

실내용 위치센서의 특성과 이동로봇의 주행제어에 관한 실험적 연구

Experimental Research on the Characteristics of Indoor Positioning Systems and Mobile Robot Navigation

안재완¹, 진지용², 정우진[†]

Jaewan Ahn¹, Jiyong Jin², Woojin Chung[†]

Abstract For indoor mobile robots, the performance of autonomous navigation is affected by a variety of factors. In this paper, we focus on the characteristics of indoor absolute positioning systems. Two commercially available sensor systems are experimentally tested under various conditions. Mobile robot navigation experiments were carried out, and the results show that resultant performance of navigation is highly dependent upon the characteristics of positioning systems. The limitations and characteristics of positioning systems are analyzed from both quantitative and qualitative point of view. On the basis of the analysis, the relationship between the positioning system characteristics and the controller design are presented.

Keywords: Mobile Robot, Autonomous Navigation, Absolute Positioning System, Position Sensor, Beacon

1. 서론

오늘날 다양한 분야에서 이동로봇이 사용되고 있으며 그 활용 가치는 점차 증가하고 있다. 이동로봇이 보다 일반화되어 사용되기 위해서는 지금보다 더 많은 성능 개선이 요구된다. 이동로봇의 자율주행 성능에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하다. 주행 환경이나 장애물의 형상 및 크기, 동적 장애물의 존재 여부나 지도의 정밀도, 그리고 제어기의 성능과 센서의 특성 등이 대표적인 예라고 할 수 있다. 이동로봇의 주행 성능을 향상시키기 위해서는 이러한 여러 가지 요인들에 의해 발생하는 영향을 반드시 고려해야 한다. 따라서 자율주행 성능에 영향을 주는 각각의 요인들에 대한 분석을 통해 그 특성을 알아볼 필요

가 있으며 이를 바탕으로 한 주행 실험을 통해 각각의 특성이 실제 미치는 영향의 정도를 확인해야 한다.

이동로봇의 위치인식방법의 차이를 실험을 통해 비교한 연구^[1]나 장애물 회피 방법의 비교에 대한 연구^[2]는 물론 이동로봇에 사용되는 센서의 특성을 분석한 연구 등 이동로봇의 성능에 영향을 미치는 요인에 대한 다양한 연구가 수행 되었다. 특히 이동로봇에 사용되는 센서는 그 다양한 종류만큼 많은 연구가 지금까지 진행되어 왔다. 레이저를 이용한 거리인식센서에 대한 연구^[3-6]에서부터 적외선^[7]이나 초음파^[8-10]를 이용한 센서에 이르기까지 수많은 종류의 센서를 이동로봇에 적용하기 위해 그 특성을 실험을 통하여 파악하고 분석하였다. 그만큼 이동로봇의 성능향상을 위해서는 센서의 역할이 중요하기 때문이다. ^[11]에서는 랜드마크와 초음파를 사용하는 두 가지 종류의 위치인식센서를 이용한 이동로봇의 주행 성능을 실험을 통해서 비교해 보았다. 센서의 차이가 이동로봇의 주행 성능에 미치는 영향에 대한 원인을 파악하기 위해서 센서 자체에 대한 정보가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 두

Received : Jan. 8. 2010; Reviewed : Jul. 22. 2010; Accepted : Aug. 12. 2010
※ 본 연구는 지식경제부 “융복합형로봇전문인력양성사업”의 지원을 받아 수행되었습니다.

¹ 고려대학교 기계공학부(philoset@gmail.com)

² 고려대학교 기계공학부(jin8644@korea.ac.kr)

[†] 교신저자 : 고려대학교 기계공학부(smartrobot@korea.ac.kr)

종류의 위치인식센서의 성능과 특징을 분석하고, 이를 통해 이동로봇의 주행에 끼치는 영향을 고찰하였다.

2. 위치 인식 센서

본 연구에 사용한 위치 인식 센서는 두 가지이다. 첫째는 하기소닉(HAGISONIC)에서 제작한 StarGazer(Fig 1)이며 다른 하나는 나인티시스템(NINETY SYSTEM)에서 제작한 igs-U(Fig 2)이다. 두 센서 모두 실내용 위치 인식 센서이지만 위치 인식 방식은 서로 다르다. StarGazer의 경우 적외선을 사용해 천장에 설치된 랜드마크에서 반사된 영상을 인식하여 위치를 찾는 방식을 사용하며 igs-U는 환경에 설치된 비컨을 통해 초음파의 삼각 거리를 측정하여 위치를 인식하는 방식이다. StarGazer의 위치 데이터 업데이트 주기는 초당 20회(50ms)이며 igs-U는 사용자의 설정에 따라 달라진다. 본 연구에서는 초당 5회(200ms)로 설정하였다.

위치인식센서의 성능 요인 가운데 가장 중요한 부분이 정밀도와 정확도이다. 하지만 정확도의 경우 이동로봇의 주행에 있어서 상대적인 위치 측정만으로 충분히 사용 가능하다. 따라서 본 연구에서는 위치인식센서의 정밀도를 측정하는데 중점을 두었다.

