

실내 환경에서 RF Navigator를 이용한 자동 주행 시스템

유재봉[○] 신현준 서정택 김상윤 박찬영
한림대학교

yoojaebong[○], konanya, gdknight, pksoftz, cypark@hallym.ac.kr

Auto-driving System using RF Navigator in Indoor Environment

Jaebong Yoo[○] Hyeonjun Shin JungTaek Seo Sangyun Kim Chanyoung Park
Hallym University

요 약

현재 다양한 기능의 로봇들이 개발되고 있으며 사람들의 관심 또한 확대되고 있다. 그 기능과 이용 분야 또한 다양하게 확산되고 있다. 본 연구에서는 무인 로봇의 이동에 있어서 지정된 동작만을 반복하는 단순한 이동 로봇이 아니라 사람의 눈과 같이 로봇이 방향과 거리를 스스로 계산하여 스스로 제어가 가능하고 동작을 할 수 있는 시스템을 설계하고 구현하였다. 본 연구에서는 크리켓(Cricket) 센서 네트워크 기술을 이용한 실내 위치 추적 시스템을 이용하여 무인 이동 로봇의 자가 제어(Self-Control)가 가능하도록 할 수 있는 자동 주행 시스템을 개발하였으며 그 결과를 기술하였다. 무인 이동 로봇의 자동 제어 시스템의 프로토타입을 구현해 봄으로써 크리켓 센서네트워크를 이용한 로봇의 위치 측정 및 제어가 유용하게 사용될 수 있음을 보이고 있다.

이용하여 위치를 측정하는 TDoA(Time Difference of Arrival) 방식 그리고 AoA, ToA, TDoA 방식을 혼합시킨 하이브리드 방식 등이 있다[8].

1. 서 론

본 연구에서 제안하는 시스템은 실내에서 동작하는 무인 이동 로봇의 제어를 위한 것이기 때문에 GPS와 같은 시스템을 사용하기에는 어려움이 있다[1]. 또한, 실내에서 이동하는 로봇은 속도가 비교적 느리고 이동 범위가 한정되어 있다. 실내 위치 추적이 가능한 시스템으로는 대표적으로 Active Badge, Active Bats, RADAR, 3D-iD, UWB 그리고 Easy Living 등이 있다. 하지만 인프라 구축, 설치 규모, 다양한 제약사항 등을 고려해 볼 때 비교적 설치가 간단하고 특별한 구성물이 필요 없이 단말기를 설계된 위치에 부착만 시켜두면 간단하게 시스템을 구축할 수 있는 핸드셋 기반의 크리켓 시스템을 사용하였다. 본 연구에서 제안하는 시스템을 고려해 볼 때 Ad-hoc 네트워크 및 무선 센서 네트워크에 사용되는 크리켓 시스템이 위치 추정에 적합함을 보여준다.

2. 관련연구

현재까지 제안된 대표적인 실내 위치 측정 시스템으로 적외선 신호를 이용하는 Active Badge System[2], 초음파 펄스를 이용하는 Active Bats System[3], 새롭게 연구되고 있는 UWB(Ultra Wide Band)를 이용한 위치 측정 시스템[4], 영상 인식을 이용한 위치 측정 시스템인 Easy Living Project[5], IEEE 802.11 무선랜 환경 기반인 마이크로소프트사의 RADAR[6], 그리고 RF 신호의 도달 시간을 측정하여 위치를 파악하는 PinPoint사의 3D-iD[7]등이 있다.

