



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0105106
(43) 공개일자 2015년09월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01S 7/40 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0027335

(22) 출원일자 2014년03월07일

심사청구일자 2014년03월07일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

임요택

서울 노원구 섭발로 229, 10동 301호 (하계동, 벽산아파트)

안춘기

서울 노원구 마들로 31, 125동 2101호 (월계동, 그랑빌아파트)

박정민

서울시 성북구 안암로 145 고려대학교 자연계캠퍼스 로봇융합관 605호

(74) 대리인

특허법인주원

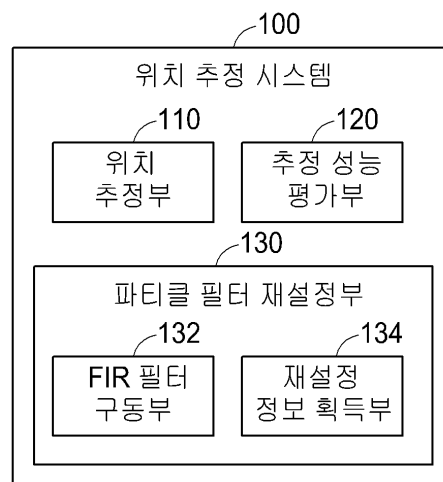
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 위치 추정 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체

(57) 요약

위치 추정 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체가 개시된다. 위치 추정 시스템은, 위치 추정부, 추정 성능 평가부, 및 파티클 필터 재설정부를 포함한다. 위치 추정부는 파티클 필터를 이용하여 이동체의 위치를 추정하고, 추정 성능 평가부는 위치 추정 결과를 미리 설정된 기준에 따라 판단하여 파티클 필터의 추정 성능을 평가하며, 파티클 필터 재설정부는 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 이용하여 파티클 필터를 재설정(reset)한다. 이와 같은 구성에 의하면, 파티클 필터의 추정 성능을 평가하고 평가 결과에 따라 파티클 필터를 재설정함으로써, 위치 추정을 위해 사용되는 파티클 필터에서 'sample impoverishment'로 인해 위치 추정 실패가 발생할 경우에도 파티클 필터의 기능을 정상으로 회복시켜 정확한 위치 추정을 다시 수행할 수 있게 된다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013008698

부처명 한국연구재단

연구관리전문기관 연구지원부

연구사업명 (이공)일반연구자-기본

연구과제명 차량 및 로봇의 위치 추정을 위한 새로운 비선형 FIR 필터의 개발

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2013.06.01 ~ 2014.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

파티클 필터를 이용하여 이동체의 위치를 추정하는 위치 추정부;

상기 위치 추정 결과를 미리 설정된 기준에 따라 판단하여 상기 파티클 필터의 추정 성능을 평가하는 추정 성능 평가부; 및

상기 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 이용하여 상기 파티클 필터를 재설정(reset)하는 파티클 필터 재설정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 파티클 필터 재설정부는 상기 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR 필터를 구동하는 FIR 필터 구동부; 및

상기 FIR 필터로부터 상기 파티클 필터 재설정에 필요한 정보를 획득하는 재설정 정보 획득부를 포함하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 파티클 필터 재설정에 필요한 정보는 상기 FIR 필터를 이용해 추정된 상기 이동체의 위치 추정값, 및 위치 추정 오차 공분산값을 포함하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 시스템.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 추정 성능 평가부는 상기 파티클 필터가 샘플링한 샘플들 중 센서 측정값으로부터 미리 설정된 범위 내에 포함되는 샘플의 개수가 미리 설정된 개수보다 적을 경우 상기 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 시스템.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 추정 성능 평가부는 마할라노비스 거리를 이용하여 상기 샘플들이 상기 미리 설정된 범위 내에 포함되는지를 판단하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 시스템.

청구항 6

위치 추정 시스템에 포함된,

위치 추정부가 파티클 필터를 이용하여 이동체의 위치를 추정하는 위치 추정 단계;

추정 성능 평가부가 상기 위치 추정 결과를 미리 설정된 기준에 따라 판단하여 상기 파티클 필터의 추정 성능을 평가하는 추정 성능 평가 단계; 및

파티클 필터 재설정부가 상기 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 이용하여 상기 파티클 필터를 재설정(reset)하는 파티클 필터 재설정 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 파티클 필터 재설정 단계는 상기 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR 필터를 구동하는 FIR 필터 구동 단계; 및

상기 FIR 필터로부터 상기 파티클 필터 재설정에 필요한 정보를 획득하는 재설정 정보 획득부 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 파티클 재설정에 필요한 정보는 상기 FIR 필터를 이용해 추정된 상기 이동체의 위치 추정값, 및 위치 추정 오차 공분산값을 포함하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 추정 성능 평가 단계는 상기 파티클 필터가 샘플링한 샘플들 중 센서 측정값으로부터 미리 설정된 범위 내에 포함되는 샘플의 개수가 미리 설정된 개수보다 적을 경우 상기 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 추정 성능 평가 단계는 마할라노비스 거리를 이용하여 상기 샘플들이 상기 미리 설정된 범위 내에 포함되는지를 판단하는 것을 특징으로 하는 위치 추정 방법.

청구항 11

제 6항 내지 10항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 자율 이동 로봇, 무인 자동차 등의 자율 주행 시스템에서 사용되는 자기 위치 추정(self-localization) 기술에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 파티클 필터(particle filter)를 이용하여 자기 위치 추정을 수행하는 시스템, 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

사람의 조작 없이 스스로 목표지점을 찾아가는 자율 주행 시스템은 1) 먼저, 주어진 지도(map)에서 자기 위치를 파악하고, 2) 목표지점까지의 효율적인 경로를 생성한 뒤, 3) 그 경로를 따라 장애물 등을 회피하며 목표점까지 주행한다.

