(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0111347
(43) 공개일자 2020년09월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G05D 1/02* (2020.01) *B64C 39/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*G05D 1/0212* (2013.01)
*B64C 39/024* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0030911
(22) 출원일자 2019년03월19일
심사청구일자 2019년03월19일

(71) 출원인
**세종대학교산학협력단**
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
**박성수**
서울시 광진구 아차산로 262 더샵스타시티 D-4006
(74) 대리인
**유병욱, 한승범**

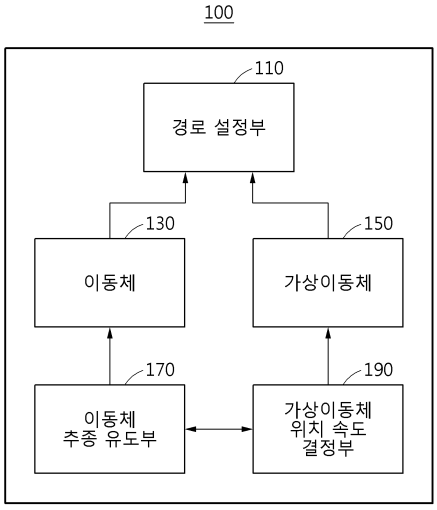
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법**

## (57) 요 약

본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템은, 경로설정부; 상기 경로설정부에 의해 설정된 경로를 따라 이동하는 이동체; 상기 경로를 따라 이동하도록 지정되는 가상이동체; 상기 경로에 대한 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 가상이동체 위치속도 결정부; 및 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 이동체 추종 유도부;를 포함하며, 상기 경로설정부는 연속된 곡률을 가지는 경로를 설정할 수 있다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*G05D 1/0202* (2013.01)
*B64C 2201/14* (2013.01)

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

경로설정부;

상기 경로설정부에 의해 설정된 경로를 따라 이동하는 이동체;

상기 경로를 따라 이동하도록 지정되는 가상이동체;

상기 경로에 대한 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 가상이동체 위치속도 결정부; 및

상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 이동체 추종 유도부;를 포함하며,

상기 경로설정부는 연속된 곡률을 가지는 경로를 설정하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 시스템.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 가상이동체는 상기 경로에서 일정 거리 떨어진 지점에 위치하며,

상기 가상이동체 위치속도 결정부는 상기 경로에서부터 일정 거리 떨어진 지점에서 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 시스템.

### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 가상이동체 위치속도 결정부는,

상기 경로 상에 상기 이동체를 투영한 투영점에서 상기 경로의 접선방향으로 일정 거리 떨어진 지점에 상기 가상이동체를 위치시키며, 상기 지점은 상기 경로의 접선방향을 따라 상기 투영점 보다 전방에 위치하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 시스템.

### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 이동체 추종 유도부는,

순수비례항법유도와 추적유도를 이용하여 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 시스템.

### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 이동체 추종 유도부는,

비례항법계수가 1인 순수비례항법유도 법칙과 추적유도 법칙의 합인 복합유도법칙을 이용하여 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 시스템.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템을 이용한 연속곡률경로 추종유도 방법에 있어서,

상기 가상이동체 위치속도 결정부에 의해서 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 단계; 및

상기 이동체 추종 유도부에 의해서 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 가상이동체 위치속도 결정부에 의해서 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 단계에서,

상기 가상이동체 위치속도 결정부는, 상기 이동체의 위치를 상기 경로 상에 투영시킨 투영점에서 상기 경로 상의 접선방향으로 일정 거리 앞에 위치한 지점에서 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 가상이동체 위치속도 결정부는, 상기 경로의 곡률과 상기 이동체의 속도의 함수로부터 상기 가상이동체의 속도를 계산하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 이동체 추종 유도부에 의해서 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 단계에서,

상기 이동체 추종 유도부는, 순수비례항법유도 법칙과 추적유도법칙을 이용하여 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 이동체 추종 유도부에 의해서 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 단계는,

상기 경로에 상기 이동체의 최단거리 투영점을 계산하는 단계;

상기 투영점에서 상기 경로의 접선방향 단위벡터를 계산하는 단계;

상기 투영점에서 상기 경로의 곡률을 계산하는 단계;

상기 투영점에서 상기 접선방향 단위벡터에 수직인 직각 단위벡터를 계산하는 단계;

상기 투영점에서 상기 접선방향 단위벡터의 방향으로 일정 거리 떨어진 지점에 상기 가상이동체를 위치시키는 단계;

상기 가상이동체의 속도를 고려하여 상기 이동체의 속도를 계산하는 단계; 및

순수비례항법유도와 추적유도를 이용하여 상기 이동체의 명령 가속도를 계산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 순수비례항법유도와 추적유도를 이용하여 상기 이동체의 명령 가속도를 계산하는 단계에서는, 비례항법계수가 1인 순수비례항법유도 법칙과 추적유도 법칙의 합인 복합유도법칙을 이용하여 상기 명령 가속도를 생성하는 것을 특징으로 하는 연속곡률경로 추종유도 방법.

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 무인항공기를 포함하는 이동체가 연속곡률을 가지는 이동경로를 추종하게 하는 유도법칙을 설계할 수 있는 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 무인항공기 등의 비행체가 원하는 비행경로를 따라 이동하도록 하는 유도하는 방법에 있어서, 종래의 방법 중 하나는 무인항공기와 비행경로 간의 거리오차를 이용한 비례-적분-미분 제어(PID control)이다. 이 방법은 무인항공기의 경로가 직선 경로인 경우에 직선 경로와 무인항공기 사이의 거리오차가 작은 경우에서만 우수한 경로 추종 성능을 보인다는 한계가 있다.

[0003] 다른 방법으로는 벡터필드를 이용하는 방법이 있다. 원하는 경로를 둘러싸는 벡터필드를 구성하여 무인항공기가 경로로 수렴하도록 하는 방법이다. 하지만 이 방법은 2차원의 평면 상에 설정된 직선 경로 또는 원 경로 보다 복잡한 3차원 공간 상의 일반적인 경로에는 적절한 벡터필드를 구성하기가 매우 힘든 단점이 있다.

[0004] 또 다른 방법으로는 설정된 경로를 따라 움직이는 가상비행체를 지정하고 고전적인 시선 유도법칙을 적용하는 방법이 있다. 이 방법은 큰 경로 오차가 있는 경우에도 적용 가능하지만, 가상비행체가 무인항공기의 비행경로 상에 위치하기 때문에 가상비행체의 위치와 속도를 결정하는 방법이 복잡하고 어렵다. 또한, 무인항공기와 원하는 경로 사이의 초기 거리가 지정된 거리보다 작아야 한다는 단점이 있다.

[0005] 따라서, 3차원 공간 상에 설정된 직선 경로, 원 경로를 포함하는 어떠한 연속곡률을 가지는 비행경로이더라도 무인항공기와 경로 사이의 초기 거리의 크기에 관계 없이 정확한 경로 추종이 가능한 기술이 필요하다.

[0006] 본 출원인은, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명을 제안하게 되었다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1184625호(2012.09.14.)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 무인항공기를 포함하는 이동체가 연속곡률을 가지는 이동경로를 추종하게 하는 유도법칙을 설계할 수 있는 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법을 제공한다.

[0009] 본 발명은 가상이동체의 위치와 속도를 결정하는 방식이 명시적이고 계산이 간단한 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법을 제공한다.