위치를 측정하는 기술로는 특정 지점에서 관측된 장면의 특성을 이용하는 장면 분석 방식과 물체의 정확한 위치를 인식하기보다는 물체가 어느 지점 근처에 있다는 정도만을 인식할 수 있는 근접 방식이 있다. 삼각 측량법에는 어레이 안테나(Array Antenna)를 사용하여 신호의 방향을 계산하고 여러 기지국의 교차점으로 위치를 측정하는 AoA(Angle of Arrival) 방식, 3개 이상의 신호를 송신하는 송신부와 이를 수신하는 수신부 사이의 시간을 측정하여 거리를 구하는 ToA(Time of Arrival)방식, 2개 이상의 신호원으로부터 전파 도달 시간의 상대적인 차를

| 방식 | 정밀도 | 설치규모 | 가격 | 제한사항 |
|----------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Active Badge | Room size | 방마다 센서 1개 | 망 관리 비용, 센서와 단말기는 저렴 | 햇빛, 형광등 등 |
| Active Bats | 95 % | 10m ² 당 센서 1개 초당 12번의 계산 | 망 관리 비용, 센서와 단말기 가격은 저렴 | 천정에 격자형의 센서 설치 |
| MS-RADAR | 3~3,4m(50%) | 한 층에 3개 이상의 Base station | 802.11 망설치 무선 NIC 가격 | 무선 LAN NIC필요 |
| PinPoint 3D-iD | 1~3m | 건물 내 여러 개의 Base station | 망설치 하드웨어 가격이 비쌌 | 802.11 망에 간섭을 일으킬 수 있음 |
| Easy Living | 가변 | 방에 3개의 카메라 필요 | 처리능력이 좋은 컴퓨터와 카메라 | 카메라 |
| Cricket | 4x4ft, (100%) | 16 sq ft당 1개의 비콘 설치 | 약 10달러 | 중앙연산이 없고 단말기에서 계산 |

[표 1] 위치 추적 기술 비교

Active Badge는 적외선 수신기를 설치하고 적외선을 송신하는 배지 형태의 단말기를 이용하여 위치를 측정하는 시스템이다. 시스템의 구성이 비교적 간단하고 저렴한 비용으로 시스템을 구성 할 수 있지만, 제한된 거리 내에서만 가능하고, 햇빛, 형광등 불빛에 노출이 되면 성능이 저하된다는 단점이 있다. Active Bats는 초음파 수신기를 건물에 설치하고 Bat라는 초음파 송신기를 이용하여 서버에서 특정 Bat를 찾을 경우 호출된 Bat가 초음파를 발생시켜 위치를 추적하는 시스템이다. 네트워크 기반의 위치인식 시스템이기 때문에 시스템을 구축할 때 네트워크를 구축하여야 하고 별도의 네트워크 관리가 필요하다는 단점이 있다.

RADAR와 3D-iD와 같은 시스템들은 RF 신호를 이용하여

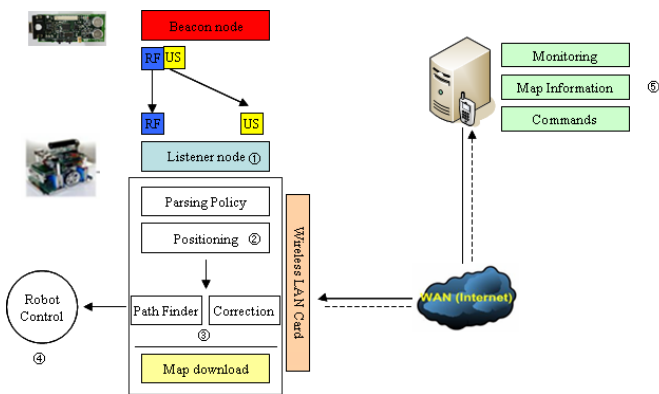
AP에서 무선 LAN 기기들이 장치가 전송하는 신호의 세기와 신호 대 잡음비를 측정하고 이를 이용해 무선 LAN 장치들의 2차원적 위치를 계산하는 방법이다. 모든 장치가 무선 LAN을 지원하여야 하기 때문에 무인 이동 로봇처럼 제한적인 전원 장치를 가진 기기들에는 적용되기 힘들다는 단점이 있다.

Digiclop이라는 3차원 카메라를 이용하여 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 물체의 위치를 찾아내는 Easy Living이라는 시스템은 고성능 카메라를 이용하더라도 비전 프레임을 분석하기 위해 많은 양의 프로세싱이 필요하게 되므로 제한하는 시스템에 적절하지 않다.

