(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년07월28일
(11) 등록번호 10-1642828
(24) 등록일자 2016년07월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B64C 39/02 (2006.01) *G06T 17/05* (2011.01)
(21) 출원번호 10-2014-0063223
(22) 출원일자 2014년05월26일
심사청구일자 2014년05월26일
(65) 공개번호 10-2015-0136209
(43) 공개일자 2015년12월07일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020100066952 A
미국항공우주학회 유도항법제어학술대회 논문집 "Vsion-Based Obstacle Avoidance for UAVs" (2007.08.)
대한전자공학회 논문지 제46권제1호 (pp.23-30, 2009.03.31.)

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

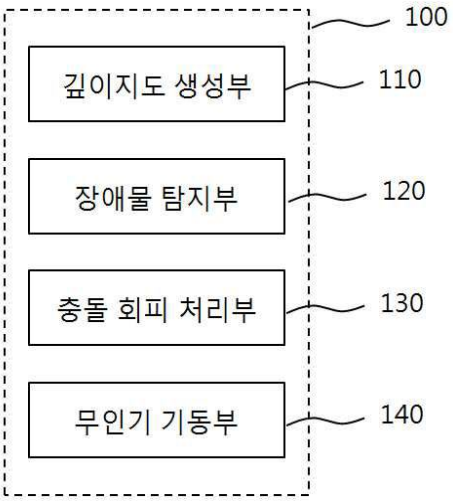
전체 청구항 수 : 총 25 항 심사관 : 신성식

(54) 발명의 명칭 **다중 영상 기반 장애물 회피 시스템 및 방법**

(57) 요 약

다중 영상 기반 장애물 회피 시스템 및 방법이 개시된다. 일 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템은, 동작 모드에 따라 무인기를 기동시키는 무인기 기동부; 상기 무인기에 설치된 다중 카메라에서 촬영한 다중 영상으로부터 깊이 지도(depth map)을 생성하는 깊이 지도 생성부; 상기 깊이 지도를 분석하여 장애물을 탐지하는 장애물 탐지부; 및 상기 장애물 탐지부에서 장애물을 탐지한 경우, 상기 장애물을 회피하도록 조준점(aiming point)을 생성하여 상기 무인기가 목표점을 향해 이동하는 내비게이션 모드에서 상기 조준점을 향하도록 하는 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 충돌 회피 처리부를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



명 세 서

청구범위

청구항 1

동작 모드에 따라 무인기를 기동시키는 무인기 기동부;

상기 무인기에 설치된 다중 카메라에서 촬영한 다중 영상으로부터 깊이 지도(depth map)을 생성하는 깊이 지도 생성부;

상기 깊이 지도를 분석하여 장애물을 탐지하는 장애물 탐지부; 및

상기 장애물 탐지부에서 장애물을 탐지한 경우, 상기 장애물을 회피하도록 조준점(aiming point)을 생성하여 상기 무인기가 목표점을 향해 이동하는 내비게이션 모드에서 상기 조준점을 향하도록 하는 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 충돌 회피 처리부를 포함하되,

상기 장애물 탐지부는 상기 장애물을 상기 장애물 자체를 포함하는 외접구(circumscribed sphere)로 재형상화하고, 상기 외접구의 직경 혹은 반경 중 적어도 하나와 상기 외접구의 중심점을 장애물 정보로 생성하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 장애물 탐지부는 상기 깊이 지도에서 픽셀의 깊이값이 미리 정의된 임계치보다 작을 경우 상기 픽셀의 영역이 상기 장애물인 것으로 간주하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 외접구의 중심점의 x 성분은 최소 깊이와 최대 깊이의 평균이고,

상기 외접구의 중심점의 y 성분 및 z 성분은 이미지 평면 내에서 상기 장애물에 해당하는 전체 픽셀 영역을 커버하는 외접원의 중심점인 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 최소 깊이와 상기 최대 깊이 간의 차이와 상기 외접원의 직경 중 큰 값을 상기 외접구의 직경으로 선택하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 충돌 회피 처리부는 상기 외접구의 직경에 안전 마진(safety margin)을 합산한 충돌 안전 경계(collision safety boundary)를 생성하고, 상기 무인기로부터 상기 충돌 안전 경계까지의 접선 집합에 의해 정의되는 충돌

콘(collision cone)을 생성한 후,

상기 무인기의 속도 벡터가 상기 충돌 콘 내에 위치할 경우 상기 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 충돌 회피 처리부는 상기 충돌 안전 경계와 상기 충돌 콘의 교점 집합 중 상기 속도 벡터에 가장 근접한 거리를 가지는 지점을 상기 조준점으로 선택하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

이전에 생성된 상기 장애물 정보를 모두 저장하는 저장부를 더 포함하되,

상기 장애물 탐지부에서 장애물이 감지되지 않고 상기 저장부에 이전에 저장된 상기 장애물 정보가 존재할 경우,

상기 충돌 회피 처리부는 상기 무인기의 속도 벡터가 상기 장애물 정보로 이루어진 외접구와 상기 무인기에 의해 형성된 충돌 콘 내부 영역을 가리키는 경우 제2 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 충돌 회피 처리부는 상기 무인기의 속도 벡터가 충돌 콘 내부 영역을 가리키는 외접구가 복수인 경우, 하기 수학식에 따라 충돌 회피를 위한 중요 외접구를 선택하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

$$s_{chosen} = \underset{k}{\operatorname{argmin}} \{ \| \xi - \xi_{k,obs} \|_2 - r_{k,safety} \mid k \in \{1, 2, \cdots, n\} \}$$

여기서, $k \in \{1, 2, \cdots, n\}$ 에서 s_k 는 k번째 외접구로 정의하고, $\xi_{k,obs}$는 k번째 외접구의 중심 벡터로 $r_{k,safety}$ 는 k번째 외접구의 반경으로 각각 나타냄.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제2 충돌 회피 모드에서 상기 무인기가 상기 중요 외접구의 외부에 있을 때,

상기 충돌 회피 처리부는 충돌 안전 경계를 상기 중요 외접구로 교체한 후 상기 조준점을 생성하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 제2 충돌 회피 모드에서 상기 무인기가 상기 중요 외접구의 내부에 있을 때,

상기 충돌 회피 처리부는 상기 목표점을 중심으로 하고 중요 외접구의 중심점을 표면 상의 일 지점으로 하는 구를 형상화했을 때, 상기 구의 내부에 상기 무인기가 위치하면 상기 목표점을 향하도록 상기 동작 모드를 상기 내비게이션 모드로 설정하고,

상기 구의 내부에 상기 무인기가 위치하지 않으면 충돌 안전 경계를 상기 중요 외접구로 교체한 후 상기 조준점을 생성하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 12

동작 모드에 따라 무인기를 기동시키는 무인기 기동부;

상기 무인기에 설치된 다중 카메라에서 촬영한 다중 영상으로부터 깊이 지도(depth map)을 생성하는 깊이 지도 생성부;

상기 깊이 지도를 분석하여 장애물을 탐지하는 장애물 탐지부; 및

상기 장애물 탐지부에서 장애물을 탐지한 경우, 상기 장애물을 회피하도록 조준점(aiming point)을 생성하여 상기 무인기가 목표점을 향해 이동하는 내비게이션 모드에서 상기 조준점을 향하도록 하는 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 충돌 회피 처리부를 포함하되,

상기 장애물 탐지부는 상기 다중 영상을 바이너리 영상으로 변환하고 클러스터(cluster)를 생성하되, 오버랩되는 장애물을 하나의 장애물로 취급하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

조준점 후보는 상기 클러스터 주위로 계산되며,

상기 조준점 후보의 일부 지점이 다른 장애물의 충돌 안전 경계에 포함되는 경우 상기 조준점 후보에서 제외되는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 시스템.

청구항 14

동작 모드에 따라 기동되어 목표점을 향해 이동하는 무인기가 장애물과 충돌하는 것을 회피시키는 방법으로서,

(a) 상기 무인기에 설치된 다중 카메라에서 촬영한 다중 영상으로부터 깊이 지도(depth map)을 생성하는 단계;

(b) 상기 깊이 지도를 분석하여 장애물을 탐지하는 단계; 및

(c) 상기 장애물 탐지부에서 장애물을 탐지한 경우, 상기 장애물을 회피하도록 조준점(aiming point)을 생성하여 상기 무인기가 목표점을 향해 이동하는 내비게이션 모드에서 상기 조준점을 향하도록 하는 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 단계를 포함하되,

상기 단계 (b)는 상기 장애물을 상기 장애물 자체를 포함하는 외접구(circumscribed sphere)로 재형상화하고, 상기 외접구의 직경 혹은 반경 중 적어도 하나와 상기 외접구의 중심점을 장애물 정보로 생성하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 단계 (b)는 상기 깊이 지도에서 픽셀의 깊이값이 미리 정의된 임계치보다 작을 경우 상기 픽셀의 영역이 상기 장애물인 것으로 간주하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 16

삭제

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 외접구의 중심점의 x 성분은 최소 깊이와 최대 깊이의 평균이고,

상기 외접구의 중심점의 y 성분 및 z 성분은 이미지 평면 내에서 상기 장애물에 해당하는 전체 픽셀 영역을 커버하는 외접원의 중심점인 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 최소 깊이와 상기 최대 깊이 간의 차이와 상기 외접원의 직경 중 큰 값을 상기 외접구의 직경으로 선택하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 19

제14항에 있어서,

상기 단계 (c)는,

(c1) 상기 외접구의 직경에 안전 마진(safety margin)을 합산한 충돌 안전 경계(collision safety boundary)를 생성하는 단계;

(c2) 상기 무인기로부터 상기 충돌 안전 경계까지의 접선 집합에 의해 정의되는 충돌 콘(collision cone)을 생성하는 단계를 포함하되,

상기 무인기의 속도 벡터가 상기 충돌 콘 내에 위치할 경우 상기 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 충돌 안전 경계와 상기 충돌 콘의 교점 집합 중 상기 속도 벡터에 가장 근접한 거리를 가지는 지점을 상기 조준점으로 선택하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 21

제14항에 있어서,

이전에 생성된 상기 장애물 정보를 저장부에 모두 저장하는 단계를 더 포함하되,

상기 장애물이 감지되지 않고 상기 저장부에 이전에 저장된 상기 장애물 정보가 존재할 경우,

상기 단계 (c)는 상기 무인기의 속도 벡터가 상기 장애물 정보로 이루어진 외접구와 상기 무인기에 의해 형성된 충돌 콘 내부 영역을 가리키는 경우 제2 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 단계 (c)는 상기 무인기의 속도 벡터가 충돌 콘 내부 영역을 가리키는 외접구가 복수인 경우, 하기 수학식에 따라 충돌 회피를 위한 중요 외접구를 선택하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

$$s_{chosen} = \underset{k}{\operatorname{argmin}} \{ \| \xi - \xi_{k,obs} \|_2 - r_{k,safety} \mid k \in \{1, 2, \cdots, n\} \}$$

여기서, $k \in \{1, 2, \cdots, n\}$ 에서 s_k 는 k번째 외접구로 정의하고, $\xi_{k,obs}$는 k번째 외접구의 중심 벡터로 $r_{k,safety}$ 는 k번째 외접구의 반경으로 각각 나타냄.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 제2 충돌 회피 모드에서 상기 무인기가 상기 중요 외접구의 외부에 있을 때,

상기 단계 (c)는 충돌 안전 경계를 상기 중요 외접구로 교체한 후 상기 조준점을 생성하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 24

제22항에 있어서,

상기 제2 충돌 회피 모드에서 상기 무인기가 상기 중요 외접구의 내부에 있을 때,

상기 단계 (c)는 상기 목표점을 중심으로 하고 중요 외접구의 중심점을 표면 상의 일 지점으로 하는 구를 형상화했을 때, 상기 구의 내부에 상기 무인기가 위치하면 상기 목표점을 향하도록 상기 동작 모드를 상기 내비게이션 모드로 설정하고,

상기 구의 내부에 상기 무인기가 위치하지 않으면 충돌 안전 경계를 상기 중요 외접구로 교체한 후 상기 조준점을 생성하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 25

동작 모드에 따라 기동되어 목표점을 향해 이동하는 무인기가 장애물과 충돌하는 것을 회피시키는 방법으로서,

(a) 상기 무인기에 설치된 다중 카메라에서 촬영한 다중 영상으로부터 깊이 지도(depth map)을 생성하는 단계;

(b) 상기 깊이 지도를 분석하여 장애물을 탐지하는 단계; 및

(c) 상기 장애물 탐지부에서 장애물을 탐지한 경우, 상기 장애물을 회피하도록 조준점(aiming point)을 생성하여 상기 무인기가 목표점을 향해 이동하는 내비게이션 모드에서 상기 조준점을 향하도록 하는 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 단계를 포함하되,

상기 단계 (b)는 상기 다중 영상을 바이너리 영상으로 변환하고 클러스터(cluster)를 생성하되, 오버랩되는 장애물을 하나의 장애물로 취급하는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 26

제25항에 있어서,

조준점 후보는 상기 클러스터 주위로 계산되며,

상기 조준점 후보의 일부 지점이 다른 장애물의 충돌 안전 경계에 포함되는 경우 상기 조준점 후보에서 제외되

는 것을 특징으로 하는 장애물 회피 방법.