[0010] 본 발명은 이동체가 설정된 경로를 저절로 정확하게 추종하게 되는 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법을 제공한다.

## 과제의 해결 수단

[0011] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템은, 경로설정부; 상기 경로설정부에 의해 설정된 경로를 따라 이동하는 이동체; 상기 경로를 따라 이동하도록 지정되는 가상이동체; 상기 경로에 대한 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 가상이동체 위치속도 결정부; 및 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 이동체 추종 유도부;를 포함하며, 상기 경로설정부는 연속된 곡률을 가지는 경로를 설정할 수 있다.

[0012] 상기 가상이동체는 상기 경로에서 일정 거리 떨어진 지점에 위치하며, 상기 가상이동체 위치속도 결정부는 상기 경로에서부터 일정 거리 떨어진 지점에서 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정할 수 있다.

[0013] 상기 가상이동체 위치속도 결정부는, 상기 경로 상에 상기 이동체를 투영한 투영점에서 상기 경로의 접선방향으로 일정 거리 떨어진 지점에 상기 가상이동체를 위치시키며, 상기 지점은 상기 경로의 접선방향을 따라 상기 투영점 보다 전방에 위치할 수 있다.

[0014] 상기 이동체 추종 유도부는, 순수비례항법유도와 추적유도를 이용하여 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도할 수 있다.

[0015] 상기 이동체 추종 유도부는, 비례항법계수가 1인 순수비례항법유도 법칙과 추적유도 법칙의 합인 복합유도법칙을 이용하여 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도할 수 있다.

[0016] 한편, 발명의 다른 분야에 의하면, 본 발명은, 상기한 연속곡률경로 추종유도 시스템을 이용한 연속곡률경로 추종유도 방법에 있어서, 상기 가상이동체 위치속도 결정부에 의해서 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 단계; 및 상기 이동체 추종 유도부에 의해서 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 단계;를 포함하는 연속곡률경로 추종유도 방법을 제공할 수 있다.

[0017] 상기 가상이동체 위치속도 결정부에 의해서 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 단계에서, 상기 가상이동체 위치속도 결정부는, 상기 이동체의 위치를 상기 경로 상에 투영시킨 투영점에서 상기 경로 상의 접선방향으로 일정 거리 앞에 위치한 지점에서 상기 가상이동체의 위치 및 속도를 결정할 수 있다.

[0018] 상기 가상이동체 위치속도 결정부는, 상기 경로의 곡률과 상기 이동체의 속도의 함수로부터 상기 가상이동체의 속도를 계산할 수 있다.

[0019] 상기 이동체 추종 유도부에 의해서 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 단계에서, 상기 이동체 추종 유도부는, 순수비례항법유도 법칙과 추적유도법칙을 이용하여 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도할 수 있다.

[0020] 상기 이동체 추종 유도부에 의해서 상기 이동체가 상기 가상이동체를 추격하도록 유도하는 단계는, 상기 경로에 상기 이동체의 최단거리 투영점을 계산하는 단계; 상기 투영점에서 상기 경로의 접선방향 단위벡터를 계산하는 단계; 상기 투영점에서 상기 경로의 곡률을 계산하는 단계; 상기 투영점에서 상기 접선방향 단위벡터에 수직인 직각 단위벡터를 계산하는 단계; 상기 투영점에서 상기 접선방향 단위벡터의 방향으로 일정 거리 떨어진 지점에 상기 가상이동체를 위치시키는 단계; 상기 가상이동체의 속도를 고려하여 상기 이동체의 속도를 계산하는 단계; 및 순수비례항법유도와 추적유도를 이용하여 상기 이동체의 명령 가속도를 계산하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 순수비례항법유도와 추적유도를 이용하여 상기 이동체의 명령 가속도를 계산하는 단계에서는, 비례항법계수가 1인 순수비례항법유도 법칙과 추적유도 법칙의 합인 복합유도법칙을 이용하여 상기 명령 가속도를 생성할 수 있다.

## 발명의 효과

[0022] 본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법은 3차원 공간 상에 설정된 이동체의 경로가 직선 경로 또는 원 경로를 포함한 형태의 경로이더라도 연속곡률을 가지는 경로이기만 하면 이동체와 경로 사이의 초기 거리의 크기에 상관없이 정확한 경로 추종이 가능하다.

[0023] 본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법은 종래기술과 달리 가상이동체가 이동체의 경로 상에 위치하는 것이 아니라 경로에서 떨어진 지점에 가상이동체를 위치시키기 때문에 가상이동체의 위치와 속도를 결정하는 방식이 명시적이고 계산이 간단하다.

[0024] 본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템 방법은 비례항법계수가 1인 순수비례항법유도 법칙과 추적유도

법칙의 합인 복합유도법칙을 이용하여 이동체의 추종을 유도하기 때문에 이동체가 설정된 경로를 저절로 정확하게 추종할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.

도 2 내지 도 4는 도 1에 따른 시스템에 의한 추종유도 원리를 설명하기 위한 도면이다.

도 5 내지 도 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템을 이용한 연속곡률경로 추종유도 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법의 검증 데이터이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템의 구성을 개략적으로 나타내는 도면, 도 2 내지 도 4는 도 1에 따른 시스템에 의한 추종유도 원리를 설명하기 위한 도면, 도 5 내지 도 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템을 이용한 연속곡률경로 추종유도 방법을 설명하기 위한 순서도, 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법의 검증 데이터이다.

[0028] 이하에서 설명하는 본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법은 무인항공기를 비롯하여 3차원 또는 2차원 공간 상을 움직이는 무인로봇, 무인자동차, 무인선박, 무인잠수정 등에도 적용될 수 있다. 이하에서 "이동체"는 무인항공기, 무인로봇, 무인자동차, 무인선박, 무인잠수정을 포함하는 무인이동체를 의미한다. 또한, "경로"는 이동체가 비행 또는 주행을 하기 위한 경로(Path)를 의미한다.

[0029] 우선, 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100)은, 경로설정부(110); 경로설정부(110)에 의해 설정된 경로를 따라 이동하는 이동체(130); 상기 경로를 따라 이동하도록 지정되는 가상이동체(150); 상기 경로에 대한 가상이동체(150)의 위치 및 속도를 결정하는 가상이동체 위치속도 결정부(190); 및 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도하는 이동체 추종 유도부(170);를 포함할 수 있다.

[0030] 경로설정부(110)는 이동체(130)가 비행 또는 주행 등 이동하기 위한 경로(path)를 설정할 수 있다. 여기서, 경로설정부(110)는 연속적인 곡률을 가지는 경로 즉, 연속곡률경로(continuous curvature path)를 설정한다.

[0031] 도 2에는 연속곡률경로의 기하학(Geometry)을 설명하기 위한 도면이다. 도 2에서 $r_p$는 3차원 공간의 경로를 의미하는데 다음의 [수학식 1]로 표현될 수 있다.

### 수학식 1

[0032]
$$\boldsymbol{r}_p(l) = x(l)\,\boldsymbol{i}_1 + y(l)\,\boldsymbol{i}_2 + z(l)\,\boldsymbol{i}_3$$

[0033] [수학식 1]에서, l은 길이, 각도 등을 의미하는 파라미터이고, x,y,z는 단위방향벡터 $i_1, i_2, i_3$에서의 좌표를 의미한다. 도 2에서 $e_t$는 경로 상의 임의의 지점 D에서의 단위접선벡터이고, $e_n$은 단위접선벡터에 수직인 단위벡터이다.