[0003]

이러한 자율 주행 시스템에서 필요로 하는 요소 기술은 위치 추정(self-localization 또는 localization), 지도 작성(map building), 경로 계획(path planning), 장애물 회피(obstacle avoidance) 등이다. 이 중에서 가장 중요하고도 기본이 되는 기술은 자기 위치 추정인데, 그 이유는 로봇이나 차량이 지도상의 자기 위치를 알아내는 것이 자율 주행의 첫 번째 단계이기 때문이다.

[0004]

자기 위치 추정에 필요한 지도정보는 시스템에 사전 입력되어있는 경우도 있고 주행 중에 직접 지도를 작성하기도 한다. 전자는 순수한 의미의 위치 추정이며 후자는 위치 추정과 지도 작성을 동시에 수행하는 기술로서 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)이라고 불린다.

[0005]

위치 추정 기술은 자율 이동 로봇, 무인 자동차 등에서 주로 사용되고 있다. 대표적인 사례는 청소 로봇, 군사용 경계 로봇, 무인 자동차 등이 있다. 이뿐만 아니라 위치 추정 기술은 사람이나 사물의 위치를 추적하는데도

활용된다.

- [0006] 예를 들어, 건설 현장에서 작업자와 건축 자재, 설비에 RFID 태그를 부착하여 그 위치를 실시간으로 모니터링하는 시스템에도 위치 추정 기술이 사용된다. 또한, 레이더(radar)를 이용하여 물체의 위치를 추적하는 데에도 위치 추정 기술이 사용된다.
- [0007] '위치 추정'이라는 용어는 어떤 대상의 위치를 측정(measurement)을 통해 알아낼 수 없는 경우, 또는 위치를 측정할 수는 있지만 센서에서 발생하는 잡음(noise) 때문에 측정값을 신뢰하기 어려운 경우에 수학적인 도구를 이용하여 보다 정확하고 신뢰할 수 있는 위치정보를 생성해내기 때문에 붙여진 이름이다. 즉, 센서의 측정값을 이용하여 더 정확한 값을 추정(estimation)해주는 것인데, 여기에 사용되는 수학적 도구가 바로 필터(filter)이다.
- [0008] 위치 추정 시스템을 하드웨어와 소프트웨어로 구분한다면, 하드웨어 부분의 핵심은 정확도 높은 센서를 사용하는 것이 될 것이다. 위치 추정 시스템 중에서 소프트웨어 부분의 핵심은 필터라는 수학적 도구(또는 알고리즘)이다. 필터는 센서로부터 얻은 측정값을 처리하여 위치 정보를 추정해준다.
- [0009] 최근 가장 많이 사용되며 뛰어난 성능을 보여주는 대표적인 필터는 파티클 필터이다. 그런데 파티클 필터는 'sample impoverishment'라는 문제점을 갖고 있다. 이 문제점은 특정한 조건 하에서 샘플들의 다양성이 악화되어 필터의 추정 오차가 발산하는 현상이다. 이 문제가 발생하면 파티클 필터는 실제 위치와 큰 차이가 나는 엉뚱한 위치 값을 생성해주게 되므로 결국 위치 추정에 실패하게 된다.
- [0010] 'sample impoverishment'는 파티클 필터가 갖고 있는 근본적인 문제점으로서 1) 시스템 잡음(process noise)이 작은 경우, 2) 측정 잡음(measurement noise)이 작은 경우, 3) 필터링에 사용한 샘플의 개수가 부족한 경우, 4) 시스템에 강한 외란이 발생한 경우 등 여러 가지 조건 하에서 일어날 수 있다.
- [0011] 이 문제점을 해결하기 위해 개선된 파티클 필터들이 제안되었는데, 대표적으로 regularized particle filter, auxiliary particle filter, MCMC(Markov-Chain Monte-Carlo) move step, Mixture MCL(Monte-Carlo Localization) 등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 'sample impoverishment' 같은 문제가 발생할 가능성을 줄여줄 뿐, 완전하게 예방하는 것은 아니다.
- [0012] 또한, 앞에서 열거한 개선된 파티클 필터들은 어디까지나 예방적인 조치일 뿐 'sample impoverishment'가 이미 발생한 상황에서 파티클 필터의 기능을 정상적으로 회복시켜 주지는 못한다.
- [0013] 이에 따라, 위치 추정 시스템에 사용된 파티클 필터에서 'sample impoverishment'와 이로 인한 파티클 필터의 추정 실패가 일어나는 경우, 이동로봇이나 무인자동차는 자신의 위치를 제대로 파악하지 못해 목표지점이 아닌 엉뚱한 곳으로 이동하게 되는 문제가 발생한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 위치 추정을 위해 사용되는 파티클 필터에서 'sample impoverishment'로 인해 위치 추정 실패가 발생할 경우에도 파티클 필터의 기능을 정상으로 회복시켜 정확한 위치 추정을 수행할 수 있도록 해주는 위치 추정 시스템, 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 위치 추정 시스템은, 위치 추정부, 추정 성능 평가부, 및 파티클 필터 재설정부를 포함한다. 위치 추정부는 파티클 필터를 이용하여 이동체의 위치를 추정하고, 추정 성능 평가부는 위치 추정 결과를 미리 설정된 기준에 따라 판단하여 파티클 필터의 추정 성능을 평가하며, 파티클 필터 재설정부는 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 이용하여 파티클 필터를 재설정(reset)한다.
- [0016] 이와 같은 구성에 의하면, 파티클 필터의 추정 성능을 평가하고 평가 결과에 따라 파티클 필터를 재설정함으로써, 위치 추정을 위해 사용되는 파티클 필터에서 'sample impoverishment'로 인해 위치 추정 실패가 발생할 경우에도 파티클 필터의 기능을 정상으로 회복시켜 정확한 위치 추정을 다시 수행할 수 있게 된다.
- [0017] 이때, 파티클 필터 재설정부는 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR 필터를 구동하는

FIR 필터 구동부, 및 FIR 필터로부터 파티클 필터 재설정에 필요한 정보를 획득하는 재설정 정보 획득부를 포함할 수 있다. 이와 같은 구성에 의하면, 통상적인 위치 추정용 파티클 필터를 이용하여 수행하고 FIR 필터는 파티클 필터의 이상시에만 파티클 필터의 재설정을 위해서 사용되므로, 전체 위치 추정 과정을 보다 효율적으로 수행할 수 있게 된다.