청구항 27

제14항, 제15항, 제17항 내지 제26항 중 어느 한 항에 기재된 장애물 회피 방법을 수행하기 위해 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 프로그램을 기록한 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 항공기는 지표면에 대한 공기의 반작용으로 대기 중에서 지지력을 획득할 수 있는 기계를 의미한다.

[0003] 항공기 중에서 무인기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)는 조종사가 탑승하지 않는 항공기로서, 최근 군사 분야뿐만 아니라 민간 분야에서도 많은 주목을 끌고 있다. 대표적인 무인기로는 쿼드로터(quadrotor)가 있는데, 수직 이착륙이 가능한 회전익 무인기의 한 종류이다.

[0004] 무인기는 전쟁터, 재난지역과 같이 위험환경에서도 효율적이면서도 효과적으로 다양한 임무 수행을 할 수 있어, 감시, 정찰, 탐사, 운송 등과 같은 임무를 위해 광범위하게 사용되고 있다.

[0005] 이러한 임무를 수행함에 있어서 자연구조물 및 인공구조물을 포함하는 다양한 장애물(obstacle)에 근접해야 할 것이 요구되고 있어, 주어진 임무를 성공적으로 수행하기 위해서는 이러한 장애물에 충돌하는 것을 회피할 필요성이 야기되고 있으며, 이를 위해 무인기에서 장애물을 감지하고 회피할 것이 요구되고 있다.

[0006] 이러한 목적으로 무인기를 위해 개발되어 사용되고 있는 센서들이 있다. 센서들은 감지하는 에너지가 인공적인지 자연적인지 여부에 기초하여 분류될 수 있다.

[0007] 능동 센서(active sensor)는 환경 속으로 에너지를 발상함으로써 동작하게 되고, 이후 빔의 반사를 측정하게 되는데, 예를 들면 레이더(radar), 레이저레이더(ladar), 라이더(lidar) 등이 있을 수 있다. 이들 센서는 정확한 정보를 제공하지만, 발산 에너지로 인해 적군의 방공 시스템과 같은 다른 센서 시스템에 의해 쉽게 감지될 수 있게 된다. 또한, 이들 센서들은 무겁고 비용이 비싸 쿼드로터와 같은 소형 무인기에는 적합하지 않은 한계도 있다.

[0008] 이와는 달리, 수동 센서(passive sensor)는 몸체에서 발산되거나 태양광과 같은 자연 소스로부터 반사되는 에너지를 감지하게 되는데, 예를 들면 카메라, 적외선 센서, 후각 센서 등이 있을 수 있다. 이들 센서는 저렴하고 가볍기는 하지만, 능동 센서에 비해 정확성이 떨어지는 단점이 있다. 또한, 이들 센서에 의해 수집된 데이터는 잡음이 많아 정확성을 향상시키기 위해 이미지 처리가 필요할 수도 있다.

[0009] 한국공개특허 10-2013-0037697호(무인항공기의 충돌 방지 시스템 및 방법)에는 2차원 전자지도 기반하에서 자동으로 다음 비행 경유지로 이동중 사용자가 지정한 비행 고도보다 중간 경유지에 비행 고도보다 높은 산, 빌딩 등이 있는 경우 자동비행 중 충돌 위험을 조종자에게 사전에 알려주어 고도를 수정하거나 경유지를 변경하도록 하는 기술이 개시되어 있다. 하지만, 이 경우 영상 정보를 사용하지 않고 초음파 센서를 사용하여 장애물을 탐지하고 있을 뿐이며, 이를 조종사에게 미리 경고하여 조종사가 다음 목적지로 이동하는 무인항공기의 고도나 비행 경로를 수정하는 방식이 적용되어 있다.

[0010] 하지만, 최근 카메라와 같은 비전 센서가 저렴한 비용으로 인해 무인기에 많이 장착되고 있어, 이를 이용한 장애물 탐지 및 충돌 회피 방안이 필요한 실정이다.

[0011] 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.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) 한국공개특허 10-2013-0037697호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 단일 카메라와 달리 깊이를 측정할 수 있는 스테레오 비전을 이용하여 다중 영상을 분석함으로써 무인기의 임무 수행 중 방해가 될 수 있는 장애물을 미리 탐지하고 조종사의 개입 없이도 충돌 여부를 자동으로 판단하여 장애물을 회피하는 기동이 가능한 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템 및 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0014] 본 발명은 가격이 상대적으로 저렴한 수동 센서를 사용함으로써 시장 경쟁력이 높고, 다양한 임무에 활용되는 무인기가 장애물 회피 방법의 적용에 의해 안전한 임무 수행이 가능한 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템 및 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0015] 본 발명의 이외의 목적들은 하기의 설명을 통해 쉽게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명의 일 측면에 따르면, 동작 모드에 따라 무인기를 기동시키는 무인기 기동부; 상기 무인기에 설치된 다중 카메라에서 촬영한 다중 영상으로부터 깊이 지도(depth map)을 생성하는 깊이 지도 생성부; 상기 깊이 지도를 분석하여 장애물을 탐지하는 장애물 탐지부; 및 상기 장애물 탐지부에서 장애물을 탐지한 경우, 상기 장애물을 회피하도록 조준점(aiming point)을 생성하여 상기 무인기가 목표점을 향해 이동하는 내비게이션 모드에서 상기 조준점을 향하도록 하는 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 충돌 회피 처리부를 포함하는 장애물 회피 시스템이 제공된다.

[0017] 상기 장애물 탐지부는 상기 깊이 지도에서 픽셀의 깊이값이 미리 정의된 임계치보다 작을 경우 상기 픽셀의 영역이 상기 장애물인 것으로 간주할 수 있다.

[0018] 상기 장애물 탐지부는 상기 장애물을 상기 장애물 자체를 포함하는 외접구(circumscribed sphere)로 재형상화하고, 상기 외접구의 직경 혹은 반경 중 적어도 하나와 상기 외접구의 중심점을 장애물 정보로 생성할 수 있다. 여기서, 상기 외접구의 중심점의 x 성분은 최소 깊이와 최대 깊이의 평균이고, 상기 외접구의 중심점의 y 성분 및 z 성분은 이미지 평면 내에서 상기 장애물에 해당하는 전체 픽셀 영역을 커버하는 외접원의 중심점이며, 상기 최소 깊이와 상기 최대 깊이 간의 차이와 상기 외접원의 직경 중 큰 값을 상기 외접구의 직경으로 선택할 수 있다.

[0019] 상기 충돌 회피 처리부는 상기 외접구의 직경에 안전 마진(safety margin)을 합산한 충돌 안전 경계(collision safety boundary)를 생성하고, 상기 무인기로부터 상기 충돌 안전 경계까지의 접선 집합에 의해 정의되는 충돌 콘(collision cone)을 생성한 후, 상기 무인기의 속도 벡터가 상기 충돌 콘 내에 위치할 경우 상기 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시킬 수 있다.

[0020] 상기 충돌 회피 처리부는 상기 충돌 안전 경계와 상기 충돌 콘의 교점 집합 중 상기 속도 벡터에 가장 근접한 거리를 가지는 지점을 상기 조준점으로 선택할 수 있다.

[0021] 이전에 생성된 상기 장애물 정보를 모두 저장하는 저장부를 더 포함하되, 상기 장애물 탐지부에서 장애물이 감지되지 않고 상기 저장부에 이전에 저장된 상기 장애물 정보가 존재할 경우, 상기 충돌 회피 처리부는 상기 무인기의 속도 벡터가 상기 장애물 정보로 이루어진 외접구와 상기 무인기에 의해 형성된 충돌 콘 내부 영역을 가리키는 경우 제2 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환할 수 있다.

[0022] 상기 충돌 회피 처리부는 상기 무인기의 속도 벡터가 충돌 콘 내부 영역을 가리키는 외접구가 복수인 경우, 하기 수학식에 따라 충돌 회피를 위한 중요 외접구를 선택할 수 있다.

[0023] $$s_{chosen} = \underset{k}{\operatorname{argmin}} \{ \| \xi - \xi_{k,obs} \|_2 - r_{k,safety} \mid k \in \{1, 2, \cdots, n\} \}$$

[0024] 여기서, $k \in \{1, 2, \cdots, n\}$ 에서 s_k 는 k번째 외접구로 정의하고, $\xi_{k,obs}$는 k번째 외접구의 중심 벡터로 $r_{k,safety}$ 는 k번째 외접구의 반경으로 각각 나타낸다.

[0025] 상기 제2 충돌 회피 모드에서 상기 무인기가 상기 중요 외접구의 외부에 있을 때, 상기 충돌 회피 처리부는 상기 충돌 안전 경계를 상기 중요 외접구로 교체한 후 상기 조준점을 생성할 수 있다.

[0026] 상기 제2 충돌 회피 모드에서 상기 무인기가 상기 중요 외접구의 내부에 있을 때, 상기 충돌 회피 처리부는 상기 목표점을 중심으로 하고 중요 외접구의 중심점을 표면 상의 일 지점으로 하는 구를 형상화했을 때, 상기 구의 내부에 상기 무인기가 위치하면 상기 목표점을 향하도록 상기 동작 모드를 상기 내비게이션 모드로 설정하고, 상기 구의 내부에 상기 무인기가 위치하지 않으면 상기 충돌 안전 경계를 상기 중요 외접구로 교체한 후 상기 조준점을 생성할 수 있다.

[0027] 상기 장애물 탐지부는 상기 다중 영상을 바이너리 영상으로 변환하고 클러스터(cluster)를 생성하되, 오버랩되는 장애물을 하나의 장애물로 취급할 수 있다. 조준점 후보는 상기 클러스터 주위로 계산되며, 상기 조준점 후보의 일부 지점이 다른 장애물의 충돌 안전 경계에 포함되는 경우 상기 조준점 후보에서 제외될 수 있다.

[0028] 본 발명의 다른 측면이 따르면, 동작 모드에 따라 기동되어 목표점을 향해 이동하는 무인기가 장애물과 충돌하는 것을 회피시키는 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체가 제공된다.

[0029] 일 실시예에 따른 장애물 회피 방법은, (a) 상기 무인기에 설치된 다중 카메라에서 촬영한 다중 영상으로부터 깊이 지도를 생성하는 단계; (b) 상기 깊이 지도를 분석하여 장애물을 탐지하는 단계; 및 (c) 상기 장애물 탐지부에서 장애물을 탐지한 경우, 상기 장애물을 회피하도록 조준점을 생성하여 상기 무인기가 목표점을 향해 이동하는 내비게이션 모드에서 상기 조준점을 향하도록 하는 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 상기 단계 (b)는 상기 깊이 지도에서 픽셀의 깊이값이 미리 정의된 임계치보다 작을 경우 상기 픽셀의 영역이 상기 장애물인 것으로 간주할 수 있다.

[0031] 상기 단계 (b)는 상기 장애물을 상기 장애물 자체를 포함하는 외접구로 재형상화하고, 상기 외접구의 직경 혹은 반경 중 적어도 하나와 상기 외접구의 중심점을 장애물 정보로 생성할 수 있다. 여기서, 상기 외접구의 중심점의 x 성분은 최소 깊이와 최대 깊이의 평균이고, 상기 외접구의 중심점의 y 성분 및 z 성분은 이미지 평면 내에서 상기 장애물에 해당하는 전체 픽셀 영역을 커버하는 외접원의 중심점이며, 상기 최소 깊이와 상기 최대 깊이 간의 차이와 상기 외접원의 직경 중 큰 값을 상기 외접구의 직경으로 선택할 수 있다.

[0032] 상기 단계 (c)는, (c1) 상기 외접구의 직경에 안전 마진을 합산한 충돌 안전 경계를 생성하는 단계; (c2) 상기 무인기로부터 상기 충돌 안전 경계까지의 접선 집합에 의해 정의되는 충돌 콘을 생성하는 단계를 포함하되, 상기 무인기의 속도 벡터가 상기 충돌 콘 내에 위치할 경우 상기 제1 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환시킬 수 있다.

[0033] 상기 충돌 안전 경계와 상기 충돌 콘의 교점 집합 중 상기 속도 벡터에 가장 근접한 거리를 가지는 지점을 상기 조준점으로 선택할 수 있다.

[0034] 이전에 생성된 상기 장애물 정보를 저장부에 모두 저장하는 단계를 더 포함하되, 상기 장애물이 감지되지 않고 상기 저장부에 이전에 저장된 상기 장애물 정보가 존재할 경우, 상기 단계 (c)는 상기 무인기의 속도 벡터가 상기 장애물 정보로 이루어진 외접구와 상기 무인기에 의해 형성된 충돌 콘 내부 영역을 가리키는 경우 제2 충돌 회피 모드로 상기 동작 모드를 전환할 수 있다.

[0035] 상기 단계 (c)는 상기 무인기의 속도 벡터가 충돌 콘 내부 영역을 가리키는 외접구가 복수인 경우, 하기 수학식에 따라 충돌 회피를 위한 중요 외접구를 선택할 수 있다. 여기서, 수학식은

$s_{chosen} = \underset{k}{\operatorname{argmin}} \{ \| \xi - \xi_{k,obs} \|_2 - r_{k,safety} \mid k \in \{1, 2, \cdots, n\} \}$ 이고, $k \in \{1, 2, \cdots, n\}$ 에서 s_k 는 k번째 외접구로 정의하고, $\xi_{k,obs}$ 는 k번째 외접구의 중심 벡터로 $r_{k,safety}$ 는 k번째 외접구의 반경으로 각각 나타낸다.

