

인공 별을 이용한 실내주행로봇의 초기화 문제

Initialization Problem of Indoor Mobile Robots with Artificial Stars

방 성 기, 김 진 오*

(Sung-Kee Bang and Jin-Oh Kim)

Abstract : Initialization problem is defined for indoor mobile robot as a whole process from arrival to normal operation in a new environment. The unstructured environment make the process much more difficult compared to industrial robot in structured environments. We propose a simple and efficient initialization process based on artificial stars on ceiling. Important task points and paths connecting task points are defined based on the corresponding artificial stars. This approach can be used for all kinds of indoor mobile robots with landmarks used for indoor localization.

Keywords : initialization process, indoor mobile robot, BAS(Blinking Artificial Star), localization, teaching

I. 서론

본 연구에서는 실내 지능형서비스로봇이 현장에 설치되어 제대로 작업을 수행하기 전까지의 로봇의 티칭(teaching)과 관련된 문제를 해결한다. 우리는 이 문제를 초기화 문제(initialization problem)이라고 정의한다. 우리가 이전의 연구[1]에서 제안한 천정에 부착한 인공 별(Artificial Star)을 바탕으로 로봇이 인공 별에 대한 상대적 위치를 이용하여 이동한다. 이 AS의 방법은 실내 이동 로봇에서 가장 확실하면서 염가의 위치 결정 해결책을 제공하기 때문에 본 연구에서는 다수의 AS에 의한 상대적 위치 인식만으로 초기화 문제를 해결하는 과정을 개발하여 제안한다.

산업용 로봇에서는 주어진 작업에 따른 절대좌표 또는 관절좌표 상에서의 중요 위치를 티칭(teaching)하고 이들 위치를 어떤 궤적 또는 경로를 통해서 연결시킬 것인지 또 어떤 작업을 할 것인지를 프로그램하는 것으로 초기화 문제는 간단히 된다. 즉 위치 티칭(teaching)과 궤적/작업 프로그래밍만으로 로봇이 작업이 수행할 수 있게 된다. 실내의 서비스 로봇은 이와 같은 표준화된 초기화 과정을 가지지 못하는 것이 현실이고 이 문제의 해결방법을 이 연구를 통해서 제안한다.

서비스 로봇은 산업용 로봇의 응용에서와는 달리 작업에 따라 중요 위치는 주어지지만 이들의 위치를 표현 할만한 좌표를 가지지 못하고 있다. 산업용 로봇의 경우는 다양한 절대 좌표와 상대 좌표의 설정이 가능하지만 서비스 로봇의 경우는 이러한 좌표의 설정이 쉽지 않다[2,3]. 따라서 이 문제를 해결해주기 위해 제안된 하나의 방법이 천정에 부착되는 AS이다. 마치 선박이 별을 보고 항해하는 것과 같은 원리를 응용한 것이다[1]. AS를 작업위치 근처에 적절히 배치하고 이를 기준으로 중요위치를 티칭(teaching)하며 이 중요 위치를 연결하는 경로 티칭(teaching)을 한다. 장애물 또는 벽 등을 피할 수 있도록 하기 위해서는 로봇을 직접 이동하면서 경로

를 티칭(teaching)해 주는 것이 안전하데 이점은 산업용 로봇과 다르다. 경로 티칭(teaching)의 도중에 로봇이 도달 가능한 영역의 지도를 만들어 갈 수 있다. 최종적으로 다수의 AS를 기준으로 하는 중요 위치와 이들을 연결하는 다양한 경로를 포함하는 로봇경로 지도가 만들어 진다. 이러한 일련의 과정이 본 연구에서 제안하는 실내에서 사용되는 이동형 서비스 로봇의 초기화 문제이다. 이 초기화 과정이 성공적으로 끝나면 로봇이 스스로 알아서 돌아다니며 작업을 수행하는 것을 기대할 수 있다.