[0018] 이때, 파티클 필터의 재설정에 필요한 정보는 FIR 필터를 이용해 추정된 이동체의 위치 추정값, 및 위치 추정 오차 공분산값을 포함할 수 있다. 이와 같은 구성에 의하면, 파티클 필터가 보다 빠른 속도로 정상 동작을 수행할 수 있게 된다.

[0019] 또한, 추정 성능 평가부는 파티클 필터가 샘플링한 샘플들 중 센서 측정값으로부터 미리 설정된 범위 내에 포함되는 샘플의 개수가 미리 설정된 개수보다 적을 경우 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단할 수 있으며, 특히, 마할라노비스 거리를 이용하여 샘플들이 미리 설정된 범위 내에 포함되는 지를 판단할 수 있다.

[0020] 아울러, 상기 시스템을 방법의 형태로 구현한 발명과 그 방법을 실행하기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램이 기록된 매체가 함께 개시된다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 의하면, 파티클 필터의 추정 성능을 평가하고 평가 결과에 따라 파티클 필터를 재설정함으로써, 위치 추정을 위해 사용되는 파티클 필터에서 'sample impoverishment'로 인해 위치 추정 실패가 발생할 경우에도 파티클 필터의 기능을 정상으로 회복시켜 정확한 위치 추정을 다시 수행할 수 있게 된다.

[0022] 또한, 통상적인 위치 추정은 파티클 필터를 이용하여 수행하고 FIR 필터는 파티클 필터의 이상시에만 파티클 필터의 재설정을 위해서 사용되므로, 전체 위치 추정 과정을 보다 효율적으로 수행할 수 있게 된다.

[0023] 또한, 파티클 필터가 보다 빠른 속도로 정상 동작을 수행할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 위치 추정 시스템의 개략적인 블록도.

도 2는 주파수 영역의 필터와 시간 영역의 필터(추정기)의 차이점을 도시한 개략적인 도면.

도 3은 IIR 필터와 FIR 필터의 차이점을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 위치 추정 방법을 수행하기 위한 개략적인 흐름도.

도 5는 파티클 필터의 추정 실패 또는 추정 성능 저하의 판단 과정을 도시한 개략적인 도면.

도 6 내지 도 8은 도 1의 위치 추정 시스템의 실제 위치 추정 결과를 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 위치 추정 시스템의 개략적인 블록도이다.

[0027] 도 1에서, 위치 추정 시스템(100)은 위치 추정부(110), 추정 성능 평가부(120), 및 파티클 필터 재설정부(130)를 포함하며, 파티클 필터 재설정부(130)는 내부에 다시 FIR 필터 구동부(132), 및 재설정 정보 획득부(134)를 포함한다.

[0028] 이때, 위치 추정 시스템(100)의 각 구성 요소들은 하드웨어로만 구현할 수도 있겠지만, 하드웨어 상에서 동작하는 소프트웨어로 구현할 수도 있다.

[0029] 위치 추정부(110)는 파티클 필터를 이용하여 이동체의 위치를 추정한다. 이때, 이동체란 위치 추정의 대상이 되는 객체로서, 입체 형태로 구현된 이동체인 것이 일반적이겠지만, 디스플레이 화면에서 이동하는 평면 형태의 이동체와 같이 다른 형태의 이동체로도 구현할 수 있을 것이다.

[0030] 필터는 원래 불필요한 것을 걸러내는 도구를 지칭한다. 신호처리 분야에서 사용되는 필터는 원하는 주파수 대역을 제외한 나머지의 불필요한 신호를 제거해주는 역할을 한다.

[0031] 위치 추정에서 사용하는 통계적 필터는 물체의 위치 정보를 불확실하게 만드는 요소인 측정 잡음(measurement

noise), 프로세스 잡음(process noise) 등의 영향을 제거해 준다.

[0032] 통계적 필터는 신호처리 분야에서 사용되는 주파수 영역의 필터와 대비하여 시간 영역 필터라고도 불리며, 시스템의 상태 값을 추정해주므로 추정기(estimator)라고도 불린다.

[0033] 도 2는 주파수 영역의 필터와 시간 영역의 필터(추정기)의 차이점을 도시한 개략적인 도면이다. 이러한 시간 영역의 필터(이하 필터)를 사용하기 위해서는, 추정하고자 하는 변수를 상태 변수로 지정하여 시스템을 상태 공간 모델(state-space model)로 표현해야 한다.

[0034] 가장 기본적인 선형 시불변 시스템(linear time-invariant system)의 상태 공간 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + w(t) & x_{k+1} &= Ax_k + Bu_k + w_k \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) + v(t) & y_k &= Cx_k + Du_k + v_k\end{aligned}$$

연속 시간 모델
(continuous-time model)

이산 시간 모델
(discrete-time model)

[0035]

[0036] 여기에서 변수 x , u , y , w , v 는 각각 시스템의 상태(state), 입력(input), 출력(output), 프로세스 잡음(process noise), 측정 잡음(measurement noise)을 의미한다. 또한, A , B , C , D 는 앞의 변수들 간의 상관관계를 표현하는 행렬들이다. 필터(추정기)는 알 수 있는 정보인 시스템의 입력 u , 출력 y 를 이용하여, 알 수 없는 정보인 상태 변수 x 를 추정해주는 역할을 한다.