[0036] 상기 제2 충돌 회피 모드에서 상기 무인기가 상기 중요 외접구의 외부에 있을 때, 상기 단계 (c)는 상기 충돌 안전 경계를 상기 중요 외접구로 교체한 후 상기 조준점을 생성할 수 있다.

[0037] 상기 제2 충돌 회피 모드에서 상기 무인기가 상기 중요 외접구의 내부에 있을 때, 상기 단계 (c)는 상기 목표점을 중심으로 하고 중요 외접구의 중심점을 표면 상의 일 지점으로 하는 구를 형상화했을 때, 상기 구의 내부에 상기 무인기가 위치하면 상기 목표점을 향하도록 상기 동작 모드를 상기 내비게이션 모드로 설정하고, 상기 구의 내부에 상기 무인기가 위치하지 않으면 상기 충돌 안전 경계를 상기 중요 외접구로 교체한 후 상기 조준점을 생성할 수 있다.

[0038] 상기 단계 (b)는 상기 다중 영상을 바이너리 영상으로 변환하고 클러스터를 생성하되, 오버랩되는 장애물을 하나의 장애물로 취급할 수 있다. 조준점 후보는 상기 클러스터 주위로 계산되며, 상기 조준점 후보의 일부 지점이 다른 장애물의 충돌 안전 경계에 포함되는 경우 상기 조준점 후보에서 제외될 수 있다.

[0039] 전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점이 이하의 도면, 특허청구범위 및 발명의 상세한 설명으로부터 명확해질 것이다.

발명의 효과

[0040] 본 발명의 실시예에 따르면, 단일 카메라와 달리 깊이를 측정할 수 있는 스테레오 비전을 이용하여 다중 영상을 분석함으로써 무인기의 임무 수행 중 방해가 될 수 있는 장애물을 미리 탐지하고 조종사의 개입 없이도 충돌 여부를 자동으로 판단하여 장애물을 회피하는 기동이 가능한 효과가 있다.

[0041] 또한, 가격이 상대적으로 저렴한 수동 센서를 사용함으로써 시장 경쟁력이 높고, 다양한 임무에 활용되는 무인기가 장애물 회피 방법의 적용에 의해 안전한 임무 수행이 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템의 구성 블록도,

도 2는 다중 영상 개념도,

도 3은 실제 지형 및 상응하는 깊이 지도를 나타낸 도면,

도 4는 충돌 회피를 위한 조준점 생성을 설명하기 위한 도면,

도 5는 깊이 지도로부터 장애물 정보를 추출하는 방법을 나타낸 도면,

도 6은 충돌 안전 경계에 대한 기하구조도,

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 방법의 순서도,

도 8은 무인기의 카메라 시야 밖에 장애물이 있을 경우의 충돌 회피를 설명하기 위한 도면,

도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템의 구성 블록도,

도 10은 무인기와 선택 외접구의 위치 관계에 따른 조준점 생성을 설명하기 위한 도면,

도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 방법의 순서도,

도 12는 다중 장애물의 경우 획득된 깊이 지도 및 조준점 후보군 생성을 나타낸 도면,

도 13은 무인기의 궤적을 나타낸 도면,

도 14의 (a)는 비행 중 무인기와 장애물 사이의 최근접 거리를 보여주며, 도 14의 (b)는 충돌 회피 플래그를 보

여준 도면,

도 15는 무인기의 자세, 속도, 추력 입력의 시간 응답을 각각 보여주는 도면,

도 16은 무인기의 궤적을 나타낸 도면,

도 17은 무인기의 자세각, 속도 및 추력 입력을 각각 보여주는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0043] 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.

[0044] 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. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0045] 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.

[0046] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0047] 또한, 명세서에 기재된 "…부", "…모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0048] 또한, 각 도면을 참조하여 설명하는 실시예의 구성 요소가 해당 실시예에만 제한적으로 적용되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상이 유지되는 범위 내에서 다른 실시예에 포함되도록 구현될 수 있으며, 또한 별도의 설명이 생략될지라도 복수의 실시예가 통합된 하나의 실시예로 다시 구현될 수도 있음은 당연하다.

[0049] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일하거나 관련된 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0050] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템의 구성 블록도이고, 도 2는 다중 영상 개념도이며, 도 3은 실제 지형 및 상응하는 깊이 지도를 나타낸 도면이고, 도 4는 충돌 회피를 위한 조준점 생성을 설명하기 위한 도면이며, 도 5는 깊이 지도로부터 장애물 정보를 추출하는 방법을 나타낸 도면이고, 도 6은 충돌 안전 경계에 대한 기하구조도이며, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 방법의 순서도이다.

[0051] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템(100)은 다중 영상 정보를 이용하여 장애물을 탐지하고, 탐지된 장애물 정보에 기초하여 장애물 회피 방법을 적용하여 자동으로 무인기를 기동시켜 장애물을 회피하도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0052] 본 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템(100)은 항공기에 추진력을 제공하는 구동부와 프로펠러를 포함하는 로터의 수가 복수인 멀티로터와 같은 무인기에 적용될 수 있다.

[0053] 이러한 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템(100)은 깊이 지도 생성부(110), 장애물 탐지부(120), 충돌 회피 처리부(130), 무인기 기동부(140)를 포함한다.

[0054] 무인기 기동부(140)는 무인기의 동작 모드에 따라 로터를 동작시켜 무인기의 위치 및 자세를 변화시켜 무인기를

기동시킨다.

[0055] 본 실시예에서 무인기의 동작 모드로는 기본적으로 목표점을 향해 최적 경로로 운항하는 내비게이션 모드, 장애물이 탐지되고 충돌이 예상될 경우에는 충돌 회피 모드를 포함한다.

[0056] 여기서, 충돌 회피 모드는 카메라 시야 안에 장애물이 있는 경우(제1 충돌 회피 모드)와 카메라 시야 밖에 장애물이 있는 경우(제2 충돌 회피 모드)로 구분될 수 있다.

[0057] 깊이 지도 생성부(110)는 다중 카메라를 통해 다중 영상을 획득하고, 다중 영상 처리를 통해 무인기와 물체 사이의 거리를 측정할 수 있는 깊이 정보를 포함하는 깊이 지도(depth map)를 생성한다.

[0058] 단일 카메라의 경우 영상처리 속도가 상대적으로 빠르고 구조가 간단한 장점이 있으나, 깊이 정보를 직접적으로 제공하지 못한다. 따라서, 본 실시예에서는 영상으로부터 깊이 정보를 획득할 수 있는 다중 카메라를 활용하며, 다중 카메라로는 예를 들어 스테레오 비전(stereo vision)이 있을 수 있다.

[0059] 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.

[0060] 다중 카메라를 이용한 다중 영상 처리 및 깊이 지도 생성 과정은 다음과 같다. 여기서, 본 발명의 설명과 이해의 편의를 위해 다중 카메라는 스테레오 비전인 경우를 가정하여 설명하기로 한다.

[0061] 다중 카메라를 이용하여 깊이 정보를 획득하는 과정에서 보정(calibration) 작업이 선행될 수 있는데, 이는 복수의 카메라를 물리적으로 완벽하게 장착할 수 없고, 각각의 카메라의 초점거리나 영상 영역의 성질이 동일하지 않을 수 있기 때문이다. 이 경우 어느 하나의 카메라(예를 들어, 좌측 카메라)를 기준 프레임으로 삼으면, 이에 대한 다른 하나의 카메라(우측 카메라) 프레임의 카메라 매트릭스 정보를 알고 있으므로 보정이 가능하게 된다. 이러한 대표적인 보정 과정이 에피폴라 조건을 맞추는 작업이다. 여기서, 에피폴라 조건이란 3차원 상의 점이 두 카메라에 투영되어 만들어지는 두 직선은 하나의 평면 위에 있어야 한다는 조건이다. 이것이 성립하지 않으면 다중 영상은 하나의 정보로 정합되지 않게 된다.

[0062] 두 영상이 보정되었다는 전제 하에 다중 영상 시스템의 기본적인 동작원리는 도 2에 도시된 것과 같다. 도 2에서 P_{obj}는 물체의 위치이며, b는 두 카메라 사이의 기준선(baseline), f는 초점 거리(focal length)이다. 또한, (u_L, v_L)과 (u_R, v_R)는 각각 좌측과 우측 카메라 이미지에 맺힌 물체의 상이다.

[0063] 여기서, P_{obj}의 3차원 위치 벡터와 (u_L, v_L)과 (u_R, v_R)간의 기하학적 관계를 통하여 다음과 같은 거리의 대한 식을 유도할 수 있다.

[0064] [수학식 1]

[0065]
$$\begin{bmatrix} u_L \\ v_L \end{bmatrix} = \frac{f}{z}\begin{bmatrix} x-(-b/2) \\ y \end{bmatrix} = \frac{f}{z}\begin{bmatrix} x+b/2 \\ y \end{bmatrix}$$

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

[0066] 수학식 1과 수학식 2를 연산하면, 다음과 같은 수식이 산출된다.

[0067] [수학식 2]

[0068]
$$u_L - u_R = \frac{f}{z}b$$

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

[0069] 여기서, u_L-u_R이 두 영상의 차이(disparity)가 되고, z가 카메라에서 사물까지의 실제 깊이(depth)가 된다. 즉,

깊이 정보는 카메라의 초점 거리, 베이스 라인 및 두 영상의 차이를 이용하여 획득할 수 있다.

[0070] 즉, 두 카메라에 맺힌 상의 차이와 카메라 변수들을 알면, 카메라로부터 사물까지의 거리를 알 수 있다. 하지만, 다중 영상을 통해 얻은 정보는 실제 지형의 정보를 모두 획득하지는 못한다. 이는 카메라의 화소가 연속적이지 않고, 두 영상의 차이 값은 정수이기 때문이다.

[0071] 따라서, 도 3에 도시된 바와 같이 지형의 깊이 정보를 연속적으로 얻을 수는 없게 된다. 도 3의 (a)가 실제 지형이고 점선은 깊이 값들이다. 이 경우 도 3의 (b)와 같이 다중 영상으로부터 얻어진 깊이들은 불연속하지 때문에 실제 지형은 불연속적인 깊이들로 표현될 수 있다.

[0072] 하기의 표 1은 초점 거리가 0.01m이고, 기준선이 0.2m, 수평시야각이 48도(°), 수직시야각이 36.9도(°), 픽셀 크기가 2.75 X 10^{-5}m인 경우 두 영상의 차이에 따른 깊이를 보여주고 있다.

[0073] [표 1]

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

[0074]

[0075] 다시 도 1을 참조하면, 장애물 탐지부(120)는 깊이 지도 생성부(110)에서 생성된 깊이 지도에 기초하여 획득한 깊이 정보로부터 다중 영상 내에 존재하는 장애물을 탐지한다.

[0076] 도 2에 도시된 것과 같이 깊이 지도 생성부(110)에 적용된 스테레오 비전 시스템은 2개의 카메라를 가진다. 장애물이 2개의 카메라의 시야 내에 있을 때 무인기에 의해 감지될 수 있다. 이 경우, 장애물은 스테레오 비전 시스템에 의해 캡처되고, 깊이 지도가 직접적으로 사용될 수 있다.

[0077] 도 4는 깊이 지도를 이용한 충돌 회피의 컨셉을 보여주고 있으며, 무인기(10), 실제 장애물(20), 깊이 지도에서 장애물로 인식되는 영역(22), 충돌 안전 경계(24), 충돌 콘(26)이 도시되어 있다.

[0078] 무인기(10)는 목표점을 향해 이동하는 동안 지속적으로 깊이 지도 생성부(110)를 통해 깊이 지도를 획득한다.

[0079] 장애물 탐지부(120)는 깊이 지도에서 픽셀의 깊이값이 미리 정의된 임계치(threshold)보다 작다면, 해당 픽셀의 영역은 장애물인 것으로 간주한다. 예를 들어, 임계치가 4m로 설정된다면, 표 1의 경우에는 두 영상의 차이가 18 이상 31까지의 픽셀들이 위험지역, 즉 장애물로 간주될 수 있다.

[0080] 도 5는 깊이 지도에 의해 감지된 장애물의 정보를 추출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0081] 장애물의 모든 부분을 포함시키기 위해, 임의의 형상을 가지는 장애물을 해당 장애물 자체를 포함하는 외접구(circumscribed sphere)로 재형상화한다. 따라서, 장애물 정보는 외접구의 중심점(center point) 및 직경(diameter)으로 설정될 수 있다. 직경은 반경(radius)으로 대체될 수도 있다.

[0082] 중심점의 x 성분(Position x of the obstacle)은 도 5에 도시된 것과 같이 최소 깊이(Min. depth)와 최대 깊이(Max. depth)의 평균(mean value)을 계산함으로써 획득될 수 있다. 중심점의 y 성분(Position y of the obstacle)과 z 성분(Position z of the obstacle)은 이미지 평면(image plane) 내에 장애물에 해당하는 전체 픽셀 영역을 커버하는 외접원(30)를 그림으로써 획득될 수 있다. 세가지 성분을 이용하여, 외접구의 중심 벡터가 ξ_{obs} 로 정의될 수 있다.