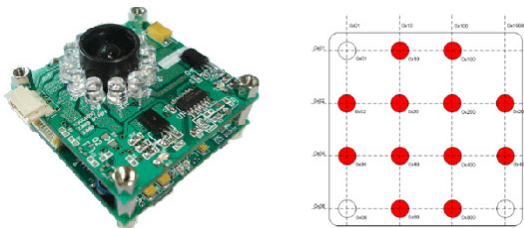


그림 1. StarGazer^[11]



그림 2. igs-U^[12]

2.1 위치인식센서 분석1 : StarGazer

StarGazer는 매우 정밀한 위치 측정이 가능한 위치인식

시스템이다. 그림 3과 그림 4는 정지된 상태에서 StarGazer를 통한 위치 인식 결과이다. 표 1을 통해서도 확인할 수 있듯이 표준편차가 1mm도 안 되는 높은 정밀도를 보였다. 랜드마크를 천장에 부착한 뒤 인식하는 방식이므로 천장이 존재하는 실내 환경에서만 사용할 수 있다. 랜드마크의 종류는 천장의 높이에 따라 분류할 수 있다. 표 2는 StarGazer의 Specification에 명시된 랜드마크 별 측정 가능한 높이 범위와 실험을 통해 얻은 결과를 비교한 것이다. 현재 StarGazer를 사용할 수 있는 천장의 높이는 6m가 한계이며 그 이상의 높이를 가지는 대형 공간에서는 사용이 불가능하다.

StarGazer를 사용하는 실내 환경이 반드시 일정하지는 않다. 장소에 따라서 다양한 높이의 천장이 함께 존재하는 경우도 있을 수 있다. 따라서 서로 다른 높이에 설치된 랜드마크를 얼마만큼 인식할 수 있는지의 여부도 확인할 필요가 있다. 그림 5와 같이 서로 다른 높이에 설치된 랜

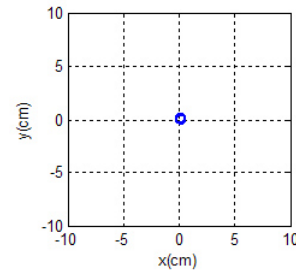


그림 3. Position Data(Static State)

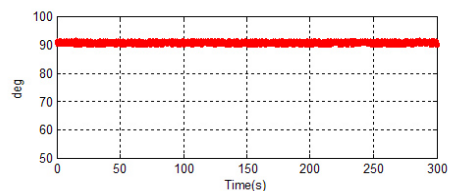


그림 4. Angle Data(Static State)

표 1. Static State Measurement Data

	X(cm)	Y(cm)	Angle(deg)
Variance	0.0003	0.0006	0.1371

표 2. Landmark Available Height

Landmark Type	Specification	Experimental Result
HLD2-1	1.1 m ~ 2.9 m	0.6 m ~ 4 m
HLD2-2	2.9 m ~ 4.5 m	1.5 m ~ 5 m
HLD2-3	4.5 m ~ 6.5 m	2 m ~ 6 m

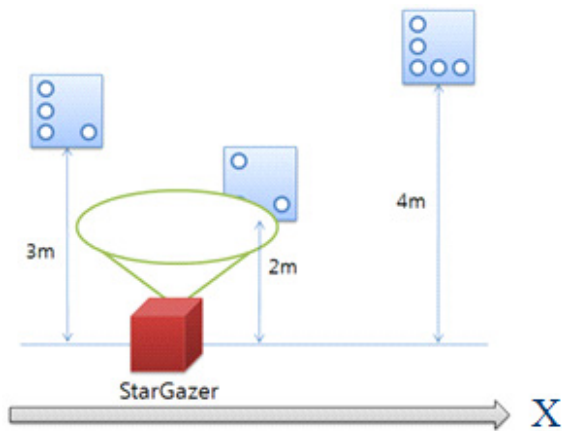


그림 5. Landmarks at Different Heights

드마크에 대해 StarGazer를 이동시키면서 측정해본 결과 랜드마크의 높이가 변하는 위치에서 순간적인 오차를 보인다는 것을 확인할 수 있었다. 다른 높이의 천장에 부착된 랜드마크를 인식하는 과정에서 발생하는 오차로서 4m 높이의 랜드마크와 2m높이의 랜드마크 사이에서는 x,y오차가 각각 64cm, 25cm였고, 2m높이의 랜드마크와 3m높이의 랜드마크 사이에서의 x,y오차는 각각 100cm, 7cm였다. 랜드마크 높이차이에서 나오는 위치오차는 인식하고 있는 랜드마크가 바뀌는 순간에 항상 반복적으로 일정하게 나타나는 단점으로서, 특히 위치오차에 민감하게 영향을 받는 제어기법을 활용할 경우에는 순간적인 위치오차 발생 가능성에 주의할 필요가 있다. 다만, 랜드마크전환의 경계점 이외의 영역에서는 안정적인 위치인식성능을 보인다. 그림 6은 높이가 다른 랜드마크 경계 점에서의 위치인식 오류를 나타낸다.