[0034] 이와 같이, 경로설정부(110)는 연속된 곡률을 가지는 경로를 설정할 수 있다.

[0035] 한편, 경로설정부(110)는, 도 5에 도시된 바와 같이, 이동체(130)의 경로를 플래닝(path planning)하는 단계(1100), 이동체(130)의 경로를 스무딩(path smoothing)하는 단계(1200) 및 이동체(130)의 경로를 추종(path following)하는 단계(1300)에 관여할 수 있다.

[0036] 여기서, 경로 플래닝 단계(1100)는, 이동체(130)의 경로 상에 위치하는 다수개의 경로점(way point)을 결정하는

단계이다. 경로 스무딩 단계(1200)는 경로 플래닝 단계(1100)에서 결정된 다수개의 경로점을 부드럽게 연결하는 단계이다. 여기서, 경로 스무딩 단계(1200)에서는 경로점을 부드럽게 연결하는 경로도 생성하게 된다. 경로설정부(110)는 경로 플래닝 단계(1100) 및 경로 스무딩 단계(1200)를 거쳐서 연속곡률경로를 가지는 경로를 생성할 수 있다.

[0037] 경로 추종 단계(path following) 단계(1300)는 이동체(130)가 경로를 따라가게 하는 단계이며, 경로 스무딩 단계(1200)의 출력이 경로 추종 단계(1300)의 입력이 된다.

[0038] 이하에서 설명하는 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100) 및 방법은, 경로 추종 단계(1300)에서 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도하게 하는 시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0039] 한편, 도 1에서 이동체(130)는 경로를 따라서 이동하는 무인항공기 또는 무인자동차 등 경로추종유도의 목적 또는 대상이 되는 물체이다. 반면에, 가상이동체(150)는 실제로는 존재하는 않는 virtual target이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100) 및 방법에서는 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하게 유도함으로써 이동체(130)가 경로를 정확하게 추종하도록 유도할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100) 및 방법은, 움직이는 가상이동체(150)를 이동체(130)가 추격하도록 명령 가속도(command acceleration)를 생성함으로써 최종적으로는 이동체(130)가 원하는 경로를 추종하게 할 수 있다.

[0040] 여기서, 가상이동체(150)는 경로 상에 위치하지 않는다. 이 점에서 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100) 및 방법은 종래기술과 차이가 있다.

[0041] 가상이동체(150)는 상기 경로에서 일정 거리 떨어진 지점에 위치하며, 가상이동체 위치속도 결정부(190)는 상기 경로에서부터 일정 거리 떨어진 지점에서 가상이동체(150)의 위치 및 속도를 결정할 수 있다.

[0042] 도 1 및 도 3을 참조하여 가상이동체(150)의 위치 결정에 대해서 보다 자세하게 설명하면, 가상이동체 위치속도 결정부(190)는, 상기 경로(s) 상에 이동체(130)를 투영한 투영점(D)에서 상기 경로(s)의 접선방향($e_t$)으로 일정 거리($R_0$) 떨어진 지점에 가상이동체(150)를 위치시킨다. 이때, 일정 거리($R_0$) 떨어진 지점은 상기 경로의 접선방향을 따라 상기 투영점(D) 보다 전방에 위치할 수 있다. 여기서, 이동체(130)의 투영점(D)은 경로(s) 상에 위치하는데, 투영점(D)은 이동체(130)를 경로(s)에 대해서 최단거리로 투영한 지점을 의미한다.

[0043] 도 3을 참조하면, 가상이동체(150)는 이동체(130)에 대해서 투영점(D)의 전방에 위치하도록 경로(s)에서 일정 거리 떨어진 지점에 위치하도록 설정된다. 이동체 추종 유도부(170)는 이동체(130)가 상기한 가상이동체(150)를 추격하도록 유도함으로써 궁극적으로는 이동체(130)가 경로(s)를 따라 움직이게 할 수 있다.

[0044] 가상이동체(150)의 위치를 결정하는 과정을 설명하기에 앞서서, 이동체와 가상이동체의 3차원 추격 기하학에 대해서 설명한다.

[0045] 도 4는 이동체(130)와 가상이동체(150)의 3차원 추격 기하학을 설명하기 위한 도면이다. 도 4에서 $r_m$ 및 $v_m$은 이동체(130)의 위치벡터 및 속도벡터를 의미하고, $a_m$은 이동체의 속도벡터에 수직인 명령 가속도벡터를 의미하며, r은 이동체와 가상이동체 사이의 거리를 의미한다. 그리고, $r_t$ 및 $v_t$는 가상이동체의 위치벡터 및 속도벡터를 의미한다. 도 4에서 알 수 있듯이, 이동체(130)의 명령 가속도벡터는 속도벡터에 수직인 방향으로 정의된다.

[0046] 후술하겠지만, 이동체 추종 유도부(170)는, 순수비례항법유도(PPNG: Pure Proportional Navigation Guidance)와 추적유도(PG: Pursuit Guidance)를 이용하여 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도할 수 있다. 보다 자세하게 설명하면, 이동체 추종 유도부(170)는 순수비례항법유도 법칙과 추적유도 법칙의 합인 복합유도 법칙을 이용하여 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 명령 가속도($a_m$)를 생성할 수 있다. 여기서, 이동체(130)의 명령 가속도($a_m$)는 [수학식 2]로부터 계산될 수 있다.

*수학식 2*

[0047]
$$\boldsymbol{a}_m = N\frac{(\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{v})}{R^2}\times\boldsymbol{v}_m - hN\frac{(\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{v}_m)}{R^2}\times\boldsymbol{v}_m$$

[0048] [수학식 2]에서 N, h는 모두 0 보다 크고 각각 비례항법계수(proportional gain) 및 추적계수(pursuit gain)이고, R은 이동체와 가상이동체 사이의 거리, $\mathbf{v} = \mathbf{v}_t - \mathbf{v}_m$ 은 상대속도벡터이다. 또한, [수학식 2]에서 첫 번째 우측 항은 순수비례항법유도 법칙을 의미하고 두 번째 우측 항은 추적유도 법칙을 의미한다.

[0049] 가상이동체(150)의 속도($v_t$)는 투영점(D)의 속도를 이용하여 계산될 수 있는데, 투영점(D)의 속도는 이동체(130)의 속도와 경로의 기하학에 의존하는 값이다.

[0050] 이동체(130)에서부터 투영점(D)까지의 상대위치벡터는 투영점(D)에서의 단위접선벡터($e_t$)에 수직하게 된다.

[0051] 가상이동체(150)의 위치벡터($r_t$)는 [수학식 3]으로 표현될 수 있다.

*수학식 3*

[0052]
$$\boldsymbol{r}_t(l) = \boldsymbol{r}_D(l) + R_0\boldsymbol{e}_t(l)$$

[0053] [수학식 3]에서 $r_D$는 투영점(D)에서의 위치벡터이다.

[0054] 한편, 가상이동체(150)의 속도벡터($v_t$)는 [수학식 4]로 표현될 수 있다.