[0083] 외접구의 직경은 도 5에서 d_1과 d_2를 비교함으로써 결정될 수 있다. 여기서, d_1은 최소 깊이와 최대 깊이 간의 차이이고, d_2는 외접원(30)의 직경이다. d_1이 d_2보다 긴 경우, d_1이 직경으로 선택된다. d_2가 d_1보다 긴 경우에는 d2가 선택된다.

[0084] 충돌 회피 처리부(130)는 장애물 탐지부(120)에서 탐지된 장애물에 대한 정보에 기초하여 충돌 회피 처리 여부를 결정한다.

[0085] 본 실시예에 따른 무인기는 기본적으로 목표점을 향해 최적 경로로 운항하는 내비게이션 모드로 동작하게 되며, 장애물 탐지부(120)에서 장애물이 탐지되고 충돌이 예상될 경우에는 충돌 회피 모드로 모드 전환하여 운항하도록 설정될 수 있다.

[0086] 우선 제1 충돌 회피 모드에 따른 충돌 회피 처리부(130)에서의 충돌 회피 처리에 대하여 설명하기로 한다.

[0087] 충돌 회피 처리부(130)는 장애물로 간주되는 외접구가 일단 생성되면, 도 4에 도시된 것과 같이 충돌 안전 경계(collision safety boundary)를 형성하기 위해 외접구의 직경에 안전 마진(safety margin)을 합산한다. 따라서, 충돌 안전 경계의 반경은 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0088] [수학식 3]

[0089] $$r_{safety} = \max\{d_1, d_2\}/2 + \text{safety margin}$$

[0090] 결국, 무인기로부터 충돌 안전 경계까지의 접선(tangent line) 집합에 의해 정의되는 충돌 콘(collision cone)이 생성된다.

[0091] 무인기(10)의 속도 벡터(velocity vector)가 충돌 콘 내에 위치할 때, 무인기(10)가 궤적을 변경하지 않는다면 장애물은 무인기(10)에게 분명한 위협이 된다. 이 경우, 장애물은 중요 객체(critical object)이고, 무인기(10)는 즉시 충돌 회피 모드를 수행해야 한다.

[0092] 본 실시예에서 충돌 회피 모드의 주요 작업은 무인기에게 목표점 대신에 신규 경로점을 안내하는 것이다. 신규 경로점은 도 4에서 도시된 것과 같이 조준점(aiming point)이라 칭할 수 있으며, ξ_{aim}으로 정의하기로 한다. 관성계(inertial frame)에 대하여 조준점의 위치 벡터는 위치 제어 시스템에서 목표 출력으로 사용될 수 있도록 계산되어야 한다. 무인기(10)의 기동을 최소화하기 위해, 속도 벡터에 가장 근접한 거리를 가지는 지점이 다음과 같이 조준점으로 선택된다.

[0093] [수학식 4]

[0094] $$\xi_{aim} = \underset{x}{\operatorname{argmin}} \left\{ \| x - \dot{\xi} \|_2 \mid x \in C \right\}$$

[0095] 여기서, $\dot{\xi}$은 무인기(10)의 속도 벡터이고, C는 조준점 후보 집합이다.

[0096] 도 4에는 단지 2개의 조준점 후보를 보여주고 있지만, 3차원 공간에서 C는 충돌 안전 경계와 충돌 콘의 모든 교점(intersection point)을 포함하게 된다.

[0097] 도 6에 도시된 것과 같이 C'를 C에서 임의 선택된 구성요소로 고려한다. $\overrightarrow{OB}$와 ξ_{obs} 사이의 거리는 다음과 같이 획득될 수 있다.

[0098] [수학식 5]

[0099] $$\| \overrightarrow{OB} - \xi_{obs} \|_2 = \frac{r_{safety}^2}{\| \xi - \xi_{obs} \|_2}$$

[0100] 이를 이용하면, $\overrightarrow{OB}$와 $\| \overrightarrow{BC'} \|_2$는 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0101] [수학식 6]

[0102] $$\overrightarrow{OB} = \frac{\| \overrightarrow{OB} - \xi_{obs} \|_2 \, \xi + (\| \xi - \xi_{obs} \|_2 - \| \overrightarrow{OB} - \xi_{obs} \|_2) \xi_{obs}}{\| \xi - \xi_{obs} \|_2}$$

[0103] $$\| \overrightarrow{BC'} \|_2 = \sqrt{r_{safety}^2 - \| \overrightarrow{OB} - \xi_{obs} \|_2^2}$$

[0104] 일반성을 잃지 않고, 도 6에 도시된 것과 같이 $\overrightarrow{BC'}$ 와 $\overrightarrow{BD_1}$ 사이의 각도가 ε인 경우, $\overrightarrow{BD_1}$와 $\overrightarrow{BD_2}$는 $\xi^T - \xi_{obs}^T$ 의 영 공간(null space)의 정규직교 기저(orthonormal basis)가 되는 것으로 가정한다.

[0105] 수학식 6 및 정규직교 기저를 이용하면, $\overrightarrow{OC'}$ 는 다음과 같이 표현된다.

[0106] [수학식 7]

[0107] $$\overrightarrow{OC'} = \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BC'} = \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BD_1} \| \overrightarrow{BC'} \|_2 \cos\varepsilon + \overrightarrow{BD_2} \| \overrightarrow{BC'} \|_2 \sin\varepsilon$$

[0108] ε을 변경함으로써, C의 모든 구성요소가 획득될 수 있다.

[0109] 충돌 회피 처리부(130)는 장애물 탐지부(120)에서 장애물을 탐지하지 못하거나 무인기(10)의 속도 벡터가 충돌 콘의 외부에 있을 경우에는 무인기(10)가 내비게이션 모드로 되돌아가 목표점을 향해 날아가도록 한다.

[0110] 전술한 것과 같이 카메라의 시야 안에 장애물이 있을 경우의 장애물 회피 방법에 대하여 도 7을 참조하여 설명하기로 한다. 도 7의 각 단계들은 장애물 회피 시스템(100)의 각 구성요소에 의해 수행될 수 있다.

[0111] 우선 깊이 지도 생성부(110)를 통해 깊이 지도를 획득한다(단계 S200).

[0112] 장애물 탐지부(120)는 픽셀의 깊이 값이 미리 설정된 임계치보다 작은지 여부를 판단한다(단계 S205).

[0113] 픽셀의 깊이 값이 미리 설정된 임계치보다 작지 않을 경우에는 장애물이 탐지되지 않은 것으로 간주하여, 충돌 회피 처리부(130)는 무인기가 기본적으로 설정된 목표점을 향해 운항하도록 무인기 기동부(140)가 내비게이션 모드로 동작하도록 제어한다(단계 S230).

[0114] 픽셀의 깊이 값이 미리 설정된 임계치보다 작을 경우에는 장애물이 탐지된 경우로 간주하게 되고, 충돌 회피 처리부(130)는 장애물 정보에 기초하여 외접구, 충돌 안전 경계, 충돌 콘을 생성한다(단계 S210). 여기서, 장애물 정보는 장애물 자체를 모두 포함하는 외접구의 중심점 및 직경(혹은 반경)을 포함한다.

[0115] 충돌 회피 처리부(130)는 무인기의 속도 벡터가 충돌 콘 내에 있는지 여부를 판단한다(단계 S215).

[0116] 무인기의 속도 벡터가 충돌 콘 내에 없을 경우에는 장애물과의 충돌이 예상되지 않으므로, 무인기 기동부(140)가 내비게이션 모드로 동작하도록 제어한다(단계 S230).

[0117] 무인기의 속도 벡터가 충돌 콘 내에 있을 경우에는 장애물과의 충돌이 예상되므로, 충돌 회피 처리부(130)는 신규 경로점인 조준점을 생성한다(단계 S220).

[0118] 이후 무인기 기동부(140)가 제1 충돌 회피 모드로 동작하도록 제어하여, 조준점으로 무인기를 안내하도록 한다(단계 S225).

[0119] 이상에서는 무인기의 카메라 시야 안에 장애물이 있을 경우의 장애물 회피 방법에 대하여 설명하였고, 이하에서는 무인기의 카메라 시야 밖에 장애물이 있을 경우의 장애물 회피 방법에 대하여 설명하기로 한다.

[0120] 도 8은 무인기의 카메라 시야 밖에 장애물이 있을 경우의 충돌 회피를 설명하기 위한 도면이고, 도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템의 구성 블록도이며, 도 10은 무인기와 선택 외접구의 위치 관계에 따른 조준점 생성을 설명하기 위한 도면이고, 도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 방법의 순서도이다.

[0121] 전술한 것과 같이 제1 충돌 회피 모드를 이용하여 무인기가 장애물을 피하면, 장애물은 카메라의 시야 밖으로 지나갈 수 있다. 이후, 무인기는 스테레오 비전으로부터 아무런 위협을 감지하지 못하고 내비게이션 모드를 수행한다. 이같은 경우의 대부분은, 도 8의 (a)에 도시된 것과 같이, 무인기가 전체 장애물을 통과하지 못해 무인기가 깊이 지도에 보이지 않는 장애물 근처로 이동할 가능성이 있다. 이 문제점을 해결하기 위해, 카메라의 시

야 밖에 있는 경우 장애물의 잠재적 위협을 제거할 필요가 있다.

[0122] 도 9에 도시된 본 발명의 다른 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템(300)은 깊이 지도 생성부(310), 장애물 탐지부(320), 충돌 회피 처리부(330), 무인기 기동부(340), 저장부(350)를 포함한다.

[0123] 여기서, 깊이 지도 생성부(310) 및 장애물 탐지부(320)는 도 1에 도시된 깊이 지도 생성부(110) 및 장애물 탐지부(120)와 동일한 기능을 가지는 바, 이하에서는 차이점을 중심으로 설명하기로 한다.

[0124] 본 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템(300)의 충돌 회피 처리부(330)는 도 8의 (a)에 도시된 것과 같이 카메라 시야 밖에 있는 장애물의 잠재적 위협을 제거하기 위해 외접구를 사용한다.

[0125] 도 8의 (b)에 도시된 것과 같이 외접구는 장애물의 전체는 아니지만 일부 영역을 대표한다. 하지만, 충돌을 회피하기에는 충분한 정보를 주는 장애물의 핵심 부분이다. 도 8의 (b)에서, 무인기는 장애물이 카메라에 보이지 않는다는 사실에도 불구하고 충돌 없이 목표점까지 성공적으로 접근한다. 이러한 상황에서 외접구를 사용하기 위해, 무인기는 깊이 지도가 장애물을 감지할 때마다 ξ_{obs} , r_{safety}와 같은 과거 모든 장애물 정보를 저장하고 있어야 한다. 이를 위해 본 실시예에 따른 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템(300)은 과거 장애물 정보 전체 혹은 일부를 저장할 수 있는 저장부(350)를 포함하고 있다.

[0126] 제1 충돌 회피 모드에서 내비게이션 모드로 모드가 전환될 때, 충돌 회피 처리부(330)는 이전에 감지된 외접구를 지속적으로 고려한다. 무인기의 속도 벡터가 무인기 및 생성된 외접구들 중 어느 하나에 의해 형성된 충돌 콘 내부 영역을 가리킨다면, 도 8의 (b)에 도시된 것과 같이 구의 표면 상에 조준점을 생성한다. 그리고 무인기 기동부(340)가 제2 장애물 회피 모드로 동작하도록 하여, 무인기가 조준점을 향하도록 안내한다.

[0127] 하나 이상의 외접구가 존재할 가능성이 매우 높다. 이 구들 사이에서, 어느 하나의 구가 조준점 생성을 위해 선택되어야 한다.

[0128] $k \in \{1, 2, \cdots, n\}$ 에서 s_k 는 k번째 외접구로 정의하고, $\xi_{k,obs}$ 는 k번째 외접구의 중심 벡터로 $r_{k,safety}$ 는 k번째 외접구의 반경으로 각각 나타낸다. 이 경우 구는 다음과 같이 선택될 수 있다.

[0129] [수학식 8]

[0130] $$s_{chosen} = \underset{k}{\operatorname{argmin}} \{ \| \xi - \xi_{k,obs} \|_2 - r_{k,safety} \mid k \in \{1, 2, \cdots, n\} \}$$

[0131] 수학식 8은 장애물을 회피하기 위해 가장 결정적인 구가 선택됨을 의미한다.

[0132] 제2 충돌 회피 모드에서 조준점을 생성하는 2가지 다른 경우가 있다.

[0133] 우선 첫번째 경우는 무인기가 선택된 외접구 밖에 있을 때로서, 도 6에 도시된 것과 같이 충돌 안전 경계를 외접구로 교체함으로써 관성계에 대해서 조준점 벡터를 획득하기 위해 수학식 7이 사용될 수 있다.

[0134] 다른 경우는 도 10에 도시된 것과 같이 무인기가 구 내부에 있는 경우이다. 무인기가 A에 위치했을 때, 도 10에 도시된 것과 같이 조준점 후보는 수학식 7과 유사하게, $\xi^T - \xi^T_{k,obs}$ 의 영 공간의 정규직교 기저를 풀음으로써 계산될 수 있는 A 주위의 점선원(50) 상에 놓인다.