StarGazer는 천장에 미리 설치된 랜드마크를 인식함으

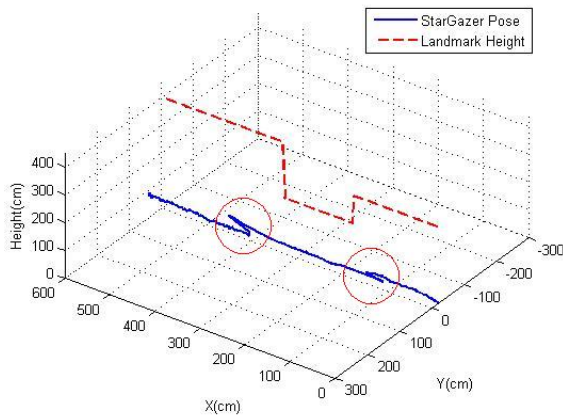


그림 6. Position Error at Different Height Landmarks

로써 위치를 파악하기 때문에 랜드마크 인식이 제대로 이뤄지지 않을 경우 문제가 발생할 수 있다. 그림 7과 같이 장애물에 의해 랜드마크가 가려지는 경우 실제 설치된 랜드마크와 다른 ID로 잘못 인식할 수 있다. 따라서 이동로봇을 사용하는 환경에 랜드마크를 설치할 때 이러한 문제점을 고려하여 장애물에 의해 가려지지 않는 위치에 부착시켜야 한다.

그림 8은 랜드마크와 StarGazer사이의 각도에 따른 위치 값의 변화를 나타낸다. StarGazer가 90°일 때 천장과의 수평을 유지하고 있는 것으로, 가장 정확한 위치를 나타낸다고 볼 수 있다. StarGazer와 랜드마크가 서로 수평을 이루지 않을 경우 90°기준으로 5cm까지 위치가 옮겨진 결과를 보일 수 있다. 이 정도면 그렇게 큰 오차가 아닐 수

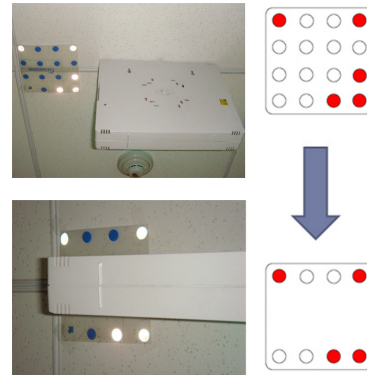


그림 7 Landmark Recognition Error

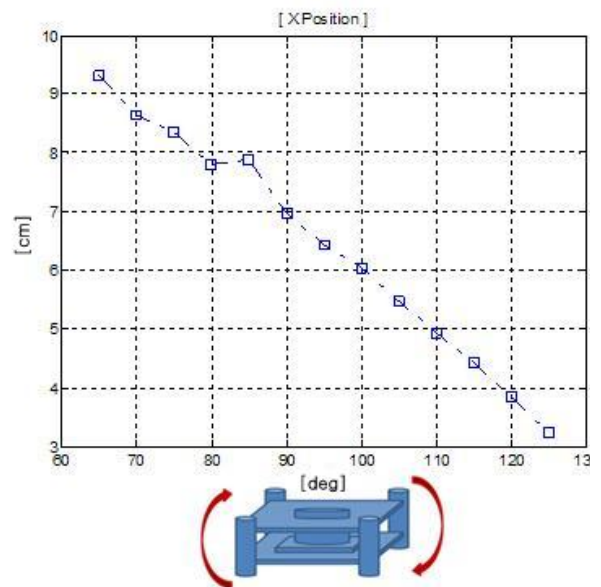


그림 8 StarGazer Tilting Error

도 있었지만 넓은 범위에서 누적될 경우 결과는 달라진다.

그림 9는 일반적인 건물의 복도에서 측정한 결과이다. 실험 환경의 천장은 눈으로 보기에는 평평하였으며 바닥도 마찬가지로 큰 굴곡이 존재하지 않은 비교적 매끄러운 복도였다. 하지만 약 20 m 정도를 이동한 결과 실제 StarGazer의 이동 경로와 측정된 경로는 약 1m 정도의 차이를 보였다. 랜드마크를 설치한 천장 면의 최대 높이는 2.46m, 최소 높이는 2.48m로 높이 변화가 작기 때문에 랜드마크 높이 차이는 무시할 수 있다. 하지만 각 랜드마크가 부착된 천장 면이 바닥 면과 완전히 평행한 형태가 아니며, 레이저 거리 측정기로 랜드마크 모서리를 실측한 결과 평균 0.5° 가량 편차를 보였다. 랜드마크의 기울어짐에 의하여 랜드마크 사이의 정합과정에서 상대적 위치오차가 발생하며, 이는 전체 환경지도에의 누적오차로서 영향을 끼친다. 따라서 이러한 오차요인에 대한 주의도 필요하다.