[0037] 가장 대표적인 필터(추정기)로는 칼만 필터(Kalman filter)가 있다. 칼만 필터는 1960년대에 루돌프 칼만(Rudolf E. Kalman)이 개발한 필터로, 백색 가우시안 잡음(white Gaussian noise)을 갖는 선형 시스템의 상태 변수를 추정하는데 사용된다. 칼만 필터는 선형 시스템에만 적용 가능하기 때문에 적용 분야가 협소하다는 단점이 있다.

[0038] 이를 해결하기 위해 비선형시스템에 적용 가능한 칼만 필터가 개발되었는데, 그것이 바로 확장 칼만 필터(extended Kalman filter, EKF)이다. 그러나 확장 칼만 필터 역시 칼만 필터에 기반을 두고 있으므로 시스템이 반드시 백색 가우시안 잡음을 가져야 한다는 제약 조건이 있다. 이 문제를 해결하기 위해 등장한 필터가 바로 파티클 필터(particle filter)이다.

[0039] 칼만 필터는 상태 변수를 가우시안 분포를 갖는 확률 변수(random variable)로 표현하는데 반해, 파티클 필터는 상태 변수를 샘플들의 집합으로 표현한다. 즉, 칼만 필터에서는 상태 변수를 평균(mean)과 공분산(covariance)을 갖는 정규분포함수로 표현하는데 반해, 파티클 필터에서는 상태변수가 가질 수 있는 구체적인 값들의 집합으로 표현하는 것이다.

[0040] 파티클 필터는 비선형(nonlinear)/비가우시안 잡음(non-Gaussian noise) 시스템에 적용이 가능하며, 시스템을 선형화하는 과정을 거치지 않기 때문에 비선형성이 큰 시스템에서 확장 칼만 필터에 비해 월등한 성능을 보여준다. 파티클 필터는 1990년대에 개발되었으며 현재 가장 많이 사용되는 대표적인 비선형 필터이다.

[0041] 이와 같이, 파티클 필터를 이용하여 물체의 위치를 추정하는 기술 자체는 이미 존재하는 기술이므로 이에 대한 더 이상의 추가 설명은 생략한다.

[0042] 추정 성능 평가부(120)는 위치 추정 결과를 미리 설정된 기준에 따라 판단하여 파티클 필터의 추정 성능을 평가한다.

[0043] 이를 위해, 추정 성능 평가부(120)는 파티클 필터가 샘플링한 샘플들 중 센서 측정값으로부터 미리 설정된 범위 내에 포함되는 샘플의 개수가 미리 설정된 개수보다 적을 경우 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단하며, 특히, 마하라노비스 거리를 이용하여 샘플들이 미리 설정된 범위 내에 포함되는 지를 판단할 수 있다.

[0044] 파티클 필터 재설정부(130)는 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 이용하여 파티클 필터를 재설정(reset)한다.

[0045] 칼만 필터나 파티클 필터는 상태 추정을 위해 초기 시점부터 현재 시점까지의 모든 입출력 정보를 사용한다. 이러한 필터에서 시스템의 입출력 값과 상태추정 값 사이의 관계를 식으로 표현해보면 도 3의 좌측과 같다.

- [0046] 도 3은 IIR 필터와 FIR 필터의 차이점을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0047] 도 3에서 IIR 필터(무한 구간 필터)는 k시점의 상태를 추정하기 위해 초기시점 k_0 부터 $k-1$ 시점까지의 모든 정보를 사용하지만, FIR 필터(유한 구간 필터)는 제한된 구간의 정보만을 사용하는 것을 확인할 수 있다.
- [0048] 이 구조는 신호처리에서의 IIR(Infinite Impulse Response) 구조와 같기 때문에 칼만 필터, 파티클 필터는 IIR 필터에 속한다고 볼 수 있다. 이러한 IIR 필터는 초기 시점부터 현재시점까지의 모든 정보들이 누적되는 특징이 있는데, 이는 상황에 따라 단점으로 작용하기도 한다.
- [0049] 즉, 시스템에 모델 오차, 계산상의 오차 등 필터에 나쁜 영향을 주는 요인들이 발생할 경우 이것들로 인한 영향이 누적되어 필터가 발산(추정한 상태 값과 실제 상태 값이 점점 멀어짐)할 수 있다.
- [0050] FIR 필터는 칼만 필터와 같은 IIR 필터의 단점인 발산 문제를 해결하기 위해 제시된 것으로, 상태 추정을 위해 유한한 구간의 입출력 정보만을 사용한다. 따라서 반올림 오차, 모델링 오차, 수치 해석적 오차 등에 강인한 특성을 갖고 있으며 유한입출력 안정성(BIBO stability)이 보장되는 장점을 갖고 있다.
- [0051] 본 발명의 구성에 의하면, 파티클 필터의 추정 성능을 평가하고 평가 결과에 따라 파티클 필터를 재설정함으로써, 위치 추정을 위해 사용되는 파티클 필터에서 'sample impoverishment'로 인해 위치 추정 실패가 발생할 경우에도 파티클 필터의 기능을 정상으로 회복시켜 정확한 위치 추정을 다시 수행할 수 있게 된다.
- [0052] FIR 필터 구동부(132)는 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었다고 판단되는 경우 FIR 필터를 구동하며, 재설정 정보 획득부(134)는 FIR 필터로부터 파티클 필터 재설정에 필요한 정보를 획득한다. 이와 같은 구성에 의하면, 통상적인 위치 추정은 파티클 필터를 이용하여 수행하고 FIR 필터는 파티클 필터의 이상시에만 파티클 필터의 재설정을 위해서 사용되므로, 전체 위치 추정 과정을 보다 효율적으로 수행할 수 있게 된다.
- [0053] 이때, 파티클 필터의 재설정에 필요한 정보는 FIR 필터를 이용해 추정된 이동체의 위치 추정값, 및 위치 추정 오차 공분산값을 포함할 수 있다. 이와 같은 구성에 의하면, 파티클 필터가 보다 빠른 속도로 정상 동작을 수행할 수 있게 된다.
- [0054] 이하, 본 발명을 보다 구체적인 예와 함께 더욱 상세하게 설명한다.
- [0055] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 위치 추정 방법을 수행하기 위한 개략적인 흐름도이다.
- [0056] 도 4에서, 본 발명의 핵심은 1) 파티클 필터의 위치 추정 실패를 판단하는 과정과, 2) FIR 필터를 이용하여 파티클 필터를 리셋 및 재시동하는 과정인 것을 확인할 수 있다.
- [0057] 위치 추정 시스템의 모델은 다음과 같이 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 갖는 비선형 모델로 가정한다.

