

IRID를 이용한 이동로봇의 위치 추정

Localization for Mobile Robots using IRID(InfraRed IDentification)

배 정 연, 이 수 용*, 송 재 복
(Jungyun Bae, Sooyong Lee, and Jae-Bok Song)

Abstract : Mobile Robots are increasingly being used to perform tasks in unknown environment. The potential of robots to undertake such tasks lies in their ability to intelligently and efficiently search in an environment. To achieve autonomous mobile robot navigation, efficient path planner and accurate localization technique are the fundamental issues that should be addressed. This paper presents mobile robot localization using IRID(InfraRed IDentification) as artificial landmarks. IRID has highly deterministic characteristics, different from RFID. By putting several IRID emitters on the ceiling, the floor is divided into many different sectors and each sector is set to have a unique identification. Dead-reckoning provides the estimated robot configuration but the error becomes accumulated as the robot travels. IRID information tells the sector the robot is in, but the size of the uncertainty is too large if only the IRID information is used. This paper presents an algorithm which combines both the encoder and the IRID information so that the size of the uncertainty becomes smaller. It also introduces a framework which can be used with other types of the artificial landmarks. The characteristics of the developed IRID and the proposed algorithm are verified from the simulation results and experiments.

Keywords : infrared identification, artificial landmark, localization, mobile robot

I. 서론

최근 기계적인 구조를 유지하고 수리하는 작업에서부터 위험한 화학품이나 재료를 포함한 사고현장의 청소작업, 구조작업에 이르기까지 많은 실내/외 현장에서의 독립적인 이동로봇의 잠재적 응용이 늘어나고 있다. 이러한 응용들 이외에도 수색, 구조 작업을 위한 이동로봇 사용의 가능성이 높아지고 있다.

이러한 이동로봇을 실제로 사용하기 위해서는 협조적이고, 분산적이며, 정량적이고, 저렴하며, 다양한 환경에서 적용 가능한 시스템의 개발이 중요하다. 기존 제시된 기술들의 대부분은 이러한 목표를 모두 충족시키지는 못하고 있다. 예를 들어, 군용 로봇과 같이 특수한 목적을 위하여 설계된 로봇, 혹은 사람에 의해 면밀히 조종되는 로봇이나, 사람 가까이에서 작동하지 않아 일부 안전성의 중요도가 낮은 상황에 맞게 설계된 로봇과 같이 비싸고 매우 특수화된 시스템은 실현 가능하였다.

많은 제조공정에 사용되는 매니플레이터 로봇공학과는 달리 이동로봇공학은 주변 환경에 대한 전체적인 이해와 그 환경 안에서 활동적으로 계획할 수 있는 능력을 필요로 한다. 자율적인 이동로봇주행을 실현하기 위해서는 반드시 해결해야 하는 기술들이 있다. 첫째, 로봇이 따라갈 길을 선택할 '경로계획기'가 필요하고, 둘째, 불가피한 주행오차로 인해 어떠한 이동로봇도 계획된 경로를 정확하게 따라가는 것은 불가능하므로, 로봇의 위치와 방향을 정확하게 결정할 '위치

추정' 기술이 필요하다.

본 논문에서는 확률적인 방법에 기반하여 불확실성 영역의 감소를 위한 위치추정 알고리즘을 제시한다. 일반적으로 경로를 실행하는 중간과정의 위치 추정은 dead-reckoning(open-loop estimation)을 사용하고 있다. Dead-reckoning은 바퀴에 장착된 encoder를 사용하여 드라이브 휠의 위치추정이 가능할 때 종종 사용된다. 그러나 기구학적 모델의 변수들, 바퀴의 미끄러짐, 혹은 거친 평면 등으로 발생한 오차로 인해 부정확한 위치추정이 발생할 수 있다. 이러한 dead-reckoning으로 인한 오차를 줄이기 위하여 거리센서, 비전 카메라, 자연적/인위적인 landmarks, 실내 GPS등을 이용한 이동로봇의 위치추정 작업들이 이루어져 왔다.

[1]은 거리만을 측정하는 다수의 RF beacons을 사용한 위치추정 기술을 제시하였다. 이 방법은 Markovian probability grids와 이미 알고 있는 beacon 위치를 이용하여 정확한 로봇 위치의 추정이 가능하다. 이와 유사하게 [2]는 건물 내부의 이용자들의 위치를 추적하기 위한 무선 RF 네트워크 기반 시스템을 다루었다. 다수의 송신기 위치의 신호정보를 사용하여 경험적으로 결정되는 신호세기 정보와 이론적으로 계산된 신호세기 정보를 모두 이용하여 사용자의 위치를 삼각측량한다. [3]은 실내에 퍼져있는 beacon으로부터의 RF 신호와 초음파를 이용하여 실내에서 이동이 가능하며 위치에 종속적인 저가형 위치 지원 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 RF와 초음파 신호의 전달속도차이를 이용하여 다른 beacon들과의 위치를 추정하여 현재 있는 공간을 추측한다. [4]는 적외선 marker와 head-mounted 스테레오 카메라를 조합하여 사용자의 위치를 측정하고, 방향센서를 이용해 사용자의 진행 방향을 측정하는 3차원적인 위치와 방향 추적 시스템을 제안하였으며, 다수의 센서 사용으로 인한 오차를 줄이기 위하여 extended Kalman filter를 사용하였다. 초음파와 적외선 신호를 동시에 사용한 위치추정방법이 [5]에 의해 연구되었으며, 자체 완비된 센서들과 입을 수 있는 카메라를 이용한 자가 위

