(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0053104
(43) 공개일자 2016년05월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 13/08 (2006.01) *B25J 5/00* (2006.01)
B25J 9/16 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0149581
(22) 출원일자 2014년10월30일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
도낙주
서울 성북구 종암로21길 127, 104동 303호 (종암동, 현대아이파크1차아파트)
김영지
서울 동대문구 안암로 84-16
(74) 대리인
심경식, 홍성욱

전체 청구항 수 : 총 4 항

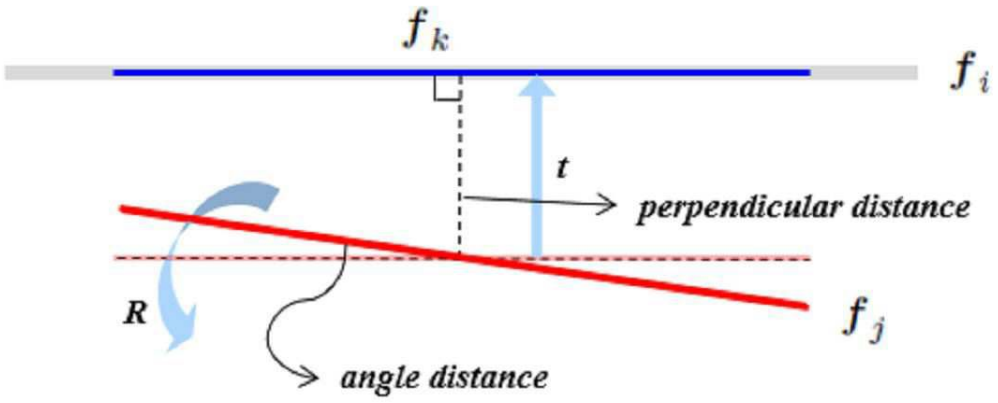
(54) 발명의 명칭 **실내 공간에서 위치 추정을 위한 선분 매칭 기법**

(57) 요 약

본 발명은 선분간의 유사도를 측정할 때, 대응 선분을 이용하는 방법과, 본 발명은 대응 선분을 구할 때, 회전에 대해서도 각도가 아닌 각 선분위의 점의 이동거리로 표현하는 방법과, 동적인 환경뿐만 아니라 센서의 오차 및 로봇 위치에 대한 오차가 존재하는 경우에도 선분간의 유사도를 구할 수 있는 방법을 제공한다.

본 발명은, 하나 이상의 입력 선분 및 환경 감지를 통하여 감지되는 감지 선분의 정보가 입력되는 입력 감지 단계(S10)와, 상기 입력 감지 단계(S20)에서 입력 감지된 상기 입력 선분 및 상기 감지 선분의 유사 여부를 비교하여 차이도(disparity)를 산출하는 유사도 측정 단계(S20)를 포함하는 선분 매칭 방법을 제공한다.

대 표 도 - 도5



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2013056002
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 (이공)중견연구자지원_핵심연구
연구과제명 [2차년도] 6자유도 이동로봇의 극지 탐사를 위한 지능형 매핑 기술 개발
기 여 율 1/2
주관기관 고려대학교 산학협력단
연구기간 2013.09.01 ~ 2014.08.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2013056009
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 (원천)글로벌프론티어
연구과제명 동적 실내환경의 RGB-D SLAM 기반 실시간 삼차원 공간 모델링 기술
기 여 율 1/2
주관기관 고려대학교 산학협력단
연구기간 2013.09.01 ~ 2014.08.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 입력 선분 및 환경 감지를 통하여 감지되는 감지 선분의 정보가 입력되는 입력 감지 단계(S10)와,

상기 입력 감지 단계(S20)에서 입력 감지된 상기 입력 선분 및 상기 감지 선분의 유사 여부를 비교하여 차이도(disparity)를 산출하는 유사도 측정 단계(S20)를 포함하는 선분 매칭 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 유사도 측정 단계(S20)는:

상기 입력 선분 및 상기 감지 선분의 x,y 중점 좌표(mx,my), 해당 선분의 길이(l), 선북과 수직을 이루는 직선이 x축과 이루는 각도(α)를 포함하는 선분 벡터를 산출하는 선분 벡터 산출 단계(S21)와,

상기 감지 선분 중의 적어도 하나가 상기 입력 선분 중 적어도 하나에 대하여 회전하여 병진 이동시 만나는 상기 입력 선분 상의 선분을 대응 선분이라 할 때, 상기 감지 선분의 점들이 상기 대응 선분으로 이동하는 거리의 평균인 수직 거리를 이용하여 차이 비용함수(ft(fj,fi))를 산출하는 차이 비용함수 산출 단계(S23)를 포함하는 것을 특징으로 하는 선분 매칭 방법.

