

초음파센서와 시각센서의 융합을 이용한 물체 인식에 관한 연구

고 중 협* 김 완 주 정 명 진
한국과학기술원 전기 및 전자공학과

Ultrasonic and Vision Data Fusion for Object Recognition

Joong-Hyup Ko*, Wan-Ju Kim, and Myung-Jin Chung

Dept. of EE, Korea Advance Institute of Science and Technology

Abstract

Ultrasonic and vision data need to be fused for efficient object recognition, especially in mobile robot navigation. In the proposed approach, the whole ultrasonic echo signal is utilized and data fusion is performed based on each sensor's characteristic. It is shown to be effective through the experiment results.

1. 서론

물체의 형태를 인식하는 것은 많은 분야에서 중요한 일로 여겨지고 있으며, 특히 이동 로봇의 경우 자율적으로 미지의 환경에서 주행하기 위해서는 주변의 기하학적인 형태를 아는 것이 필수적이다. 이동 로봇이 주변 상황을 인식하여 지도를 작성하는 데는 주로 시각 센서와 초음파 센서, 적외선 센서 등이 사용되어 왔다. 시각 센서의 경우 둘 또는 세 대의 CCD 카메라를 같이 사용하거나 레이저를 특별한 형태로 비추고 비춰진 모습을 CCD 카메라로 감지하여 물체의 형태를 알아내려는 연구가 많은 사람들에 의해 진행되고 있다.

그러나 여러대의 CCD 카메라를 사용하는 경우에는 특징의 추출과 그것들 사이의 일치성을 찾는 것이 쉽지 않으며 레이저를 사용하는 경우 아직은 가격이 비싸고 부피가 크다는 단점을 갖고 있다. 한편 초음파 센서는 빔폭이 커서 측방향 해상도가 매우 나쁘고 물체의 표면이 매끈한 경우에는 전반사가 일어나는 것이 단점이다. 이러한 단점들을 해결하기 위한 한 방법으로 초음파 센서와 적외선 센서[1], 또는 시각 센서와 초음파 센서를 같이 사용하려는 시도가 있었다[2, 3, 4, 5]. 그러나 이들의 방법에서는 초음파 센서의 모델링을 지나치게 간략화하여 최초의 반사파만을 이용함으로써 최단거리만을 찾아 그 위치에 선분이나[4], 원[5]이 있는 것으로 가정하거나 초음파가 전파되는 영역을 그물 형태로 분할하되 각 그물눈에 미리 정해진 확률을 부여하였다[2]. 이로 인해 [2] 이후의 일련의 연관된 시도[6, 7]에서 계속 축적된 정보를 갱신 또는 융합해가는 과정에서 정교한 이론을 적용시켰음에도 최종적으로 얻어진 형태가

원래의 것과는 크게 다른 결과를 얻었다. 또한 각 센서의 특성을 고려하지 않고 융합하려는 시도도 있었다[3].

본 논문에서는 초음파 센서에서 얻어지는 신호중 최초의 반사파뿐만 아니라 이후의 반사파들도 이용하고, 또 시각 센서와 초음파 센서로부터의 정보를 각 센서의 특성을 고려하여 융합함으로써 2차원 물체의 형태를 인식하고자 한다.

2. 센서의 모델링

2.1 시각 센서의 모델링

본 논문에서는 시각 센서로 밝기 정보를 주는 CCD 카메라를 사용하였으며 핀-홀로 모델링하여 다음 그림과 같은 구조를 갖는 것으로 한다.

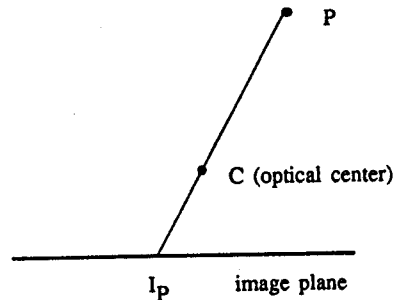


그림 1. 시각 센서의 모델링

공간상의 한 점 P는 Optical Center C를 지나 화면 위에 I_p 점으로 투영된다. 따라서 카메라 영상에서 I_p 점을 얻으면 그것에 해당되는 공간상의 점은 I_p 에서 출발하여 P를 통과하는 반직선상에 존재함을 알 수 있다. 이 반직선을 투영선이라 부르고 한다.