*수학식 4*

[0055]
$$\boldsymbol{v}_t(l) = \frac{\boldsymbol{v}_m \cdot \boldsymbol{e}_t}{(1+\kappa\,(\boldsymbol{r}_D - \boldsymbol{r}_m)\cdot \boldsymbol{e}_n)}\,(\boldsymbol{e}_t + R_0\kappa\,\boldsymbol{e}_n)$$

[0056] [수학식 4]에서 k는 경로의 곡률(curvature)을 의미한다.

[0057] [수학식 4]에서 알 수 있듯이, 가상이동체 위치속도 결정부(190)는, 상기 경로의 곡률(k)과 이동체(130)의 속도($v_m$)의 함수로부터 가상이동체(150)의 속도($v_t$)를 계산할 수 있다.

[0058] 한편, 이동체 추종 유도부(170)는, 비례항법계수(N)가 1인 순수비례항법유도 법칙을 이용하여 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도할 수 있다.

[0059] [수학식 2]에서 비례항법계수(N)가 1이면, 이동체(130)의 명령 가속도($a_m$)는 [수학식 5]와 같이 표현될 수 있다.

*수학식 5*

[0060]
$$\mathbf{a}_m = \frac{(\mathbf{r}\times\mathbf{v})}{R^2} \times \mathbf{v}_m - h\frac{(\mathbf{r}\times\mathbf{v}_m)}{R^2} \times \mathbf{v}_m$$

[0061] [수학식 5]와 같이 비례항법계수(N)가 1이 되면, 이동체 추동 유도부(170)는 곡률이 k인 경로의 순간 구심 가속도(instantaneous centripetal acceleration)와 같은 명령 가속도(command acceleration)를 생성하는 경로추종 유도를 할 수 있다. 여기서, 추적유도 법칙은 제로 명령 가속도(zero command acceleration)을 생성하는데 이는 추적유도 법칙이 균형 상태에서 아무런 기여를 하지 않는다는 것을 의미한다.

[0062] 미사일 추적을 위한 유도 방법에서는 비례항법계수가 3~4인 것을 사용하는 반면에, 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100)에서는 비례항법계수(N)가 1이기 때문에 유도 과정에서의 오차를 줄이고 정확성을 보다 높일 수 있다.

[0063] 한편, 비례항법계수(N), 추적계수(h), 투영점(D)과 가상이동체(150) 사이의 거리($R_0$)는 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100) 또는 이동체 추종 유도부(170)의 설계 변수이다. 예를 들면, 이동체(130)의 실제 속도($v_m$)에 따라 투영점(D)과 가상이동체(150) 사이의 일정 거리($R_0$)가 결정될 수 있다.

[0064] 이하에서는 도면을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100)을 이용한 연속곡률경로 추종유도 방법에 대해서 설명한다.

[0065] 우선, 도 6을 참조하면, 본 발명은, 상기한 연속곡률경로 추종유도 시스템(100)을 이용한 연속곡률경로 추종유도 방법에 있어서, 가상이동체 위치속도 결정부(190)에 의해서 가상이동체(150)의 위치 및 속도를 결정하는 단계(2100); 및 이동체 추종 유도부(170)에 의해서 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도하는 단계(2200);를 포함하는 연속곡률경로 추종유도 방법을 제공할 수 있다.

[0066] 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 방법은, 가상이동체(150)의 위치와 속도를 정하는 방법과, 가상이동체(150)를 추격하는 유도법칙을 정하는 방법으로 구성될 수 있다.

[0067] 가상이동체 위치속도 결정부(190)에 의해서 가상이동체(150)의 위치 및 속도를 결정하는 단계(2100)에서, 가상이동체 위치속도 결정부(190)는, 이동체(130)의 위치를 상기 경로(s) 상에 투영시킨 투영점(D)에서 상기 경로(s) 상의 접선방향으로 일정 거리($R_0$) 앞에 위치한 지점에서 가상이동체(150)의 위치 및 속도를 결정할 수 있다. 가상이동체(150)의 위치 및 속도는 가상이동체 위치속도 결정부(190)에서 상기 [수학식 3] 및 [수학식 4]와 같이 결정되거나 계산될 수 있다.

[0068] 투영점(D)은 이동체(130)와 경로(s) 사이의 거리가 최단거리가 되는 지점으로 선택해야 한다. 이동체(130)의 이동방향을 따라 투영점(D) 보다 전방에 위치하되 경로(s) 상에서 투영점(D)에서부터 일정 거리($R_0$) 만큼 떨어진 지점에 가상이동체(150)를 위치시킨다. 이와 같이, 가상이동체(150)가 투영점(D) 보다 이동체(130) 진행 방향의 앞쪽에 위치해야 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추적할 수 있다.

[0069] 이동체 추종 유도부(170)에 의해서 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도하는 단계(2200)에서, 이동체 추종 유도부(170)는, 순수비례항법유도(PPNG) 법칙과 추적유도(PG) 법칙을 이용하여 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도할 수 있다. 즉, 이동체 추종 유도부(170)는 순수비례항법유도 법칙과 추적유도 법칙을 이용하는 복합유도에 의해서 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도할 수 있다.

[0070] 이하에서는, 본 발명의 일 실시예에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100)을 이용하여, 연속곡률을 가지는 경로를 추종하는 유도법칙의 설계방법을 단계별로 설명한다.

[0071] 이동체 추종 유도부(170)에 의해서 이동체(130)가 가상이동체(150)를 추격하도록 유도하는 단계(2200)는, 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 경로(s)에 이동체(130)의 최단거리 투영점(D)을 계산하는 단계(3100); 투영점(D)에서 상기 경로(s)의 접선방향 단위벡터($e_t$)를 계산하는 단계(3200); 투영점(D)에서 상기 경로(s)의 곡률(k)을 계산하는 단계(3300); 투영점(D)에서 접선방향 단위벡터($e_t$)에 수직인 직각 단위벡터($e_n$)를 계산하는 단계(3400); 투영점(D)에서 접선방향 단위벡터($e_t$)의 방향으로 일정 거리($R_0$)만큼 떨어진 지점에 가상이동체(150)를 위치시키는 단계(3500); 가상이동체(150)의 속도($v_t$)를 고려하여 이동체(130)의 속도($v_m$)를 계산하는 단계(3600); 및 순수비례항법유도(PPNG)와 추적유도(PG)를 이용하여 이동체(130)의 명령 가속도($a_m$)를 계산하는 단계(3700);를 포함할 수 있다.

[0072] 상기 경로(s)에 이동체(130)의 최단거리 투영점(D)을 계산하는 단계(3100)에서는, 투영점(D)에서의 위치 벡터($r_D$)를 [수학식 6]과 같이 얻을 수 있다.

*수학식 6*

[0073]
$$\mathbf{r}_D = \mathbf{r}_p(l)$$

[0074] 투영점(D)에서 상기 경로(s)의 접선방향 단위벡터($e_t$)를 계산하는 단계(3200)에서는, 접선방향 단위벡터($e_t$)를 [수학식 7]에 의해서 계산할 수 있다.

*수학식 7*

[0075]

$$\boldsymbol{e}_t(l) = \frac{d\boldsymbol{r}_p(l)}{dl} \Big/ \left|\frac{d\boldsymbol{r}_p(l)}{dl}\right|$$

[0076] 다음으로, 투영점(D)에서 상기 경로(s)의 곡률(k)을 계산하는 단계(3300)에서는, [수학식 8]에 의해서 경로의 곡률을 계산할 수 있다.