AS에 대한 연구는 본 연구실에서 오래 동안 진행이 되어 특히[4]로 등록이 되었으며 현재는 로봇이 이동하면서도 AS를 정확히 인식할 수 있도록 만든 BAS(Blinking Artificial Star)를 사용하고 있다[5]. 일반적으로 데드레커닝(dead reckoning)은 추가적인 센서를 사용하여 오차를 보정한다[6,7]. 그러나 본 연구에서는 BAS와 로봇이 가지는 데드레커닝 기능 이외에 어떠한 센서도 사용하지 않는다는 가정하에 가능한 실내항법을 개발한다. 초기화 문제를 해결하는 본 연구의 내용은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 개선된 BAS를 이용한 위치 결정 방법에 대해 간단히 요약한다. 3장에서는 BAS를 이용한 경우의 초기화 문제를 정의한다. 4장에서는 초기화문제의 상세한 과정에 대해서 하나씩 논의한다. 5장에서는 개발결과 및 결론에 대해서 설명한다.

II. 인공 별(Artificial Star)을 이용한 위치결정

이동로봇의 정확한 위치를 인식하여 이동을 쉽게 할 수 있도록 밤하늘의 북두칠성과 같이 천정에 인공 별을 설치하는 방법은 이미 여러 곳에서 제안되었다. 카네기멜론 대학의 Minerva [8]는 박물관에서 천정의 모자이크 이미지를 읽어서 바로 위치를 찾아내는 방법을 취했으나 조명의 영향이 크고 그림자에 의한 부정확성과 비싼 비전 알고리즘이 단점이다. Evolution Robotics사의 North Star[9]는 한쪽 벽면에서 천정으로 빛을 쏘아 올려서 인공 별을 만들었다. 이 별은 모터를 이용하여 자유롭게 이동하면서 이동로봇에 필요한 위치정보를 제공하는데 이것 또한 비싼 가격이 문제이다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 저렴하고 쉬운 방법으로 제안한 것이 우리들의 인공 별인 AS(Artificial Star)이며 그 개념도는 그림

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 6. 7., 채택확정 : 2007. 7. 6.

방성기 : 광운대학교 제어계측공학과(blca81@gmail.com)

김진오 : 광운대학교 정보제어공학과(jokim@daisy.kw.ac.kr)

※ 이 논문은 2005년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었으며 또 SRC/ERC program of MOST/KOSEF(Grant #R11-1999-008)의 지원을 받았음.

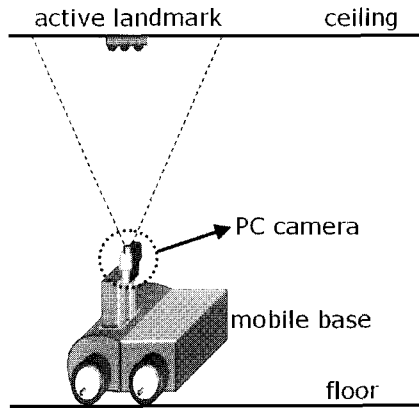


그림 1. PC 카메라가 설치된 모바일 로봇.
Fig. 1. PC camera attached to a mobile robot.

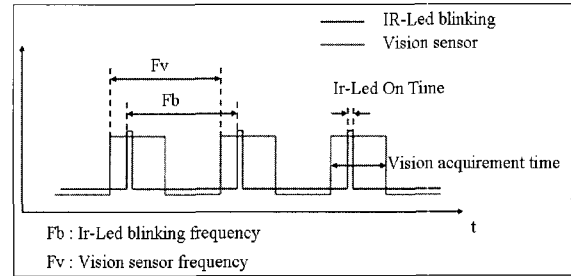


그림 3. Blinking AS의 원리.
Fig. 3. Principle of blinking AS.

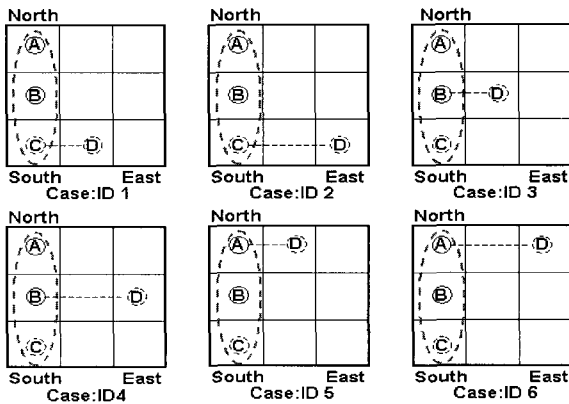


그림 2. 인공별의 모습 (3x3 matrix로 구성된 경우-4개의 LED를 사용).
Fig. 2. AS of 3x3 matrix form with 4 LEDs.