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 3. 28., 채택확정 : 2007. 7. 5.

배정연 : 한국생산기술연구원 로봇기술본부(jungyun@kitech.re.kr)

이수용 : 홍익대학교 기계시스템디자인공학과(sooyong@hongik.ac.kr)

송재복 : 고려대학교 기계공학과(jbsong@korea.ac.kr)

※ 이 연구는 산업자원부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구개발사업(인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발사업)의 일환으로 수행되었음.

치과와 방법이 [6]에 소개되었다. [7]은 관성센서를 이용하여 사용자의 진행방향을 측정하고 주변 환경의 기반구조와 보수계를 이용하여 사용자의 위치를 측정하는 시스템을 제시하였다. 시스템은 RFID tag나 IrDA marker로부터 ID를 받아 사용자의 위치를 구체화한다. [8]에는 전원공급이나 예측 불가능한 시각적 효과 등으로 인한 문제를 피하기 위하여 IR 카메라와 반투명의 retro-reflectors로 구성된 보이지 않는 marker를 사용한 새로운 위치추정 방법이 소개되었다.

이 논문에서는 이동로봇의 위치추정을 위한 새로운 인공적인 landmark를 소개한다. 위치를 결정 지을 수 있는 반응을 얻기 위하여 라디오 주파수 신호를 이용하는 대신에 적외선 빛을 사용하였다. 다음 장에서는 IRID에 대하여 서술하였으며, III장에서는 IRID의 정보를 dead-reckoning에 결합하는 방법에 대한 설명과 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 실험적인 결과는 IV장에 제시하였으며, 마지막으로 결론은 V장에 기술하였다.

II. IRID(InfraRed IDentification)

RFID는 이동로봇의 위치추정을 위한 인공적인 landmark로서 널리 연구되어왔다. RFID는 64비트, 또는 96비트의 정보를 가지므로 가능한 ID의 개수는 거의 무한대에 가깝다는 장점을 갖는다. 그러나 전파 신호의 특성으로 인하여, 신호의 강도와 신호의 구분이 매우 stochastic하므로 RFID 데이터에만 의존하여 위치를 추정하는 것은 이전의 dead-reckoning보다 오히려 위치추정결과가 더 부정확하게 나오기도 한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 새로운 인공 landmark로 IRID를 사용하였다.

IRID는 적외선 LED 하나와 포토트랜지스터로 구성된다. 적외선 빛은 38kHz로 변조되므로 포토트랜지스터는 형광등

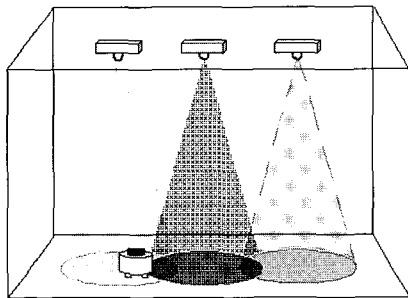


그림 1. 세 개의 IRID 송신부와 이동로봇.
Fig. 1. Three IRID emitters and a mobile robot.

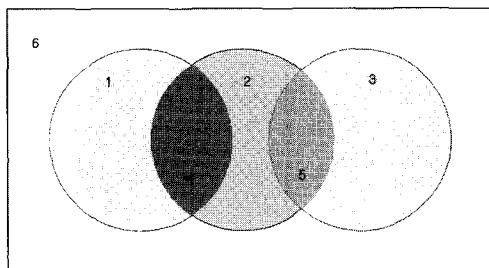


그림 2. IRID 정보에 의해 나뉘어진 영역.
Fig. 2. Partitioned area based on IRID information.

빛, 태양빛에 대하여 적은 간섭을 받는다. 각각의 LED는 빛의 펄스열(pulse train)에 따라 고유한 ID를 방출한다.

