

EKF기반의 SLAM을 위한 초음파 센서로 추출된 선 형상의 안정적 관리 방법 개발

A Robust Method for Managing Line Features Extracted by Sonar Sensors in EKF-based SLAM

*허영진¹, #이세진², 임종환²

*Y. J. Huh¹, #S.-J. Lee(sejiny3@gmail.com)¹, J.-H. Lim²

¹서울과학기술대학교 기계공학과, ²제주대학교 기계시스템공학부

Key words : Feature Representation, Mapping, Sonar Sensor, EKF-based SLAM, Mobile Robot

1. 서론

이동 로봇이 주행하고자 하는 곳의 환경을 의미 있는 정보로 인지하는 것은 장애물을 회피한다든지 주위 환경 지도를 작성하거나 자기 위치를 추정하는데 뿐만 아니라 자율주행을 하기 위해 필요한 모든 기능에 근간이 된다. 따라서 주어진 센서로 주위 환경 정보를 강인하고 올바르게 인지하는 것은 매우 중요하다. 이를 위한 다양한 센서 중에서도 초음파 센서는 가격이 저렴하고 장비의 운용이 간단할 뿐만 아니라 물체까지의 거리 정보를 간편하게 제공하기 때문에 유용하다. 하지만 초음파 센서 특유의 넓은 빔 폭과 거울 반사 현상은 물체의 위치를 정확하게 판단함에 있어 큰 장애가 된다.

기존 연구에서는 초음파 데이터로부터 선이나 점 형상을 추출함으로써 환경 형상을 단순화시켜 지도 작성이나 위치추정에 사용하였다¹⁻³. 그러나 복잡한 가정환경과 같은 곳에서는 초음파 센서로 선이나 점 형상 정보로 표현하기엔 센서의 한계 때문에 지도 작성이 부정확하고 애매모호하다. 따라서 본 연구에서는 Extended Kalman Filter (EKF) 기반의 Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)을 위한 "Sonar Salient Feature"라 명명되는 새로운 타입의 초음파 형상을 사용한다.⁴ 또한 기존 선 형상 표현 방법의 한계와 EKF 기반의 SLAM에서의 선 형상 교합 (Data Association) 불확실성을 극복하기 위한 새로운 선 형상 표현 및 관리법을 제안하고자 한다. 실제 가정환경에 대한 실험 결과를 통해 제안되는 선 형상의 안정적 관리 방법의 효용성을 검증한다.

2. 선 형상 추출 및 관리

선 형상에 대한 정보를 원점으로부터의 방향각

과 최단거리로 표현하게 되면 EKF 기반의 SLAM을 통해 로봇의 위치를 보정함에 있어 방향각의 작은 변화에도 큰 영향이 미치게 된다. 지도갱신 시 이러한 기존 선 형상 표현방법의 약점을 극복하기 위해 그림 1에서 보는바와 같이 본 논문에서는 선 형상에 대한 위치정보를 선 형상의 양 끝점(endpoints)의 직교좌표로 표현하고자 한다. 양 끝점 (X_S, Y_S) , (X_E, Y_E) 는 초음파센서에 의해 추출된 각 점들의 데이터와 이를 이용하여 최소자승법으로 추정된 선 형상에 대한 정보를 통해 구할 수 있다.

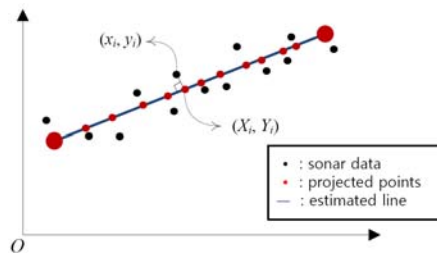


Fig. 1 Line extraction method using sonar data.

그림 1에서의 (x_i, y_i) 는 초음파 데이터 집합이고 l 은 이 데이터로부터 추정된 직선이다. 이 직선위에 각각의 점들이 직교되는 점 집합은 (X_j, Y_j) 이다. 이 직교 점들 사이의 거리데이터가 가장 큰 두 점이 선 형상의 양 끝점의 좌표가 된다. Table 2는 이러한 양 끝점을 찾는 알고리즘을 나타내고 있는 Pseudo-Code이다.

- (a) 직교 점의 좌표를 찾기 위한 반복문이며 N 은 센서를 통해 얻어진 점 데이터들의 총 개수이다.
- (b) ϕ_1, ϕ_2 는 직교 점의 X, Y 좌표를 구하는 함수이다.
- (c) 계산된 N 개의 직교 점 좌표는 T 에 저장한다.
- (d,e) 두 점 사이 거리정보의 최대값을 찾기 위한 반복문이며 n 과 m 은 N 과 동일한 데이터값이다.