1과 같다. 시스템은 실내 이동 로봇에 부착된 PC Camera와 천정에 고정된 Landmark인 AS로 구성된다. 로봇은 고정된 AS가 보이는 영역에서는 언제나 AS에 대한 상대적 위치를 알고 있게 된다.

BAS는 그림 2에서와 같이 4cmx4cm의 크기를 갖는 PCB에 3x3의 matrix를 구성하여 4개의 IR-LED(Model EL-8L with maximum wavelength 940 nm and viewing angle 34°)로 방향과 ID를 표시한다. 3개의 IR-LED는 한쪽 면에 일렬로 배치되어서 실내 이동 로봇의 방향을 인식하는데 사용되며 나머지 하나의 AS의 ID를 인식하는데 사용된다. PC 카메라는 IR pass filter를 통해서 AS를 인식하게 되어 있어 조명에 민감하지 않는 장점을 가진다. 또한 이동 로봇이 작업해야 하는 중요 위치가 많을 경우 IR-LED의 구성을 4x4 또는 5x5로 확장하여 인식 ID를 필요한 만큼 증가시킬 수 있다[10].

이 AS를 로봇이 이동하면서 관찰하는 경우 이미지는 잔상 효과에 의해서 부정확하게 되는 단점을 가지는데 이를 해결한 것이 BAS(Blinking Artificial Star)이다[5]. 이미지를 한번 얻는 동안에는 BAS는 최대 한번만 깜박이도록 만들어 로봇의 이동에 의한 잔상효과를 제거했다. 그림 3은 이미지를 확보하는 주기와 BAS가 깜박이는 주기를 간단히 표현해 놓은 그림이다. 그림 4는 실제 BAS의 모습을 보여준다.

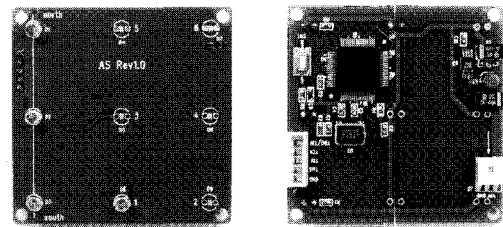


그림 4. 실제 제작된 blinking artificial star.
Fig. 4. Blinking artificial star.

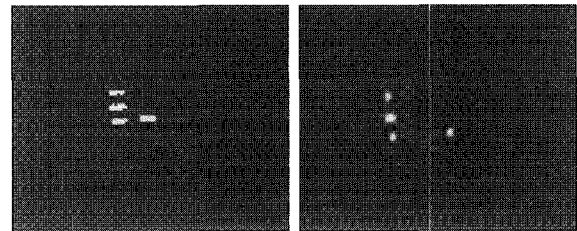


그림 5. 이동 시 AS와 BAS의 이미지.
Fig. 5. Image pictures of AS and BAS.

표 1. AS와 BAS의 비교.

Table 1. Compared AS and BAS.

Velocity	AS	BAS
0mm/s	100%	100%
50mm/s	93%	100%
100mm/s	90%	100%
150mm/s	77%	100%
200mm/s	30%	100%

이 BAS를 통해서 카메라의 viewing 영역이 1.15mx0.88m인 경우에 20mm의 위치정밀도, 1도의 방향정밀도를 얻을 수 있었다.

그림 5는 이동 시 잔상이 생기는 현상에 관한 그림으로 속도 100 mm/s로 이동하며 캡처한 이미지이다. 좌측 이미지는 AS로 캡처한 이미지로 잔상이 생겨서 정확한 인식이 어렵다. 그러나 BAS로 캡처한 우측의 이미지는 잔상이 생기지 않아 정확한 인식이 가능하다.

표 1은 AS와 BAS 인식률을 비교한 것이다. 이동로봇의 속도가 증가할수록 AS의 인식률은 떨어지는 반면 BAS의 인식률은 변함이 없음을 보여준다.