청구항 3

복수 개의 선분 간의 유사도를 측정할 때, 하나의 선분이 다른 하나의 선분으로 회전 및 병진 운동하여 이동하는 경우 중첩되어 형성되는 대응 선분을 이용하는 선분 매칭 방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 복수 개의 선분은 복수 개의 점으로 형성되고,

상기 대응 선분은 회전 운동에 대하여 선분 상의 점의 이동 거리를 이용하는 각거리(angular distace)를 이용하는 것을 특징으로 하는 선분 매칭 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 실내 공간에서 이동 로봇의 위치 추정을 위해 선분간의 유사성을 확인하는 기술에 관한 것이다. 상세하게는 CAD(Computer Aided Design) 지도와 같은 사전 정보에서의 선분과 이동 로봇이 센서 측정값을 통해 얻는 선분 사이의 유사성을 확인하는 기술이다.

배 경 기 술

[0002] 과거에 로봇은 이동을 하지고 않고 고정된 상태에서 복잡하면서도 단순한 작업을 빠르고 정확하게 이루어내는 기계였다. 생산라인에서 조립을 하는 산업용 로봇들이 대표적이라고 할 수 있다. 기업들은 산업용 로봇을 통해 인간이 직접 작업하기 어려운 부분을 자동화하여 생산성 향상 및 인건비 절감의 효과를 이루었다.

[0003] 하지만 최근 로봇 연구의 흐름을 보면 이동 로봇에 대한 관심이 커지고 있다. 자유롭게 움직일 수 있는 이동 로봇은 과거 산업용 로봇에 비해 더 다양하게 활용할 수 있기 때문이다. 예를 들면, 군사적으로 정찰, 환자 및 보급품 운송에 이동 로봇을 사용할 수 있고, 상업적으로도 무인 항공 로봇을 이용한 운송 시스템 등이 있다.

[0004] 이동 로봇이 자유롭게 움직이기 위해서는 로봇이 주변 환경을 인식하고 자신의 위치를 추정하는 과정이 필수적

이다. 그런데 실내 환경에서 CAD 지도와 같은 사전 정보가 주어진다면, 로봇이 얻은 정보와 주어진 사전정보를 비교하여 로봇의 위치를 정확하게 추정할 수 있다. 특히, CAD 지도는 2차원 정보이기 때문에 선분을 특징점(feature)으로 이용하는 것을 생각해 볼 수 있다. 그래서 선분간의 유사도를 비교하는 기술이 필요하다.

[0005] 기존에 있는 기술들 중 선분간의 유사도를 비교할 수 있는 기술은 스캔 매칭 기법(Scan matching), 선분 평균 기법(Average line segment based method), 직선의 거리 및 방향 모델 기법(Range and bearing line model based method)과 각, 수직 및 평행 거리 기법(Angle, perpendicular and parallel distance method)이 있다. 그러나 이러한 기법들은 실제 실내 환경에서 선분들 간의 유사도 측정에 적용하기에 문제점이 있다.

[0006] 배치된 가구나 구조변경 등으로 인해 실제 환경이 CAD 지도가 일치하지 않은 경우, 일부분만 CAD 지도와 일치하는 깨진 선분에 대해서 유사도를 측정할 수 있어야 한다. 스캔 매칭 기법의 경우 이렇게 깨진 선분에 대해서 대응 선분을 찾고 유사도를 구하는 것이 불가능하다. 선분 평균 기법은 실제 환경이 CAD 지도와 일치하지 않아 선분이 깨진 경우에도 선분간의 유사도를 구할 수 있지만 유사도의 정확성이 떨어진다. 직선의 거리 및 방향 모델 기법은 서로 다른 CAD 지도상의 선분에서 발생한 선분을 같은 선분에 해당한다고 인식하는 경우가 있다.