MIT에서 개발된 Cricket은 천장에 부착된 초음파 송신기(Beacon)들로부터 수신된 신호를 이동체에 부착된 초음파 수신기(Listener)에서 계산하여 위치를 측정하는 시스템이다. 천장의 비콘들은 초음파 신호와 RF신호를 동시에 발생한다. 초음파와 RF신호는 전파속도가 서로 다르기 때문에 리스너에 도착한 신호의 시간차를 이용하여 비콘과 리스너 사이의 거리를 측정한다. MIT Cricket은 핸드셋 기반의 위치 측정 시스템으로 본 연구에서 제안하는 시스템에 적합함을 보였다.

3. 시스템의 설계

본 시스템은 기본적으로 클라이언트 서버 구조로 이루어져 있다. 클라이언트인 로봇은 초음파 신호를 전송하는 송신부(Tx, Beacon)와 초음파신호를 감지하여 거리를 측정하는 수신부(Rx, Listener)로 구성된 센싱 모듈(①), 두 개의 리스너 수신부로부터 얻어진 거리 값들을 이용해 위치를 추적하는 모듈(②), 현재 로봇의 위치와 서버로부터 수신된 맵 정보를 가지고 평면상에서 충돌을 회피하여 목적지까지 이동할 수 있도록 최적의 경로를 찾아주는 모듈(③), 그리고 계산된 경로를 따라 로봇에 실제 명령어를 전달하는 모듈(④)로 이루어져 있다. 서버(⑤)는 로봇의 이동을 감시하고 맵정보와 목적지를 전달하며 응급 사태 시 알람 기능과 실시간 제어가 가능하도록 설계되어져 있다. 본 시스템은 [그림 1]과 같다.

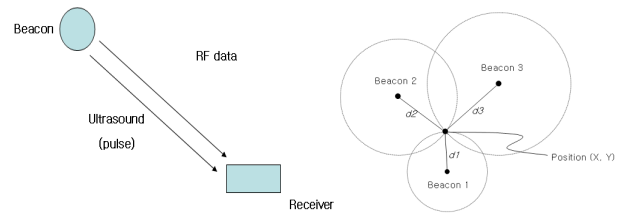


[그림 1] 무인 이동 로봇 시스템의 설계도

처음 무인 이동 로봇이 부팅되면 자체적으로 비콘들로부터 신호를 받아 실시간으로 로봇의 현재 위치를 측정한다. 서버로부터 전송받은 맵 정보, 목적지 정보 그리고 측정된 현재 위치 정보를 이용해 최적의 경로를 찾고 로봇이 이해할 수 있는 명령어들을 만든다. 로봇은 계산된 일련의 명령어들을 실행하여 서버에서 전송된 목적지까지 이동한다. 실시간으로 로봇의 위치를 추적하기 때문에 원격으로 로봇의 이동을 감시할 수 있다. 마지막으로 로봇의 이동이 끝나면 목표지점에 도달했다는 화면표시를 하고 다음 목적지가 입력되기를 기다린다. 이런 일련의 과정들을 되풀이하면서 동작하도록 시스템을 설계하였다.