2.2 초음파 센서의 모델링

초음파 센서로는 압전소자를 재료로 한 트랜스듀서를 사용하였다. 초음파 센서에 전기적 펄스를 가하면 압전효과로 소리의 펄스가 발생되며, 이것은 공기중에 방사상으로 퍼져나간다. 공기중에서의 음속을 c 라하면 펄스가 발생되고 어떤 물체에서

반사되어 돌아오는 시간 t 와 그 물체까지의 거리 r 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$t = 2r/c$$

따라서 다음 그림과 같이 여러 곳에서 한 물체까지의 거리를 측정하면 그 물체의 위치를 찾아낼 수 있다. 즉 공간상의 한 점 P는 초음파 센서 1, 2, 3에서 각각 r_1 , r_2 , r_3 만큼 떨어져 있으므로 $t_i = 2r_i/c$ ($i = 1, 2, 3$)라할 때 각 센서에서 t_1 , t_2 , t_3 에 반사파가 감지된다.

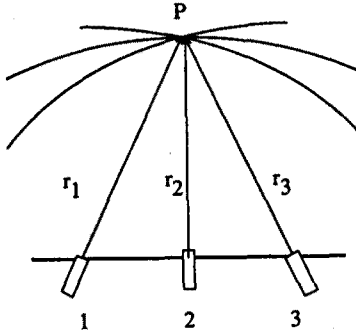


그림 2. 초음파 센서의 모델링

그러나 측정 대상인 점이 하나 이상인 경우 그들 사이의 구별은 펄스가 가해지는 시간과 관련된다. 펄스의 시간 폭이 d 라 할 때 두 점 사이의 거리가 $cd/2$ 이내이면 두 점으로부터 돌아오는 반사파는 초음파 센서에서 겹치게 되어 구별이 되지 않는다. 이것을 거리 분해능이라 한다.

3. 물체의 모델링

물체의 형태를 구성하는 기본 단위는 앞에서 설명한 초음파 센서의 거리 분해능으로 결정된다. 따라서 본 논문에서는 공간을 이 분해능에 따라 결정되는 일정한 크기의 눈금을 갖는 그들의 형태로 분할하기로 한다. 이때 동일한 물체에 대한 초음파 센서의 상대위치는 한 방향만이 아니므로 눈금의 크기는 두 방향에서 모두 같게 한다. 결과적으로 물체는 그물눈들의 모임으로 나타난다. 2차원 물체와 초음파 센서 및 시각 센서가 다음과 같은 위치 관계를 갖는다고 하면 초음파 센서를 통해 얻어지는 정보는 물체를 둘러싸는 가장자리까지의 거리이고 시각 센서를 통해서서는 그 가장자리에서의 밝기가 얻어진다.

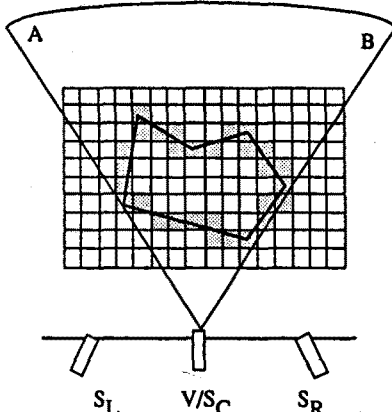


그림 3. 2차원 물체의 모델링

앞의 그림에 나타난 바와 같이 본 논문에서는 3개의 초음파 센서와 1개의 시각 센서를 사용한다. 이들 센서로부터 얻은 정보를 융합을 통해 시각 센서를 정점으로 하는 부채꼴 V-A-B의 영역에서 물체의 가장자리에 해당되는 그물눈들을 찾는 과정을 다음에 설명한다. 부채꼴 V-A-B에서 VA와 VB 사이의 각도는 시각 센서의 Field of View에 의해, 그리고 VA 또는 VB의 길이는 초음파 센서의 성능에 의해 결정된다.