*수학식 8*

[0077]

$$\kappa(l) = \left|\frac{d\boldsymbol{r}_p(l)}{dl} \times \frac{d^2\boldsymbol{r}_p(l)}{dl^2}\right| \Big/ \left|\frac{d\boldsymbol{r}_p(l)}{dl}\right|^3$$

[0078] 다음으로, 투영점(D)에서 접선방향 단위벡터($e_t$)에 수직인 직각 단위벡터($e_n$)를 계산하는 단계(3400)에서는, [수학식 9]에 의해서 직각 단위벡터를 계산할 수 있다.

*수학식 9*

[0079]

$$\boldsymbol{e}_n(l) = \left(\frac{d^2\boldsymbol{r}_p(l)}{dl^2} - \frac{d^2s}{dl^2}\,\boldsymbol{e}_t(l)\right) \Big/ \left(\kappa(l)\left(\frac{ds}{dl}\right)^2\right)$$

[0080] [수학식 9]에서, $\frac{ds}{dl} = \left|\frac{d\boldsymbol{r}_p(l)}{dl}\right|$ , $\frac{d^2s}{dl^2} = \frac{d\boldsymbol{r}_p(l)}{dl} \cdot \frac{d^2\boldsymbol{r}_p(l)}{dl^2} \Big/ \frac{ds}{dl}$ 이다.

[0081] 만약, k가 0이면 [수학식 9]에 의해서 $e_n$은 0이 된다.

[0082] 다음으로, 투영점(D)에서 접선방향 단위벡터($e_t$)의 방향으로 일정 거리($R_0$)만큼 떨어진 지점에 가상이동체(150)를 위치시키는 단계(3500)에서는, 상기 [수학식 3]에 의해서 가상이동체(150)의 위치벡터($r_t$)를 계산할 수 있다.

[0083] 다음으로, 가상이동체(150)의 속도($v_t$)를 고려하여 이동체(130)의 속도($v_m$)를 계산하는 단계(3600)에서는, 상기 [수학식 4]에 의해서 이동체(130)의 속도($v_m$)를 계산할 수 있다. 즉, 가상이동체(150)의 속도($v_t$)를 경로의 곡률(k)과 이동체(130)의 속도($v_m$)의 함수로 계산하고, 이로부터 이동체(130)의 속도($v_m$)를 계산해 낼 수 있다.

[0084] 다음으로, 순수비례항법유도(PPNG)와 추적유도(PG)를 이용하여 이동체(130)의 명령 가속도($a_m$)를 계산하는 단계(3700)에서는, 상기 [수학식 5]에 의해서 이동체(130)의 명령 가속도($a_m$)를 계산할 수 있다. 즉, 순수비례항법유도 법칙과 추적유도 법칙을 이용하여 이동체(130)의 명령 가속도($a_m$)를 계산하는 단계(3700)에서는, 비례항법계수가 1인 순수비례항법유도 법칙과 추적유도 법칙의 합인 복합유도법칙을 이용하여 상기 [수학식 5]와 같이 이동체(130)의 명령 가속도($a_m$)를 계산할 수 있다.

[0085] 도 8은 헬리컬 경로(helical path)를 따라 비행하는 경우에 있어서, 본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100) 및 방법을 이용하여 이동체의 경로추종을 유도할 때 정확성을 검증한 실험 결과이다. 여기서, 헬리컬 경로는 지름이 500m인 수직 실린더 형태의 연속곡률경로이다.

[0086] 도 8의 (a) 내지 (c)에 있어서, 굵은 실선으로 표시된 경로가 원하는 경로이고, 점선, 일점 쇄선 및 이점 쇄선으로 표시된 경로가 본 발명에 따른 추종유도 시스템 및 방법을 적용한 경로추종 결과를 나타낸다. 도 8의 (a) 내지 (c)를 참조하면, 본 발명에 따른 경로추종 유도 시스템 및 방법을 적용할 경우 추종 오차(following errors) 없이 원하는 경로에 수렴하는 것을 알 수 있다. 도 8의 (d)는 헬리컬 경로를 추종함에 있어서 크로스 트랙 오차(cross-track error)를 보여주는데, 도 8의 (d)에 나타난 바와 같이 크로스 트랙 오차도 크지 않음을 확인할 수 있다.

[0087] 도 9는 임의의 형태를 가지는 연속곡률경로를 따라 비행하는 경우에 있어서, 본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템(100) 및 방법을 이용하여 이동체의 경로추종을 유도할 때 정확성을 검증한 실험 결과이다.

[0088] 도 9의 (a) 내지 (c)에 있어서, 굵은 실선으로 표시된 경로가 원하는 경로이고, 점선, 일점 쇄선 및 이점 쇄선으로 표시된 경로가 본 발명에 따른 추종유도 시스템 및 방법을 적용한 경로추종 결과를 나타낸다. 도 9의 (a) 내지 (c)를 참조하면, 본 발명에 따른 경로추종 유도 시스템 및 방법을 적용할 경우 추종 오차(following errors) 없이 원하는 경로에 수렴하는 것을 알 수 있다. 도 9의 (d)는 임의의 경로를 추종함에 있어서 크로스 트랙 오차(cross-track error)를 보여주는데, 도 9의 (d)에 나타난 바와 같이 크로스 트랙 오차 없이 원하는 경로로 수렴함을 확인할 수 있다.

[0089] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법은, 가상이동체를 경로 상에 위치시키지 않기 때문에 가상이동체의 위치 및 속도를 결정하는 것이 매우 명시적이고 계산이 복잡하지 않으며 복합 유도법칙을 사용하기 때문에, 본 발명에 따른 연속곡률경로 추종유도 시스템 및 방법에 의해 이동체가 가상이동체를 추격하기만 하면 설정된 경로를 정확하게 추종하게 된다.