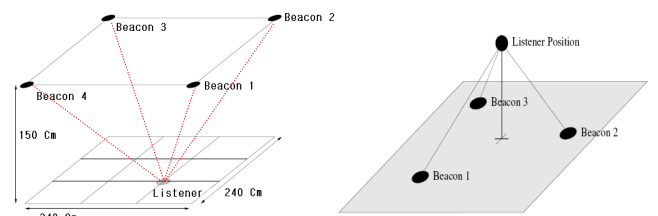
3.1 로봇 위치 추적

크리켓의 기본적인 거리 인식 방법은 초음파를 이용한 거리 측정 방식이다. [그림 2]와 같이 초음파의 비행시간 측정에 의한 방식을 이용하고 비행시간의 측정을 위한 송·수신의 동기를 RF통신으로 제어한다. RF의 속도는 초음파에 비해 매우 빠르기 때문에 RF 신호 지연을 0으로 간주한다. 왜냐하면 크리켓이 담당할 범위가 수 미터 이내이기 때문에 RF 신호의 지연은 무시할 수 있기 때문이다. 비콘(beacon)이 송신한 RF 신호를 리스너가 수신하여 비콘의 ID(Identifier)를 인식하고 초음파 수신을 기다리며 비행시간 측정을 개시하고 초음파 신호가 수신되면 측정된 비행시간을 이용하여 거리를 측정한다.



[그림 2] 비콘과 리스너를 이용한 위치 추적

본 연구에서는 2차원의 평면상에서 이동하는 로봇의 위치 측정을 필요로 하기 때문에 동일 직선상에 위치하지 않는 세 개의 비콘을 이용하여 2차원의 좌표를 얻어 온다. 최소 세 개 이상의 비콘이 있을 경우 측정된 리스너와 거리들로부터 삼각법을 사용하여 위치를 계산할 수 있다.



[그림 3] 삼각 측량을 통한 리스너의 위치 파악

리스너와 비콘의 거리를 d_i 로 놓고 리스너의 위치를 (X, Y, Z) , 비콘의 위치를 (x_i, y_i, z_i) 로 놓으면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$d_i^2 = (x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2 \quad (1)$$

비콘들은 건물의 천장에 설치되기 때문에 z_i 의 값들은 같은 높이의 건물 내에서 모두 동일한 위치이다.

$$d_0^2 = (x_0 - X)^2 + (y_0 - Y)^2 + (z_0 - Z)^2 \quad (2)$$

$$d_1^2 = (x_1 - X)^2 + (y_1 - Y)^2 + (z_1 - Z)^2 \quad (3)$$

비콘 0을 대입한 식(2)에 비콘 1을 대입한 식(3)을 양변에 더할 경우 z 값들은 동일한 값이므로 소거되고 (4)와 같은 식을 만들 수 있다.

$$d_1^2 + d_0^2 = (x_1 - X)^2 + (x_0 - X)^2 + (y_1 - Y)^2 + (y_0 - Y)^2 + (z_1 - Z)^2 + (z_0 - Z)^2$$

$$2(x_1 - x_0)X + 2(y_1 - y_0)Y = x_1^2 - x_0^2 + y_1^2 - y_0^2 - d_1^2 + d_0^2 \quad (4)$$

3개의 비콘으로 두개의 1차 방정식을 만들 수 있고 (5)와 같은 행렬로 연립방정식의 해를 구할 수 있다.

$$\vec{A}x = \vec{b} \quad (5)$$

식(5)의 행렬 A 와 벡터 \vec{x}, \vec{b} 는 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_0) & 2(y_1 - y_0) \\ 2(x_2 - x_0) & 2(y_2 - y_0) \\ \dots & \dots \\ 2(x_i - x_0) & 2(y_i - y_0) \end{bmatrix}, \vec{x} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_0^2 + y_1^2 - y_0^2 - d_1^2 + d_0^2 \\ x_2^2 - x_0^2 + y_2^2 - y_0^2 - d_2^2 + d_0^2 \\ \dots \\ x_i^2 - x_0^2 + y_i^2 - y_0^2 - d_i^2 + d_0^2 \end{bmatrix}, i \geq 2 \quad (6)$$

식(6)에서 나타나듯이 $i \geq 2$ 을 만족하고 행렬 A 의 determinant가 0이 아닐 경우 연립방정식의 해인 벡터 \vec{x} 를 다음 식(7)로부터 구할 수 있다.

$$\vec{x} = A^{-1}\vec{b} \quad (7)$$

벡터 \vec{x} 의 성분인 X, Y 는 현재 로봇이 있는 좌표가 되므로 X, Y 값에 의해 이동 로봇의 현재 위치를 2차원 좌표평면 상에 나타낼 수 있다.