III. 초기화 문제(initialization problem)의 정의

초기화 문제는 로봇이 구입되어 작업 환경에 도착된 직후부터 로봇이 정상적으로 작업하기 전까지의 일련의 과정을 의미한다. 앞에서 언급한 바와 같이 산업용로봇과는 달리 이동성을 갖는 로봇의 경우 좌표설정부터 차이가 난다. 산업용 로봇은 로봇 베이스에 로봇의 절대 좌표를 가지며 이를 기준으로 작업까지 모두 티칭(teaching)을 할 수 있는 반면 이동 로봇의 경우는 로봇의 베이스에 좌표를 설정하여도 이는 로봇 내부에만 적용되는 것이지 작업 환경을 포함하지는 않는다는 문제가 있다. 따라서 우리는 이동 로봇을 위한 좌표 설정을 위해 매우 간단한 방법으로서 BAS를 기준으로 하는 좌표를 설정한다. 중요한 작업위치에 하나의 BAS가 존재하며 그 BAS가 보이는 영역에서는 반드시 BAS를 기준으로 모든 이동과 작업을 수행하게 된다. 즉 작업영역의 크기에 따라서 다수의 BAS를 분포시키고 이들을 기준으로 하는 다수의 상대 좌표계를 설정하게 된다.

이와 같이 BAS의 상대좌표를 이용함으로써 가능한 초기화 문제의 가장 간단한 해결책을 일련의 과정으로서 다음과 같이 6단계로 제안한다.

(1) 로봇의 작업영역 결정: 로봇이 들어가 작업을 하는 공간을 정한다. 방 하나가 될 수도 있으며 건물 전체가 될 수도 있다.

(2) TP(Task Point)의 설정: TP는 로봇이 도달해야 하는 중요 위치를 의미한다. 작업영역 안에서 로봇이 정확히 위치 결정되어 작업을 하는 곳이다.

(3) BAS의 천정설치: 로봇이 도달해야 하는 TP의 중심 바로 위 천정에 BAS를 설치한다. BAS의 북쪽(North)을 가능하면 나침반을 기준으로 지리적 북쪽으로 맞춘다. 모든 TP에 각각 하나의 BAS를 설치한다.

(4) TP의 티칭(Point Teaching): BAS를 기준으로 로봇에 TP들을 티칭(teaching)한다. 이동로봇이 작업을 하게 되는 정확한 위치와 방향을 BAS의 좌표 계를 기준으로 표현한다.

(5) 경로의 티칭(Path Teaching): 각 TP를 이동하는 경로에 대해서 티칭(teaching)한다. 이때는 데드레커닝(dead reckoning)과 BAS를 동시에 이용한다.

(6) 시험운전(Test Run): 모든 경로에 대해서 로봇이 정상적으로 이동하는 지를 확인한다.

다음 절에서는 위의 과정을 실제 예를 가지고서 구체적으로 어떻게 구현해 나가는지 설명하면서 각 과정에서의 문제들을 해결한다.

IV. 초기화 과정(initialization process)

본 연구에서 사용된 실내 이동 서비스 로봇은 그림 6에서와 같은 하반신 장애인을 침대에서 들어서 변기, 휠체어로 이동시킬 수 있는 transfer 로봇이다. 두 개의 구동 바퀴 위쪽에 PC카메라가 장착되어 있다. 예제에서는 하반신 장애인이 머물고 있는 방에서 카메라와 천정 사이의 거리는 1.4m이다. 이제부터 앞 절에서 정의한 6단계의 초기화 과정을 자세히 설명한다.

1. 로봇의 작업영역 결정

예제로서 사용된 작업영역은 하반신 장애인이 기거하는

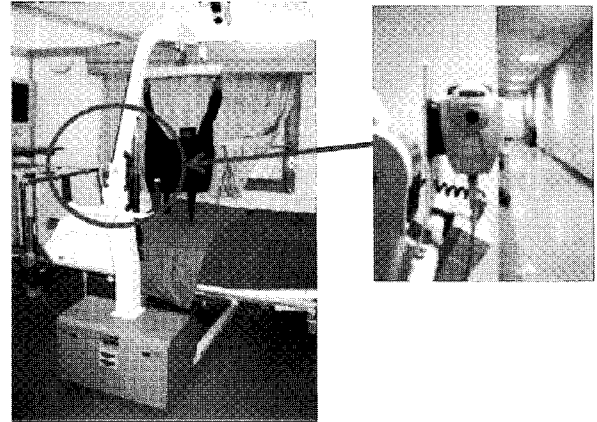


그림 6. 모바일 로봇과 장착된 카메라.