[0007] 마지막으로 각, 수직 및 평행 거리 기법은 선분이 깨진 경우에도 선분간의 유사도를 정확하게 구할 수 있지만 유사도를 거리 및 각도로 표현하기 때문에 유사도를 표현함에 있어서 단위의 일관성이 떨어지고 유사도를 비교하기 위해 추가적인 작업이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 실제 환경이 배치된 가구나 구조변경을 통해 CAD 지도와 다른 경우에도 이동 로봇의 센서를 통해 추출된 선분과 CAD 지도상의 선분사이의 유사도를 측정하여 해당 선분이 CAD 지도의 어느 부분에 해당하는지 판단할 수 있는 기술이다([도2] 참고). 선분간의 유사도를 비교하여 추출된 선분이 CAD 지도에서 어떤 선분에 해당하는지 추측하면 그 정보를 이용하여 로봇의 위치를 정확하게 추정할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은 선분간의 유사도를 측정할 때, 대응 선분을 이용하는 방법을 제공한다.

[0010] 본 발명은 대응 선분을 구할 때, 회전에 대해서도 각도가 아닌 각 선분위의 점의 이동거리로 표현하는 방법을 제공한다.

[0011] 본 발명은, 동적인 환경뿐만 아니라 센서의 오차 및 로봇 위치에 대한 오차가 존재하는 경우에도 선분간의 유사도를 구할 수 있는 방법을 제공한다.

[0012] 본 발명은, 하나 이상의 입력 선분 및 환경 감지를 통하여 감지되는 감지 선분의 정보가 입력되는 입력 감지 단계(S10)와, 상기 입력 감지 단계(S20)에서 입력 감지된 상기 입력 선분 및 상기 감지 선분의 유사 여부를 비교하여 차이도(disparity)를 산출하는 유사도 측정 단계(S20)를 포함하는 선분 매칭 방법을 제공한다.

[0013] 본 발명은, 상기 유사도 측정 단계(S20)는: 상기 입력 선분 및 상기 감지 선분의 x,y 중점 좌표(mx,my), 해당 선분의 길이(l), 선북과 수직을 이루는 직선이 x축과 이루는 각도(α)를 포함하는 선분 벡터를 산출하는 선분 벡터 산출 단계(S21)와, 상기 감지 선분 중의 적어도 하나가 상기 입력 선분 중 적어도 하나에 대하여 회전하여 병진 이동시 만나는 상기 입력 선분 상의 선분을 대응 선분이라 할 때, 상기 감지 선분의 점들이 상기 대응 선분으로 이동하는 거리의 평균인 수직 거리를 이용하여 차이 비용함수(ft(fj,fi))를 산출하는 차이 비용함수 산출 단계(S23)를 포함하는 것을 특징으로 하는 선분 매칭 방법을 제공한다.

[0014] 본 발명은, 복수 개의 선분 간의 유사도를 측정할 때, 하나의 선분이 다른 하나의 선분으로 회전 및 병진 운동하여 이동하는 경우 중첩되어 형성되는 대응 선분을 이용하는 선분 매칭 방법을 제공한다.

[0015] 상기 선분 매칭 방법은, 상기 복수 개의 선분은 복수 개의 점으로 형성되고,

[0016] 상기 대응 선분은 회전 운동에 대하여 선분 상의 점의 이동 거리를 이용하는 각거리(angular distace)를 이용할

수 있다.

발명의 효과

[0017] 이렇게 얻은 선분간의 유사성을 통해 이동 로봇이 얻은 선분이 CAD 지도 등을 통해 미리 주어진 선분들 중 어떤 선분에 해당하는지를 알아내고 이동 로봇의 위치를 정확하게 추정할 수 있다.

[0018] 본 발명은 다음과 같은 부분에서 종래의 기술에 비해 우수함을 드러낸다.