그림 1은 IRID의 개념을 보여준다. 3개의 IR LED가 천장에 설치되어 있으며 각각의 LED는 고유의 ID를 전달한다. 로봇은 포토트랜지스터를 장착하고 바닥을 움직이며 LED로부터 ID를 받아들인다. 바닥은 ID정보에 의하여 6개의 다른 영역으로 나누어진다. LED를 순차적으로 밝히는 관리컨트롤러가 있어 각 영역이 받는 ID의 수에 따라 바닥에는 하나의 ID만을 받는 3개의 영역(그림 2의 영역 1,2,3)과 로봇이 2개의 다른 ID를 순차적으로 받는 2개의 영역(그림 2의 영역 4,5)이 존재한다. 마지막 영역은 로봇이 빛을 받지 못하는 (ID가 없는) 영역(그림 2의 영역 6)이다.

III. IRID 를 이용한 dead-reckoning

1. IRID 정보와 dead-reckoning의 결합

주행오차는 오차의 누적에 따라 위치추정의 불확실성이 너무 높아지기 전에 reset되어 불확실성이 무한정 높아지지 않도록 해야 한다. 본 논문은 IRID정보를 사용하여 불확실성을 낮춘다. 그림 3은 간단한 예를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 만약 로봇이 deterministic한 적외선 빛을 받아 IRID 정보가 로봇이 원의 내부에 있음을 말해준다면 불확실성은 단 하나의 IRID만을 사용하여도 감소된다.

특히 IRID정보를 이용함에 있어서 매우 유용한 정보는 로봇이 다른 영역 안으로 움직이거나 두 영역간의 경계를 가로질러가는 경우의 ID의 변화이다. 그러한 경우, 로봇은 ID가 바뀌는 그 순간에는 ID영역의 경계를 나타내는 호 위에 서 있을 것이다. 이 정보를 이용하면, 같은 영역 안에서 이동하면서 증가하던 불확실성 영역을 ID가 바뀌는 순간에 큰 폭으로 감소시킬 수 있다.

다음의 시뮬레이션 결과에서 명확하게 dead-reckoning과 ID 정보 조합의 장점을 볼 수 있다. 그림 4는 desired path를 나타낸다. 로봇의 forward kinematics로부터 로봇 위치의 불확실성을 추정하였다. 로봇은 IRID정보를 받기 시작한 곳의 호 위에서 출발한다. 로봇이 같은 ID를 받으면서 이동하면, 이동거리가 늘어남에 따라 불확실성도 증가하지만 IRID 정보가 없는 경우만큼 빠르게 증가하지는 않는다. 이후 로봇이 다른 IRID를 받기 시작함에 따라 불확실성은 이웃한 영역 안에 속하게 된다. 이 때, 앞서 언급한 바와 같이 이 방법의 가장 큰 장점인 로봇이 받는 ID영역이 바뀌는 순간에 불확실성이

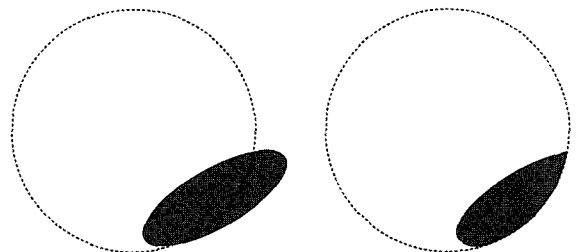


그림 3. (a) 로봇의 존재 가능한 위치분포 (b) IRID정보와의 결합.

Fig. 3. (a) Possible location of the mobile robot (b) Updated possible location combined with IRID.

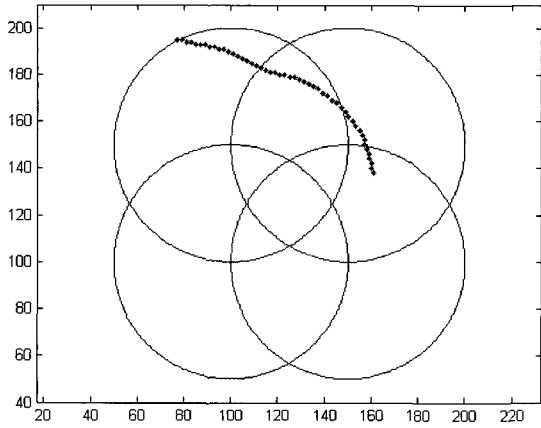


그림 4. 목표 궤적.
Fig. 4. Desired path.

현저히 줄어드는 것을 볼 수 있다.

로봇이 계속해서 다른 영역으로 움직일수록 불확실성은 훨씬 작아지며, 최종적인 목표는 오차를 reset하는 것이다. 허나 로봇이 하나의 ID만을 받으며 같은 영역 안을 계속 움직이고 있는 경우에도 불확실성은 발산하지 않고 오히려 ID영역에 의해 감소하며, 로봇이 ID영역의 경계에 가깝게 움직일수록 불확실성 영역은 더욱 감소한다.