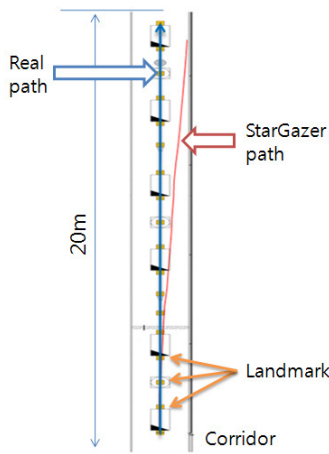


그림 9. Position Shift due to the Accumulated Error

2.2 위치인식센서 분석2 : igs-U

igs-U는 두개의 송신기를 이용해 각도 정보를 측정한다. 이 때 두 송신기 사이의 거리에 따라 각도 정보의 정밀도에 차이를 보이게 된다. 그림 10과 그림 11은 각각 송신기 사이의 거리가 20cm와 30cm인 경우에 각도 정보를 측정한 결과이다. 두 송신기의 거리가 20cm일 때, 30cm일 때 보다 노이즈가 많이 발생하여 정확한 각도정보를 얻기 어려웠다. 그림 10과 그림 11을 비교하면, 송신기의 거리가 멀수록 오차가 줄어든다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이동로봇에 송신기를 설치할 경우 가능한 멀리 떨어뜨리는 것이 바람직하다.

그림 12부터 그림 17은 각각 장애물과 소음이 없는 환경, 움직이는 장애물이 존재하는 환경, 장애물 없이 소음만 존재하는 환경에서 측정한 결과이다. 장애물의 영향에

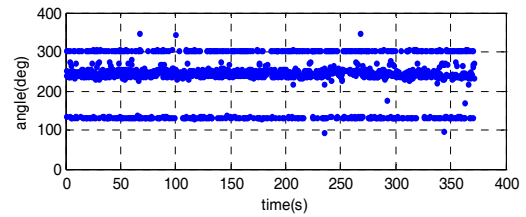


그림 10. Receiver Distance 20cm

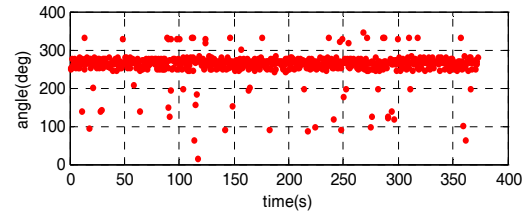


그림 11. Receiver Distance 30cm

민감하게 반응하며 소음의 영향에 가장 큰 편차를 보였다. 하지만 모든 위치 값은 별도의 수학적 모델 대신 정규분포로 충분히 표현 가능한 분포를 보였다.