3.1 시각 센서 정보의 처리

CCD 카메라로부터 물체 가장자리에서의 1차원 영상을 얻고 이로부터 밝기의 변화가 심한 곳들을 찾아낸다. 이 점들을 영상 기준점이라고 부르기로 하며 이후의 단계에서 물체의 형태를 인식하기 위한 기준점으로 삼는다. 이것은 영상 기준점이 물체의 꼭지점이 될 가능성이 높기 때문이다. 그런데 물체는 다각형으로 근사화되므로 이 영상 기준점들을 찾기 전에 먼저 카메라로부터 얻어진 영상에 대해 선분을 찾기 위한 여과를 한다. 이는 물체의 각 변에서의 길이가 카메라의 화소 단위보다 충분히 크다는 가정을 바탕으로 한 것이다.

3.2 초음파 센서 정보의 처리

초음파 센서로부터는 반사파의 파형이 얻어진다. 이 반사파에는 랜덤 잡음과 구조적 잡음이 함께 포함되어 있다. 랜덤 잡음은 평균이 0으로 원래의 신호에 더해지는 것으로 가정한다. 따라서 신호를 반복 측정한 후, 그 평균을 취함으로써 랜덤 잡음을 제거할 수 있다. 초음파의 전파 매질인 공기중의 밀도, 온도, 습도 분포의 시간에 따른 변화는 랜덤 잡음의 한 원인이 된다. 그러나 실제로는 반복 측정시 신호 자체도 변화하므로 평균을 취하면 초음파 신호도 줄어들게 된다. 따라서 랜덤 잡음의 크기는 신호에 비해 작다는 가정하에 본 논문에서는 thresholding만을 하였다. 한편 구조적 잡음은 반복적으로 일어나는 것으로 물체 표면에서의 전반사, 공기중에서의 음의 전파속도 추정치의 오류 등에서 기인하는 것으로 후처리 과정에서 그 일부가 제거된다.

3.3 센서 정보들의 융합

시각 센서는 측방향 분해능이 우수하나 단독으로 사용되었을 때 한 화면의 정보만으로는 거리 정보를 주지 못한다. 초음파 센서는 측방향 분해능은 나쁘지만 거리 정보는 비교적 정확하게 준다. 이러한 점을 고려하여 다음과 같이 두 센서로부터의 정보를 융합한다.

3.3.1 공간 기준점

시각 센서에서 얻은 영상 기준점들에서 각 점의 투영선을 따라 물체까지의 거리를 구한다. 다음 그림에서 I_p 가 영상 기준점이라면 그것의 투영선 L과 만나는 각 그물눈에 대해 그 그물눈에서의 반사파가 초음파 센서 S_c , S_L , S_R 에서 측정되었는지를 확인한다. 3개의 초음파 센서중에서 2개 이상에서 반사파가 측정되었으면 그 그물눈에 해당되는 공간에 물체가 존재하는 것으로 판단된다. 이 점을 공간 기준점이라 부르기로 한다.

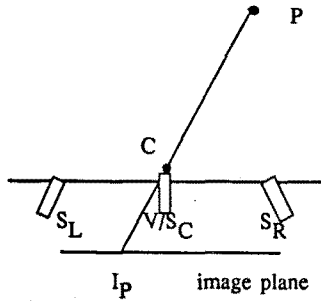


그림 4. 영상 기준점에서의 거리 측정

3.3.2 공간 기준점들의 사이

각 공간 기준점들 사이의 형태를 구한다. 다음 그림에서 A, B가 인접한 공간 기준점이라면 A, B의 공간상의 중간점 C를 구하고 C의 투영선을 따라 물체가 존재하는 그물눈을 찾는다. 이때 투영선의 범위는 초음파 센서의 측정 한도까지로 한다. 만일 이 그물눈이 A, B를 잇는 직선과 만나면 A와 B는 직선으로 연결된 것으로 간주하고 그 직선과 만나는 그물눈들을 A, B 사이의 물체의 가장자리로 한다. 만일 C의 투영선의 어느 위치에 도 물체가 존재하지 않으면 A와 B의 사이는 빈 것으로 간주한다. 만일 C의 투영선상에서 발견된 물체의 위치가 A와 B를 잇는 직선과 만나지 않으면 시도 발견된 물체의 위치를 새로운 공간 기준점으로 하고 앞의 과정을 A, C와 C, B에 대해 반복한다.