$$\begin{aligned} s_{k+1} &= f(s_k) + w_k \\ z_k &= h(s_k) + v_k \end{aligned}$$

[0058]

- [0059] 여기서 $f(\cdot)$, $h(\cdot)$ 는 임의의 비선형 함수이며, s_k , z_k 는 각각 k번째 시점에서의 상태 변수와 출력 변수를 의미한다. 우리가 고려하는 위치 추정 시스템에서 s_k 는 위치 정보, z_k 는 센서의 측정값을 의미한다.

- [0060] 위의 식에서 볼 수 있듯이 $k+1$ 시점에서의 위치 s_{k+1} 은 이전 시점인 k에서의 위치 s_k 와 함수 $f(\cdot)$ 를 통해 연관되어 있다. 또한, 센서 측정값 z_k 는 위치 s_k 와 함수 $h(\cdot)$ 를 통해 연관된다. w_k , v_k 는 백색 가우시안 잡음(white Gaussian noise)이다.

- [0061] 이러한 시스템 모델에 대해 파티클 필터를 통한 위치 추정을 수행하게 되면 매 시점마다 N_{total} 개의 위치 정보(상태 변수 값)를 얻게 된다. 여기서, N_{total} 은 파티클 필터에서 사용한 샘플(sample)의 개수이다.

- [0062] 샘플은 파티클(particle)이라고도 불리는데, 파티클 필터라는 이름은 여기에서 유래되었다. 만약, 100개의 파티

클을 사용하는 파티클 필터를 구동하였다면 매시점마다 100개의 샘플들이 생성되며 100개 샘플들의 평균을 구해 최종 추정값을 얻는다.

(1) 파티클 필터의 추정 실패 또는 추정 성능 저하를 판단하는 방법

파티클 필터의 위치 추정 실패를 판단하기 위해 센서로부터 얻은 시스템 출력의 측정값 z_k 를 이용한다. 파티클 필터의 위치 추정값 $\hat{s}_k$ 를 시스템의 측정 방정식에 대입하면 다음과 같이 시스템 출력의 추정값 $\hat{z}_k$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{z}_k = h(\hat{s}_k)$$

이때 측정잡음 v_k 는 0으로 가정한다. 그리고 나서 추정된 출력 $\hat{z}_k$ 와 실제 센서를 통해 측정된 출력 z_k 를 비교하면 위치 추정값 $\hat{s}_k$ 이 신뢰할만한지를 판단할 수 있다.

비교 방법은 측정값 z_k 의 오차 범위 (또는 불확실성 범위) 내에 추정된 출력 $\hat{z}_k$ 가 포함되는지를 알아보는 것이다. 가우시안 확률 분포 함수는 공분산 값을 이용하여 신뢰도 범위를 결정할 수 있는데 이를 신뢰도 타원 (confidence ellipse)이라고 한다. 이 타원 내에 $\hat{z}_k$ 가 위치하면, 그 $\hat{z}_k$ 를 만들어낸 $\hat{s}_k$ 는 신뢰할 만하다고 판단할 수 있다.

도 5는 파티클 필터의 추정 실패 또는 추정 성능 저하의 판단 과정을 도시한 개략적인 도면이다.

파티클 필터가 총 N_{total} 개의 샘플을 사용한다면 매시점마다 N_{total} 개의 $\hat{s}_k$ 가 생성되고, 이들을 측정방정식에 대입하면 N_{total} 개의 $\hat{z}_k$ 샘플들이 만들어진다. 그 N_{total} 개의 $\hat{z}_k$ 샘플들 중에서 센서 측정값 z_k 의 신뢰도 타원 내에 들어있는 샘플들을 신뢰성이 있는 (유효한) 샘플이라고 판단한다.

그리고 그 개수를 $N_{effective}$ 라고 하자. 유효한 파티클의 개수가 전체 파티클 개수의 일정 비율 이하가 되면, 파티클 필터의 추정 성능이 저하되었거나 발산하고 있는 상태라고 판단을 한다. 이때 $\hat{z}_k$ 샘플들 각각에 대해 이들이 z_k 의 신뢰도 타원 내에 있는지를 판단하기 위해 마할라노비스 거리 (Mahalanobis distance)를 이용한다.

(2) FIR 필터를 이용한 위치 추정

위의 과정 (1)을 통해 파티클 필터가 추정에 실패하거나 추정 성능이 저하되었다고 판단되면, 그 시점에서 FIR 필터를 동작시켜 위치 추정값을 얻는다. FIR 필터는 상태 변수에 대한 초기 정보 없이 임의의 시점에서 상태 추정값을 얻을 수 있는 장점이 있다.