시뮬레이션을 통하여 불확실성 영역 안에 로봇이 존재할 것이라는 것은 추정할 수 있지만, 불확실성 영역 안의 어느 점을 대표점으로 지정하느냐 하는 것은 사용자에게 주어진 선택의 문제이다. 본 논문에서는 각 불확실성 영역의 대표점으로 불확실성영역의 무게중심을 선택하였다. 그림 5에서 동그라미는 로봇에 입력한 경로상의 로봇의 위치를 의미하며 별은 위치추정을 통해 구한 무게중심을 나타낸다.

그림 5-② 경우 불확실성영역의 무게중심은 불확실성 영역 외부에 존재한다. 이는 그림 5-①에서 불확실성 영역이 deterministic 정보인 IRID 정보를 사용하여 원호형태로 수정되었기 때문이다. 이러한 경우에는 불확실성영역의 무게중심을 로봇의 위치로 사용하지 않는다.

2. Back propagation을 포함한 IRID정보와 dead-reckoning의 결합

로봇이 움직이는 현재 단계에서의 IRID 정보만을 이용한 dead reckoning이 소개되었다. 로봇의 현재위치를 실시간으로 추정하는 것도 중요하지만, 로봇이 지나온 경로를 정확히 추정하는 것도 현재위치의 추정에 큰 도움을 준다. 따라서 본 절에서는 앞 절에서 시행한 위치추정 결과를 이용하여 영역이 바뀌는 순간마다 이전 영역에서 로봇이 지나온 위치를 추정하는 알고리즘을 소개한다. 이는 앞서 살펴본 가장 큰 장점인 ID영역이 변하는 순간의 불확실성영역의 감소를 최대한 활용한 것이다.

그림 6은 IRID로부터 구한 정보를 back propagation을 포함한 위치추정 알고리즘을 보여준다. 그림에서와 같이 영역 1에서부터 영역 2로 로봇이 이동하였을 때, 로봇의 위치의 불확실성은 ①, ② 단계와 같이 증가하며 ②의 과정에서는 로봇이 다른 영역으로 이동함에 따라 점선의 영역과 같이 증가한 불확실성을 실선의 영역으로 축소시킬 수 있다. 이를 back

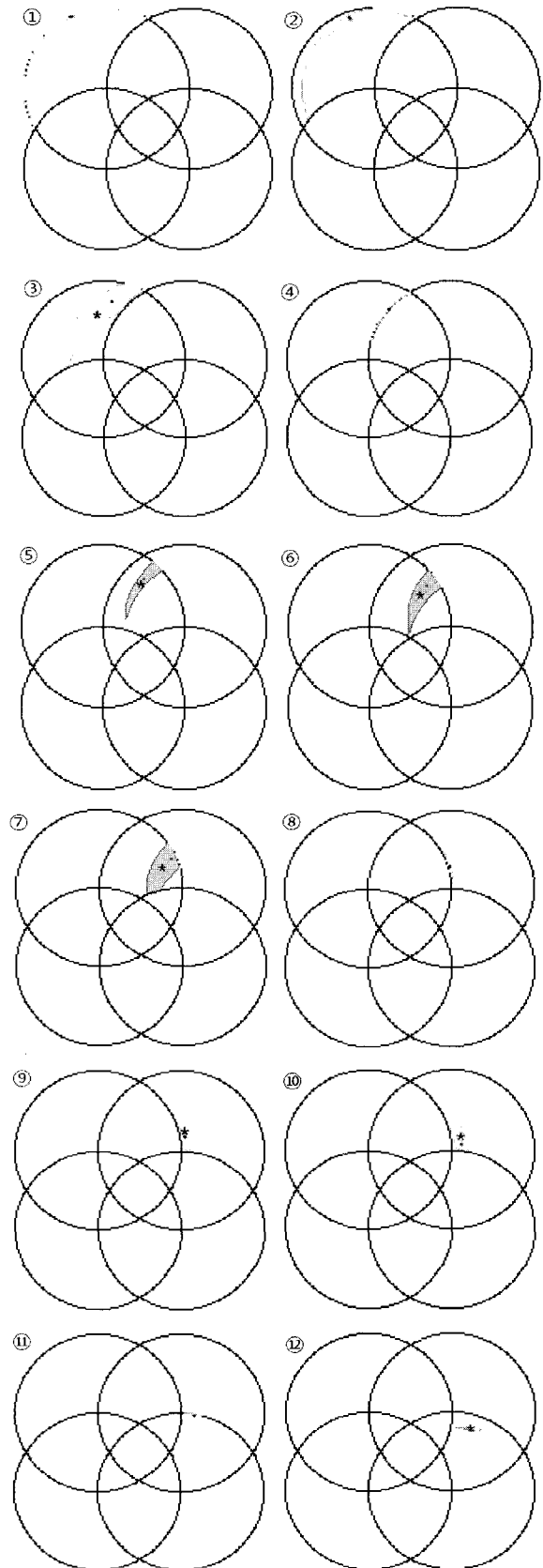


그림 5. 로봇의 이동과 IRID 정보에 따른 로봇위치의 불확실성 영역의 감소
Fig. 5. Robot path and the reduced uncertainty area due to IRID information.