[0091] 이상과 같이 본 발명의 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

## *부호의 설명*

[0092] 100: 연속곡률경로 추종유도 시스템

110: 경로설정부

130: 이동체

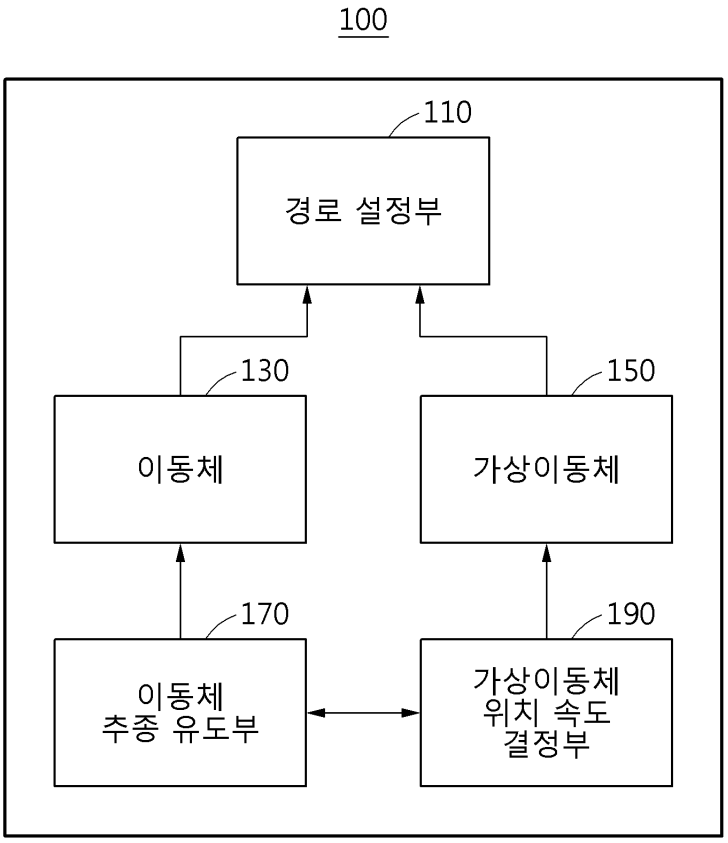
150: 가상이동체

170: 이동체 추종 유도부

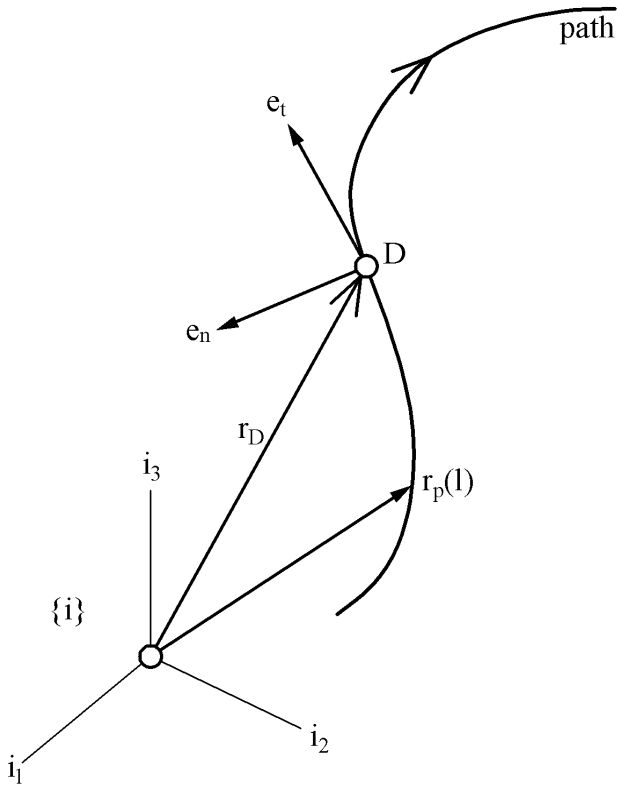
190: 가상이동체 위치속도 결정부

도면

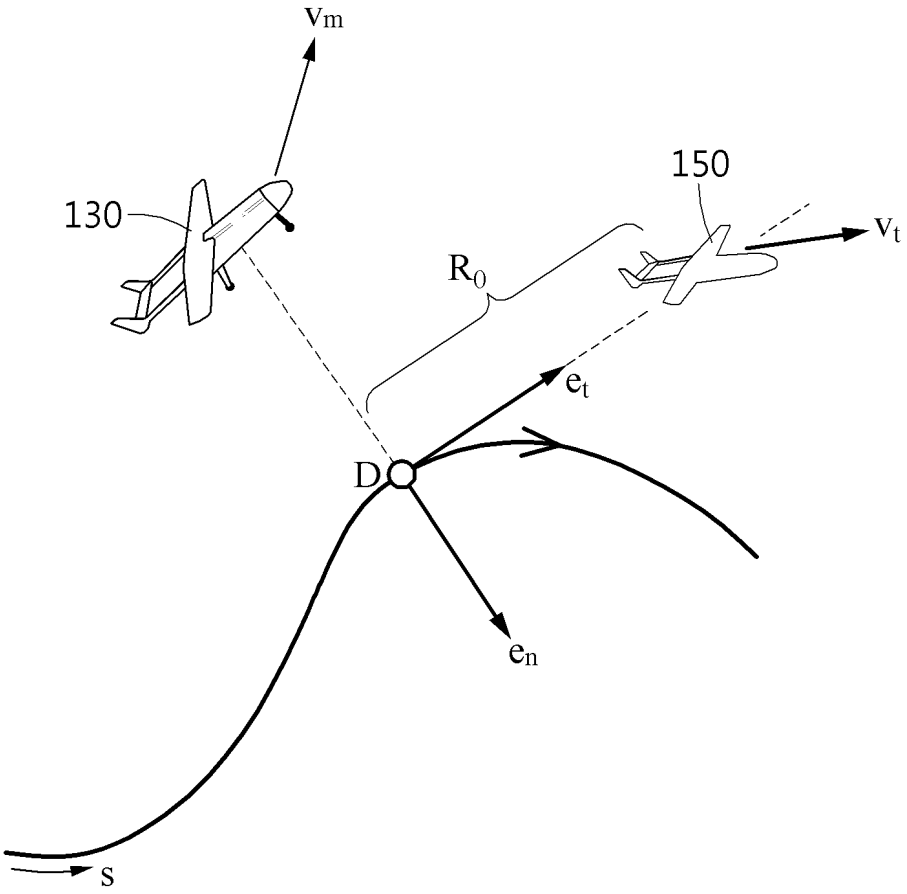
도면1


100
110
경로 설정부
130
이동체