또한, FIR 필터는 IIR 필터인 파티클 필터의 추정 성능을 저하시키거나 발산하게 만드는 원인에 대해 강인한 특성을 갖고 있기 때문에, 파티클 필터의 성능이 나쁠 때 대체 수단으로 사용할 수 있다. k 시점에서 파티클 필터의 성능 저하를 확인했다면, $k-N_h$ 부터 $k-1$ 까지의 측정값을 사용하여 FIR 필터의 위치 추정값을 얻는다.

여기서, N_h 는 FIR 필터에서 사용하는 측정값의 개수이다. 위치 추정값과 함께 추정 오차의 공분산 값도 계산해두는데 이값은 파티클 필터를 리셋하는데 사용된다.

일반적인 FIR 필터는 선형 필터이며, 비선형인 위치 추정 시스템에 적용하기 위해서는 비선형 FIR 필터가 필요하다. 본 발명에서 개발한 비선형 FIR 필터의 수식과 알고리즘은 다음과 같다.

[0076] 먼저, 다음과 같은 비선형 시변 이산시간 상태공간 모델을 고려한다.

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= f_k(x_k) + w_k, \quad w_k \sim (0, Q_k), \\ y_k &= h_k(x_k) + v_k, \quad v_k \sim (0, R_k), \end{aligned} \quad (1)$$

[0078] 여기서 $f_k(\cdot)$ 와 $h_k(\cdot)$ 는 임의의 비선형 함수이며, $x_k \in R^p$ 와 $y_k \in R^q$ 는 각각 상태변수와 측정변수이다. 프로세스 잡음 $w_k \in R^p$ 와 측정 잡음 $v_k \in R^q$ 는 각각 공분산 Q_k 와 R_k 를 갖는 백색 가우시안 잡음이며 서로 상관관계가 없다.

[0079] 식(1)의 상태방정식을 추정 상태값 $\hat{x}_k$ 근처에서 테일러 급수 전개를 이용하여 선형화하면 다음 식을 얻게 된다.

$$\begin{aligned} x_{k+1} &\approx f_k(\hat{x}_k) + F_k(x_k - \hat{x}_k) + w_k \\ &= F_k x_k + [f_k(\hat{x}_k) - F_k \hat{x}_k] + w_k \\ &= F_k x_k + \tilde{u}_k + w_k, \end{aligned} \quad (2)$$

[0081] 여기서 F_k 와 $\tilde{u}_k$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$F_k = \left. \frac{\partial f_k}{\partial x} \right|_{\hat{x}_k}, \quad (3)$$

$$\tilde{u}_k = f_k(\hat{x}_k) - F_k \hat{x}_k. \quad (4)$$

[0084] 이번에는 식(1)의 측정 방정식을 추정 상태값 $\hat{x}_k$ 근처에서 테일러 급수 전개를 이용하여 선형화한다.

$$\begin{aligned} y_k &\approx h_k(\hat{x}_k) + H_k(x_k - \hat{x}_k) + v_k \\ &= H_k x_k + [h_k(\hat{x}_k) - H_k \hat{x}_k] + v_k \\ &= H_k x_k + z_k + v_k, \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 H_k 와 $\tilde{z}_k$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$H_k = \left. \frac{\partial h_k}{\partial x} \right|_{\hat{x}_k}, \quad (6)$$

$$z_k = h_k(\hat{x}_k) - H_k \hat{x}_k. \quad (7)$$

$\tilde{y}_k = y_k - z_k$ 라는 보조 측정 변수를 도입하면, 식(5)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\tilde{y}_k = H_k x_k + v_k. \quad (8)$$

이제 선형화된 시스템(식(2)와 식(8))에 시변 일반형 FIR 필터를 적용하면 된다. 여기에 사용할 필터로 본 발명에서는 시변(time-varying) 일반형(general) MVF(minimum variance FIR) 필터를 개발하였다. 본 발명에서 개발한 비선형 FIR 필터의 수식과 적용 방법은 다음과 같다.

<알고리즘 1: 확장형 FIR 필터 >

시간 $k=1, 2, \dots$ 에 대해, 다음 과정을 반복해서 수행한다.

1. 만약, $k \leq N$ (여기서 N 은 FIR 필터의 horizon size 이다.)이면, 확장칼만필터 같은 비선형 필터를 이용하여 상태 추정값을 얻는다.

2. 상태 추정값을 이용하여 식 (3), (6), (4), (8)에 나와 있는 $F_k, H_k, \tilde{u}_k, \tilde{y}_k$ 를 계산한 뒤 메모리에 저장해둔다.

3. $k > N$ 이면, 다음의 time-varying general MVF 필터를 이용하여 상태 추정값 $\hat{x}_k$ 를 구한다.

$$\hat{x}_k = \mathbf{L}(\mathbf{Y}_N - \bar{\mathbf{G}}_N \mathbf{U}_N) + \mathbf{K}_N \mathbf{U}_N, \quad (9)$$

여기서, $L, \bar{G}_N, Y_N, K_N$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{L} \triangleq \mathbf{J}_N \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{1,1} & \mathbf{W}_{1,2} \\ \mathbf{W}_{1,2}^T & \mathbf{W}_{2,2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{H}}_N^T \\ \bar{\mathbf{G}}_N^T \end{bmatrix} \mathbf{R}_N^{-1}$$

$$\mathbf{J}_N \triangleq [\mathcal{F}_{n,m} \ \mathcal{F}_{n,m+1} \ \mathcal{F}_{n,m+2} \ \cdots \ \mathcal{F}_{n,n} \ I],$$

$$\mathcal{F}_{g,h} \triangleq F_g \times F_{g-1} \times F_{g-2} \times \cdots \times F_h \ (g \geq h),$$

