,  $[\phi \ \theta]^T$  가 가상 입력으로 선택되며,  $[x \ y \ z \ \psi]^T$  는 제어되는 상태들이다.

[0050] 전체 제어 시스템은 자세 제어 서브 시스템과 위치 제어 서브 시스템을 포함할 수 있다. 자세 제어 서브 시스템은 세 개의 입력값 T와 세 개의 출력값  $[\phi \ \theta \ \psi]^T$  이 있어서, 완전 구동 시스템이다. 위치 제어 서브 시스템은 하나의 제어 입력값  $F_3$  과 세 개의 출력값  $[x \ y \ z]^T$  이 있어서, 저 구동 시스템이다. 이 문제를 해결하기 위하여, 가상 입력 벡터  $[\phi \ \theta]^T$  가 도입된다. 가상 입력값을 제어 입력에 추가함으로써 세 개의 입력값  $[\phi \ \theta \ F_3]^T$  이 컨트롤러를 제작하는데 사용되었으며, 이러한 방법은 위치 제어 서브 시스템을 완전 구동 시스템으로 만든다.

[0051] 쿼드로터 동역학이 궤환 선형화에 의하여 선형 시스템으로 변환되면, 선형 컨트롤러를 본 발명에 이용할 수 있다. 본 발명은 선형 시스템에 관한 컨트롤러를 제작하기 위해 선형 최적 제어기법(linear quadratic tracker)을 이용하였다.

[0052] 착륙 위치 결정을 위해 깊이 지도가 이용되었으며, 이는 스테레오 비전으로부터 획득되었다. 깊이 지도의 에지(edge), 즉, 경계선은 캐니 기법(Canny method)을 이용하여 추출하였다. 이후 거리 변환을 이용하여 착륙에 가장 적합한 위치를 찾았다. 쿼드로터의 착륙 위치 적합성을 결정하는데 해당 영역의 기울기와 크기가 핵심 요소로 이용되었다.

[0053] 깊이 지도 생성부(110)는 스테레오 비전을 이용하여 지형을 촬영하고 깊이 지도의 이미지를 생성한다. 단안용 카메라와 달리, 스테레오 비전은 깊이 지도를 계산할 수 있다. 깊이 지도는 픽셀이 바라보는 관점으로부터 대상 물체까지의 거리 정보를 가지는 이미지이다. 하나의 카메라를 사용하는 경우, 3차원 공간상의 물체가 2차원 이미지 평면상에 투사되어 투사 방향에 따른 거리 정보가 없어지지만, 두 개의 카메라를 사용하는 경우에는 거리 정보가 기록될 수 있다.

[0054] 도 3을 참조하면, 스테레오 비전 구조가 도시된다.  $b$ 는 베이스 라인이고,  $f$ 는 초점 거리,  $P_{obj}$ 는 대상 물체의 위치이다. 또한,  $(u_L, v_L)$ 와  $(u_R, v_R)$ 는 각각 다음과 같이 획득되는 좌측 및 우측 이미지 평면에서의 점들이다.

$$[0055] \begin{bmatrix} u_L \\ v_L \end{bmatrix} = \frac{f}{z} \begin{bmatrix} x - (-b/2) \\ y \end{bmatrix} = \frac{f}{z} \begin{bmatrix} x + b/2 \\ y \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[0056] \begin{bmatrix} u_R \\ v_R \end{bmatrix} = \frac{f}{z} \begin{bmatrix} x - b/2 \\ y \end{bmatrix}$$

[0057] 방정식 (5)를 이용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$[0058] z = \frac{fb}{u_L - u_R} \quad (6)$$

[0059] 여기서,  $u_L - u_R$ 와  $z$ 는 각각 간격(disparity)과 깊이(depth)이다. 방정식 (6)에 따르면, 깊이는 카메라의 초점 거리, 카메라의 베이스 라인 및 물체의 간격을 이용하여 얻을 수 있다.