[0135] 하지만, 무인기가 B에 위치할 때, B 주위의 조준점 후보(60)는 의미가 없다. 오히려, 목표점 G로 내비게이션 모드를 수행하는 것이 보다 합리적이다.

[0136] 따라서, 유의한 조준점을 선택하기 위한 기준은 도 10에서 각도 η 을 고려함으로써 결정될 수 있다. 무인기가 음영 지역에 도달했을 때, η 은 둔각이 된다. 이 지역에서는 무인기가 목표점으로 이동하는 것이 자연스럽다. 도 10을 참고하면, 그 기준은 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0137] [수학식 9]

[0138]
$$\begin{cases} \text{Collision avoidance maneuver} & \text{if} \quad \| \overrightarrow{OG} - \xi_{k,obs} \|_2^2 < \| \xi - \overrightarrow{OG} \|_2^2 + \| \xi_{k,obs} - \xi \|_2^2 \\ \text{Navigation maneuver} & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0139] 그리고 무인기의 속도 벡터가 외접구의 어느 부분이라도 가리키지 않는다면, 무인기는 잠재적 위협이 없는 것으로 판단하고 내비게이션 모드를 수행한다.

[0140] 본 실시예에 따르면, 장애물에의 접근은 실제 볼 수 없어도 무인기가 이전에 감지된 장애물의 위치를 고려할 수 있도록 한다.

[0141] 전술한 것과 같이 카메라의 시야 밖에 장애물이 있을 경우의 장애물 회피 방법에 대하여 도 11을 참조하여 설명하기로 한다. 도 11의 각 단계들은 도 9에 도시된 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템(300)의 각 구성요소에 의해 수행될 수 있다.

[0142] 우선 전제조건으로는 깊이 지도에서 장애물이 감지되지 않고, 저장부에 이전에 저장된 장애물에 관한 외접구가 존재할 것이 요구된다.

[0143] 이 경우 충돌 회피 처리부(330)는 저장부(350)에 이전에 저장된 장애물에 관한 외접구로부터 충돌 콘을 생성한다(단계 S400).

[0144] 충돌 회피 처리부(330)는 무인기의 속도 벡터가 포함되는 충돌 콘이 있는지 여부를 판단한다(단계 S405).

[0145] 무인기의 속도 벡터가 포함되는 충돌 콘이 없을 경우에는 무인기 기동부(340)가 내비게이션 모드로 동작하도록 한다(단계 S440).

[0146] 무인기의 속도 벡터가 포함되는 충돌 콘이 있을 경우, 해당 충돌 콘에 상응하는 외접구 중에서 중요 외접구를 결정한다(단계 S410). 중요 외접구는 복수의 외접구 중에서 무인기의 경로 결정에 가장 중요한 영향을 미치는 외접구로서, 해당 외접구를 벗어날 경우 타 외접구와의 충돌이 예상되지 않는 외접구이다.

[0147] 중요 외접구가 결정되면, 무인기의 위치를 파악한다. 즉, 무인기가 중요 외접구의 외부에 있는지 여부를 판단한다(단계 S415).

[0148] 무인기가 중요 외접구의 외부에 있는 경우에는 앞서 도 6을 참조하여 설명한 것과 같이 조준점을 생성하고(단계 S420), 조준점으로 무인기를 안내하도록 무인기 기동부(340)의 동작 모드를 제어한다(단계 S425).

[0149] 무인기가 중요 외접구의 내부에 있는 경우에는 하기 수학식 10을 충족하는지 여부를 판단한다(단계 S430).

[0150] [수학식 10]

[0151]
$$\| \overrightarrow{OG} - \xi_{k,obs} \|_2^2 < \| \xi - \overrightarrow{OG} \|_2^2 + \| \xi_{k,obs} - \xi \|_2^2$$

[0152] $\overrightarrow{OG}$는 목표점의 위치 벡터로서, 수학식 10은 도 10에 도시된 음영 지역 내에 무인기가 있는지 여부를 판별하는 식이다.

[0153] 즉, 목표점을 중심으로 하고 중요 외접구의 중심점을 표면 상의 일 지점으로 하는 구를 형상화했을 때, 그 구의 일부가 도 10에 도시된 음영 지역에 해당하며, 이 경우 구 내부에 무인기가 위치하면 전술한 것과 같이 목표점으로 향하는 것이 보다 합리적인 방법인 바, 무인기 기동부(340)가 내비게이션 모드로 동작하도록 한다(단계 S440).

[0154] 만약 수학식 10을 충족하지 않는다면, 무인기의 위치는 도 10에서 음영 지역 외에 있는 것으로, 이 경우에는 조준점을 생성하여 해당 중요 외접구를 벗어나도록 할 필요가 있다.

[0155] 따라서, 이 경우에는 조준점을 생성하고(단계 S420), 조준점으로 무인기를 안내하도록 한다(단계 S425).

[0156] 무인기가 회피해야 할 장애물은 하나 이상이 존재할 수 있다. 즉, 다중 장애물에 대한 처리 방법에 대하여 이하 살펴보기로 한다.

[0157] 도 12는 다중 장애물의 경우 획득된 깊이 지도 및 조준점 후보군 생성을 나타낸 도면이다.

[0158] 장애물 탐지부(320)는 다중 영상을 바이너리 영상(binary image)으로 변환하고 클러스터(cluster)를 생성함으로써 다중 장애물을 처리할 수 있다.

[0159] 바이너리 영상은 깊이 값이 임계치보다 작은 픽셀에 '1'을 할당하고, 나머지에는 '0(zero)'을 할당함으로써 형성될 수 있다. 그후, 클러스터의 수를 계산하기 위해 픽셀 값이 '1'인 연결된 픽셀들을 바이너리 영상에서 라벨을 붙인다.

[0160] 도 12의 (a)는 예시로서 무인기의 전면에 3개의 장애물이 있는 경우를 보여준다. 도 12의 (b)는 무인기에 의해 획득된 깊이 지도이다. 바이너리 이미지는 도 12(c)에 도시된 것과 같이 깊이 지도를 이용하여 형성될 수 있다.

[0161] 도 12에는 2개의 클러스터가 있는데, 이는 2개의 장애물이 깊이 지도에서 오버랩되었기 때문이다. 이 경우, 오버랩된 장애물들은 하나의 장애물로 취급된다.

[0162] 이제, 조준점 후보는 각 클러스터 주위로 계산된다. 일부 지점이 다른 장애물의 충돌 안전 경계에 포함된다면, 이 지점들은 도 12의 (c)에 도시된 것과 같이 후보에서 제외된다. 이러한 절차 이후 도 7에 도시된 장애물 회피 방법을 이용하여 조준점이 선택되도록 할 수 있다.

[0163] 본 실시예에 따른 장애물 회피 방법을 적용한 장애물 회피 시스템의 성능에 대하여 다음 수치 시뮬레이션 결과 및 그 분석을 설명하기로 한다. 수치 시뮬레이션에 사용된 무인기와 카메라의 파라미터들이 표 3에 요약되어 있다.

[0164] [표 2]

[0165]

Quadrotor						Camera	
m	$0.65kg$	k_{ty}	$2kg/s$	J_x	$7.5e^{-3}kgm^2$	Resolution	360×240
d	$0.25m$	k_{tz}	$4kg/s$	J_y	$7.5e^{-3}kgm^2$	Focal length	$0.01m$
g	$9.81m/s^2$	k_{rx}	$1.5e^{-1}kgm^2/s$	J_z	$1.3e^{-2}kgm^2$	Baseline	$0.2m$
J_r	$4e^{-4}kgm^2$	k_{ry}	$1.5e^{-1}kgm^2/s$			Horizontal field of view	$48°$
k_{tx}	$2kg/s$	k_{rz}	$1.5e^{-1}kgm^2/s$			Vertical field of view	$36.9°$

[0166] 선형 무인기 추적기의 가중치 행렬과 자세 제어 시스템의 최적 이득 행렬은 다음과 같다.

[0167] [수학식 11]

[0168]
$$Q_a = diag[10, 6, 10, 6, 10, 6]$$
$$R_a = diag[0.1, 0.1, 0.1]$$
$$k_a = \begin{bmatrix} 10.0000 & 8.9443 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10.0000 & 8.9443 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10.0000 & 8.9443 \end{bmatrix}$$

[0169] 위치 제어 시스템에 대한 것들은 다음과 같다.

[0170] [수학식 11]

[0171]
$$Q_p = diag[2, 9, 2, 9, 2, 9]$$
$$R_p = diag[1, 1, 1]$$
$$k_p = \begin{bmatrix} 1.4142 & 3.4392 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.4142 & 3.4392 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.4142 & 3.4392 \end{bmatrix}$$

[0172] 무인기의 지나친 기동을 피하기 위해, 롤과 피치 각도는 15도(°) 내외 범위에서 설정된다. 깊이 지도에서 장애물을 결정하기 위한 임계치는 4m로 선택된다.

[0173] 시뮬레이션 I에서는 제2 충돌 회피 모드를 적용한 경우의 성능 개선에 관한 것이다. 무인기의 초기 위치는 $[19\ 0\ 7]^T$이고, 목표점은 $[0\ 0\ 7]^T$이며, $[9.5\ 0\ 6.5]^T$ 위치에 중심이 있고 1.5m 반경을 가지는 구 형상의 장애물이 존재한다.

[0174] 도 13은 무인기의 궤적을 보여준다. 여기서, 파란 실선은 내비게이션 모드 수행, 빨간 실선은 제1 충돌 회피 모드 수행, 청록색 점선은 제2 충돌 회피 모드 수행, 파란 점선은 제2 충돌 회피 모드를 적용하지 않았을 경우의 수행 결과를 나타낸다.

[0175] 무인기는 초기에 경로점 안내를 사용하여 목표점을 향해 이동한다. 무인기와 장애물 사이의 거리가 미리 정의된 임계치에 도달했을 때, 깊이 지도에 장애물이 나타나고 무인기는 도 13에서 빨간선으로 표시된 제1 충돌 회피 모드를 수행하기 시작한다. 제2 충돌 회피 모드 이후 스테레오 비전이 더 이상 장애물을 감지하지 못할 때, 시뮬레이션은 제2 충돌 회피 모드가 없을 경우와 제2 충돌 회피 모드 2가 적용된 경우와 같이 2가지 경우로 구분된다. 제2 충돌 회피 모드가 없을 경우에는 깊이 지도에서 장애물이 보이지 않게 되고, 따라서 무인기는 위험을 인지하지 못하고 내비게이션 모드로 전환한다. 도 13에서 파란색 점선 이 경우를 보여준다. 제2 충돌 회피 모드 2가 적용된 경우 무인기는 이전에 생성한 외접구를 사용하고, 그 궤적이 도 13에서 청록색 점선으로 표시되어 있다.

[0176] 도 14의 (a)는 비행 중 무인기와 장애물 사이의 최근접 거리를 보여주며, 도 14의 (b)는 충돌 회피 플래그를 보여준다. 충돌 회피 플래그는 무인기가 충돌 회피 모드를 수행하고 있을 때 '1'이고, 그렇지 않을 때 '0(zero)'이다. 도 14의 (b)에 도시된 것처럼, 충돌 회피 모드 1은 15.7초(s)에 종료한다. 제2 충돌 회피 모드가 적용되지 않는 경우, 15.7초 이후에는 무인기와 장애물 사이의 거리가 도 14의 (a)에서 점선으로 표시된 것처럼 최고 0.84m까지 줄어들게 된다. 하지만, 제2 충돌 회피 모드를 적용한 경우에는 도 14의 (a)에서 실선으로 표시된 것처럼, 최소 거리가 2.0259m인데, 이는 제2 충돌 회피 모드 2가 적용되지 않은 경우와 비교할 때 개선되었음을 보여준다.

[0177] 도 15는 무인기의 자세, 속도, 추력 입력(thrust input)의 시간 응답을 각각 보여준다. 도 15의 (a)에서 점선은 제어 입력으로부터의 명령이고, 실선은 실제 응답이다. 제어 응답은 포화 경계(saturation bound) 내에 있으며, 무인기의 지나친 기동을 피한다.

[0178] 다음으로는 다중 장애물에 대한 충돌 회피 처리를 수행한 시뮬레이션 II에 대해 설명하기로 한다.

[0179] 9개의 장애물이 존재하고, 각 장애물은 1m, 1m, 3m의 직육면체이다. 무인기의 초기 위치는 $[25\ 0\ 2]^T$이고, 목표점은 $[0\ 0\ 2]^T$이다.

[0180] 도 16은 무인기의 궤적을 보여준다. 초기 시간에, 무인기는 2개의 장애물에 직면한다. 2개의 장애물 사이의 간격은 좁기 때문에, 무인기는 이 간격 사이로 지나가지 않고 장애물 주위로 돌아가려 한다. 도 11의 (c)에 도시된 것처럼 조준점 후보가 다른 장애물의 충돌 안전 경계 내에 있는 경우 제외되는 것을 회상해 보면 된다. 1차 회피 이후, 무인기는 둘 이상의 장애물을 감지한다. 도 16에 도시된 것처럼, 무인기는 제1 및 제2 충돌 회피 모드를 적절히 사용하여 목표점에 안전하게 도착한다. 도 17은 무인기의 자세각, 속도 및 추력 입력을 각각 보여준다.