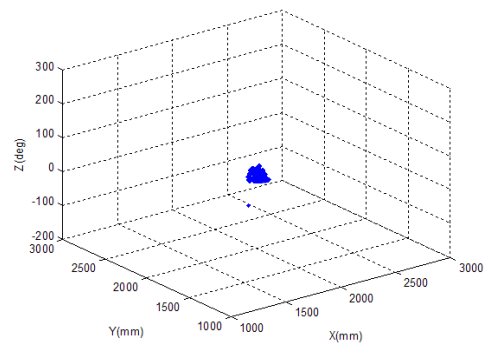


그림 12. No Obstacle, No Noise Environment Measurement Result

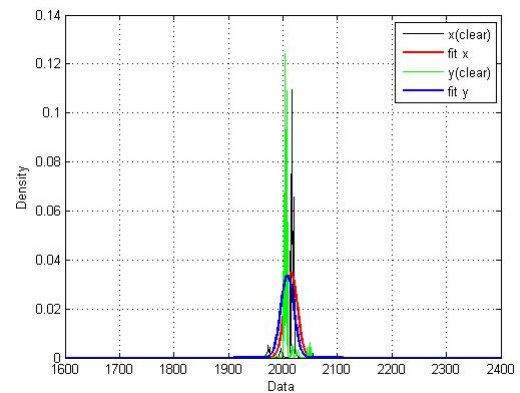


그림 13. No Obstacle, No Noise Environment Data Distribution

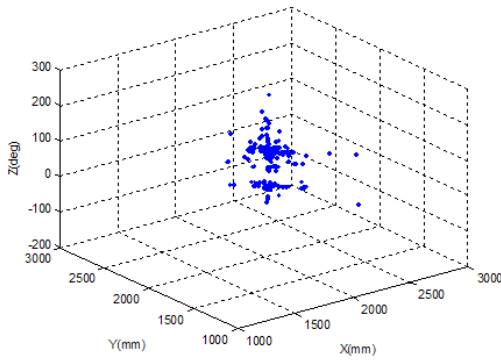


그림 14. Obstacle Environment Measurement Result

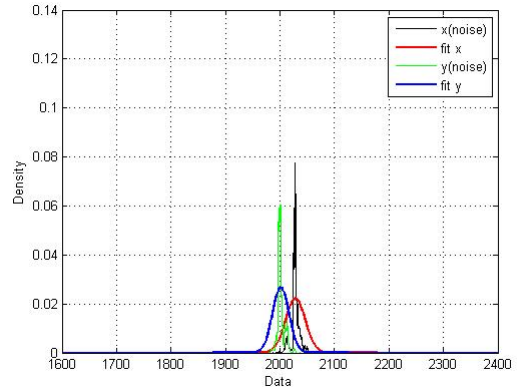


그림 17. Noise Environment Data Distribution

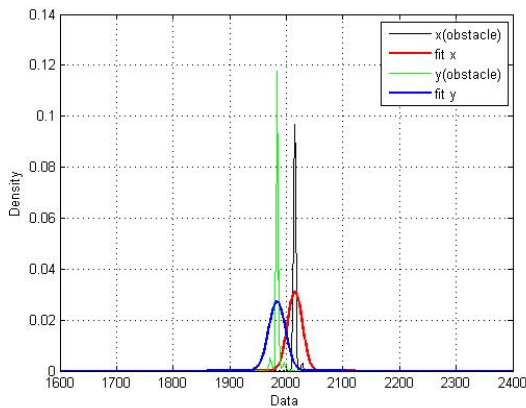


그림 15. Obstacle Environment Data Distribution

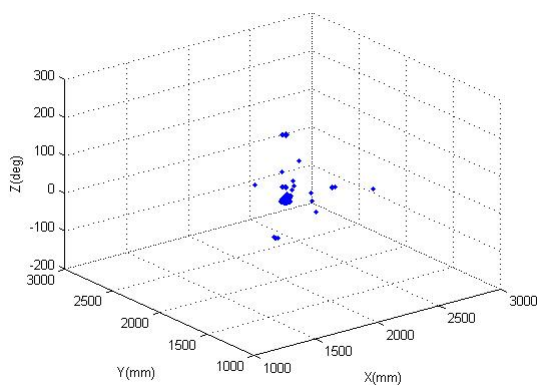


그림 16. Noise Environment Measurement Result

표 3은 각각의 환경에서 얻은 데이터를 통해 분산과 표준편차를 구한 표이다. 장애물과 소음이 없는 환경에서는 분산이 1cm 정도로 비교적 정밀한 값을 보였지만 동적 장애물과 소음이 존재하는 환경에서는 분산이 최대 30cm

까지 커지는 것을 알 수 있다. 대신 표준편차는 장애물과 소음이 없는 환경과 마찬가지로 1cm 정도의 결과를 보였다. 따라서 igs-U를 이동로봇에 사용하는 경우 환경적인 영향으로 인해 발생하는 잦은 위치 오차를 고려해야한다.

igs-U는 각도 정보의 사용 여부를 선택할 수 있다. 이때 각도 정보를 사용하느냐 그렇지 않느냐에 따라 위치 정보의 정밀도가 달라지기 때문에 유의해야한다. 그림 18과 그림 19는 동일한 환경에서 각도 정보를 사용 유무에 따른 위치 값을 측정된 결과이다. 각도 정보를 사용하지 않고 위치 값만을 측정된 경우 위치 정밀도가 매우 증가하는 것을 알 수 있다. 각도 정보를 얻기 위해서 igs-U는

표 3. Data Distribution Variance

	X(cm)	Y(cm)	Angle(deg)
No Obstacle & No Noise	1.32	1.39	36.7
Obstacle	16.4	21.5	69.1
Noise	32.4	22.3	31.9

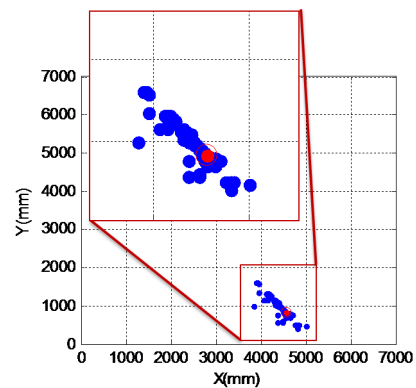


그림 18 Measurement Result With Angle

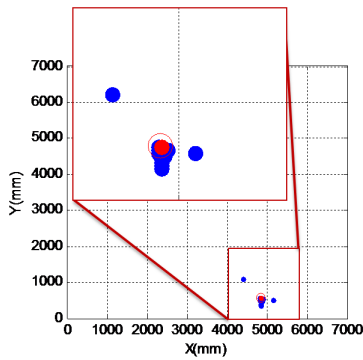


그림 19 Measurement Result Without Angle

두개의 송신기를 모두 사용해서 초음파를 측정하게 된다. 이 때 두 송신기에서 측정한 위치 정보의 평균값이 최종 위치가 된다. 따라서 각각의 송신기가 가지는 오차의 중복에 의해 정밀도가 떨어지는 것이다. 반면에 각도 정보 없이 위치 값을 측정하는 경우에는 하나의 송신기를 사용하기 때문에 더 정밀한 위치 정보를 얻을 수 있다. 따라서 igs-U를 사용해 이동로봇의 위치인식을 하는 경우 불확실한 각도 정보는 자이로 센서 등을 이용한 다른 방법으로 얻고 igs-U를 사용해서는 위치 정보만을 측정하여 이동로봇의 위치인식 성능을 높일 필요가 있다.

표 4 Variance (Measurement Result With/Without Angle)

	X(cm)	Y(cm)
With Angle Data	408.68	614.01
No Angle Data	2.24	3.34

3. 위치인식센서를 이용한 주행 실험 및 결과

다음은 StarGazer와 igs-U를 사용한 이동로봇의 주행 실험 및 결과이다. 실험에 사용한 이동로봇 플랫폼은 Pioneer DX3이며 SICK사의 Laser Range Finder를 사용해 장애물을 감지한다. 그림 20과 같이 StarGazer와 igs-U를 이동로봇에 각각 설치하였다. 앞서 파악한 센서의 설치요구조건에 만족시키기 위해 igs-U의 송신기는 가능한 간격을 크게 설치하였고(본 실험에서는 30cm) StarGazer 또한 이동로봇의 가장 상부에 설치하였다. 주행 실험 환경은 약 5m x 8m 범위의 실내이며 igs-U 초음파 비컨 4개를 실험 환경의 모서리에 StarGazer 랜드마크는 1.5m 간격으로 천장에 각각 설치하였다. 실험 환경의 크기가 비교적 작기 때문에 천장과 바닥면의 수평 정도에 의한 StarGazer의 위치오차는 무시하였다. 이동로봇의 자율주행을 위한 알고리즘으로 Nearness Diagram^[14](이하 ND)을