[0060] 간격은 픽셀의 실제 크기와 대상 물체의 좌측 이미지 및 우측 이미지 사이의 거리를 곱하여 산출된다. 여기서, 이미지 간의 거리는 자연수가 되어, 도 4에 도시된 바와 같이 본 실시예에 따른 깊이 지도( $b$ )는 실제 지형에 관해 완전한 정보( $a$ )를 주지는 않는다. 도 4의 점선은 특정 깊이를 나타내며, 실제 값들은 이러한 선들로 합쳐져 표현된다.

[0061] 도 5를 참조하면, 초점 거리가 0.01 m, 베이스 라인이 0.2 m, 픽셀 크기가  $2.75 \times 10^{-5}$  m인 간격(disparity)에 따른 깊이(depth)를 도시된다. 도 5를 참조하면, 실제 지형과, 계산된 깊이를 이용하여 카메라로부터 획득한 깊이 지도 이미지가 도시된다. 이미지가 어두울수록 해당 영역이 쿼드로터에 근접하여 깊이가 작음을 나타낸다.

[0062] 여기서, 간격이 작을 때 깊이 간의 차이가 크다. 하지만, 간격이 커질수록 그 차이는 작아진다. 이미지의 밝은 부분에서는 경계선 간의 거리 차이가 상대적으로 크다. 반면에, 이미지의 어두운 부분에서는 경계선 간의 거리 차이가 상대적으로 작다. 본 실시예에 따른 쿼드로터는 이러한 깊이 정보의 특성을 이용하여 자동으로 착륙할 수 있다. 쿼드로터의 고도가 큰 경우에는, 깊이 지도로부터 불충분하고 부정확한 정보가 얻어진다. 하지만, 쿼드로터의 고도가 작아지는 경우, 깊이 지도의 정확성은 올라간다. 따라서 특정 위치가 착륙하기 좋은지 여부를 결정하기에 충분한 정보가 획득될 때까지 쿼드로터는 하강할 필요가 있다.

[0063] 도 6을 참조하면, 카메라로 촬영된 실제 지형 이미지(좌측)와 이에 상응하는 깊이 지도(우측)가 도시된다. 쿼드로터가 착륙하기에 적절한 장소는 해당 장소의 기울기와 크기라는 두 가지 조건을 고려하여 결정될 수 있다. 기울기는 쿼드로터가 미끄러지지 않을 정도로 완만할 필요가 있으며, 착륙 장소는 쿼드로터가 착륙하기에 충분히 커야 한다. 획득한 깊이 지도만을 이용하여, 쿼드로터는 상기 두 가지 조건을 가장 충분히 만족하는 장소를 선택할 수 있다.

[0064] 편평도는 같은 깊이를 가지는 영역을 검색하여 결정할 수 있다. 상술한 바와 같이 깊이 정보가 같다고 해서 실제 지형에서 정확히 같은 고도를 가진다고 보장할 수는 없다. 하지만, 이러한 기법은 제한된 정보를 이용하여 편평도를 판단하는 가장 적합한 방법이 될 수 있다. 장소의 크기는 같은 깊이 정보를 가지는 이미지의 모든 부분에서 내접원을 그린 후 반지름이 가장 큰 영역을 선택하여 결정할 수 있다.

[0065] 경계선 이미지 생성부(120)는 생성된 깊이 지도 이미지에서 경계선을 추출하여 경계선 이미지를 생성한다. 본

실시예에서는 깊이 지도로부터 에지, 즉, 경계선을 추출하기 위해서 캐니 기법(Canny method)을 이용할 수 있다. 캐니 기법은 신호대 잡음비, 구역화(localization), 낮은 오류율(low false positives)과 같은 세가지 범주를 최적화하기 위하여 선형이면서 연속적인 모델을 기반으로 하는 미분 추정 필터(derivative estimation filter)를 사용할 수 있다. 캐니 기법은 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에게는 자명하게 구현할 수 있는 기술이므로, 이에 대한 자세한 설명은 생략한다.

[0066] 캐니 기법에 의하면, 깊이 지도 이미지에서 영이 아닌 픽셀 성분을 경계선으로 표현하는 바이너리 이미지로 경계선 이미지를 생성할 수 있다. 즉, 캐니 에지 감지가 수행된 후, 이미지는 영이 아닌 픽셀 성분이 에지를 표현하는 바이너리 이미지가 될 수 있다.