[0181] 도 7 및/또는 도 11에 도시된 장애물 회피 방법은 디지털 처리 장치(장애물 회피 시스템)에 내장되거나 설치된 프로그램 등에 의해 시계열적 순서에 따른 자동화된 절차로 수행될 수도 있음은 당연하다. 상기 프로그램을 구성하는 코드들 및 코드 세그먼트들은 당해 분야의 컴퓨터 프로그래머에 의하여 용이하게 추론될 수 있다. 또한, 상기 프로그램은 디지털 처리 장치가 읽을 수 있는 정보저장매체(computer readable media)에 저장되고, 디지털 처리 장치에 의하여 읽혀지고 실행됨으로써 상기 방법을 구현한다. 상기 정보저장매체는 자기 기록매체, 광 기록매체 및 캐리어 웨이브 매체를 포함한다.

[0182] 상기에서는 본 발명의 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0183] 100: 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템

110: 깊이 지도 생성부 120: 장애물 탐지부

130: 충돌 회피 처리부 140: 무인기 기동부

300: 다중 영상 기반 장애물 회피 시스템

310: 깊이 지도 생성부 320: 장애물 탐지부

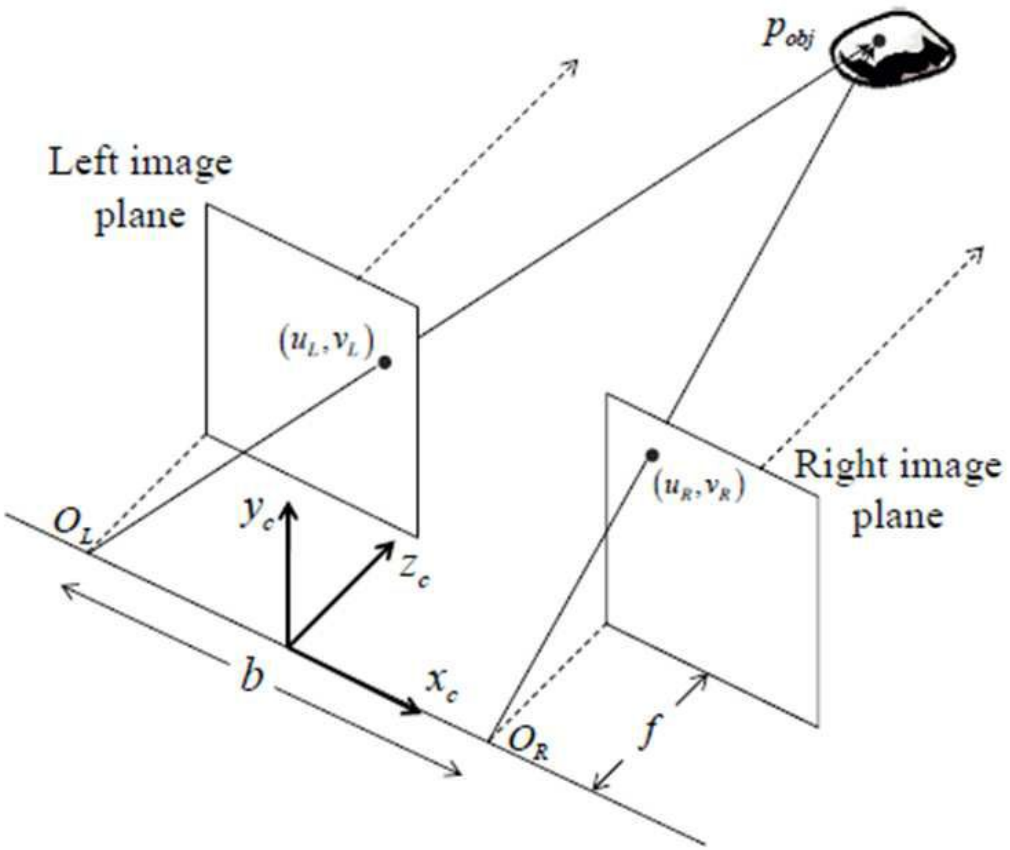
330: 충돌 회피 처리부 340: 무인기 기동부

350: 저장부

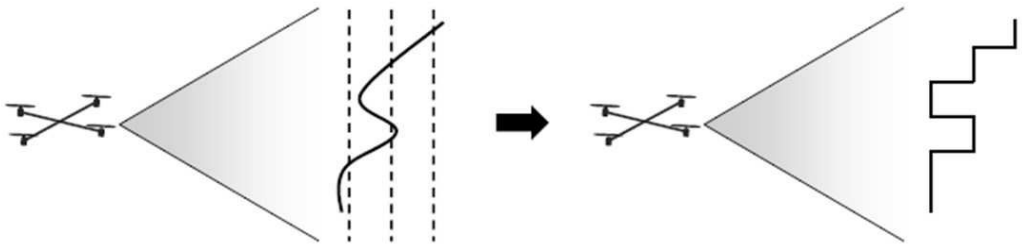
도면

도면1

도면2

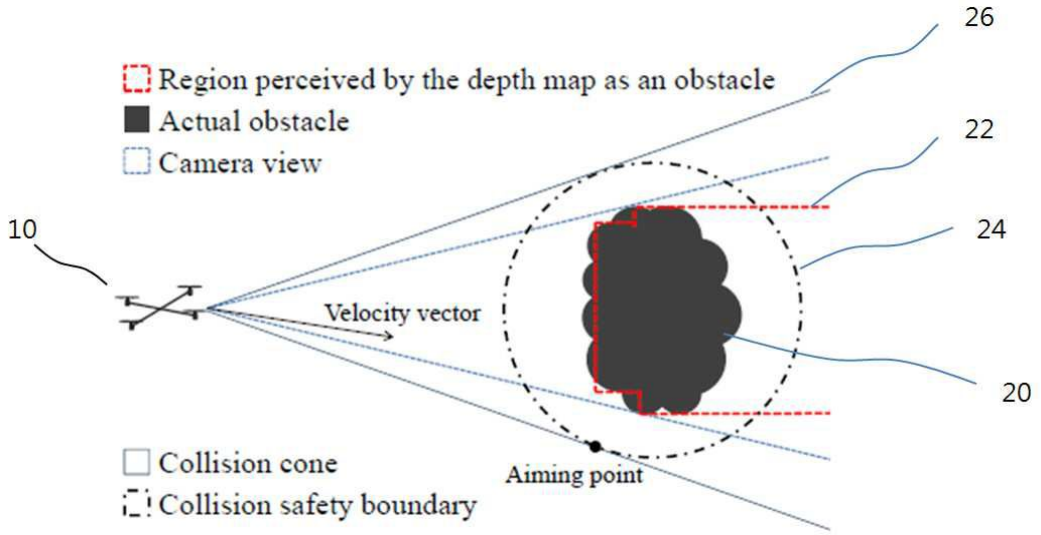

p_{obj}
Left image plane
(u_L, v_L)
(u_R, v_R)
Right image plane
O_L
y_c
z_c
x_c
b
O_R
f

도면3

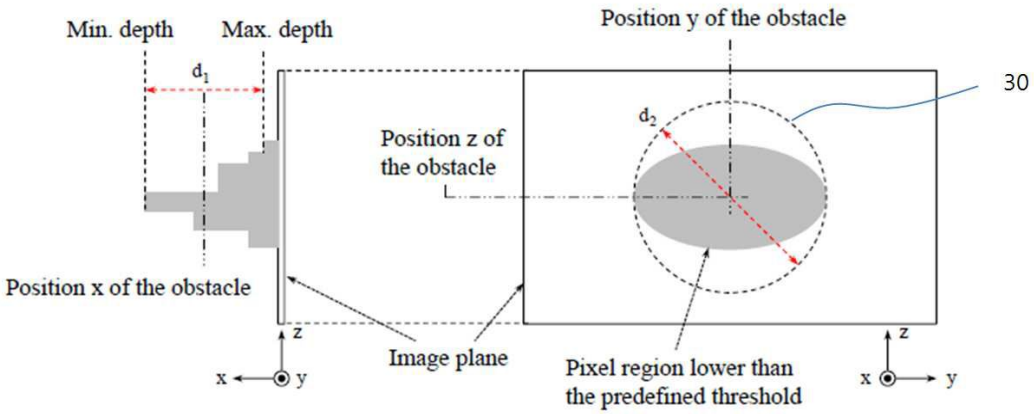


(a) (b)

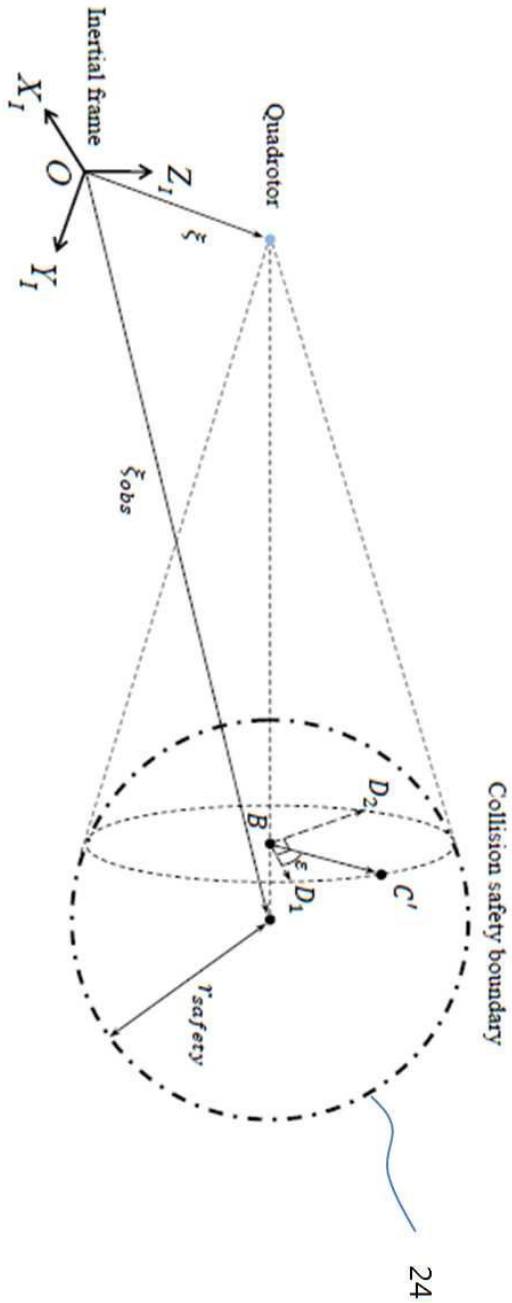
도면4


Region perceived by the depth map as an obstacle
Actual obstacle
Camera view
Collision cone
Collision safety boundary
Velocity vector
Aiming point
10
20
22
24
26

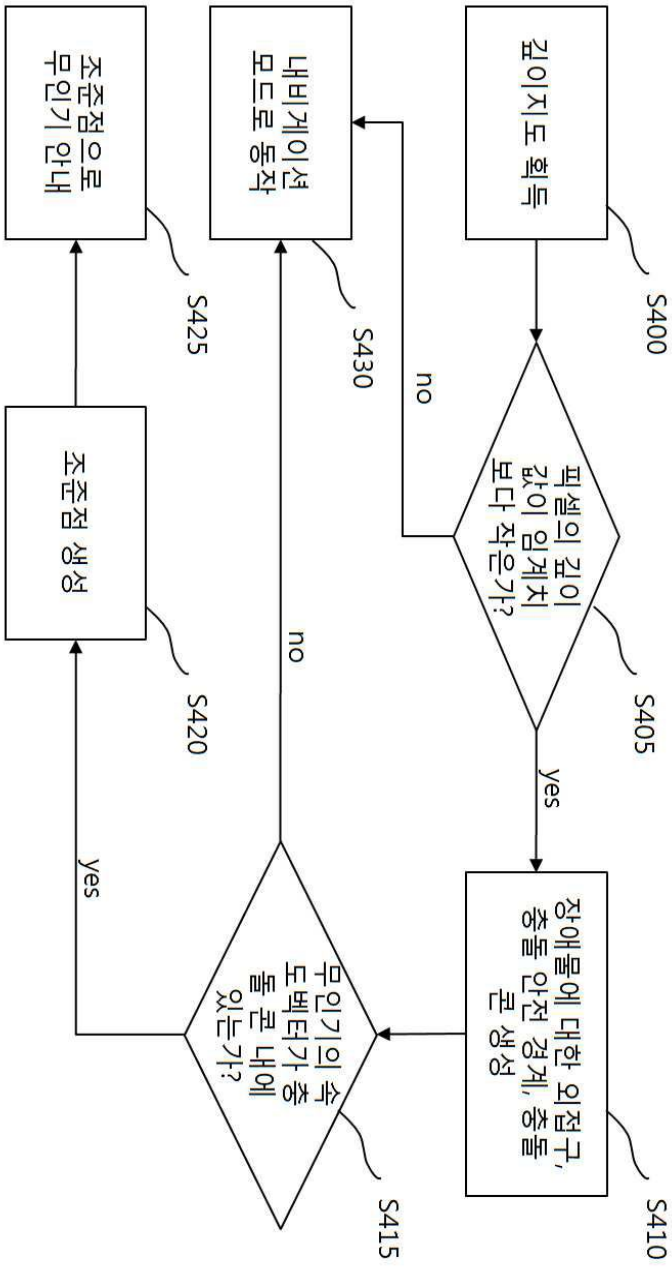
도면5


Min. depth
Max. depth
d1
Position x of the obstacle
Position z of the obstacle
Position y of the obstacle
d2
30
Image plane
Pixel region lower than the predefined threshold
z
x
y