3.2 이동 경로 탐색

서버는 실제 건물의 2차원 평면도를 로봇이 인식할 수 있는 격자형태의 2차원 배열로 매핑하여 유지한다. 설계된 위치 측정 방법을 이용하여 로봇의 위치를 평면상에 나타낼 수 있으므로 로봇은 서버로부터 목적지와 맵정보를 수신한 후, 3.1에서 언급한 방법대로 로봇의 현재 위치를 추정하여 출발지로 결정한다. 일단 출발지와 목적지가 설정이 된다면 수신 받은 맵정보를 바탕으로 아래와 같은 A* 알고리즘을 이용하여 로봇의 최적 이동 경로를 계산한다.

```

var selectnode := empty
var closelist := empty
var openlist := empty
var pathlist := empty
1: openlist := start
2: while
A:   selectnode := MinimumCost<openlist>
B:   closelist := selectnode
C:   for each nearNodes selectnode
i:   if nearNode is Wall or nearNode in closelist
      continue
      endif
ii:  if nearNode in openlist
      if nearNode.G > selectNode.G
          nearNode.parentNode = selectNode
      endif
      endif
iii: if nearNode is not openlist
      openlist := nearNode
      nearNode.parentNode = selectNode

```

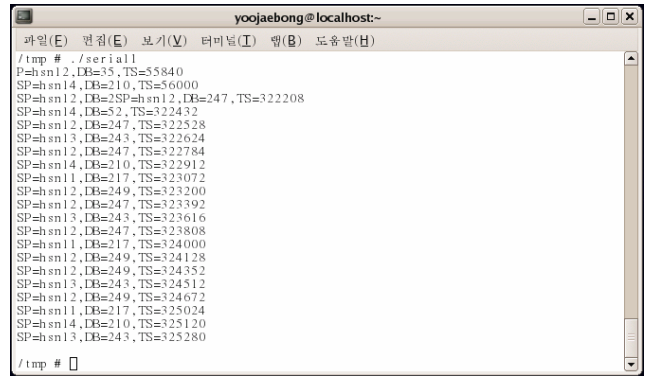
```

nearNode compute F, G, H cost
endif
D:
i:  if goalnode in openlist
      return success
      endif
ii: if openlist is empty
      return failure
      endif
endif // A* computation terminate
3: pathlist := goalnode
selectnode := goalnode
while
pathlist := selectnode.parentnode
if selectnode.parentnode is startnode
return pathlist
endif
selectnode := selectnode.parentnode
endwhile

```

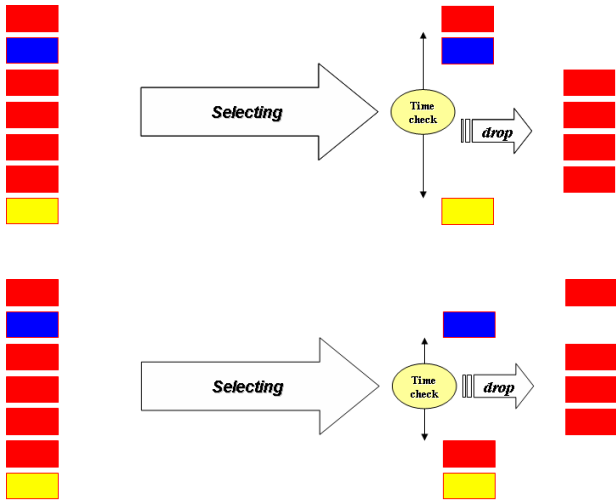
3.3 Parsing policy

아래 [그림 4]는 리스너가 비콘들로부터 온 데이터를 출력한 화면이다. 이 시스템은 세가지 파라미터를 이용하여 로봇의 위치를 추정한다. SP(Space ID)는 비콘의 아이디, DB(Distance to beacon)은 비콘과 리스너 사이의 거리, 그리고 TS(System time)는 거리가 측정된 로봇의 시스템 시간을 의미한다[9].