[0067] 거리 변환 수행부(130)는 경계선 이미지의 경계선에 대해 거리 변환을 수행한다. 또한, 후보 지역 설정부(140)는 상기 거리 변환의 결과를 이용하여 도출된 내접원 중 가장 큰 반지름을 가지는 내접원의 원 중심을 착륙 후보 지역으로 설정한다.

[0068] 내접원을 추출하기 위해서 거리 변환 기법이 사용될 수 있다. 각 픽셀에 대해서, 거리 변환은 바이너리 이미지 of 픽셀과 가장 가까운 영이 아닌 픽셀간의 유클리드 거리에 해당하는 수를 산출한다.

[0069] 유클리드 거리( $\sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2}$ )가 두 점( $(x_1,y_1)$ ,  $(x_2,y_2)$ ) 사이의 거리 계산에 사용된다. 예를 들면, 하기 (7)과 같은 바이너리 이미지를 대상으로 유클리드 거리 변환을 계산하면, (8)과 같은 거리 행렬이 제시된다.

$$bi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$bi = \begin{bmatrix} \sqrt{10} & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & 1 \\ \sqrt{5} & 2 & 1 & 0 & 0 \\ \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & 3 \end{bmatrix} \tag{8}$$

[0072] 가장 큰 수를 가지는 픽셀 위치가 가장 큰 내접원의 중심이 되고, 그 수는 그 내접원의 반지름이 된다. 자동 착륙을 위해서는 반지름이 가장 큰 내접원이 선택될 수 있다. 하지만, 착륙에 적합한 장소를 찾을 수 없는 경우를 위해서 다른 가능한 장소의 위치도 저장될 수 있다. 많은 내접원들이 거리 변환으로부터 얻어질 수 있다. 모든 내접원 정보를 저장할 필요는 없으므로, 다음과 같은 절차가 필요하다.

[0073] 먼저, 산출된 간격 중 마지막 간격( $D_n$ )을 가지는 장소는 제거될 수 있다. 왜냐하면,  $D_n$ 은 높이에 대한 부정확한 정보를 포함할 수 있기 때문이다. 예를 들면, 도 5에서  $D_{31}$ 은 2.32 m 보다 작은 거리에 있는 모든 장소를 포함한다. 또한, 반지름이 착륙하기에 충분히 크지 않은 원들도 제거될 수 있다. 예를 들면, 원들의 반지름은 미리 설정된 반지름 임계치보다 작은 경우 해당 원들은 제거될 수 있다. 여기서, 반지름 임계치는 쿼드로터의 무게중심으로부터 로터 축까지의 거리로 설정될 수 있다. 또한, 만약 특정 위치에서 최대의 내접원이 있다면, 중첩되는 정보가 저장되지 않도록 상기 최대의 내접원의 중심이 아닌 해당 영역, 즉, 내접원 내부에 위치한 점들은 제거되어, 착륙 후보 지역으로 설정되지 않을 수 있다.

[0074] 이러한 과정을 수행한 후 저장되는 정보는 다음과 같이 착륙을 위한 착륙 후보 지역으로서 저장될 수 있다.

$$Candidates = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & radius_1 & depth_1 \\ x_2 & y_2 & radius_2 & depth_2 \\ & & \vdots & \end{bmatrix} \quad (9)$$

[0075] 여기서,  $x_i$ ,  $y_i$ 는  $i$ 번째 내접원의 중심 좌표이며,  $radius$ 와  $depth$ 는 각각 반지름과 깊이이다.

[0077] 만약, 위와 같은 과정을 수행하여도 착륙 후보 지역으로서 적당한 장소가 발견되지 않는 경우에는, 현재 이미지를 부적합한 장소로 간주하여 해당 장소를 비추천 지역으로 저장할 수 있다. 이 경우 퀴드로터는 현재 장소에서 착륙 지점을 찾을 수 없기 때문에, 이전에 저장된 착륙 후보 지역이 착륙 목적 지점으로 선택될 수 있다. 비추천 지역의 좌표는 다양한 방식으로 저장될 수 있으며, 예를 들면, 다음과 같은 좌표로 저장될 수 있다. 여기서, 비추천 지역의 좌표는 특정 영역을 나타낼 수 있으며, 이 경우 왼쪽 위(upper left)와 오른쪽 아래(lower right)의 좌표를 지정하여 해당 영역을 나타낼 수 있다.