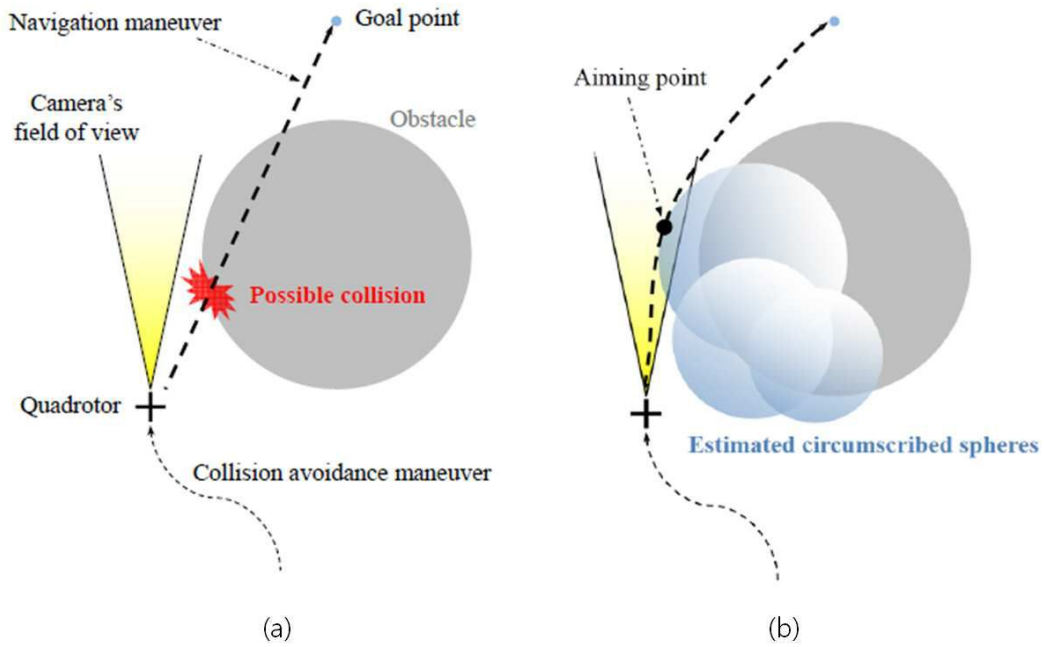
도면6


Inertial frame
X_I
Z_I
Y_I
O
Quadrotor
ξ
ξ_{obs}
D_2
B
ε
D_1
C'
r_{safety}
Collision safety boundary
24

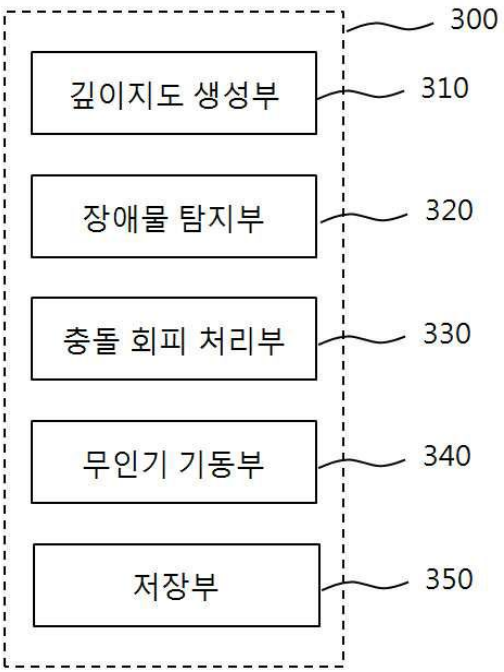
도면7


깊이지도 획득
S400
픽셀의 깊이 값이 임계치 보다 작은가?
S405
no
yes
장애물에 대한 외접구, 충돌 안전 경계, 충돌 콘 생성
S410
무인기의 속도벡터가 충돌 콘 내에 있는가?
S415
no
yes
내비게이션 모드로 동작
S430
조준점 생성
S420
조준점으로 무인기 안내
S425

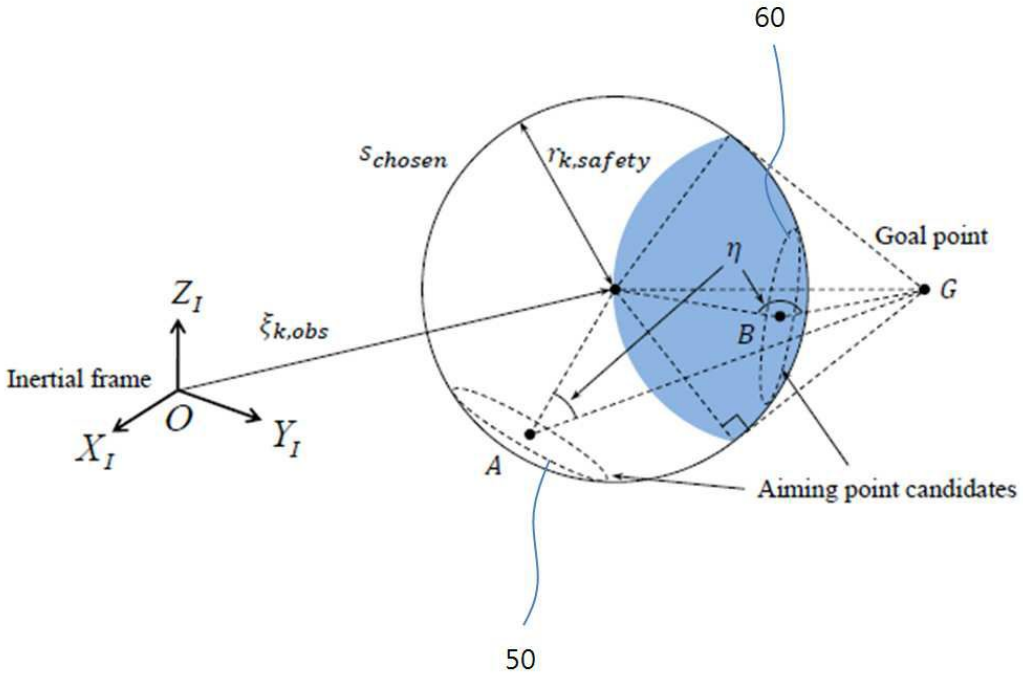
도면8


Navigation maneuver
Goal point
Camera's
field of view
Obstacle
Possible collision
Quadrotor
Collision avoidance maneuver
Aiming point
Estimated circumscribed spheres
(a)
(b)

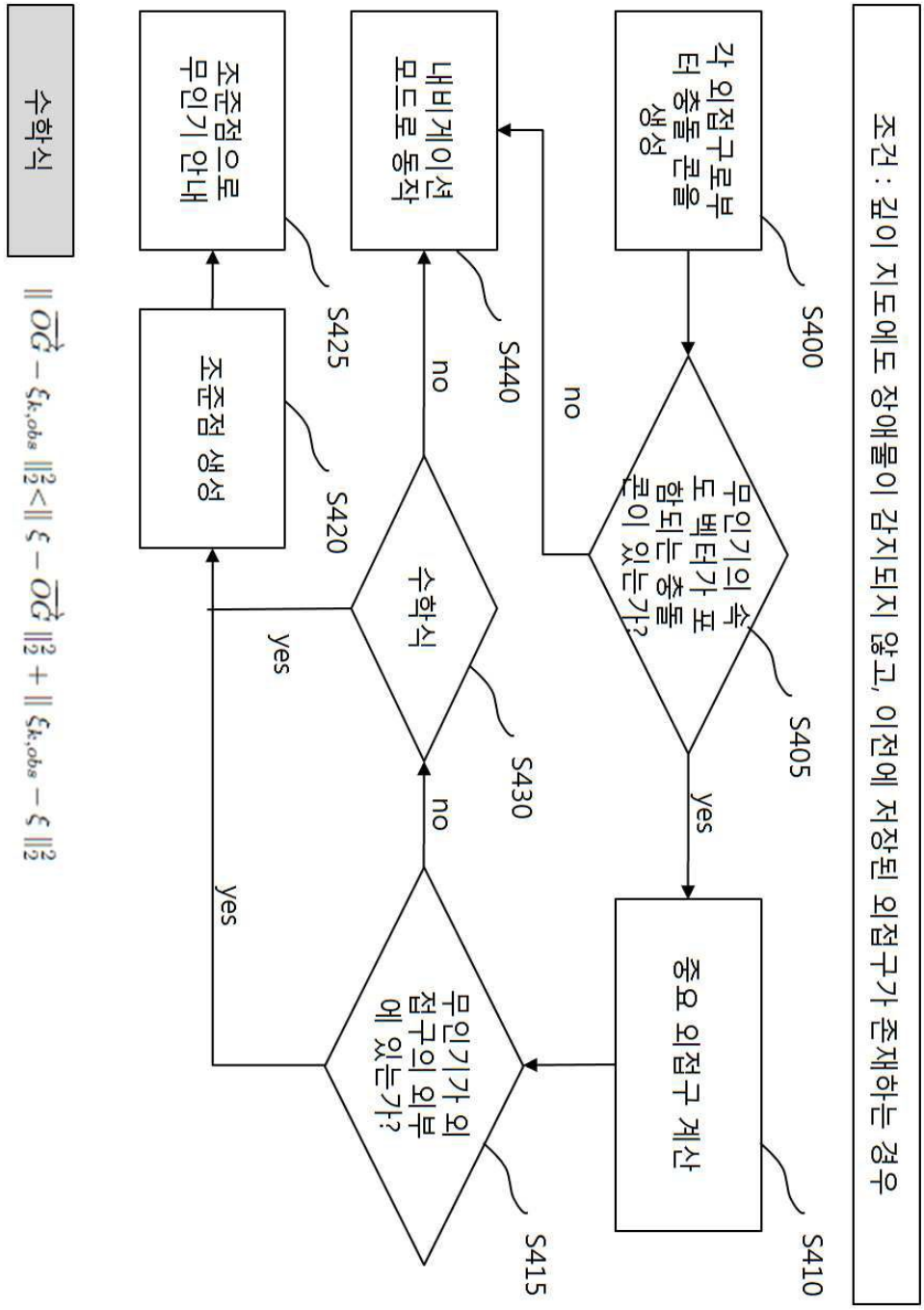
도면9


300
깊이지도 생성부
310
장애물 탐지부
320
충돌 회피 처리부
330
무인기 기동부
340
저장부
350

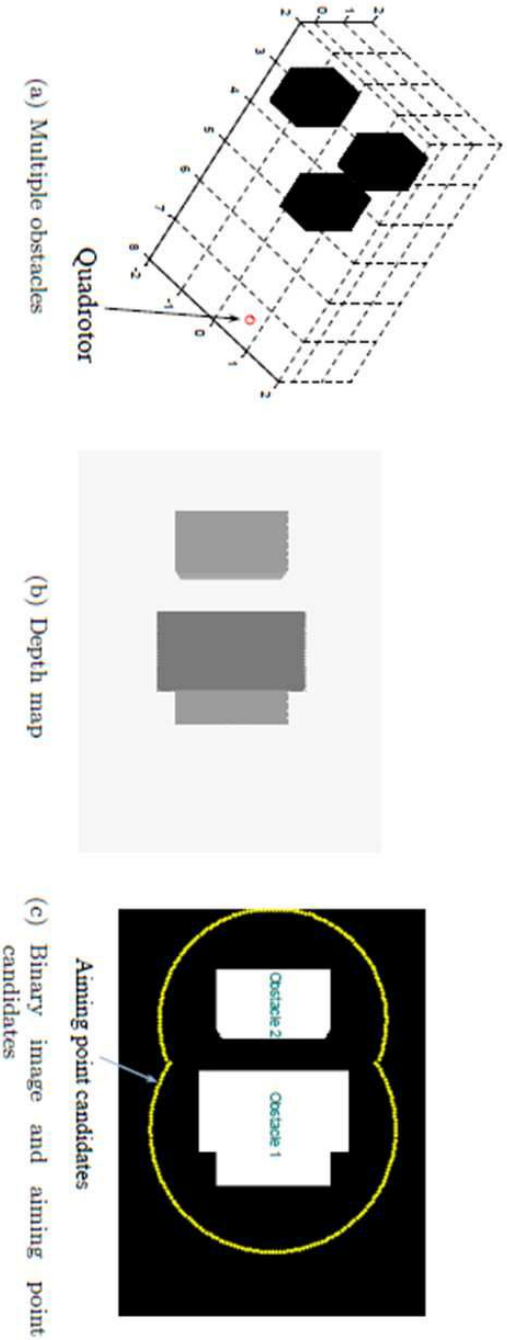
도면10


60
s_{chosen}
$r_{k,safety}$
Goal point
η
Z_I
$\xi_{k,obs}$
G
B
Inertial frame
O
X_I
Y_I
A
Aiming point candidates
50