Fig. 6. Mobile robot and vision sensor.

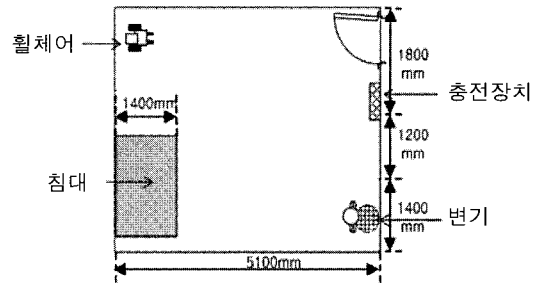


그림 7. 작업영역.

Fig. 7. Task space.

방이다. 그림 7에서와 같이 직사각형의 방에는 침대와 변기가 놓여있으며 충전장치와 휠체어의 위치가 정해져 있다.

2. TP(Task Point)의 설정

로봇이 정확하게 위치와 방향을 만족시켜야 하는 중요한 위치를 TP라고 한다. 이 TP에서 로봇은 정지하게 된다. 장애인을 태우거나 내리거나 또는 충전을 하게 된다. 본 예제에서는 TP가 네 개이므로 BAS도 서로 다른 네 개를 사용하게 된다.

주어진 작업환경에서 몇 개의 BAS를 사용할 것인가 하는 문제는 간단하지 않지만 최소한 TP의 수와 같거나 많아야 한다. 또 로봇이 초음파/적외선센서 등을 장착하고 있어서 벽 따라가기, 장애물 회피 등의 지능을 가지는 경우는 경로 중간 중간에 BAS를 설치하지 않아도 되므로 BAS의 숫자는 로봇의 기능에 따라 달라진다고 볼 수 있다. 하지만 본 연구에서는 BAS와 데드레커닝(dead reckoning)만을 사용하기 때문에 데드레커닝(dead reckoning)만으로 TP사이를 이동할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우는 중간 경로에 BAS를 추가하여 데드레커닝(dead reckoning)의 부정확성을 보완해준다.

본 연구에서는 하반신 장애인을 위한 이동로봇을 대상으로 하므로 침대, 변기, 휠체어가 있는 곳 그리고 충전 장치가 있는 곳이 그림 8에서와 같이 TP가 된다.

3. 인공 별(BAS)의 천정설치

로봇이 도달해야 하는 TP의 위에 BAS를 설치한다. 간단히 로봇을 원하는 위치로 옮긴 다음 카메라의 바로 위 천정에 설치하면 된다. 로봇이 TP에서 위치와 방향을 결정되었다고

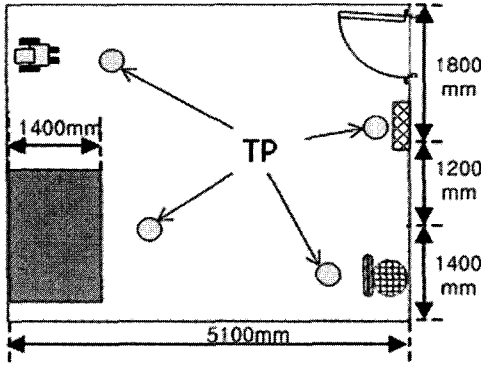


그림 8. 작업영역에서 TP 설정의 예.

Fig. 8. Task points in task space.

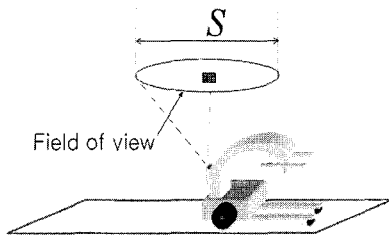


그림 9. 유효 커버리지.

Fig. 9. Effective coverage area.

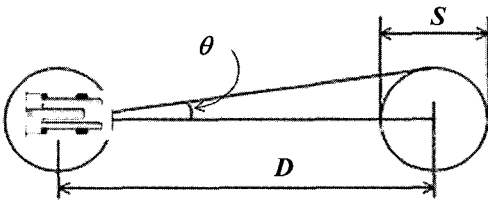


그림 10. 두 TP사이의 최대 거리.