$$AntiCandidates = \begin{bmatrix} x_{1\_upperleft} & y_{1\_upperleft} & x_{1\_lowerright} & y_{1\_lowerright} \\ x_{2\_upperleft} & y_{2\_upperleft} & x_{2\_lowerright} & y_{2\_lowerright} \\ & & \vdots & \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0078] 만약, 현재 이미지 평면과 비추천 지역의 영역이 서로 겹치는 경우, 해당 영역은 착륙 후보 지역에서 배제될 수 있다. 이러한 과정은 상술한 위치 결정 방법의 실행전에 수행될 수 있다. 상술한 과정을 순서대로 설명하면 다음과 같다.

- [0080] (1) 깊이 지도를 획득한다.
- [0081] (2) 비추천 지역의 영역은 검색에서 배제한다.
- [0082] (3) 소정의 방법, 예를 들면, 캐니 방법으로 에지를 추출한다.
- [0083] (4) 거리 변환을 수행한다.
- [0084] (5) 내접원을 얻는다.
- [0085] (6) 마지막 간격을 이용한 내접원이거나, 반지름이 임계치 이하인 내접원이거나, 미리 설정된 영역 내에 중심을 둔 내접원은 착륙 후보 지역에서 제외한다.
- [0086] (7) (6)의 과정을 수행한 후에도 유효한 내접원이 있는 경우에는, 가장 큰 내접원을 주요 목적지로 설정하고 해당 내접원의 정보를 착륙 후보 지역에 추가한다. 하지만, (6)의 과정을 수행한 결과 유효한 내접원이 없는 경우에는, 현재 영역을 비추천 지역으로 추가하고, 미리 저장된 착륙 후보 지역을 주요 목적지로 설정한다.

[0087] 도 7을 참조하면, 실제 지형 이미지(a), 깊이 지도 이미지(b), 경계선 이미지(c), 거리 변환 결과(d) 및 가장 큰 내접원을 포함한 이미지(e)가 도시된다.

[0088] 멀티로터 이동부(150)는 착륙 후보 지역으로 멀티로터를 이동시키는 제어 신호를 생성한다. 여기서, 제어 신호는 멀티로터의 수평 이동, 수직 이동 및 회전 운동을 제어하여 최종 착륙 지역으로 멀티로터를 이동시켜서 착륙하게 하는 신호가 될 수 있다.

[0089] 착륙 후보 지역이 복수인 경우, 멀티로터 이동부(150)는 멀티로터를 현재 위치와 가장 근접한 지역으로 이동시키거나 또는 반지름이 가장 큰 지역으로 이동시킬 수 있다.

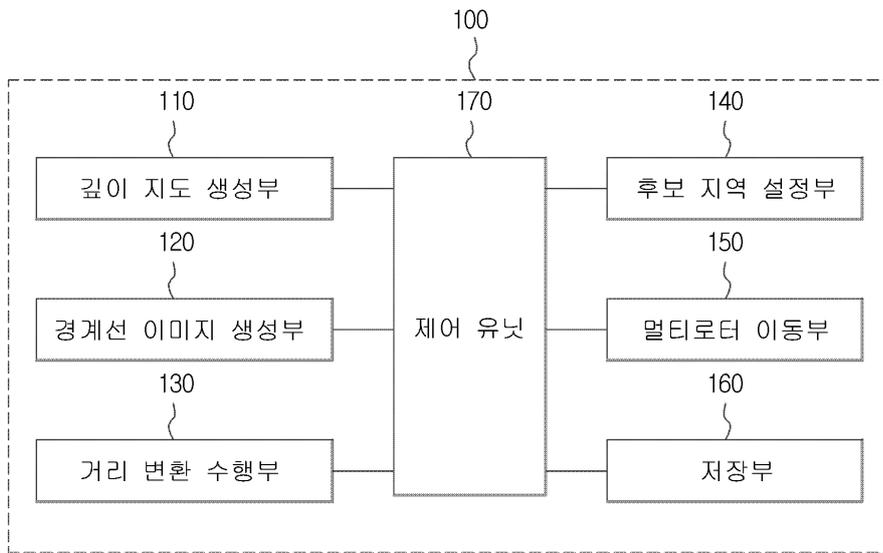
[0090] 저장부(160)는 상술한 착륙 후보 지역, 비추천 지역 등의 데이터를 저장할 수 있다. 제어 유닛(170)은 상술한 깊이 지도 생성부(110), 경계선 이미지 생성부(120), 거리 변환 수행부(130), 후보 지역 설정부(140), 멀티로터 이동부(150), 저장부(160)가 서로 연동하면서 자신의 고유한 기능을 수행하도록 각 기능부를 제어한다.