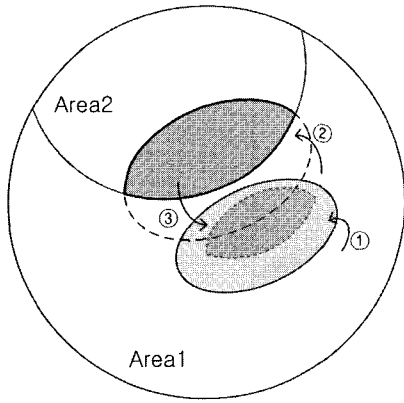


그림 6. Back propagation.
Fig. 6. Back propagation.

propagation이라 부르는 알고리즘이다. 이제 로봇이 위치하는 IRID영역이 바뀔때로 인해 축소된 영역으로부터 ③의 과정을 거쳐 이전 영역에서 추정하였던 불확실성영역을 다시 추정해보면, 가는 점선으로 표시한 영역이 되며 이러한 과정을 통하여 단계 ①에서 추정했던 불확실성영역보다 불확실성영역을 축소시킬 수 있다. 이 알고리즘을 전체적인 위치추정 알고리즘에 적용시켜 ID가 바뀔 때마다 적용하게 되면, 단순히 IRID 정보만을 이용한 위치추정에 비교하여 보다 정확한 결과를 얻을 수 있게 된다.

앞의 절에서 현 단계의 IRID정보만 이용하여 시행하였던 것과 같은 그림 4의 경로에 대하여 back propagation을 포함한 알고리즘을 이용하여 시행한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

같은 엔코더와 ID정보를 사용하여 불확실성을 추정하였던 그림 5와 비교하였을 때, back propagation 알고리즘을 포함하여 추정한 그림 7의 불확실성 영역이 확연히 줄어든 것을 볼 수 있다. 이 두 가지 방법을 이용하여 구한 불확실성 영역을 비교한 것이 그림 8이다. 불확실성영역의 형태는 일반적인 타원형태가 IRID정보에 의하여 지속적으로 변형되며, 해석적 식에 의하여 그 면적을 구할 수 없으므로, 1cm x 1cm 크기의 cell로 모든 workspace를 나눈 후, 불확실성영역내의 cell 개수로 그 영역을 나타낸다. 가로축은 스텝 수를 나타내며 세로 축은 불확실성 영역에 포함되는 cell의 개수를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 경우 모두 ID가 바뀌는 부분에서 불확실성 영역이 확연히 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 ID가 바뀌는 순간에는 영역이 매우 작아지기 때문에 비교적 두 방법의 차이가 적으나, 한 ID영역 안에서 불확실성 영역의 증가하는 정도를 보았을 때, back propagation을 포함한 경우가 작다는 것을 알 수 있다.

실제 로봇이 움직인 경로와 dead-reckoning, 그리고 IRID정보를 이용한 dead-reckoning 결과를 비교해보기 위하여 또 다른 시뮬레이션을 시행하였다. 로봇에 입력한 경로에 random noise를 섞어 인위적으로 robot이 실제 움직였다고 가정할 수 있는 경로를 만들었으며, 이에 해당하는 IRID정보를 이용하여 제시한 알고리즘을 이용하여 위치를 추정하였다. 그 결과가 그림 9이다.