Fig. 10. Maximum distance between two TPs.

할 때에 로봇의 카메라 위치 기준으로 카메라에서 볼 수 있는 영역 내에 BAS를 설치하면 되지만, 보통의 경우 카메라 바로 위쪽에 BAS를 설치하는 것이 가장 효과적일 것이다. BAS가 설치되면 이 BAS를 기준으로 이동로봇의 유효 커버리지(effective coverage)가 결정된다. 그림 9에서와 같이 BAS를 중심으로 카메라의 viewing 영역의 크기가 바로 유효 커버리지가 된다. 카메라의 경우 직사각형의 viewing 영역을 가지지만 여기서는 간단히 중심에서 최소거리를 바탕으로 하는 원으로 모델링한다.

두 TP사이에 추가적인 BAS가 경로 도중에 필요한지 아닌지는 로봇의 기능의 정확도에 따라 다르다. 그림 10에서와 같이 직선경로를 이동하는 경우, 방향 오차 θ (rad)가 생긴다면, 로봇이 방향을 잃어버리지 않고 목적 TP를 찾아가기 위해 BAS를 추가해야 하는 최대한의 거리를 구할 수 있다. 그림 10에서 S는 카메라 viewing 영역의 지름이다. 데드레커닝(dead reckoning) 오차각도는 θ (rad)이다. 이 경우 직선 경로로 연결되는 두 TP사이의 최대이동가능거리 D는 다음 (1)과 같이 표현된다.

$$D = \frac{S}{2 \tan(\theta)} \quad (1)$$

즉 D보다 큰 거리이면 중간에 하나의 BAS를 추가해야 한다는 의미이다. 보통의 경우에 직선경로가 아니기 때문에 실험적으로 시험운전을 하면서 BAS의 추가여부를 결정해야 한다.

BAS의 북쪽(North)을 가능하면 나침반의 북쪽을 기준으로 하여 지리적 북쪽으로 맞추도록 한다. 이것은 본 연구에서 제안하는 방법으로 충분한 경우에는 반드시 필요한 것은 아니지만 작업 영역 내에 지도를 만들고 이 지도를 바탕으로 절대좌표계 작업을 하는 문제에서는 필요하다. 즉 본 연구에서의 방법은 BAS의 정확한 위치와 방향이 작업에 영향을 주지 않는다는 장점을 갖고 있다. 왜냐하면 TP에서의 이동과 작업은 모두 하나의 BAS를 기준으로 이루어지기 때문이다. 즉 다른 BAS의 위치와 방향에 따른 영향이 전혀 없다.

4. TP의 티칭(Point Teaching)

작업영역에서 BAS의 설치가 끝나면 로봇을 이동하면서 TP의 티칭(teaching)을 하게 된다. 그 결과 설치된 BAS를 기준으로 하는 상대좌표에 대한 위치와 방향을 기억하게 된다. 그림 11은 카메라 이미지의 중심에 위치하는 xy좌표계와 BAS의 XY 좌표계의 관계를 나타낸다.

xy좌표계를 XY좌표계에서 관찰할 경우 2차원이므로 아래의 (2)와 같이 3x3 homogeneous transform으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_z & \sin\theta_z & dx \\ -\sin\theta_z & \cos\theta_z & dy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 (dx, dy)는 XY 좌표계에서 본 xy 좌표계의 원점의 위치이고, θ_z 는 XY 좌표계 기준으로 xy 좌표계의 회전 각이다. 본 예제에서는 네 군데(침대, 변기, 휠체어, 충전장소 주변)에서 티칭(teaching)을 함으로서 TP의 티칭(teaching)을 완성한다.

5. 경로의 티칭(Path Teaching)

네 군데의 TP에서 각각 BAS 좌표를 기준으로 카메라 이미지 좌표의 위치와 방향이 좌표변환형식으로 만들어지면 이제 TP사이의 경로를 티칭(teaching)하게 된다. 그림 12에서와 같이 하나의 TP에서 다른 TP로 이동할 때에 BAS가 보이

Camera viewing

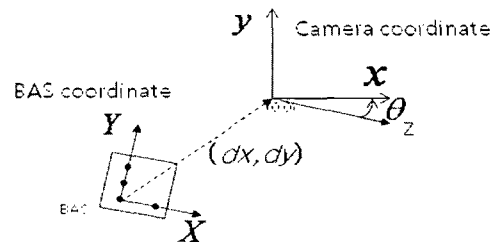


그림 11. BAS와 카메라 좌표계.