- [0091] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 깊이 지도를 이용한 멀티로터의 착륙 위치 결정 방법의 흐름도이다. 이하에서 서술할 각 단계는 상술한 착륙 위치 결정 장치(100)가 주체가 되어 수행할 수 있다. 각 단계별로 기술되는 과정은 반드시 시계열적인 순서대로 수행될 필요는 없으며, 각 단계의 수행 순서가 바뀌어도 본 발명의 요지를 충족한다면 이러한 과정은 본 발명의 권리범위에 속할 수 있음은 물론이다.
- [0092] 단계 S810에서, 깊이 지도 생성부(110)는 스테레오 비전을 이용하여 미지의 지형을 촬영하고 깊이 지도의 이미지를 생성한다.
- [0093] 단계 S820에서, 상술한 바와 같이 비추천 지역으로 미리 저장된 영역은 제외하고, 단계 S830에서, 깊이 지도에 대해서 경계선 이미지를 생성하고 거리 변환을 수행한 후 착륙 후보 지역을 검색한다.
- [0094] 단계 S840에서, 검색한 지역에서 착륙 후보 지역이 존재하는지 판단하여 착륙 후보 지역이 존재하는 경우, 단계 S850에서, 해당 지역을 최적의 장소로 선택하여 착륙 후보 지역으로 저장부(160)에 저장한다.
- [0095] 단계 S860에서, 착륙 후보 지역 설정을 종료할지 여부를 판단한다. 후술할 바와 같이 특정 변수, 예를 들면, isFinalLanding이 true인 경우 착륙 위치 결정 과정을 종료한다.
- [0096] 단계 S870에서, 멀티로터 이동부(150)는 착륙 후보 지역으로 멀티로터를 이동시키는 제어 신호를 생성하고, 멀티로터는 해당 제어 신호에 따라 최종 착륙 위치로 비행하여 착륙할 수 있다.
- [0097] 만약, 검색한 지역에서 착륙 후보 지역이 존재하는지 판단하여 착륙 후보 지역이 존재하지 않는 경우, 단계 S880에서, 현재 지역을 비추천 지역으로 설정할 수 있다.
- [0098] 또한, 현재 지역을 비추천 지역으로 설정하거나 또는 착륙 후보 지역 설정을 종료하지 않는 경우, 단계 S890에서, 미리 설정된 방식으로 멀티로터를 이동시켜서 다시 해당 지형을 촬영하여 깊이 지도를 생성하도록 한다.
- [0099] 여기서, 멀티로터가 이동될 미리 설정된 방식은 도 9와 같이 수행될 수 있다. 이하에서는 방식을 구현하기 위한 구체적인 알고리즘을 기준으로 설명한다. 먼저, 특정 변수, 예를 들면, isFinalLanding이 참인 경우, 쿼드로터는 고도를 낮추면서 선택된 착륙 장소(finalspot)로 향한다. 하지만, isFinalLanding이 거짓인 경우 적합한 착륙 장소가 발견될 때까지 위치 결정 방법이 수행된다. 