[0019] 첫째, 실제 환경이 배치된 가구나 구조변경을 통해 CAD 지도와는 다른 형태를 띠고 있어도, 로봇이 센서를 통해 얻은 실제 환경에서의 선분과 CAD 지도상 선분 사이의 유사도를 측정할 수 있고 이를 통해 해당 선분이 CAD 지도에서 어느 부분에 해당하는지 판단할 수 있다.([도1]의 (a) 참고)

[0020] 둘째, 센서에 의한 오차에 의해 로봇이 얻은 선분이 오차를 갖고 있어도 확률적 모델을 이용하여 선분간의 유사도를 측정할 수 있다.([도1]의 (b) 참고)

[0021] 셋째, 로봇의 위치에 대한 오차에 의해 로봇이 얻는 선분이 오차를 갖고 있어도 확률적 모델을 이용하여 선분간의 유사도를 측정할 수 있다.([도1]의 (c) 참고)

[0022] 넷째, 서로 다른 두 선분의 유사도를 비교할 때 회전을 이용하지만 종래의 기술과 같이 각도 정보를 이용하는 것이 아니라 선분을 이루는 점들이 이동하는 거리 정보를 이용하여 선분의 회전을 나타낸다. 이를 통해 선분사이 유사도의 단위 일관성을 보이고 있다.

[0023] 위에 언급한 본 발명품의 우수함을 통해 동적 환경에서도 CAD 지도의 선분정보를 이용해 이동 로봇의 위치를 추정할 수 있다. 이는 이동 로봇의 자율 주행을 실현함에 있어서 필수적인 과정이다.

도면의 간단한 설명

[0024] [도1 (a)]는 실제 환경이 가구 배치 및 구조변경이 있는 경우 CAD 지도와 로봇이 얻게 되는 지도를 보여준다.

[도1 (b)]는 로봇 센서에 의한 오차가 있는 경우와 없는 경우에 대해서 로봇이 얻게 되는 지도를 보여준다.

[도1 (c)]는 로봇의 위치에 대한 오차가 있는 경우를 보여준다.

[도2]는 본 발명을 사용하여 CAD 지도와 로봇이 얻은 선분이 매칭되는 것과 매칭되지 않는 것에 대한 결과를 보여준다.

[도3]은 선분을 나타내는데 필요한 정보를 나타낸다.

[도4]는 [도3]을 이용해 선분 를 표현한 결과이다.

[도5]는 선분 을 회전 및 평행 이동하여 선분 에 대한 선분 의 대응 선분 을 구하는 과정을 보여준다.

[도6]은 대응 선분을 구할 때, 선분의 중점을 중심으로 회전시켜야 선분위의 각 점에 대해서 최소 이동거리를 통해 대응 선분을 구할 수 있음에 대한 증명과 선분이 회전할 때 각 점들의 이동거리의 합을 보여준다.

[도7]은 선분 와 선분 사이의 차이 비용함수는 선분 와 선분 사이의 차이 비용함수와 같다는 것과 그것의 정의를 보여준다.

[도8]은 [도1 (a)]만 고려한 상황에서 서로 다른 선분의 차이를 구하는 법을 보여준다.

[도9]는 [도1 (a), (b)]를 고려한 상황에서 마할라노비스 거리를 이용해 서로 다른 선분의 차이를 구하는 법을 보여준다.

[도10]은 [도1 (a), (b), (c)] 모두를 고려한 상황에서 마할라노비스 거리를 구하는데 필요한 측정값 와 그것의 공분산 을 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명은 두 선분간의 유사도를 측정하기 위해 대응 선분을 구하고 차이 비용함수 (disparity cost function)

을 이용해 두 선분이 다른 정도를 수치적으로 나타낸다.

[0026] 각 선분은 [도3]과 같이 선분 중점의 x,y 좌표 mx, my, 선분의 길이 l, 선분과 수직을 이루는 직선이 축과 이루는 각 α 이렇게 네 가지로 구성된 벡터로 표현한다. [도4]는 선분 i을 나타낸 것이다.

[0027] 선분 i을 CAD 지도의 선분, 선분j 을 로봇이 센서 측정값을 통해 구한 선분이라고 하고, 이때 두 선분간의 차이 비용함수는 ft(fj,fi)라고 하자.

[0028] 두 선분간의 유사도를 측정하기 위해서는 대응 선분k 을 구해야 한다. 대응 선분k 는 선분j 가 선분i 와 평행하도록 회전시키고 선분j 가 선분i 와 만나게 평행이동 시킨 선분 중 선분j 을 이루는 각 점들이 최소이동을 했을 때의 선분이다([도5] 참고). 선분 최소 이동거리를 통해 대응 선분k 을 얻기 위해서는 선분j 의 중점을 기준으로 회전을 시키면 된다. 이에 대한 증명은 [도6]에 있다.