[그림 4] Display data from beacons

이런 연속된 데이터를 파악하고 각기 다른 SP를 가진 세 비콘으로부터 온 데이터를 선택해야 위치 계산이 가능하다. 그러나 위치를 계산하는 시점에서 선택된 데이터가 유효한지 즉, 처음 선택된 데이터와 세 번째 선택된 데이터 사이의 시간이 너무 차이가 나서 로봇의 현재 위치를 계산하고 추적하는데 정확성이 떨어질 수 있다는 것이 문제점이다. [그림 5]에서 사용되는 블록은 색깔에 따라 다른 아이디를 가진 비콘으로부터 온 데이터를 의미한다.



[그림 5] 데이터의 유효성

위의 [그림 5]는 위치를 계산하는 시점에서 첫 번째 데이터와 세 번째 선택된 데이터 사이의 시간이 유효하지 못하며, 너무 많은 데이터를 버리기 때문에 위치 추적에 적합하지 않다. 이런 문제점들을 해결하기 위해서 선택된 노드의 정보를 항상 최신의 정보로 업데이트하고 처음 선택된 노드와 마지막에 선택된 노드가 유효한지 체크하는 메커니즘을 적용한다.

4. 구현 및 실험 결과

무인 이동 로봇과 크리켓의 사양은 [표 2], [표 3]과 같다.

| | |
|------|--|
| 운영체제 | Linux Kernel 2.6.X |
| 사양 | S3C2440A MCU SDRAM 64MB AMD Flash 1MB(NOR Type), NAND Flash 32MB USB Device Connector UART 1 Port for Debug Ethernet 1 Port JTAG Port for Multi-ICE and RealView ICE |

[표 2] 무인 이동 로봇 (ESTK 2440)

| | |
|------|---|
| 운영체제 | Tiny OS |
| 사양 | Ultrasonic 센서 433.1 ~ 434.8MHz 주파수 Atmega128L Chipcon CC1000 512Kb Flash |

[표 3] 크리켓 센서

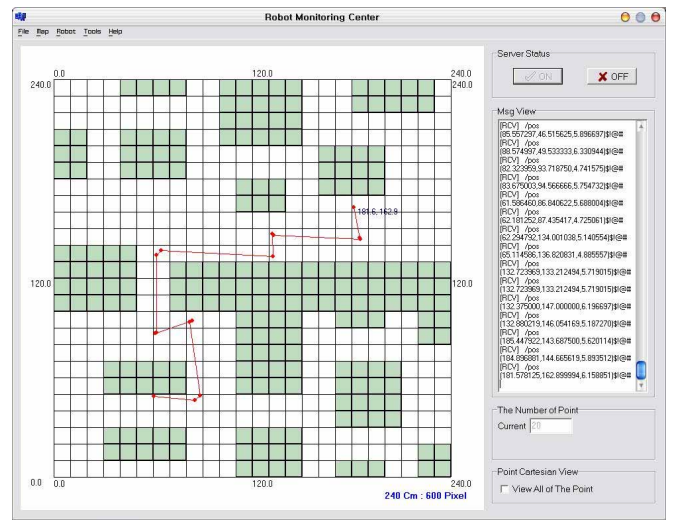
본 시스템은 크게 전반적인 제어와 처리를 담당하는 로봇과 로봇을 감시하고 동작시키는 서버로 구분할 수 있다. 로봇은 자신의 위치를 스스로 계산하여 서버로 전송하고 Robot Monitoring Center는 이 정보를 이용해 로봇의 위치를 추적할

수 있다. 서버는 단순히 로봇에 목표 지점을 전송하면 로봇은 이 정보를 이용해 스스로 경로를 찾고 구동 명령을 이용해 서버가 원하는 목표 지점까지 이동한다.