상술한 바와 같이, 마지막 간격을 이용한 내접원이거나, 반지름이 임계치 이하인 내접원이거나, 미리 설정된 영역 내에 중심을 둔 내접원은 착륙 후보 지역에서 제외한 후, 유효한 내접원이 존재하는지 여부에 따라 두 가지의 다른 단계가 수행될 수 있다. 만약 해당하는 유효한 내접원이 있는 경우, 쿼드로터는 고도는 낮추면서 가장 큰 원의 중심으로 이동한다. 하지만, 해당하는 원이 없는 경우, 착륙 후보 지역이 있는지 여부에 따라 다시 두 경우로 나뉜다. 만약, 착륙 후보 지역이 없는 경우, 쿼드로터는 착륙할 수 없고 다른 착륙 위치를 찾기 위해서 고도를 높인다. 하지만, 착륙 후보 지역이 있는 경우에는, 쿼드로터는 해당 착륙 후보 지역으로 이동한다. 이 경우 z 성분은 충돌 가능한 장애물을 피하기 위하여 증가할 필요가 있다. 여기서, upgain과 downgain은 시스템 구현시 특정되는 임의의 상수가 될 수 있다.
- [0100] 여기서, isFinalLanding은 초기에 false로 설정된다. 만약 isFinalLanding이 true인 경우에는 쿼드로터는 착륙 위치 결정을 종료하고 해당 장소로 즉시 착륙한다. 간격이  $D_{n-1}$ 이 되도록 고도가 충분히 낮게 될 필요가 있다.  $D_n$ 은 상술한 바와 같이 배제될 필요가 있으며,  $D_{n-1}$ 은 쿼드로터가 미끄러지지 않고 착륙할 수 있을 정도로 착륙 장소의 기울기가 충분히 완만할 필요가 있다.
- [0101] 또한,  $D_{n-1}$ 의 영역은 전체 쿼드로터가 착륙하기에 충분히 커야 한다. 이러한 두 가지 조건이 만족되면, 현재 위치  $[x \ y]^T$ 는  $[x_{finalspot} \ y_{finalspot}]^T$ 로서 저장되며, isFinalLanding는 true로 설정된다.
- [0102] 도 10 내지 도 12를 참조하면, 상술한 스테레오 비전 기반 착륙 위치 결정 방법의 성능을 검증하기 위해 수치 시뮬레이션이 수행되었다. 수치 시뮬레이션을 위해, 해당 영역 중 작은 부분만 평평한 산악 지형이 고려되었다. 쿼드로터의 초기 위치는  $[25 \ 40 \ 30]^T$ 이다. 처음에 쿼드로터는 카메라들이 평평한 지역을 찾을 수 없는 위치에 있다. 도 10은 시뮬레이션 지형과 쿼드로터의 궤적을 도시한다. 도 11과 도 12는 각각 쿼드로터의 자세와 제어 입력(PWM 전압)의 반응 속도를 도시한다. 도 11의 점선은 제어 입력으로부터 온 명령이며, 실선은 실제 반응들이다. 이들 간의 차이는 실제 반응을 물리적으로 실현가능하게 만드는 구동기의 동역학 구조 때문에 발생한다.