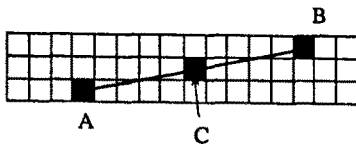


그림 5. 공간 기준점들 사이에서의 거리 측정

4. 실험 및 결과

4.1 장치의 구성

실험 장치의 전체적인 구성은 다음과 같다.

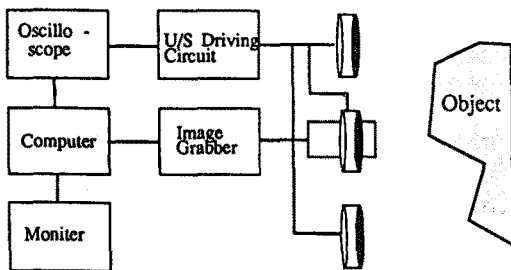


그림 6. 실험 장치의 구성

초음파 센서 Sc와 시각 센서 V는 2차원 공간에서 같은 위치에 놓이는데 실제로는 두 센서가 수직으로 나란히 놓이는 것을 의미한다.

4.1.1 실험 대상 물체

물체의 2차원 형태를 얻기 위해서는 초음파 빔의 두께를 매우 얇게 하여 평면으로 방사해야 하나 실제로 이런 형태의 빔을 얻는 것이 어려우므로 수직 방향으로 모양이 일정한 상자를 받침대 위에 놓아서 실험 대상 물체를 구성하였다. 이때 받침대는 반사파를 줄일 수 있는 원형으로 하였다.

4.1.2 CCD 카메라

본 논문에서 사용된 카메라는 8 비트 그레이 레벨의 512 x 512의 화소를 가지며 Field of View는 30°, 초점거리는 16 mm이다. 실험 대상 물체는 수직으로 놓고 그 영상의 중앙 수평선의 밝기를 그 물체의 1차원 영상으로 한다.

4.1.3 초음파 센서

사용된 초음파 센서는 압전소자를 재료로 한 것으로 30°의 유효 빔폭, 10m의 최대 측정 거리를 갖는다. 이것에 50 KHz의 신호를 10 주기동안 가한다. 따라서 송출되는 펄스의 시간 폭은 0.2 ms이고 이것은 6.8 cm에 해당되므로 거리 분해능은 3.4 cm이다. 그러나 송출 펄스는 지연 감쇄하므로 거리 분해능을 5 cm로 한다.

4.1.4 반사파 측정 장치

초음파의 측정은 최대 10 MHz의 샘플링 속도를 갖는 디지털 오실로스코프를 사용하였으며 이것의 제어와 데이터 처리는 IEEE-488 버스를 통해 PC로 하였다.

4.2 결과

4.2.1 시각 센서 정보

다음은 CCD 카메라로부터 얻은 물체의 1차원 영상의 밝기와 그것에 Roberts 여과를 적용한 결과이다.

