

# 초음파 센서를 이용한 이동로봇의 자기위치 파악 알고리즘

。 조 응 열†, 오 상 록†, 유 범 재†, 박 귀 태。  
。 :고려대학교, †:한국과학기술연구원 지능제어연구센터  
전화 : 02-3290-3218. , 02-958-5754†

## A Sonar-based Position Estimation Algorithm for Localization of Mobile Robots

Woong Yeol Joe, Sang Rok Oh, Bum Jae Yu, Gwi Tae Park

Dept. of Electrical Engineering, Korea University

Intelligent System Control Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST)

E-mail : [joewy@amadeus.kist.re.kr](mailto:joewy@amadeus.kist.re.kr), [sroh@amadeus.kist.re.kr](mailto:sroh@amadeus.kist.re.kr),

[ybj@amadeus.kist.re.kr](mailto:ybj@amadeus.kist.re.kr), [gtpark@elec.korea.ac.kr](mailto:gtpark@elec.korea.ac.kr)

### Abstract

This paper presents a modified localization scheme of a mobile robot. When it navigates, the position error of a robot is increased and doesn't go to a goal point where the robot intends to go at the beginning. The objective of localization is to estimate the position of a robot precisely. Many algorithms were developed and still are being researched for localization of a mobile robot at present. Among them, a localization algorithm named continuous localization proposed by Schultz has some merits on real-time navigation and is easy to be implemented compared to other localization schemes. Continuous Localization (CL) is based on map-matching algorithm with global and local maps using only ultrasonic sensors for making grid maps. However, CL has some problems in the process of searching the best-scored-map, when it is applied to a mobile robot. We here propose fast and powerful map-matching algorithm for localization of a mobile robot by experiments.

**Key word** : Continuous Localization, Map Matching,

### Ultrasonic Sensors, Mobile Robot

#### 1. 서론

본 논문은 Schultz의 Continuous Localization (이하 CL)방법을 기반으로, 보다 개선된 방법의 자기위치 파악 방법을 제안한다. CL은 구현하기가 쉬우며 효과적인 알고리즘으로 판명되었다.[2][3] CL의 방법으로는 격자 지도 기반 (grid-map-based) Map Matching 알고리즘을 바탕으로 구현되고 사용하는 외부센서는 오직 초음파 센서(ultrasonic sensors)를 통해서 외부정보를 얻는다. 즉, 이동로봇의 정확한 위치파악을 위해서 엔코더(encoder)와 초음파센서(ultrasonic Sensor)만을 사용한다. 이에 앞서 본 논문에서도 로봇의 이동거리에 비례하여 위치오차(odometry error)는 꾸준히 증가하고 있음을 가정한다. CL은 전체지역지도(global map)와 센서의 정보로 만든 국부작성지도(local map)를 match하여 가장 match가 잘된 위치를 로봇의 현재 위치로 판명한다. 하지만 Local map과 Global map의 Matching 과정 중 많은 과정을 거쳐서 결과 값을 얻게 되는데 이로 인해 시간이 상대적으로 오래 걸리고 계산이 복잡해진다는 점을 들 수 있

겠다. 이를 개선하고자 본 논문에서는 Local Map을 모든 각도와 크기에 대해서 변화시키지 않고 미리 그 변화량을 계산하여 적용시켜 계산량을 줄이는 방법을 고안하였다. 제작된 로봇을 선보이고 실험을 통하여 이 방법의 타당성을 밝히고자 한다.

**2. Continuous Localization(CL)**

CL은 Schultz에 의해서 고안되었는데 자기위치과악(localization)의 여러 가지 방법 중 한 가지로서 그 타당성과 효과를 입증 받고 있다.[2][3] 이 방법의 시발점은 이동로봇은 이동 중에 모터의 엔코더(encoder)로부터 자신의 위치값을 알 수 있는데 이 값은 로봇의 이동 중에 꾸준히 증가하고 있다는 것을 가정 하여 두고 있다. 모터로부터의 엔코더(encoder) 정보뿐 아니라 외부센서정보로 도움을 얻어 로봇의 위치오차를 보정함이 그 방법이라 하겠다. 외부센서로는 초음파(ultrasonic)센서를 사용하고 있다.