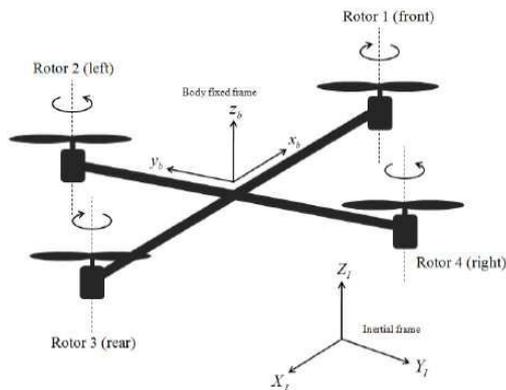


도면

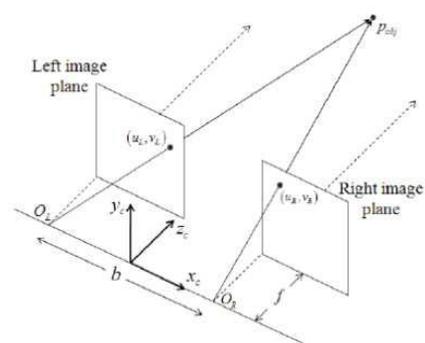
도면1



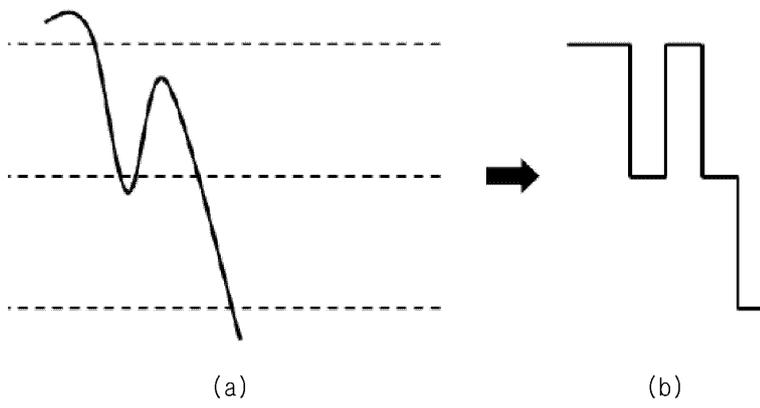
도면2



도면3



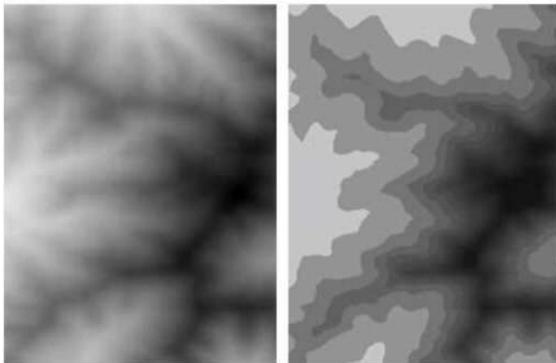
도면4



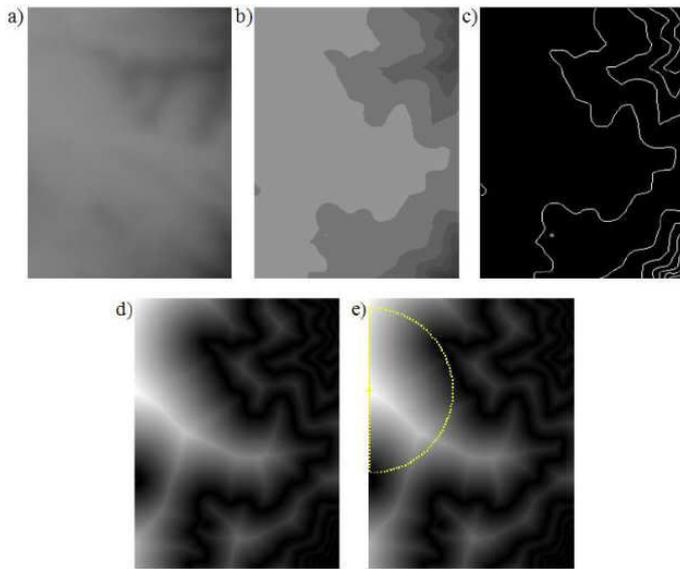
도면5

Disparity	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Depth (m)	71.87	35.94	23.96	17.97	14.37	11.98	10.27	8.98	7.99	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
7.19	6.53	5.99	5.53	5.13	4.79	4.49	4.23	3.99	3.78	3.59
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
3.42	3.27	3.12	3.00	2.87	2.76	2.66	2.57	2.48	2.40	2.32