그림 9에서 보여지는 것과 같이 로봇의 주행거리가 길어 질수록 순수한 dead-reckoning에 비하여 IRID 정보와 결합한

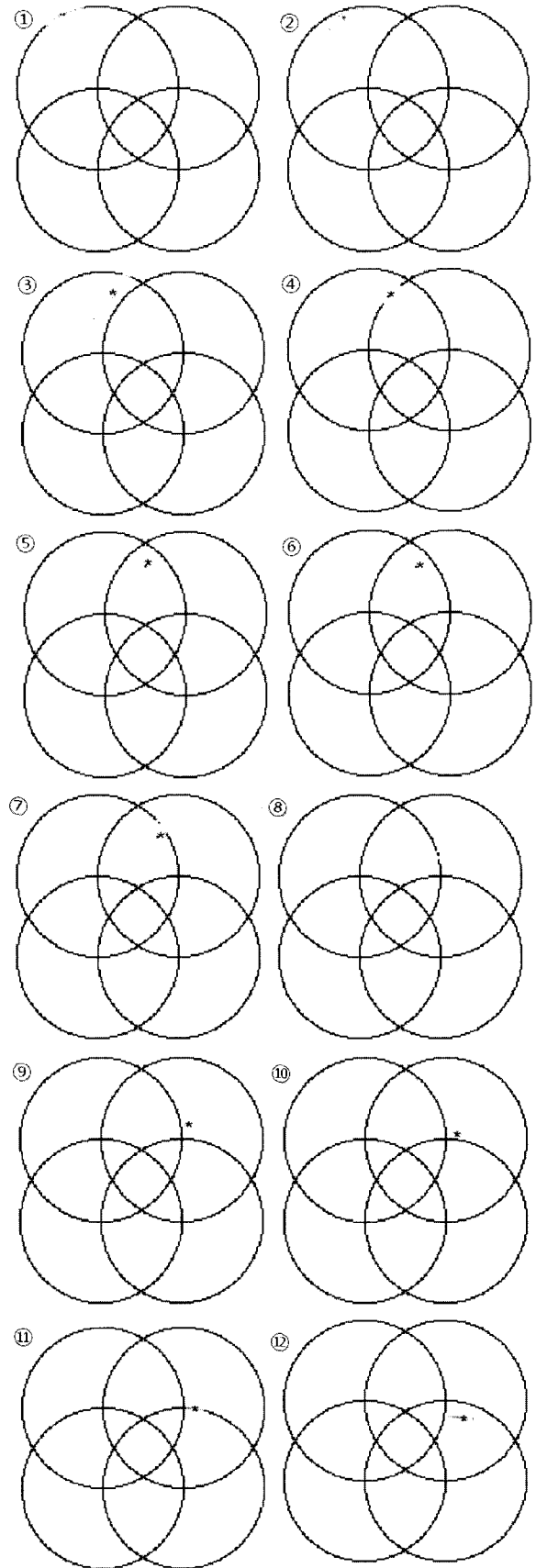


그림 7. Back propagation을 사용한 로봇위치의 불확실성영역의 감소.
Fig. 7. Reduced uncertainty area including back propagation.

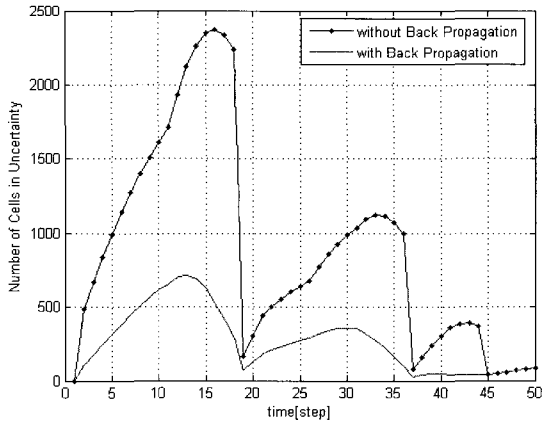


그림 8. 불확실성영역의 비교.
Fig. 8. Uncertainty area comparison with/without back propagation.

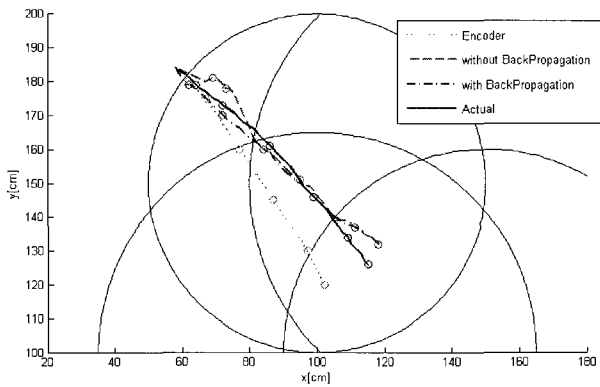


그림 9. 다양한 방법의 위치추정결과 비교.
Fig. 9. Uncertainty area comparison.

추정방법이 더 실제의 경로에 가깝게 추정되는 것을 볼 수 있으며, back propagation을 포함한 경우가 더욱 정확도가 높다는 것을 알 수 있다.

IV. 실험

IRID의 가장 중요한 특징은 포토트랜지스터의 위치에 따라 매우 결정적으로 ID(고유의 적외선 빛 pulse)를 받는 것이 가능하다는 것이다. 그림 10, 11은 천정에 부착한 LED(송신부)와 포토트랜지스터를 장착한 제어기이다. 신호의 충돌방지를 위한 점등순서의 제어와 신호의 변조를 관리하기 위한 제어기와 네 개의 LED를 사용하였다.

IRID 정보의 측정은 반복적으로 수행되었으며 다음의 그림 12는 측정한 각각의 고유의 ID를 갖는 영역을 나타낸 그림이다. 실제 환경에서는 각 LED로부터 측정되는 영역이 비록 완벽한 원형은 아니라 할지라도 각각의 ID에 해당하는 영역을 결정지을 수 있도록 나타나는 것을 알 수 있다.

실험을 위해 포토트랜지스터와 제어기를 단 이동로봇(그림 13)이 사용되었다. 로봇 제어기는 로봇이 움직이는 동안 양쪽 바퀴 엔코더 정보와 IRID 정보를 받는다. 그림 14과 같은 visual program을 사용하여 robot의 위치를 실시간으로 추정하였다.