$$\mathcal{F}_{g,g} \triangleq F_g,$$

$$\mathbf{W}_{1,1} \triangleq \bar{\mathbf{H}}_N^T \mathbf{R}_N^{-1} \bar{\mathbf{H}}_N,$$

$$\mathbf{W}_{1,2} \triangleq \bar{\mathbf{H}}_N^T \mathbf{R}_N^{-1} \bar{\mathbf{G}}_N,$$

$$\mathbf{W}_{2,2} \triangleq \bar{\mathbf{G}}_N^T \mathbf{R}_N^{-1} \bar{\mathbf{G}}_N + \mathbf{Q}_N^{-1},$$

$$\bar{\mathbf{H}}_N \triangleq \begin{bmatrix} H_m \\ H_{m+1} \mathcal{F}_{m,m} \\ H_{m+2} \mathcal{F}_{m+1,m} \\ \vdots \\ H_n \mathcal{F}_{n-1,m} \end{bmatrix},$$

$$\bar{\mathbf{G}}_N \triangleq \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ H_{m+1} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathcal{H}_{m+2,m+1} & H_{m+2} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathcal{H}_{n,m+1} & \mathcal{H}_{n,m+2} & \cdots & H_n & \mathbf{0} \end{bmatrix},$$

$$\mathcal{H}_{g,h} \triangleq H_g \mathcal{F}_{g-1,h} \ (g > h),$$

$$\mathbf{R}_N \triangleq [\text{diag}(\overbrace{R_m \ R_{m+1} \ \cdots \ R_n})^N],$$

$$\mathbf{Q}_N \triangleq [\text{diag}(\overbrace{Q_m \ Q_{m+1} \ \cdots \ Q_n})^N], \ \mathbf{Y}_N \triangleq [\tilde{y}_m^T \ \tilde{y}_{m+1}^T \ \cdots \ \tilde{y}_n^T]^T,$$

$$\mathbf{Y}_N \triangleq [\tilde{y}_m^T \ \tilde{y}_{m+1}^T \ \cdots \ \tilde{y}_n^T]^T,$$

$$\mathbf{U}_N \triangleq [\tilde{u}_m^T \ \tilde{u}_{m+1}^T \ \cdots \ \tilde{u}_n^T]^T,$$

$$\mathbf{K}_N \triangleq [\mathcal{F}_{n,m+1} \ \mathcal{F}_{n,m+2} \ \cdots \ \mathcal{F}_{n,n} \ I], \quad (10)$$

위의 식과 행렬들에서 $m=k-N$ 과 $n=k-1$ 은 각각 FIR 필터 구간의 초기 시점과 최종 시점을 의미한다.

확장 FIR 필터의 추정 오차 공분산 행렬 $\mathbf{P}_k$ 는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\mathbf{P}_k = \Phi \mathbf{Q}_N \Phi^T + \mathbf{L} \mathbf{R}_N \mathbf{L}^T, \quad (11)$$

$$\Phi = [\mathcal{F}_{n,m+1} \ \mathcal{F}_{n,m+2} \ \cdots \ \mathcal{F}_{n,n} \ I]. \quad (12)$$

(3) 파티클 필터 리셋 및 재시동 (reset & reboot)

FIR 필터를 통해 위치 추정값과 추정오차 공분산이 구해지면 이값을 이용하여 파티클 필터를 초기화한 뒤, 다시 파티클 필터링을 시작한다. 파티클 필터를 초기화한다는 것은 초기 파티클을 어떤 분포를 따라서 생성해주는 것을 말한다.

앞에서 FIR 필터를 통해 구한 위치 추정값을 평균(mean)으로, 추정 오차 공분산을 공분산(covariance)로 사용하는 가우시안 확률 분포를 따라 초기 파티클을 생성해주면 된다.

도 6 내지 도 8은 도 1의 위치 추정 시스템의 실제 위치 추정 결과를 도시한 도면이다.

도 6 내지 도 8은 각각 파티클 개수가 부족한 경우, 측정 잡음이 너무 작은 경우, 강한 외란이 발생한 경우(kidnapped robot problem)에서의 위치 추정 결과를 도시하고 있다.

도 6 내지 도 8에서, 파티클 필터를 이용한 위치 추정에 문제가 발생하는 경우 위치 추정 시스템이 파티클 필터를 재설정하여 실제의 위치를 정확히 추정하는 것을 확인할 수 있다.

본 발명은 자율 이동 로봇, 무인 자동차 등의 자율 주행 시스템에서 사용되는 기술인 자기 위치 추정(self-localization) 기술에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 파티클 필터(particle filter)와 FIR 필터(FIR filter)가 혼합된 하이브리드 필터(hybrid filter)를 사용하여, 기존의 파티클 필터 기반 위치 추정 방법들의 문제점을 해결하며 추정 정확도를 향상시키는 새로운 위치 추정 방법에 관한 것이다.

본 발명은 파티클 필터에 'sample impoverishment' 등의 요인으로 인해 추정 실패(particle filter failure) 혹은 발산(divergence) 현상 등 파티클 필터가 비정상적으로 동작을 보이는 경우, 이를 알고리즘에 의해 자동으로 감지하여, FIR 필터를 사용하여 파티클 필터를 리셋(reset)하고 재시동(rebooting)하여, 파티클 필터의 기능을 정상적으로 복구시켜 준다.

IIR 필터는 외란이나 오차가 없는 경우에 정확도가 높고 계산량도 적은 장점이 있다. 그러나 외란, 오차 등이 발생한 경우 필터가 부정확해지거나 발산하는 단점이 있다. FIR 필터는 외란이나 오차가 없는 경우에는 IIR 필터에 비해 추정 정확도가 떨어지며 계산량이 상대적으로 많은 단점이 있다. 그러나 외란, 오차에 강인한 특성을 갖고 있다. 본 발명은 IIR 필터인 파티클 필터를 메인 필터로, FIR 필터를 보조 필터로 사용하는 하이브리드 필터를 구현하여 IIR 필터의 문제점을 FIR 필터로 극복해준다.