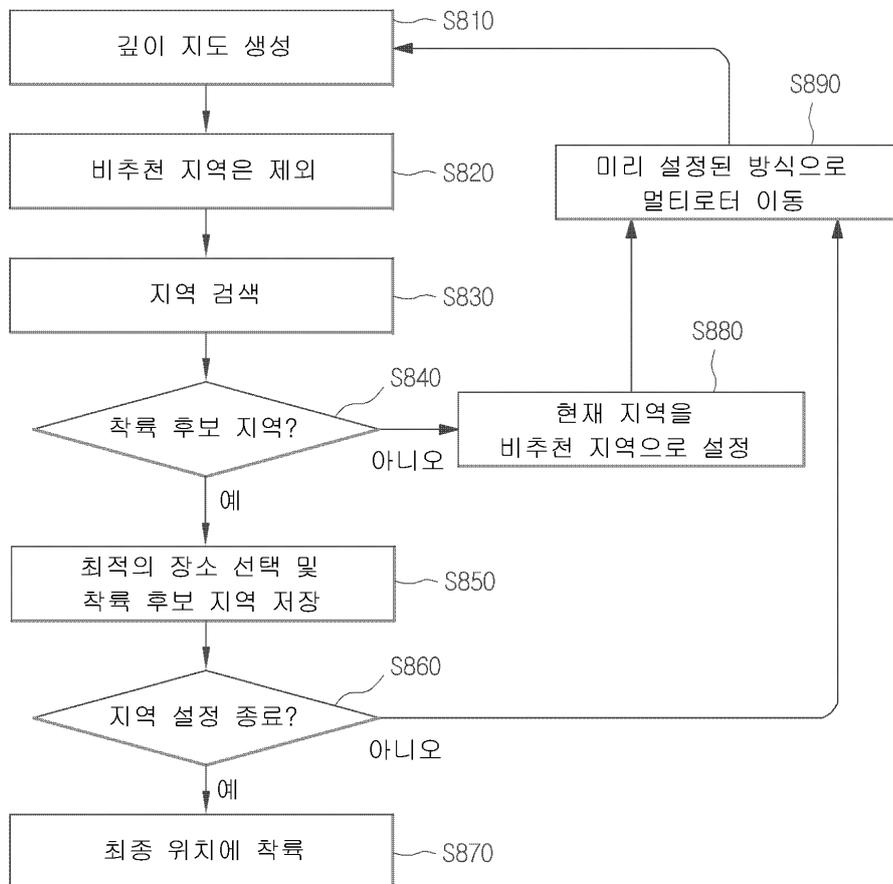
도면6



도면7



도면8

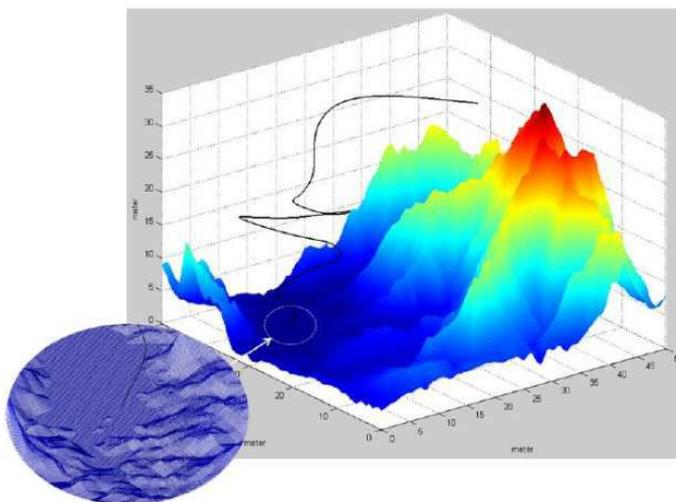


도면9

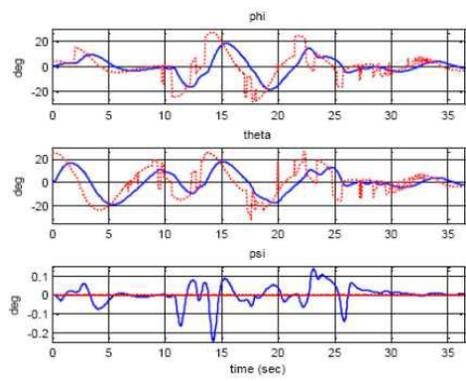
```

Algorithm
    if isFinalLanding == 1
         $x_d = x_{finalspot}$ 
         $y_d = y_{finalspot}$ 
         $z_d = z - downgain$ 
    else
        if there exists any circle after search algorithm
             $x_d = x_{largestcircle}$ 
             $y_d = y_{largestcircle}$ 
             $z_d = z - downgain$ 
        else
            if Candidates is empty
                 $x_d = x$ 
                 $y_d = y$ 
                 $z_d = z + upgain$ 
            else
                 $x_d = x_{Candidates}$ 
                 $y_d = y_{Candidates}$ 
                 $z_d = z + upgain$ 
    
```

도면10



도면11



도면12