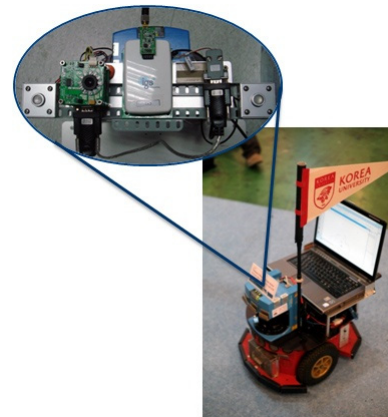


그림 20 Mobile Robot Platform

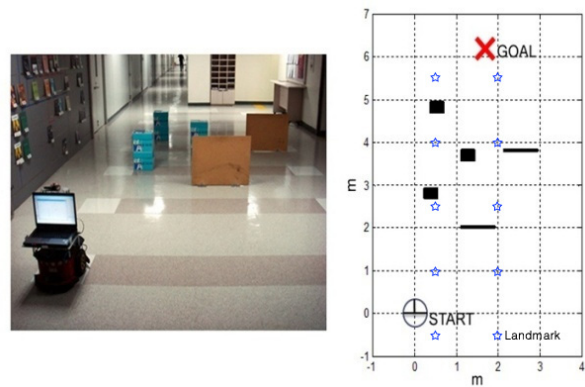


그림 21 Experimental Environment

사용하였다. ND는 이동로봇과 장애물의 위치와 목적지의 위치만을 제어의 변수로 사용하는 주행 방법이다. 따라서 별도의 경로 계획 없이도 복잡한 실내 환경에서 주행이 가능하기 때문에 위치 인식 센서만을 이용해 주행하는 본 실험에 적합한 알고리즘이라고 판단하였다.

그림 22와 표 9는 두 위치인식센서를 이용한 이동로봇의 주행 실험 결과이다. 그림 22는 두 위치인식센서를 이용하여 목적지까지 장애물을 회피하며 주행한 경로를 나타내고 있다. (a)는 StarGazer를 통해 위치인식을 하며 주행한 결과이며, (b)는 igs-U를 이용해 위치인식을 하며 총 6번의 반복실험주행결과를 나타내었다. 먼저 StarGazer를 사용한 이동로봇의 주행 결과에서는 주행 과정에서 순간적으로 급격한 위치 오차가 발생한 것을 확인할 수 있다. 실험 환경에 설치되지 않은 랜드마크의 ID나 다른 위치에 부착된 랜드마크의 ID로 인식되는 경우를 막기 위해 천장에 존재하는 장애물에 의해 랜드마크가 가려지지 않도록 설치하였음에도 불구하고 실험 중 위치 오차가 발생하였다. 이것은 2장 StarGazer 특성에 관한 내용 가운데 서로

표 5. StarGazer and igs-U Characteristics Comparison

	StarGazer	igs-U
천장 높이에 대한 영향	랜드마크 측정 범위 이상의 높은 천장이 있는 실내 환경에서는 사용할 수 없음	천장이 없는 대형 공간에서 사용 가능
바닥 면에 대한 영향	랜드마크를 부착한 천장과 이동로봇이 주행하는 바닥의 수평정도에 따라 오차 발생	없음
벽면 구성물에 대한 영향	없음	반향을 생성이 쉬운 벽면의 경우 오차 발생
정적 장애물에 대한 영향	랜드마크가 가려지는 경우 인식 불능	기둥이나 벽 등의 장애물에 의해 비컨이 가려지지 않아야 함
동적 장애물에 대한 영향	StarGazer가 가려질 경우 인식 오류 가능성	반향을 발생으로 인한 위치 오차
소음에 대한 영향	없음	소음에 의한 위치 오차
조명에 대한 영향	거의 없음, 어두운 환경에서도 인식 가능	실내 조명과 무관함
이동로봇 설치 시 주의점	장애물의 영향을 받지 않는 위치에 설치	송신기 사이의 간격 30cm 이상으로 설치
위치 정보	매우 정밀함	일정한 환경에서는 정밀함
각도 정보	매우 정밀하게 측정	정밀하지 못함, 위치 정보에까지 영향
확장성	랜드마크 부착만으로 손쉽게 확장 가능	비컨 추가 설치로 확장이 용이함 랜드마크에 비해 상대적으로 높은 가격
센서 설정	대형 공간의 경우 맵빌딩에 많은 시간 소요	비컨 좌표만으로 쉽게 위치 설정 가능