150
가상이동체
170
이동체
추종 유도부
190
가상이동체
위치 속도
결정부

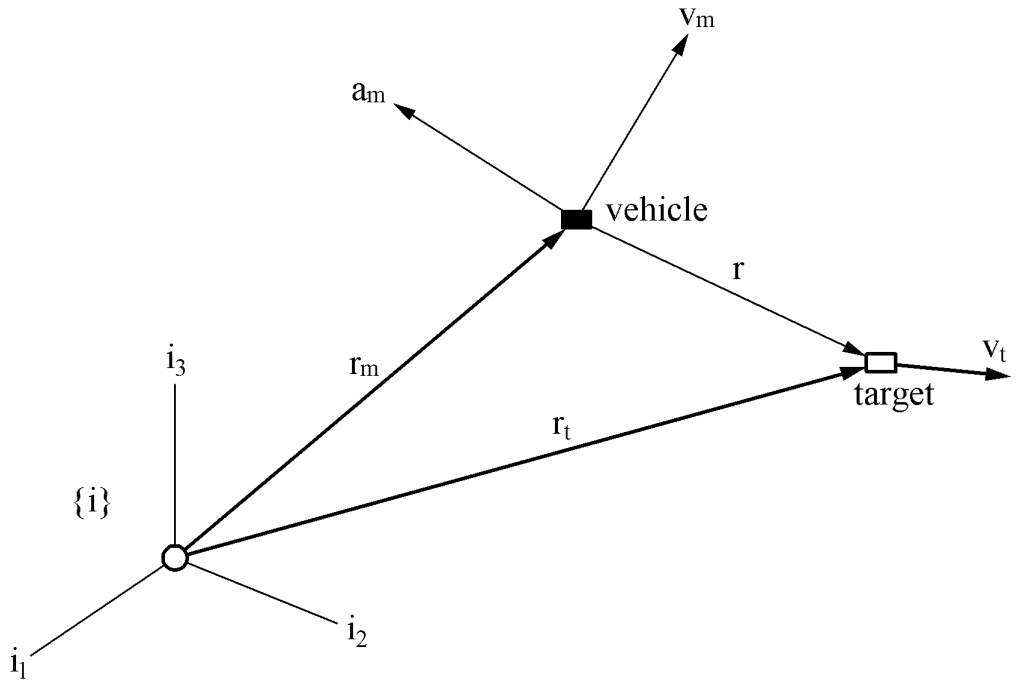
도면2



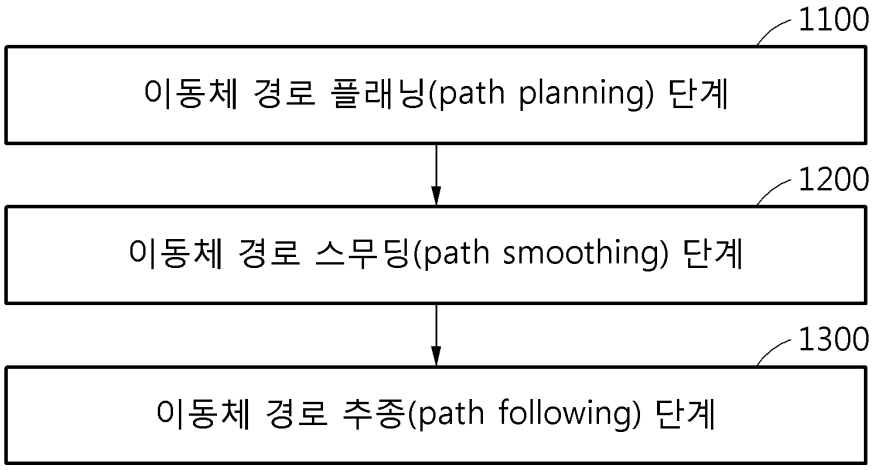
도면3



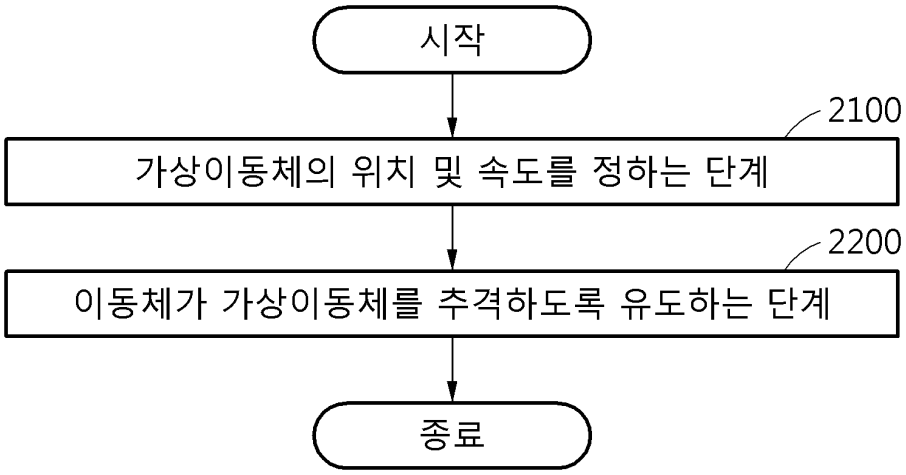

도면4



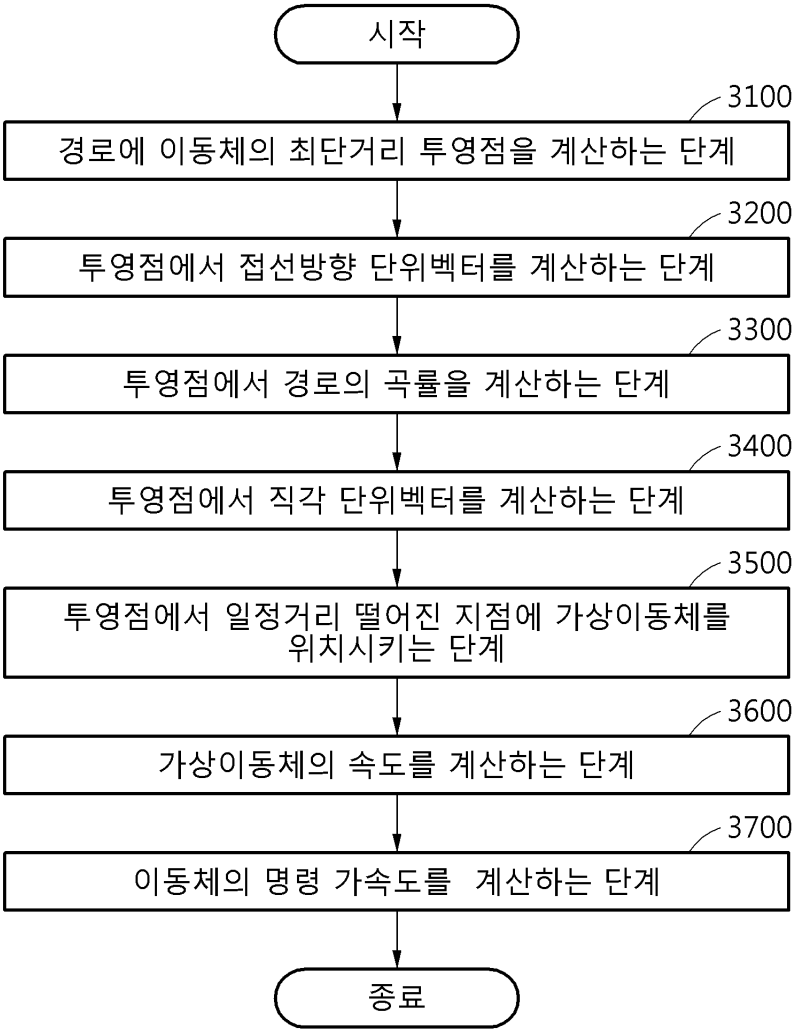
도면5


1100
이동체 경로 플래닝(path planning) 단계
1200
이동체 경로 스무딩(path smoothing) 단계
1300
이동체 경로 추종(path following) 단계