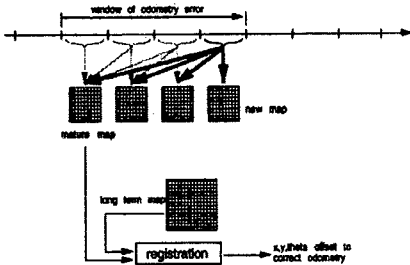


그림1. Continuous Localization

위의 그림1은 CL의 흐름도(flow chart)를 나타낸다[2]. 일정한 시간의 주기마다 로봇은 2개의 Map을 동시에 갖게 되는데 두 Map의 비교(registration)과정을 거쳐게 된다. 이로 인한 두 Map의 차이는 Offset이라고 하며 이는 곧 이동로봇의 위치오차(odometry error)에 해당되는 것으로써 로봇의 위치정보에 새롭게 적용될 값을 의미한다.

**2-1 Global Map and Local Map**

아래 그림2 는 Global Map을 보여주고 있다. 로봇은 다양한 형태의 Map을 작성 할 수 있는데 여기서 사용되고 있는 방법은 여러 Map중에서 Grid Map을 사용하고 있다. 이는 전체에 해당되는 지역정보를 각각 일정한 크기의 셀(cell)로 나누어 +1 혹은 0의 값으로 표현

하는 것이다[1][4].

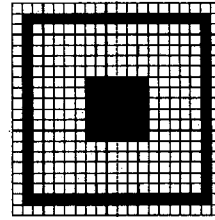


그림2. Global Map

Global Map은 앞서 말한 데로 주행 전에 미리 알고 있는 사전 정보이다.

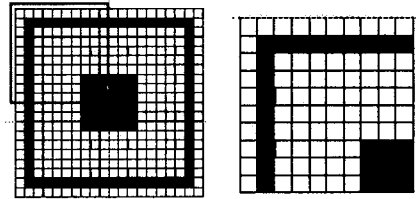


그림3,4. Global Map and Local Map

Global Map과 달리 Local Map은 로봇이 주행 중에 외부센서인 초음파센서로부터 실시간으로 그리는 국부(local)Map이다. 그림3과4는 Local Map의 Global Map에서 상대적인 크기를 보여주고 있다. 분명 Local Map은 이동 중의 Map임으로 실제 그림4와는 다르다.

**2-2 Registration**

CL의 가장 핵심이 되는 이 부분은 비교적 간단한 알고리즘으로 구현 되어 질 수 있다.

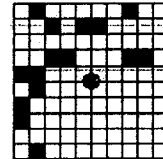


그림5. A Local Map by Sonar in a Mobile Robot

그림5는 실제로 그린 Local Map인데 Global Map과의 Matching을 위해서는 일정한 크기의 Translation과 Rotation을 거쳐야 한다. 이를 Registration이라고 하는데 아래의 그림과 같다.

그림6에서 가운데 위치한 것이 그림5에 해당되는 것인데 여덟 방향으로 위치변화이동을 시키다. 각각의 이동된 Map은 Global Map과 Matching을 하고 가장 부합되는 Map을 찾는다.

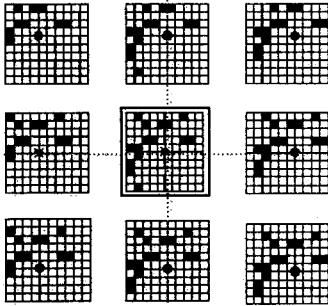


그림6. Translation of a Local Map

### 3. 제안된 알고리즘

Schultz의 CL을 기반으로 실험을 통한 분석 결과 매  $5^\circ$  마다 8개의 Translated Map을 작성 후 비교 하게 되는데 전체가  $360^\circ$  인 점을 생각한다면 총  $(72 \times 8) = 576$  개의 Map과 Global Map을 비교하여야 한다. Rotation의 각도를 2배로 한다고 하더라도 절반인 288개의 Map을 만들어 비교해야 한다.