Fig. 11. Coordinates of BAS and camera.

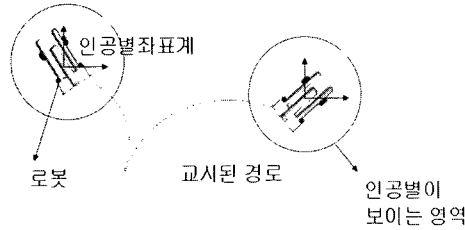


그림 12. 출발과 목적 TP사이의 이동.
Fig. 12. Movement from a starting point to a destination point.

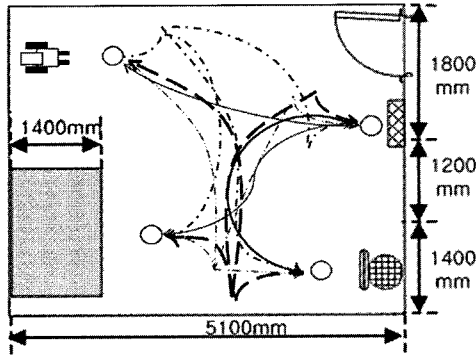


그림 13. TP 사이의 경로.
Fig. 13. Paths connecting TPs.

는 영역과 보이지 않는 영역이 있다. 여기서 카메라의 viewing영역을 간단히 원으로 표현한다. 출발지역에서는 보 이다가 어느 정도 진행하면 안보이게 된다. 도착 지점에 다 가가면 목적지 BAS가 보이게 된다. 보이지 않는 영역에서는 순전히 데드레커닝(dead reckoning)에 의해서만 이동을 하게 되는데 데드레커닝(dead reckoning) 기능의 한계와 두 BAS 사 이의 거리에 따라서 중간에 BAS를 설치할 것인지를 결정해 야 한다.

출발 TP에서 목적 TP로 이동하는 동안 목적 TP가 보일 때 까지는 전부 출발 TP의 BAS좌표계를 이용해서 이동하게 된 다. 출발 지역의 BAS가 보일 때는 당연히 BAS 좌표를 기 준으로 위치와 방향이 표현되지만 보이지 않는 영역으로 이동 하게 되면 데드레커닝(dead reckoning)에 의해 이동하는 거리 와 회전량을 계산하여 중간 지점에 대한 경로를 기억한다. 즉 모든 경로는 출발 지역 TP의 BAS의 좌표계를 바탕으로 설정이 되고 목적 TP가 보이게 될 때부터 목적지역 TP의 BAS의 좌표계를 이용하게 된다.

모든 TP들 사이의 이동 경로의 티칭(teaching)을 마치면 그 림 13에서와 같은 로봇의 경로가 생성되고 이를 바탕으로 최 종적으로 다음의 시험운전을 하게 된다.

6. 시험운전(test run)

여기서는 모든 경로에 대해서 로봇이 정상적으로 이동하 는 지를 확인한다. 데드레커닝(dead reckoning) 기능이 제한적 이기 때문에 티칭(teaching)된 경로에 대해서 만족하는지를 확인하는 것이 중요하다. 만일 경로이동 중 오차가 커서 목 적 TP를 찾지 못하는 경우가 발생하면 경로의 중간지점에 하나의 BAS를 추가한다. 이 경우에는 출발 BAS의 좌표계는 중간 BAS까지만 사용되고 그 이후는 중간 BAS의 좌표계를 이용하게 된다.