[그림 6] 실험 환경

[그림 6]에 보이는 실험 환경은 240Cm(Width) × 200Cm(Depth) × 240Cm(Height)이다. Depth가 200Cm되는 곳에 4개의 비콘을 설치한 후, 2개의 리스너가 장착된 이동 로봇이 240Cm x 240Cm의 평면 공간에서 실제 이동을 하며 [그림 7] 서버의 Robot Monitoring Center로 좌표를 계산해서 전송하여 실시간으로 이동 로봇의 이동 과정을 모니터링할 수 있다.



[그림 7] Robot Monitoring Center

무인 이동 로봇이 처음 부팅이 되면 [그림 7]에 나타난 서버의 맵 정보를 이동 로봇에 전송한 후, 로봇이 이동 경로와 현재 위치를 계산한 후, 이동하면서 [그림 7]과 같은 건물의 평면도 상에 전송된 로봇의 현재의 위치가 작은 점으로 나타나게 되어 있다. 왼쪽 메시지 창(Msg View)은 전송된 로봇의 좌표들을 출력하는 창이다. 로봇의 위치는 이동 중에도 경로를 따라 실시간으로 로봇의 위치가 파악이 가능하며, 최적 경로 계산과 실제 이동 경로가 차이가 있을 시 로봇의 현재 좌표를 기준으로 다음 목적지까지 위치를 보정하면서 최초로 수신 받은 목적지까지 이동한다.

5. 결론 및 향후 연구과제

자자기 센서와 같이 절대적인 방향을 찾는 장치가 개발이 되었지만 실내에서는 잘 동작하지 않는다. 따라서 이동하지 않더

라도 현재 위치에서 방향을 찾을 수 있는 방법으로 두 개의 리스너를 로봇에 부착하여 서로 다른 두 좌표 점을 평면상에 나타내어 두 점의 위치를 비교하여 방향을 구한 후 위치 보정에 활용하여, 방향과 위치를 결정할 수 있는 시스템을 구현하여 무인 이동 로봇이 원하는 목적지까지 특별한 장애가 발생하지 않은 이상 목적지까지 정확하고 안전하게 이동을 할 수 있음을 실험을 통해 알 수 있었다. 실험을 통해 2차원의 평면 공간을 이동하는 무인 로봇과 같은 시스템에 크리켓과 같은 위치 추적 시스템이 유용하게 사용될 수 있음을 증명하였다. 향후 연구 과제로는 이동시 정확한 위치를 추적하기 위해서는 칼만 필터와 같은 메커니즘을 이용한다면 저속뿐만 아니라 고속 주행시에도 무인 이동 로봇의 위치 추정에 신뢰성을 부여할 수 있다. 또한 현실 세계와 비슷한 환경에서 실험하기 위해서 3차원 환경에서 이동체 위치 추적을 연구 중이다.

참고문헌

- [1] Per Enge, Todd Walter, Sam Pullen, Changdon Kee, Yi-Chung Chao, and Yeou-Jyh Tsai, "Wide Area Augmentation of the Global Positioning System." In Proceedings of the IEEE, number 8 in 84, August 1996.
- [2] R. Want et al., "the Active Badge Location System" ACM Trans, Information Systems, pp. 91-102. jan. 1992.
- [3] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan, "The Cricket Location- Support system," Proc. 6th ACM MOBICOM, Boston, MA, Aug. 2000.
- [4] Joon-Yong Lee and Robert A. Scholtz, "Ranging in a Dense Multipath Environment Using an UWB Radio Link," IEEE JSAC, Vol.20, No.9, Dec. 2002.
- [5] Microsoft Research, EasyLiving Website, <http://www.research.microsoft.com/easyliving>
- [6] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," Proc. IEEE Infocom 2000, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 775-784
- [7] PinPoint to introduce its new 3D-ID locator system for tracking both people and equipment, BBI NEWSLETTER 1998; VOL 21; NUMBER 10 221-224
- [8] 박옥선, 정광렬, 김성희, "유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 위치인식 기술 및 시스템," ETRI 주간기술 동향, 1098호 2003, 6.
- [9] The Cricket Indoor Location System(Cricket v2 User Manual), <http://cricket.csail.mit.edu/v2man.html>