[0029] 위 그림에서 선분 B가 회전할 때, 서로 다른 회전 중심에 대해서 각 점들의 축에 대한 이동거리의 합은 변하지 않는다. 따라서 서로 다른 회전 중심의 회전에 대해서 선분 B 위의 각 점들의 축에 대한 이동거리의 합이 최소가 되는 회전 중심을 구해주면 된다. 이는 다음과 같이 증명할 수 있다.

[0030] SUM OF MOVEMENTS

[0031] $$= \int_{M}^{L} (x-m)(1-\cos\theta)dx + \int_{0}^{m} (m-x)(1-\cos\theta)dx$$

[0032] $$= (1-\cos\theta)\left(m^2 - mL + \frac{L^2}{2}\right)$$

[0033] $$\min(\,sum\ of\ movements) = \frac{L^2(1-\cos\theta)}{4},\ when\ \ m = \frac{L}{2}$$

[0034] 위의 증명을 통해 선분 B의 중점을 기준으로 회전할 때 선분 B위에 있는 각 점들이 최소 이동거리로 회전을 하고 그때 각 점들의 이동거리의 합은 $\frac{L^2(1-\cos\theta)}{4}$ 임을 알 수 있다. Θ는 선분 A와 선분 B가 이루는 각도를 의미한다.

[0035] 이때, 회전을 통해 선분j 위의 각 점들이 이동한 거리의 평균을 각 거리(angular distacne)라고 정의하고 회전한 선분 j가 선분i 와 만나기 위해 각 점들이 이동한 거리의 평균을 수직 거리(perpendicular distance)라고 정의한다.

[0036] [도6]의 결과를 이용하여 차이 비용함수 ft(fj,fi)을 정의할 수 있다.

[0037] 앞에서 언급한 것과 같이 선분i 와 선분j 사이의 차이 비용함수는 선분j 의 선분i 에 대한 대응 선분인 선분k 와 선분j 사이의 차이 비용함수와 같다. 이는 [도7]에 나타난다. 차이 비용함수 첫 번째 행과 두 번째 행은 수직 거리를 나타낸다. 그리고 세 번째 행은 각 거리를 나타낸다.

[0038] [도1](a)만 고려하는 경우에는 [도8]과 같이 차이 비용함수의 크기만을 이용해서 선분간의 차이를 나타낼 수 있다. 이 값이 작을수록 두 선분i 와 선분j 사이의 유사도가 크다는 것을 의미하고 그것은 측정된 선분j 가 CAD 지도에서 선분i 에 해당한다고 볼 수 있다.

[0039] 그러나 [도1](b)나 [도1](c)을 포함한 경우에는 센서 측정 오차 및 로봇 위치의 오차도 고려해줘야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 센서 측정값 및 측정된 로봇 자세값의 공분산을 이용해 마할라노비스 거리로 두 선분간의 차이를 나타낸다. 마할라노비스 거리는 단순한 기하학적 거리와는 다른 확률적 관점에서의 거리이다. 마할라노비스 거리가 가깝다는 것은 확률적으로 두 선분이 일치할 확률이 높다는 것을 의미한다.

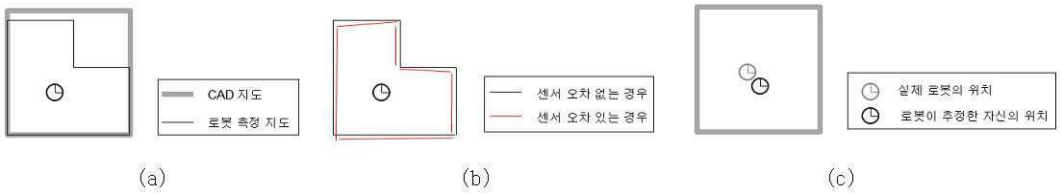
[0040] [도1](a)과 (b)를 고려한 경우 선분간의 차이는 센서 측정값의 불확실성을 고려하여 선분간의 차이를 구하면 된다. 센서 측정값 z , 그리고 그것의 공분산Rf 을 [도9] 네 번째, 다섯 번째 식과 같이 구하고 이 두 값을 이

용해 Unscented Transform을 적용하여 이노베이션의 공분산(<e,e>)을 구한다. [도1](a)과 (b)를 고려한 경우 선분간의 차이는 [도9]의 첫 번째 식과 같이 정의할 수 있다.