V. 결론

가장 간단하면서 쉽고 저렴한 방법인 BAS를 바탕으로 로봇을 구매해서 완전히 자동적으로 이동하게 되는 과정을 초기화 문제라고 정의하였다. 이 초기화 문제를 해결하는 일련의 과정을 제안하였다. 산업용로봇과는 달리 훨씬 복잡한 이동로봇의 초기화 문제를 해결하려는 노력이 연구결 과로 발표된 논문이 없어서 참고로 할 만한 것이 없었다. 따라서 본 연구결과는 앞으로 더 많은 연구를 필요로 하지 만 이동로봇의 표준적인 초기화 방법으로 사용될 만하다. 특히 이 방법은 캘리브레이션(calibration) 등의 어려운 문제 를 자연스럽게 제외시키는 효과를 가지고 있어서 실내 항 법에서 가장 간단한 방법 중에 하나로 발전할 것이다. BAS 와 데드레커닝(dead reckoning) 이외의 센서는 전혀 사용하 지 않는다는 가정하에 문제를 해결하였으므로 갑자기 생긴 장애물에 대한 해결을 위해서는 초음파센서 등이 필요할 것이다. 만일 초음파센서 등이 추가되면 장애물 회피 뿐 만 아니라 보다 효과적인 경로의 생성문제도 같이 해결될 수 있을 것이다. 한편 BAS을 사용하지 않는 위치결정방법의 경우에도 여기서 제안하는 초기화 과정을 그대로 확대하여 적용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] W.-J. Lee, "A new localization system for indoor navigation," Kwangwoon University, 2003.
- [2] Borenstein, B. Everett, and L. Feng, Navigating Mobile Robots: Systems and Techniques, A. K. Peters, Wellesley, Mass., 1996. http://www-peersonal.engin.umich.edu/~johannb/my_book.htm
- [3] Y. Zhao: Vehicle Location and Navigation Systems Acorridors lights based navigation system including path definition using a topologically corrected map for indoor mobile robots Launay, F.; Ohya, A.; Yuta, S.; Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conterence on, vol. 4, 11-15 May 2002 pp. 3918-3923, vol. 4.
- [4] 김진오, 이우준, 신현중, 한승현, 임창준, "실내항법을 위 한 좌표확인 시스템" 특허등록번호: 1005691810000 대한 민국등록명, 2006.
- [5] K.-H. Cho, J.-O. Kim "A blinking artificial star system for indoor robot," *International Journal of Assistive Robotics and Mechatronics*, vol. 7, no. 4, Dec 2006, pp. 41-47, ISSN 1975-0153.
- [6] I. Ashokaraj, A. Tsourdos, P. Silson and B. White "Sensor based robot localization and navigation: Using interval analysis and extended Kalman filter," 2004 5th Asian Control Conference and Navigation: *Using Interval Analysis and Extended Kalman Filter.*, " 2004 5th Asian Control Conference.
- [7] H.-Joachim V. D. Hardt * Didier Wolf Ren6 Husson "The dead reckoning localization system of the wheeled mobile robot ROMANE," *Proceedings of the 1996 IEEEISICEIRSJ International Conference on Multi sensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*.
- [8] Thrun, S. Bennewitz, M., Burgard, W. Cremers, A.B., Dellaert, F., Fox, D., Hähnel, D., Rosenber, C., Roy, N., Schulte, J. and Schulz, D. 1999. MINERVA: A second-generation museum tour-guide robot. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1999-2005.

[9] NorthStar. <http://www.evolution.com/products/northstar>, Evolution Robotics, Inc.

[10] J.-M. Im, "The improved artificial star system for transfer robot system," Kwangwoon University, 2003.



방성기

2006년 광운대학교 정보제어공학과(공학사) 졸업. 현재 광운대학교 제어계측공학과 석사 과정. 관심분야는 로봇제어, 이동로봇, 머신비전.



김진오

서울대 기계공학과(공학사), 대학원 기계공학과(공학석사)를 졸업. 미국 Carnegie-Mellon 대학교, School of Computer Science의 Robotics Program에서 박사학위를 받음. 일본 SECOM Intelligent Systems Lab에서 경비로봇에 대한 연구 수행함. 삼성전자, 로봇개발팀장으로 50여종 이상의 산업용 로봇을 리드하고, 로봇사업그룹장으로 근무함. 1999년 3월부터 광운대 정보제어공학과에서 교수로 근무 중. 차세대 성장동력 지능형로봇 실무위원회 위원장, 로봇산업정책포럼 의장, 산업자원부 지능형로봇 사업단 운영위원회 위원장 등을 맡고 있음. 로봇설계 및 응용분야에서 30개 이상의 특허를 출원하였음. 관심분야는 작업기반 로봇설계와 로봇의 평가기술.