Local Map 이  $10 \times 10$  (100개의 cell)인 점을 감안한다면 엄청난 계산량이 된다. CL이 다른 방법들과 다른 장점을 꼽는다면 실시간 주행 시에도 적용될 수 있다는 점이다. 이동로봇의 주행 속도는  $0.1 \text{ m/s}$  이다. 하지만 본 논문에서 고안된 방법은 Map Matching시에 큰 부담이 되는 Rotation에 해당되는 것을 매 각도마다 8개의 이동된 Map을 작성하지 않고 먼저 그 각도를 계산하여 오직 1 set에 해당되는 8개만의 Map을 만든 후에 비교하는 방법을 제안한다. 이는 이동로봇의 계산량 뿐 아니라 정확하고 쉽게 구현되어 질 수 있다. 단, 앞서 가정하고 있는 것은 기존의 CL과 마찬가지로 실험 환경에서 Local Map의 Grid Pattern이 일정하게 나오는 모서리(corner)부분에서만 Localization의 Map Matching이 이루어 진다는 것이다.

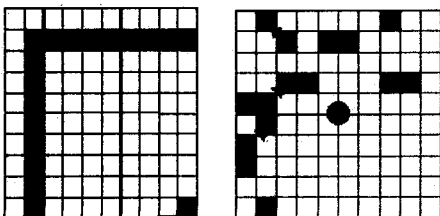


그림7,8 Grid Pattern Calculation

그림7과8은 Map에서 각도(angle)의 정보를 얻기 위한 패턴(pattern)계산의 원리를 보여주고 있다. 이를 계산해 내기 위한 원칙은 다음과 같이 정할 수 있다.

1. 인접한(자신을 제외한 8개의 방향) 곳의 셀(Cell)의 개수를 센다.
2. 오른쪽, 위쪽 방향은 +  
왼쪽, 아래 방향은 - 로 정한다.

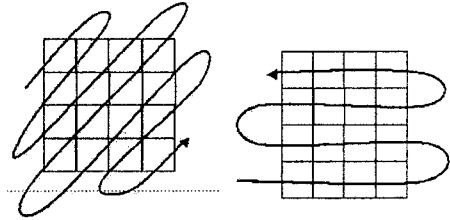


그림9,10 알고리즘 방식

그림 9,10에서는 알고리즘의 방식을 보여주고 있다. Map을 행렬이라고 생각했을 때 행과 열을 변화시켜 가면서 그 각 셀(cell)의 개수를 더하게 된다.

이는 영상처리(image processing)에서 많이 사용되는 Binary Image일 경우 Geometric Properties 패턴(pattern)인식(recognition)에서 많이 사용되는 방법과 유사하다고 할 수 있겠다.[5] 마찬가지로 행렬에서 열을 변화하면서 행에 있는 셀(cell)의 개수를 구한다. 행렬을 생각할 때 행에 해당되는 것을  $x$  축으로 열을  $y$  축으로 생각하자. 그리고 대각선의 가상의 축을  $L$  이라고 한다면 다음과 같은 3축으로 이루어진 좌표계를 그릴 수 있겠다

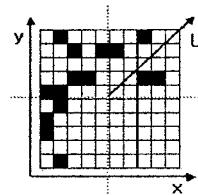


그림11. 행렬에서의  $x, y, L$  좌표계(coordinate)

위에서 밝힌 대로  $x$  축,  $y$  축 방향으로 근접한 셀(cell)의 개수를 구해보자. 로봇은 외부 센서인 초음파센서(ultrasonic sensor)로부터 Local Map을 작성한 후 그에 대한 정보를 알고 있다. Matching을 위한 식은 다음과 같다.

$$x = \sum_j^K \left[ 10 - \sum_i^K (localmap[i][j] - localmap[i][j+1]) \right]$$

$$y = \sum_j^K \left[ 10 - \sum_i^K (localmap[i+1][j] - localmap[i][j]) \right]$$

$$L = \sum_j^K \left[ 10 - \sum_i^K (localmap[i][j] - localmap[i-1][j+1]) \right] \text{ whe}$$