다음의 그림 15, 16은 dead-reckoning만을 이용하여 구한 경

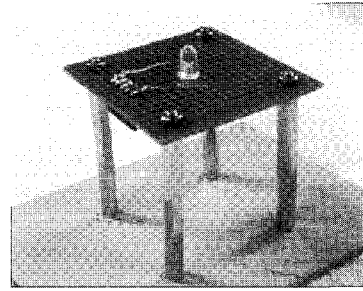


그림 10. IRID 송신부.
Fig. 10. IRID emitter.

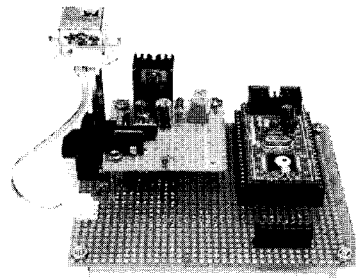


그림 11. IRID 수신부 및 제어기.
Fig. 11. IRID receiver and its controller.

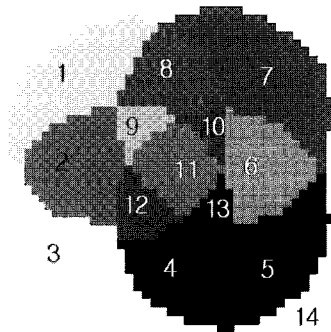


그림 12. 네 개의 IRID 송신부로부터 측정된 영역.
Fig. 12. Partitioned area with received IRID information using 4 IRID emitters.

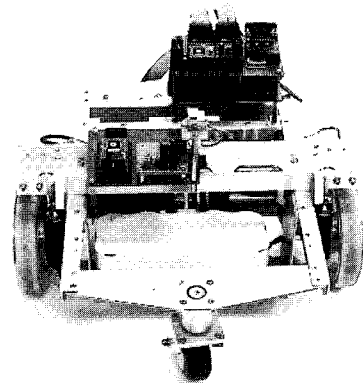


그림 13. IRID 수신부를 장착한 로봇.
Fig. 13. A robot with IRID receiver.

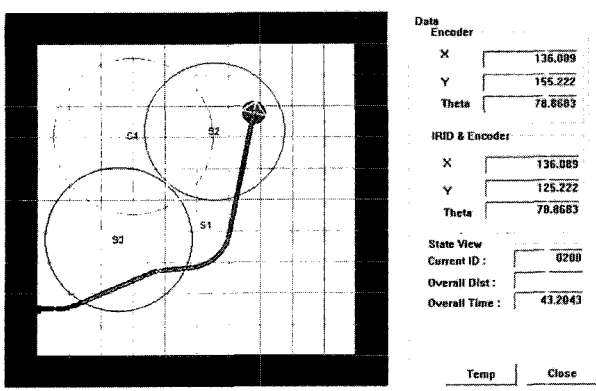


그림 14. 위치추정 software.

Fig. 14. Localization software.

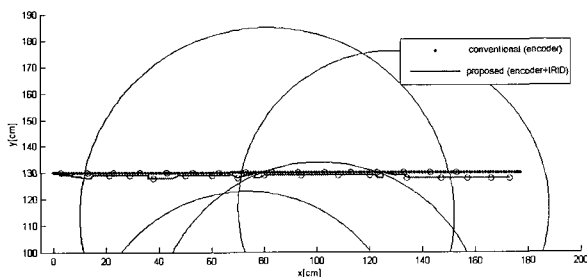


그림 15. 위치추정 결과비교(직선경로).

Fig. 15. Localization results(Straight path).

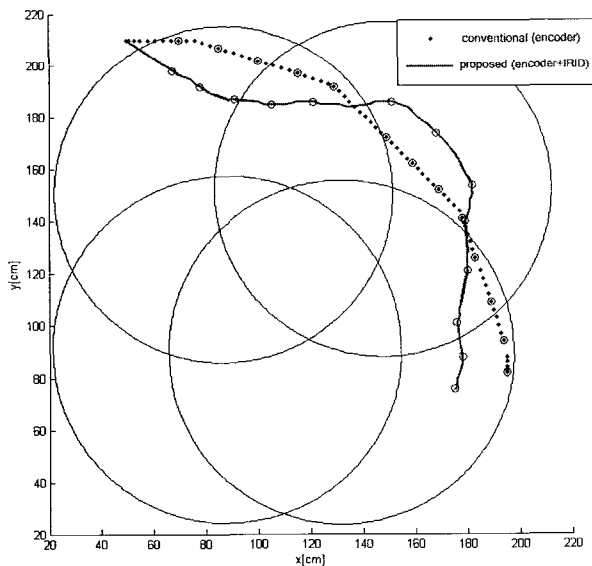


그림 16. 위치추정 결과비교(곡선경로).