도면11


조건 : 깊이 지도에도 장애물이 감지되지 않고, 이전에 저장된 외접구가 존재하는 경우
S400
각 외접구로부터 충돌 콘을 생성
S405
무인기의 속도 벡터가 포함되는 충돌 콘이 있는가?
no
yes
S410
중요 외접구 계산
S415
무인기가 외접구의 외부에 있는가?
no
yes
S420
조준점 생성
S425
조준점으로 무인기 안내
S430
수학식
no
yes
S440
내비게이션 모드로 동작
수학식
$\| \overrightarrow{OG} - \xi_{k,obs} \|_2^2 < \| \xi - \overrightarrow{OG} \|_2^2 + \| \xi_{k,obs} - \xi \|_2^2$

도면12

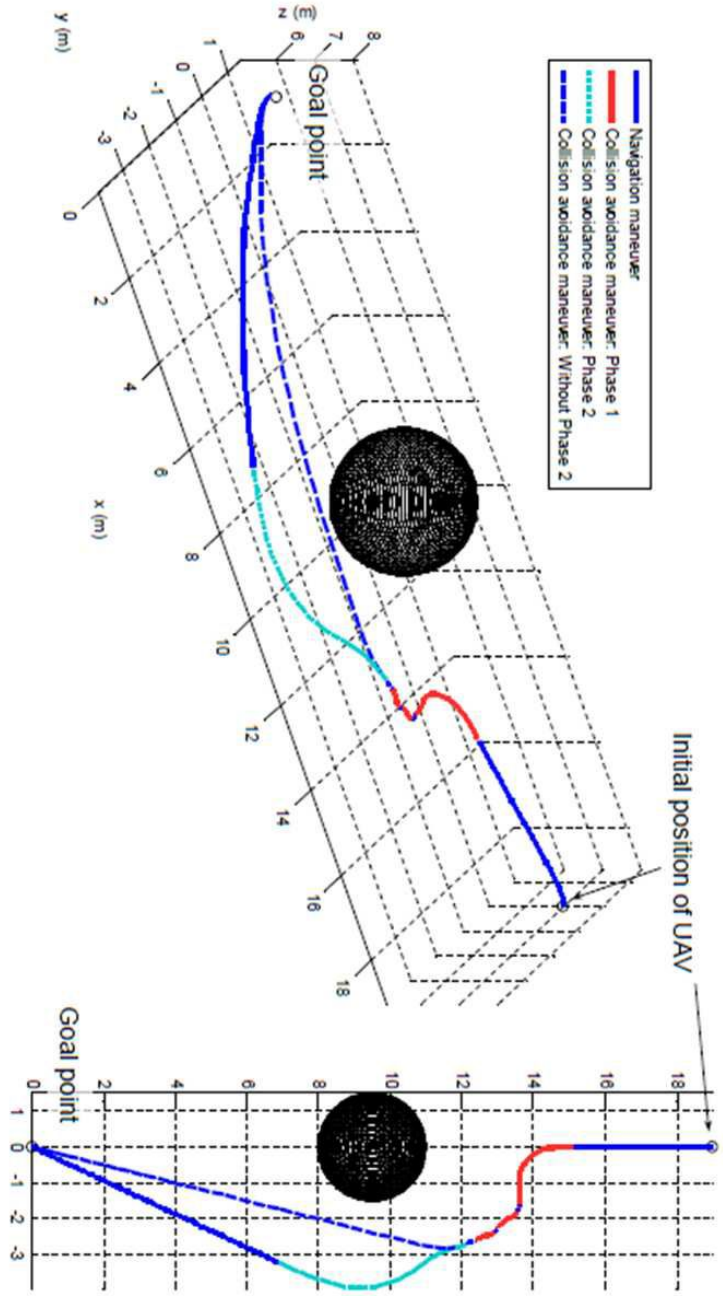


(a) Multiple obstacles

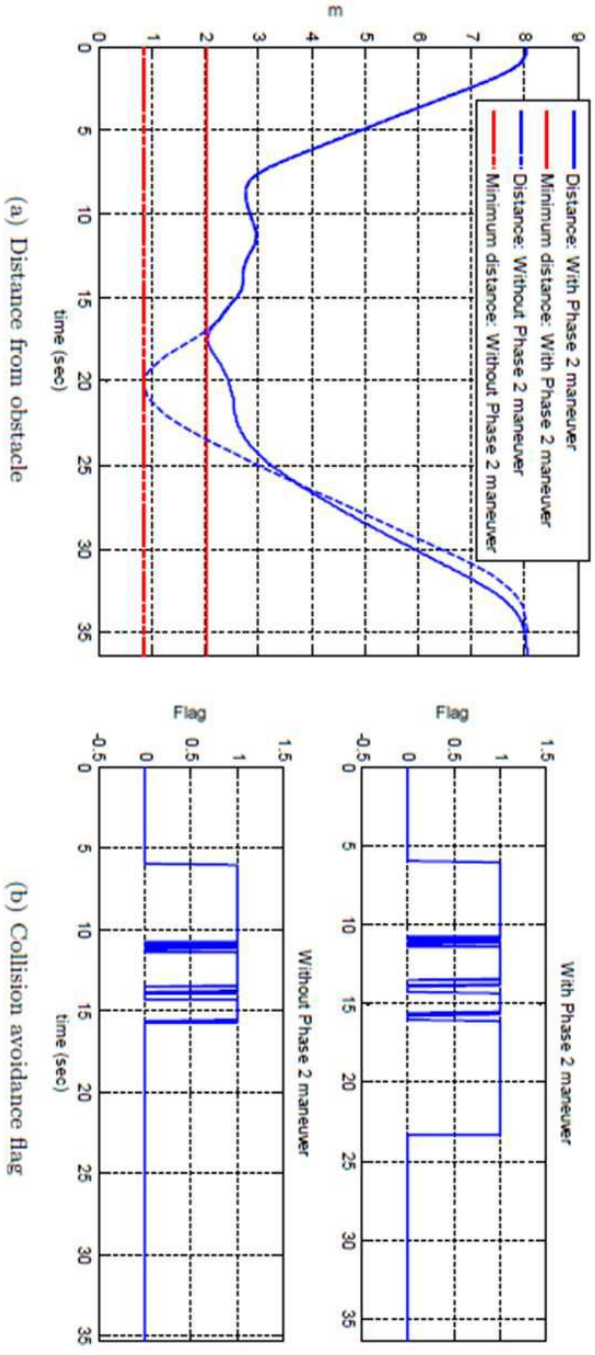
(b) Depth map

(c) Binary image and aiming point candidates

도면13


Navigation maneuver
Collision avoidance maneuver: Phase 1
Collision avoidance maneuver: Phase 2
Collision avoidance maneuver: Without Phase 2
Goal point
Initial position of UAV
Goal point
x (m)
y (m)
z (m)

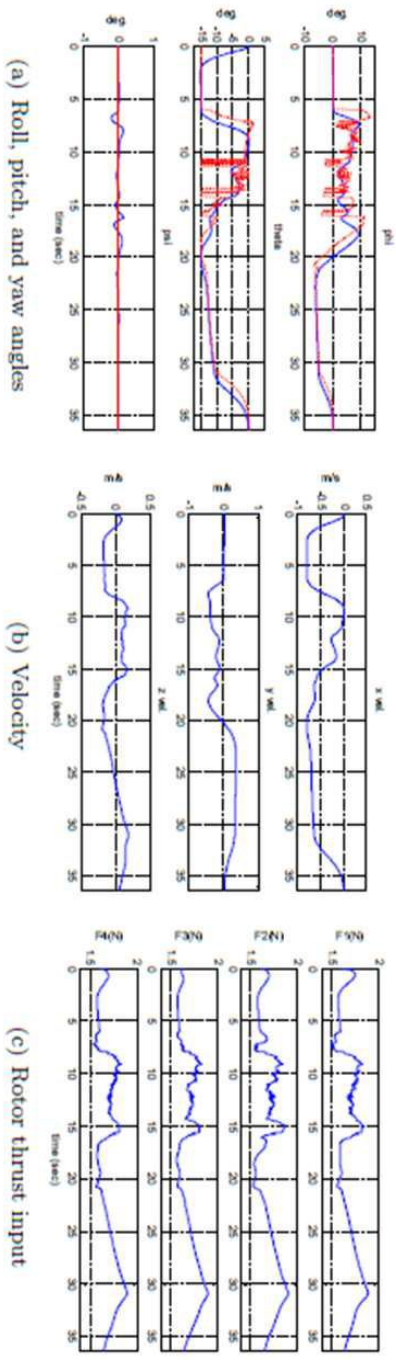
도면14



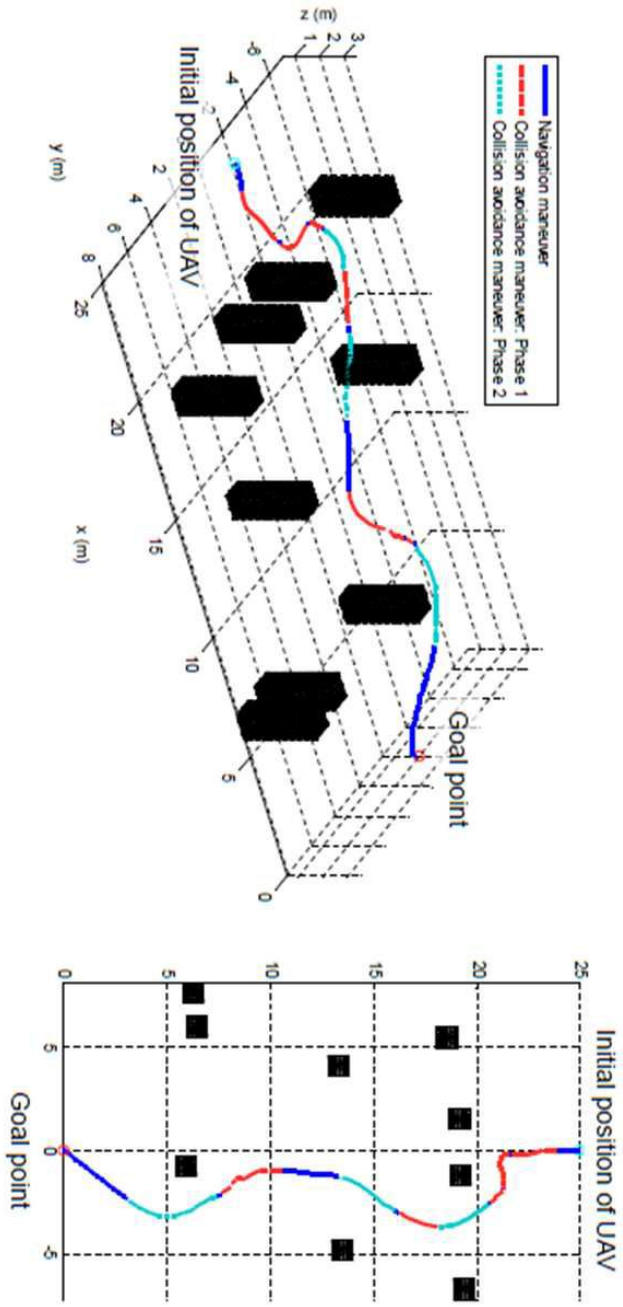
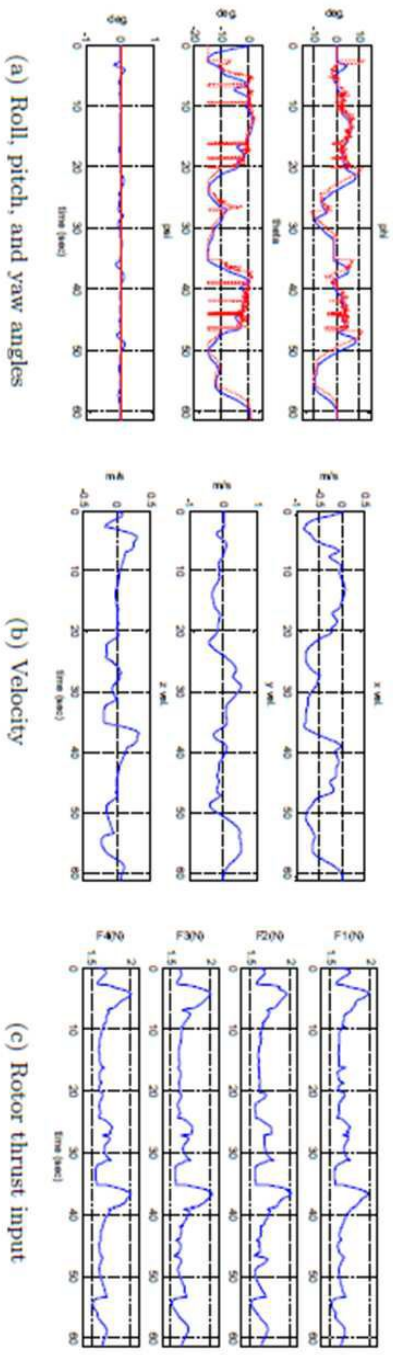
(a) Distance from obstacle

(b) Collision avoidance flag

도면15



도면16


z (m)
y (m)
x (m)
Navigation maneuver
Collision avoidance maneuver: Phase 1
Collision avoidance maneuver: Phase 2
Initial position of UAV
Goal point
Goal point
Initial position of UAV

도면17