다른 높이의 랜드마크를 측정한 경우의 결과와 같은 현상이다. 로봇이 이동하면서 하나의 랜드마크가 인식 가능한 범위를 벗어나 다음 랜드마크의 ID가 인식될 때 순간적으로 나타나는 현상이기 때문에 주행에는 큰 영향을 미치지 않는다. 이동로봇에 설치된 StarGazer에서부터 천장까지의 높이는 약 1.8m로 0.6m에서 4m범위까지 측정할 수 있는 HLD2-1 랜드마크로 충분히 사용가능 하였다. StarGazer는 분산이 매우 적은 정밀한 위치 정보를 제공하기 때문에 ND를 이용한 이동로봇의 주행 경로가 항상 일정하며, 유사한 지점을 통과하는 경로로 반복 주행하는 현상이 관측되었다. 실내 서비스로봇의 경우, StarGazer를 사용할 수 있는 환경에서는 ND와 같은 센서기반 제어를 포함하여 상대적으로 높은 위치인식정밀도를 요구하는 모델기반제어를 적용해도 원활한 주행이 가능하다. 따라서 [17],[18] 등에서 사용된 최적 궤적 생성 기법과 궤적 추종 제어를 적용해도 원활하게 동작한다.

igs-U는 천장의 유무와 무관하게 매우 크고 넓은 공간에서도 사용가능하다는 장점이 있다. 하지만 StarGazer와 동일한 환경에서 igs-U를 사용한 주행 실험 결과는 이동로봇의 주행경로가 일정하지 않았고 평균주행시간도 상대적으로 오래 걸렸음을 확인할 수 있다. StarGazer를 사용한 주행과 동일한 거리를 주행했음에도 불구하고 초기에 발생한 위치 오차로 인해 주행이 제대로 이뤄지지 못했기 때문에 주행시간이 길어졌다. 2장에서 제시한 igs-U의 특성상 동적 장애물이나 소음에 민감하게 반응하고 분산이 크기 때문에 동일한 경로에 대한 반복주행성능 또한 떨어

진다. 특히 ND의 경우 이동로봇을 제어하는 변수로 로봇과 장애물, 그리고 목적지의 위치만을 반영하기 때문에 분산이 큰 igs-U를 사용한 위치인식의 경우 이동로봇의 위치가 매 주행 때마다 달라지게 되고 StarGazer를 사용한 경우와 같은 동일한 주행궤적 또한 기대할 수 없다. 더

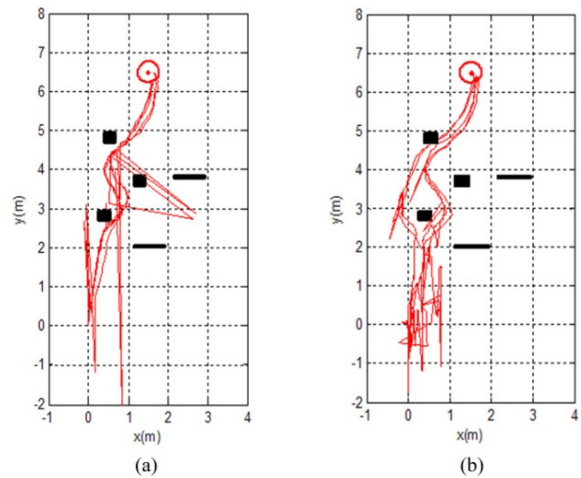


그림 22 Experimental Results

표 9. Mean Distance & Mean Time

	StarGazer	igs-U
평균주행거리(m)	7.06	7.55
평균주행시간(s)	32.7	52.0

욱이 본 실험에서는 위치 정보와 함께 각도 정보까지 사용하였기 때문에 위치 오차가 훨씬 더 많이 그리고 더 크게 발생하였다. 이와 같이 igs-U는 오차의 범위가 크고 환경적 영향도 많이 받게 된다. 이러한 특성을 가진 센서의 경우에 위치인식 성능에 민감하게 영향을 받는 모델기반 제어기를 사용한다면 로봇의 주행궤적이 심하게 진동하게 되며, 원활한 주행을 하기 어렵다. 따라서 여기서 적용한 ND와 같은 센서 기반 국소적 장애물 회피 운동 제어기와 같이 위치인식 성능에 상대적으로 둔감한 제어기인 Dynamic Window Approach(DWA)^[19]나 Vector Field Histogram(VFH)^[20]를 적용하는 것이 바람직하다.