Fig. 16. Localization results(Contour path).

로와 back propagation을 포함한 IRID정보와 결합한 방법을 통해 구한 경로를 비교한 그림이다. 큰 동그라미는 time stamp로 같은 시간대에 각각의 추정된 로봇의 위치를 보여준다. 다음의 결과들로부터 두 가지 방법을 통해 추정된 결과가 다르다는 것을 알 수 있으며, 특히 곡선 path의 경우 더 큰 차이를 보인다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 기존의 dead-reckoning에 새로운 인공 landmark인 IRID 정보를 이용한 위치추정 방법을 제시하였다. 이 방법은 단순한 장치를 이용하여 기존의 방법보다 불확실성의 증가를 감소시킬 수 있으며, 불확실성이 발산하기 전에 reset할 수 있다는 장점을 지닌다. 실시간으로 로봇의 위치를 추정하는 알고리즘에 더하여 back propagation을 통하여 로봇이 속해 있는 ID영역이 바뀔 때 따라 이전 영역, 즉 로봇이 지나온 경로의 불확실성 영역의 크기를 감소시키는 알고리즘도 소개되었다. 시뮬레이션과 실험을 통하여 제시한 알고리즘이 실제 로봇의 위치를 추정하는 데에 효과적이라는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] G. A. Kantor and S. Singh, "Preliminary results in range-only localization and mapping," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1818-1823, May 2002.
- [2] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," *IEEE INFOCOM'02*, vol. 2, pp. 775-784, Mar. 2000.
- [3] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location-support system," *6th Ann. Intl Conf. Mobile Computing and Networking (Mobicom 00)*, pp. 32-43, 2000.
- [4] M. Maeda, T. Ogawa, K. Kiyokawa, and H. Takemira, "Tracking of user position and orientation by stereo measurement of infrared markers and orientation sensing," *8th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, vol. 1, pp. 77-84, Oct. 2004.
- [5] S. S. Ghidary, T. Tani, T. Takamori, and M. Hattori, "A new home robot positioning system using IR switched multi ultrasonic sensors," *IEEE SMC'99*, vol. 4, pp. 737-741, 1999.
- [6] M. Kourogi and T. Kurata, "Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera," *2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 103-112, Oct. 2003.
- [7] R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, "A wearable augmented reality system using positioning infrastructures and a pedometer," *7th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 110-117, Oct. 2003.
- [8] Y. Nakazato, N. Kanbara, and N. Yokoya, "Localization of wearable users using invisible retro-reflective markers and an IR camera," *9th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 198-199, Oct. 2005.
- [9] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, The MIT Press, 2004.
- [10] J. Y. Bae, S. Y. Lee, "Use of IRID(InfraRed IDentification) for mobile robot localization," *DETC/CIE International Design Engineering & Computers and Information in Engineering Conferences*, DETC2006-99664, Sep. 2006.
- [11] 안효성, 박상연, 유원필, "전파신호 강도 실시간 추정을 통한 실내위치 인식 네트워크의 성능 검증," 제2회 한국 지능로봇 하계종합 학술대회 논문집, pp. 147-151, 2007년 6월.
- [12] 조성호, 한순식, 이인옥, 이장명, "iGS를 사용한 이동로봇의 위치 인식 알고리즘," 제2회 한국지능로봇 하계종합

학술대회 논문집, pp. 249-254, 2007년 6월.

- [13] 이채훈, 박찬국, 전창완, 이한성, 김영일, 김명구, "초음파 센서와 휴머노이드 동작 명령을 이용한 위치인식," 제 2

회 한국지능로봇 하계종합 학술대회 논문집, pp. 480-483, 2007년 6월.



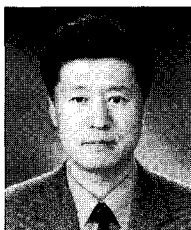
배 정 연

2005년 홍익대학교 기계시스템디자인 공학과(공학사). 2007년 홍익대학교 기계공학과(공학석사). 2007년~현재 한국생산기술연구원 로봇기술본부. 관심분야는 Navigation, WSN positioning, Intelligent Robots.



이 수 용

1989년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1991년 서울대학교 기계공학과(공학석사). 1996년 MIT 기계공학과(공학박사). 1993년~1999년 한국과학기술연구원 선임연구원. 2000년~2003년 Texas A&M대학 기계공학과 조교수. 2003년~현재 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 부교수. 관심분야는 Mobile Robotics.



송 재 복

1983년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1985년 서울대학교 기계공학과(공학석사). 1992년 MIT 기계공학과(공학박사). 1993년~현재 고려대학교 기계공학과 교수. 2005년~현재 고려대학교부설 지능로봇연구센터 소장. 관심분야는 Navigation,

Design/Control of Robot systems