$n \quad i \neq j \neq 0$

위의 식에서  $x, y, L$ 은 각각 축 상에서의 인접한 셀(cell)들의 개수를 표현한다. 만약 한 행에서 모든 열의 셀(cell)이 인접하고 있다면 그 수는 10에 해당된다. 또한 축들은 한 평면 상에서 서로 다른 각도를 가지며 인접한 셀(cell)의 개수 만큼의 크기를 가지므로 벡터(vector)로 생각할 수 있다.  $localmap[i][j]$ 는 이동 로봇이 실제로 작성한 Map정보로서 알고리즘 상의 입력(input)에 해당된다.  $K$ 는 Local Map의 크기인데 본 실험에서는 10이다.

즉,  $x = |x| \angle \alpha, \quad y = |y| \angle \beta, \quad L = |L| \angle \gamma$

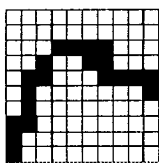
으로 표현 할 수 있겠다.  $x, y, L$ 의 합을 *angle sum* 이라고 한다

$$angle \ sum = \sqrt{x^2 + y^2 + L^2} \angle (\alpha + \beta + \gamma)$$

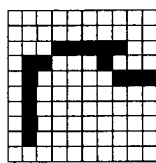
라고 할 수 있다. 이 *angle sum*은 Global Map과 Local Map에 있어서 로봇의 진행방향(heading angle)의 오차에 해당된다. 그림11에서 볼 때  $y$  방향으로 로봇이 진행한다면 진행방향오차(heading angle)에 의해서  $x$  축으로의 오차는 더욱 커 지게 된다. 즉,  $x$  축의 오차는 방향 오차에 비례한다고 말할 수 있다.

#### 4. 실험 결과

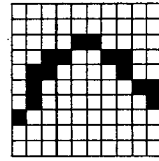
아래의 그림은 이동 로봇이 초음파센서(ultrasonic sensor)로 실제 주행 중에 작성한 Map으로 그 결과값을 보여준다.



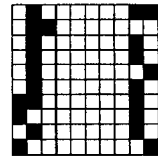
10 $\angle$ 114°



8 $\angle$ 102°



8 $\angle$ 118°



6 $\angle$ 170°

그림12,13,14,15(왼쪽 위부터)결과값 및 Local Map

#### 5. 이동 로봇

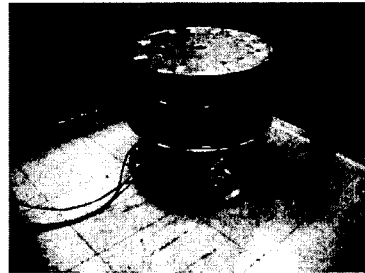


사진. 제작된 이동로봇의 주행 모습

사진1에서와 같이 제작된 이동로봇은 두 바퀴를 가지고 모터(motor) 2개에 의해 구동 되는 Differential 타입(type)의 이동 로봇이다. 모터에는 엔코더(encoder)가 달려 있고 외부적으로는 12개의 초음파 센서가 있다. 주행속도는 0.1m/s 이다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] Moravec. H. P., " Sensor fusion in evidence grids for mobile robots, "AI Magazine, pp61-74, 1988
- [2] Alan C. Schultz and William Adams., " Continuous Localization Using Evidence Grids", Proc. IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, Leuven, Belgium May 1998
- [3] Yamauchi, B., Schultz, A., and Adams,W., "Mobile Robot Exploration and Map-Building with Continuous Localization" proc. IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, Leuven , Belgium: IEEE, May 1998
- [4] Schiele, B., Crowley, J., "A Comparison of position estimation techniques using occupancy grids," Robotics and Autonomous Systems Vol. 12: Elsevier, pp 163-171, 1994
- [5] Berthold Klaus, Paul Horn, "Robot Vision", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, pp 46-64