본 발명은 FIR 필터를 이용하여 파티클 필터를 보조하는 것으로서 파티클 필터의 장점을 모두 유지한 채, 파티클 필터의 약점만 FIR 필터로 보완해주는 것이다. 따라서 기존의 파티클 필터 및 이를 이용한 위치 추정 방법들에 모두 적용할 수 있어 범용성이 높다.

본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

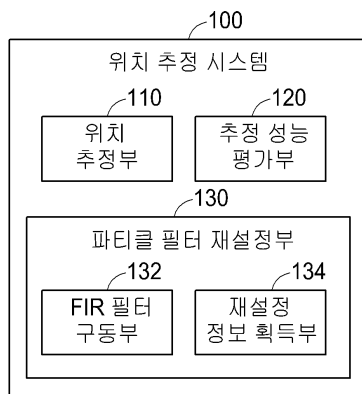
부호의 설명

[0123]

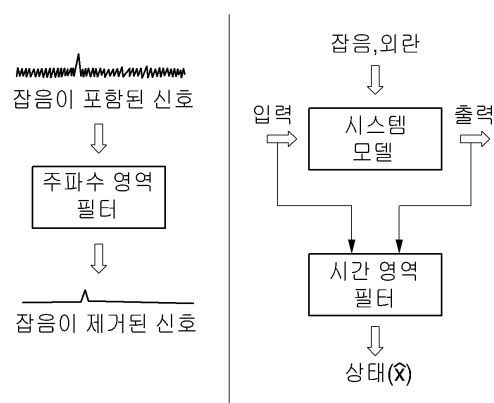
- 100: 위치 추정 시스템
- 110: 위치 추정부
- 120: 추정 성능 평가부
- 130: 파티클 필터 재설정부
- 132: FIR 필터 구동부
- 134: 재설정 정보 획득부

도면

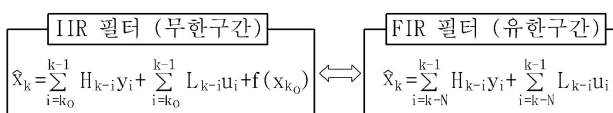
도면1



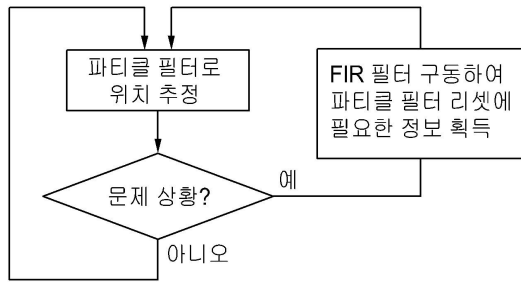
도면2



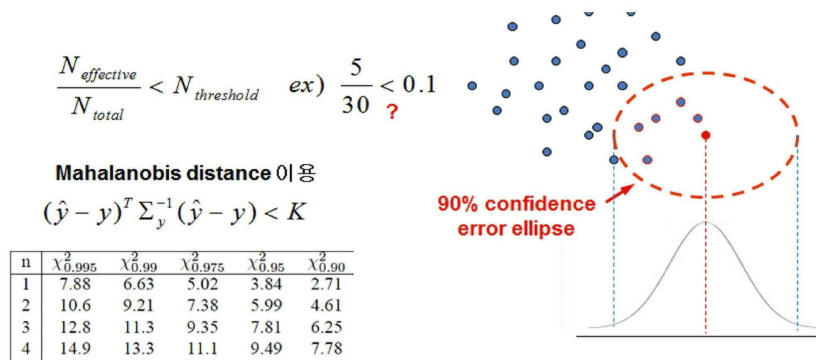
도면3



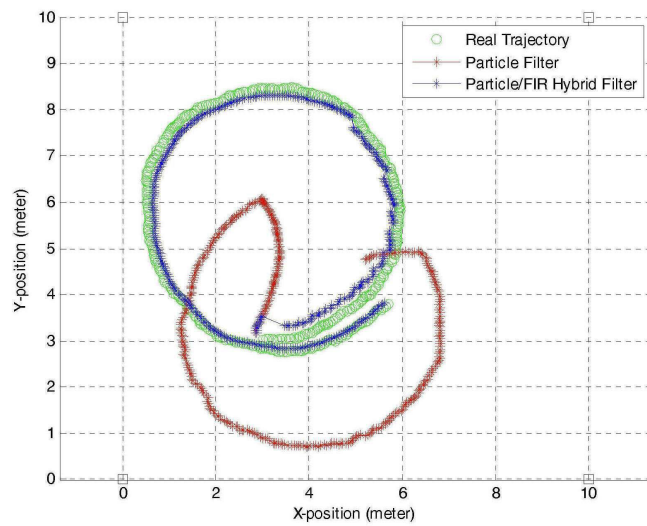
도면4



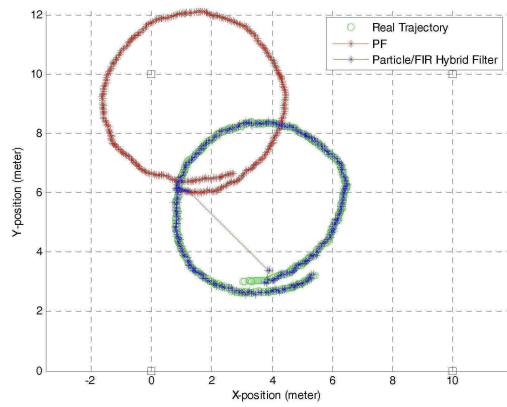
도면5



도면6



도면7



도면8