실험에 사용된 이동로봇의 하드웨어적인 최대 주행 속도는 약 1m/s 이하이며, 실제 주행 실험은 로봇 주행속도의 변화를 포함한 다양한 조건에서 수행하였다. 하지만 조건의 다양성에 의한 주행의 결과적 성능에서는 의미 있는 변화를 관찰할 수 없었다. 따라서 그림 22와 표 9에서는 이동로봇의 최대 주행 속도를 0.5m/s로 설정한 경우의 실험 결과만을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 이동로봇에 사용 가능한 위치인식센서인 StarGazer와 igs-U의 특성을 다양한 측면에서 분석하였다. StarGazer는 igs-U에 비해 매우 정밀한 위치인식 성능을 보이지만 천장의 높이 등 사용환경에 대한 제약이 존재한다. 반면 igs-U는 로비와 같은 대형 공간에서 사용이 가능하여 공간의 크기에 대한 제약은 적다. 하지만 초음파를 이용하는 센서의 특성상 동적 장애물이나 큰 소음과 반향음 등에 의한 영향으로 인해 위치 오차가 빈번하게 발생하며 각도 정보까지 함께 사용하는 경우 분산이 매우 커지게 된다. 위치인식센서의 특성 분석과 함께 이러한 특성이 이동로봇의 주행에 어떤 영향을 주는지도 고찰하였다. 이를 통해 사용하는 센서의 종류에 따라 센서가 가지는 고유의 특성을 반영한 제어기법의 적용이 중요한 문제임을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Jens-Steffen Gutmann, Wolfram Burgard, Dieter Fox, and Kurt Konolige, "An Experimental Comparison of Localization Methods," International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1998.
- [2] Sachin Modi, Pravin Chandak, Vidya Sagar Murty, and Ernest L. Hall, "A Comparison of Three Obstacle Avoidance Methods for a Mobile Robot," Intelligent Robots and Computer Vision XX: Algorithms, Techniques, and Active Vision, SPIE Vol.4572, pp.290-297, 2001.
- [3] I. S. Kweon, R. Hoffman and E. Krotkov, "Experimental Characterization of the Perceptron Laser Rangefinder," Tech. Rep. CMU-RI-TR-91-1, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, January 1991.
- [4] Antonio Reina and Javier Gonzalez, "Characterization of a Radial Laser Scanner for Mobile Robot Navigation," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. pp.579-585, 1997.
- [5] Cang Ye and Johann Borenstein, "Characterization of a 2-D Laser Scanner for Mobile Robot Obstacle Negotiation," The 2002 IEEE International Conference On Robotics and Automation. Washington, DC, USA, December, pp.2512-2518, 2002.
- [6] Xiuhuan Luo and Hong Zhang, "Characterization of Acuity Laser Range Finder," 2004 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Kunming, China, 6-9th December 2004.
- [7] Majd Alwan, Matthew B Wagner, Glenn Wasson, Pradip Sheth, "Characterization of Infrared Range-Finder PBS-03JN for 2-D Mapping," The 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Barcelona, Spain. April 18-22, 2005.
- [8] Alex Cao and Johann Borenstein, "Experimental Characterization of Polaroid Ultrasonic Sensors in Single and Phased Array Configuration," The UGV Technology Conference at the 2002 SPIE Aero-Sense Symposium, Orlando, FL, April, 1-5, 2002.
- [9] Dieter Fox, Wolfram Burgard, Sebastian Thrun, "Markov Localization for Mobile Robots in Dynamic Environments," Journal of Artificial Intelligence Research 11, pp.391-427, 1999.
- [10] Jorg Muller, Axel Rottmann, Leonhard M. Reindl, Wolfram Burgard, "A Probabilistic Sonar Sensor Model for Robust Localization of a Small-size Blimp in Indoor Environments using a Particle Filter," 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Kobe, Japan, May 12-17, 2009.

- [11] <http://hagisonic.co.kr/>
- [12] http://ninety.co.kr/web_page/inc/igs-u.htm/
- [13] Dae-Geun Seo, Sung-Ho Cho, and Jang-Myung Lee, "Localization Algorithm for a Mobile Robot using iGS," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems Vol.14, No. 3, March, 2008.
- [14] J.Minguez, L.Montano, "Nearness Diagram Navigation. A New Real Time Collision Avoidance Approach," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Takamatsu, Japan, 2000.
- [15] Jae Y. Lee, Hee Sung Chae, and Won Pil Yu, "A Real-time Localization System Based on IR Landmark for Mobile Robot in Indoor Environment," Journal of Control, Automation and Systems Engineering Vol.12, No.9, pp.868-875, 2006
- [16] Jaewan Ahn and Woojin Chung, "Experimental Evaluation of the Performance of Mobile Robot Navigation Using Different Localization Sensors," The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp.599-600, Gwangju, Korea, October 2009.
- [17] Woojin Chung, Gunhee Kim and Munsang Kim "Development of the Multi-Functional Indoor Service Robot PSR Systems," Autonomous Robots. Vol.22 No.1 pp.1-17, Mar. 2007
- [18] Woojin Chung, Seokgyu Kim, Minki Choi, Jaesik Choi, Hoyeon Kim, Chang-bae Moon, and Jae-Bok Song, "Safe Navigation of a Mobile Robot Considering Visibility of Environment," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.56, No. 10, pp.3941-3950, Oct. 2009.
- [19] D. Fox, W. Burgard, S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance," IEEE Robotics and Automation Magazine 4(1), 1997.
- [20] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.7, No.3, pp.278-288, June 1991.

안재완



2007 고려대학교 기계공학과 (공학사)
2010 고려대학교 기계공학과 (공학석사)
2010~현재 (주)이오테크닉스 재직

관심분야: Localization Sensor, Navigation

진지용



2009 한양대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2009~현재 고려대학교 대학원 기계공학전공 (기계공학석사)

관심분야: Mobile robotics

정우진



1993 서울대학교 기계공학과 (공학사)
1995 동경대학교 기계공학과 (공학석사)
1998 동경대학교 기계공학과 (공학박사)

2005~현재 고려대학교 기계공학과 교수
관심분야: 이동로봇 위치추정 및 주행제어, 논홀로노믹 시스템 제어, 다지 로봇 손