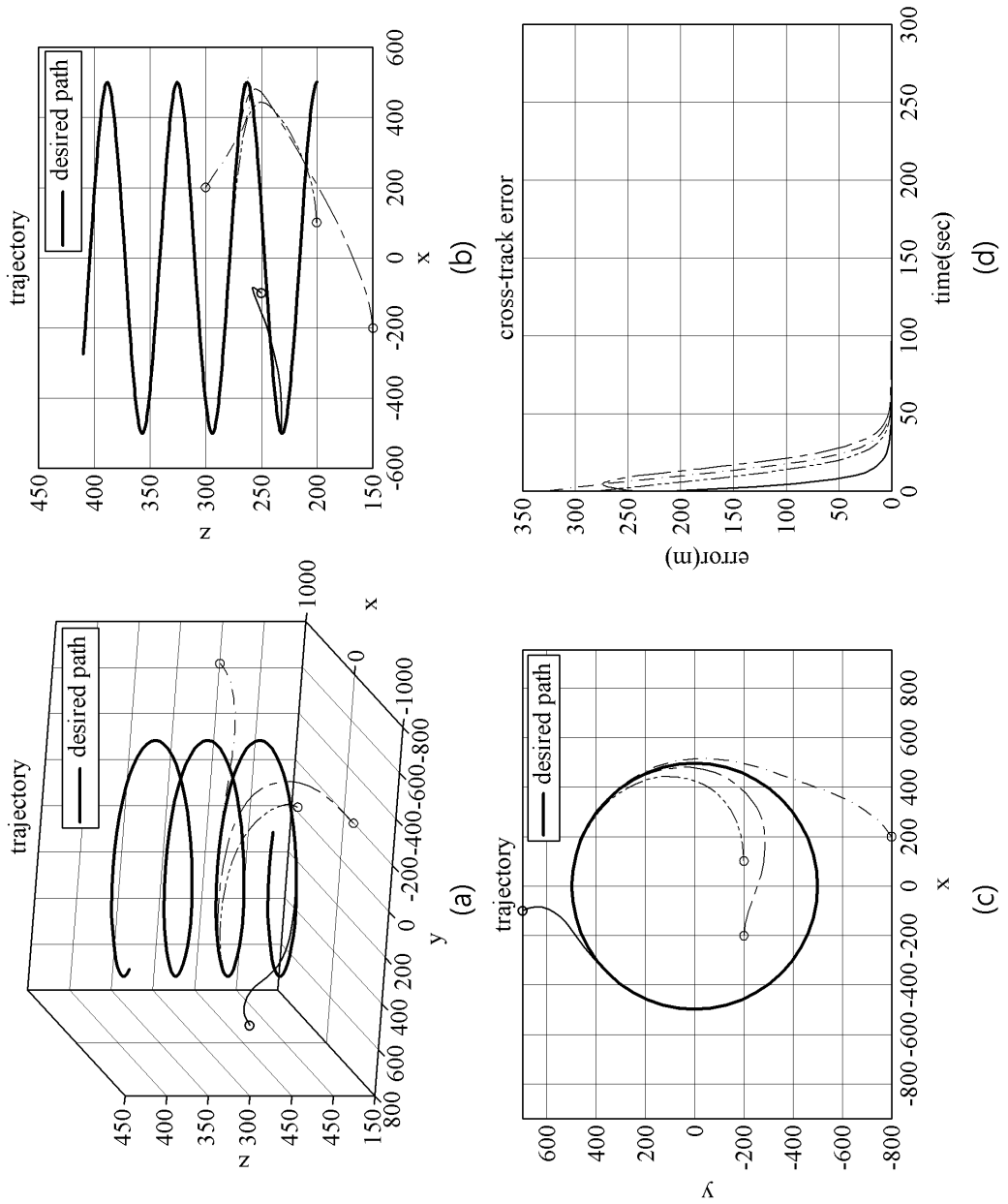
도면6


시작
2100
가상이동체의 위치 및 속도를 정하는 단계
2200
이동체가 가상이동체를 추격하도록 유도하는 단계
종료

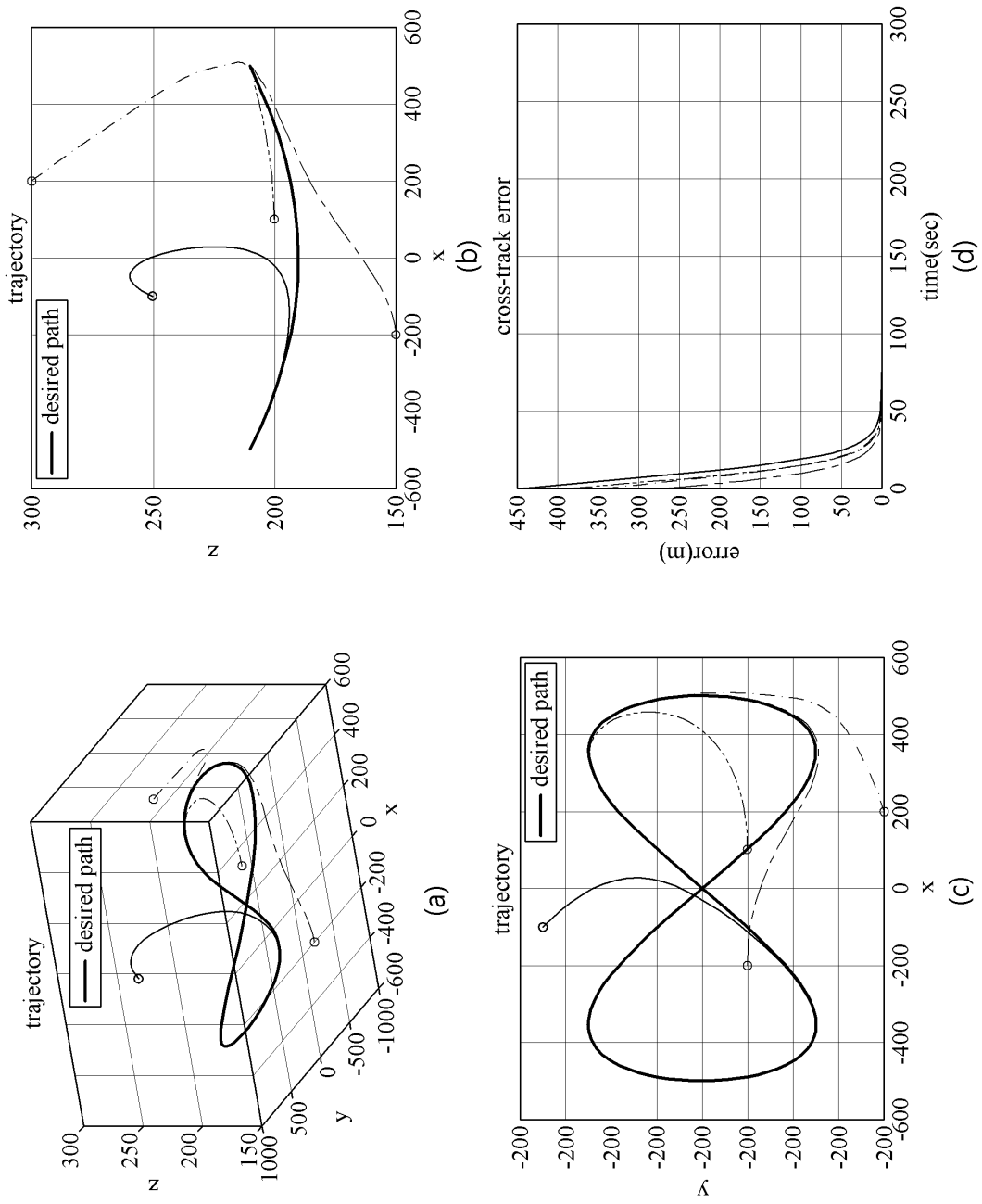
도면7


시작
3100
경로에 이동체의 최단거리 투영점을 계산하는 단계
3200
투영점에서 접선방향 단위벡터를 계산하는 단계
3300
투영점에서 경로의 곡률을 계산하는 단계
3400
투영점에서 직각 단위벡터를 계산하는 단계
3500
투영점에서 일정거리 떨어진 지점에 가상이동체를 위치시키는 단계
3600
가상이동체의 속도를 계산하는 단계
3700
이동체의 명령 가속도를 계산하는 단계
종료

도면8


trajectory
desired path
z
x
y
(a)
trajectory
desired path
z
x
(b)
trajectory
desired path
y
x
(c)
cross-track error
error(m)
time(sec)
(d)

도면9


trajectory
desired path
z
y
x
(a)
trajectory
desired path
z
x
(b)
trajectory
desired path
y
x
(c)
cross-track error
error(m)
time(sec)
(d)