Table 2 Pseudo-Code: Line extraction

```

for  $i = 1 \rightarrow N$  (a)
   $X_i = \phi_1(\text{Line}, x_i, y_i), Y_i = \phi_2(\text{Line}, X_i)$  (b)
  set  $T_i = (X_i, Y_i)$  (c)
for  $p = 1 \rightarrow n$  { (d)
  for  $q = 1 \rightarrow m$  (e)
     $\text{Distance} = \phi_3(T_p, T_q), C = (n-1)N + m$  (f)
    set  $K_C = [T_p, T_q, \text{Distance}]^T$  (g)
    if  $\text{Distance}_C > \text{Distance}_{\max}$  then  $K_{\max} = K_C$  (h)
  endpoints =  $K_{\max}(1:2) = [T_s, T_E]^T = [X_s, Y_s; X_E, Y_E]$  (i)

```

(f) ϕ_3 는 두 점의 거리값을 계산하는 함수이다.

$$\phi_3 = \sqrt{(X_p - X_q)^2 + (Y_p - Y_q)^2}$$

(g) 두 점과 이들의 거리정보는 K 벡터에 저장된다.

(h) 반복문 수행 중 큰 거리 값을 가진 K 벡터는 K_{\max} 벡터로 갱신된다.

(i) 최종적으로, 가장 큰 거리 값을 가지고 있는 K_{\max} 벡터의 T_s, T_E 가 양 끝점의 좌표가 된다.

3. 실험

실험은 약 30도의 빔 폭을 갖는 16개의 Polaroid 초음파 센서를 장착한 Pioneer-3DX 이동 로봇을 사용하여 수행되었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 실험은 약 12m×10m 크기의 실제 가정 환경에서 수행되었다. 이동 로봇이 평균 0.2m/s의 속력으로 실험 환경을 주행하는 동안 초음파 거리 데이터는 1Hz의 빈도를 주로 측정되었다 (초당 16개 데이터 세트 저장).

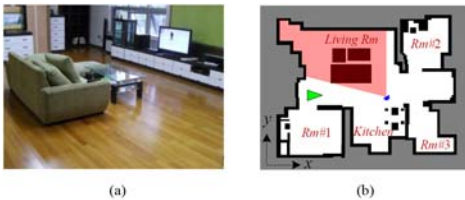


Fig. 2 Experimental home environment: (a) photo of the home environment, and (b) its CAD map.



Fig. 3 Feature extraction on exploration: (a) only sonar salient features, and (b) including line features.

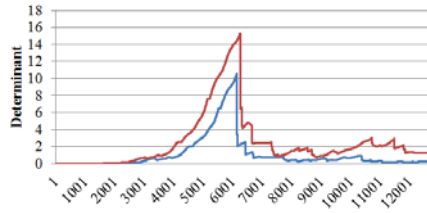


Fig. 4 Determinant of the robot pose covariance: red (Fig. 3(a)'s), and blue (Fig. 3(b)'s).

그림 3은 20여분 동안 실험 환경에서 수행한 SLAM 결과를 보여준다. 그림 3(a)는 Sonar Salient Feature만을 사용하였을 때의 결과이고 그림 3(b)는 선 형상을 포함하여 사용하였을 때의 결과를 나타낸다. 그림 4의 주행 중 로봇 위치 공분산행렬의 행렬식 추이에서 보는 바와 같이 선 형상까지 포함하여 수행한 SLAM 결과가 단지 Sonar Salient Feature만을 사용하여 수행한 것보다 더욱 안정적인 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

초음파 데이터로부터 추출된 선 형상의 양 끝점을 EKF 기반의 SLAM 지도에 Sonar Salient Feature와 함께 저장하여 운용함으로써 기존의 선 형상의 표현 방법으로 인해 발생할 수 있었던 형상 정보 갱신 한계를 극복할 수 있었다. 이와 같은 선 형상의 안정적 관리 방법을 통해 EKF 기반의 SLAM에 신뢰도 높은 선 형상을 사용함으로써 Sonar Salient Feature만을 사용했을 때 보다 SLAM의 안정성이 더욱 향상되었다.

후기

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MOEHRD, Basic Research Promotion Fund) (KRF-2008-521-D00032).

참고문헌

1. Leonard, J. J. and Durrant-Whyte, H. F., "Mobile Robot Localization by Tracking Geometric Beacons," IEEE TRO, vol. 7, no. 3, pp. 376-382, 1991.
2. Wijk, O. and Christensen, H. I., "Triangulation- Based Fusion of Sonar Data with Application in Robot Pose Tracking," IEEE TRO, vol. 16, no. 6, pp. 740-752, 2000.
3. Tardos, J. D., Neira, J., Newman, P. M., and Leonard, J. J., "Robust Mapping and Localization in Indoor Environments Using Sonar Data," IJRR, vol. 21, no. 4, pp. 311-330, 2002.
4. Lee, S.-J., and Song J.-B., "A New Sonar Salient Feature Structure for EKF-based SLAM," 2010 IROS, Taipei, Taiwan, Oct. 18-22, 2010.