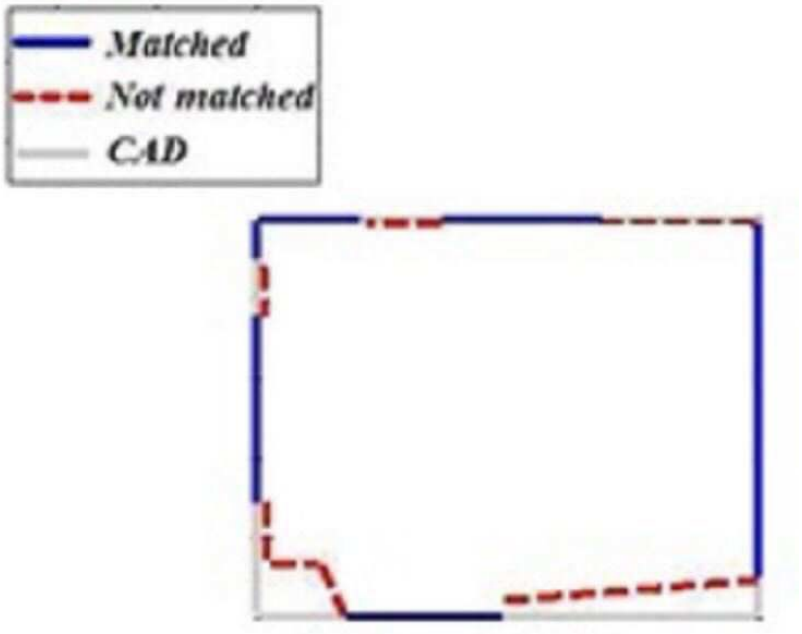
[0041] 마지막으로 [도1](a),(b),(c)를 모두 고려한 경우 선분간의 차이를 구할 수 있다. 이러한 경우에는 센서 측정값z 와 측정된 로봇 자세 xr(robot pose)도 불확실성이 고려되어야 한다. 따라서 [도10]과 같이 로봇 자세xr 과 센서 측정값z 을 포함하는 X와 로봇 자세에 대한 공분산 Px와 센서 측정값에 대한 공분산 Rf을 포함하는 P을 이용해 마할라노비스 거리를 구한다. 마할라노비스 거리를 구하는 방법은 위와 동일하다.