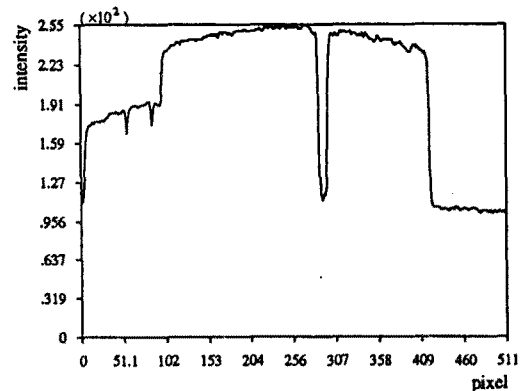


그림 7a. 1차원 영상의 밝기

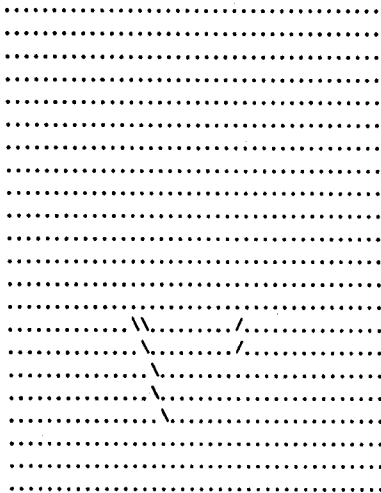


그림 10. 거리 정보와 영상 정보의 융합

다음은 앞에서 구한 공간 기준점들의 사이를 연결한 결과이다.

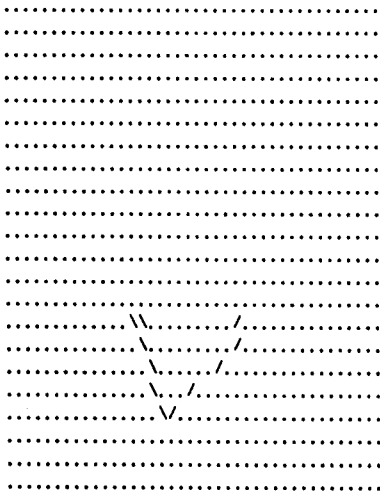


그림 11. 공간 기준점들 사이를 연결한 결과

다음 그림은 실험 대상 물체와 인식된 결과이다. 실제의 물체는 실선, 인식된 결과는 점으로 표시된 그물눈으로 나타내었다.

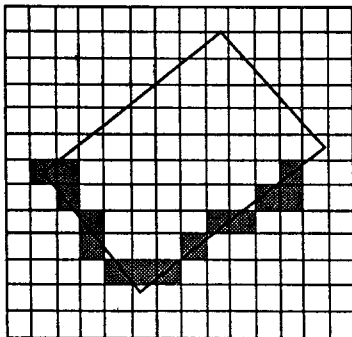


그림 12. 인식 결과

5. 결론 및 검토

실험 결과, 각 초음파 센서에서 얻은 정보를 충분히 이용함으로써 실제 물체의 형태를 포함하는 일차적인 융합 결과를 얻을 수 있었으며 각 센서의 특성을 고려하여 영상 정보와 융합한 결과 실제 물체에 근사한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 초음파 센서에서 감도 및 분해능을 높이기 위한 연구와 전반사 효과를 극복하기 위한 연구가 필요하며, 시각 센서에서 물체의 모서리를 감지하지 못하는 경우등을 해결하기 위한 연구가 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] A. M. Flynn, "Combining Sonar and Infrared Sensors for Mobile Robot Navigation," *Int. J. Robotics Research*, Vol. 7, No. 6, pp. 5-14, December 1988.
- [2] H. P. Moravec, A. Elfes, "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 116-121, 1985.
- [3] Larry Matthies, Alberto Elfes, "Integration of Sonar and Stereo Range Data Using a Grid-Based Representation," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 727-733, 1988.
- [4] Martin Beckerman, E. M. Obloj, "Treatment of Systematic Errors in the Processing of Wide-Angle Sonar Sensor Data for Robotic Navigation," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 6, No. 2, pp. 137-145, April 1990.
- [5] James L. Crowley, "World Modeling and Position Estimation for a Mobile Robot Using Ultrasonic Ranging," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 674-680, 1989.
- [6] D. W. Cho, "Certainty Grid Representation for Robot Navigation by a Bayesian Method," *ROBOTICA*, Vol. 8, pp. 159-165, 1990.
- [7] Jong-Hwan Lim, Dong-Woo Cho, "Physically Based Sensor Modeling for a Sonar Map in a Specular Environment," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1714-1719, 1992.