도면

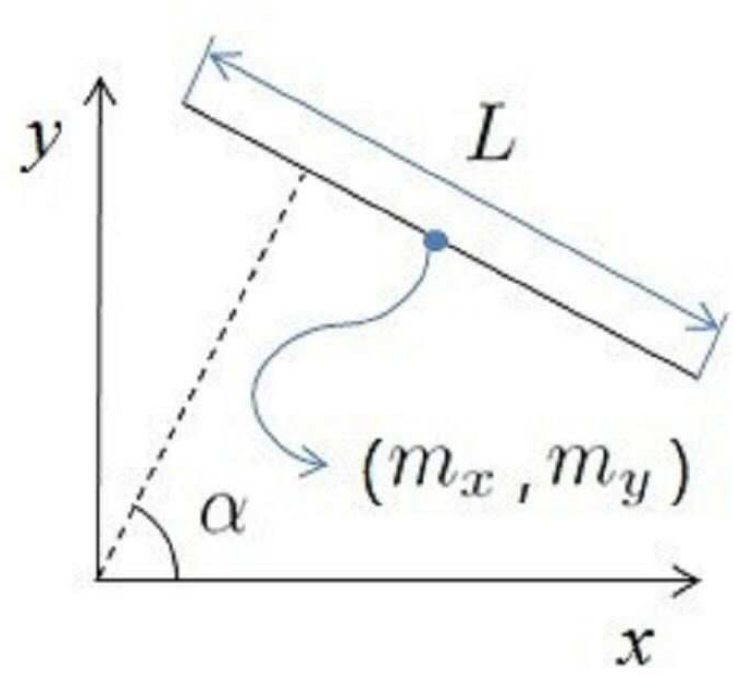
도면1



도면2



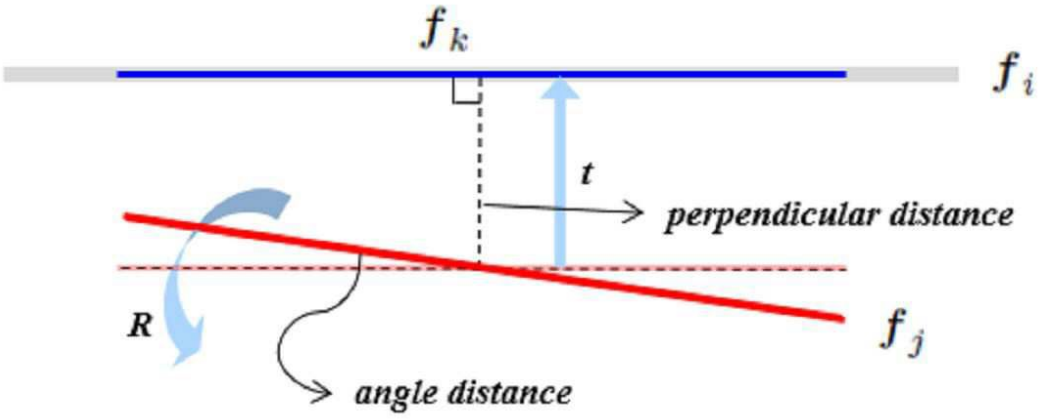
도면3



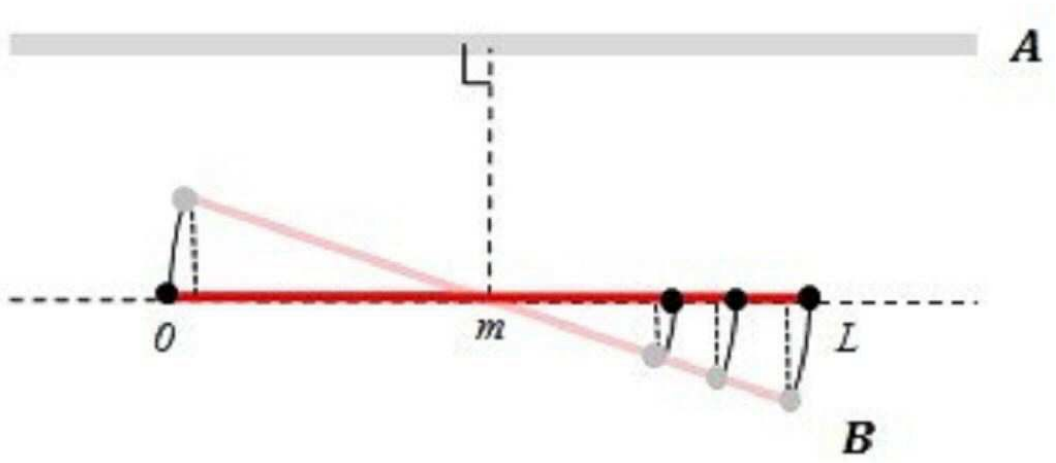
도면4

$$f_i = \begin{pmatrix} m_{x,i} \\ m_{y,i} \\ L_i \\ \alpha_i \end{pmatrix}$$

도면5



도면6



도면7

$$ft(f_j, f_i) = ft(f_j, f_k) = \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \\ \frac{L_i(1-\cos\tilde{\alpha})}{4} \end{pmatrix}$$

도면8

$$disparity = |ft({}^{r}f_j, {}^{r}f_k)|$$

도면9

$$
\begin{aligned}
disparity &\triangleq e^T < e, e >^{-1} e \\
e &= ft(\, \boldsymbol{f}_j,\ \boldsymbol{f}_k) \\
< e, e > &= UT(ft, \boldsymbol{R_f}, \boldsymbol{z}) \\
\boldsymbol{z} &= \begin{pmatrix} \boldsymbol{f}_i \\ \boldsymbol{f}_j \end{pmatrix} \\
\boldsymbol{R_f} &= \begin{pmatrix} \boldsymbol{R}_{f_i} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{R}_{f_j} \end{pmatrix}
\end{aligned}
$$

도면10

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{X} &= \begin{pmatrix} \boldsymbol{x}_r \\ \boldsymbol{z} \end{pmatrix} \\
\boldsymbol{P} &= \begin{pmatrix} \boldsymbol{P}_\varpi & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{R} \end{pmatrix}
\end{aligned}
$$