

초음파 센서를 이용한 장애물 회피에서 공간 필터링 방법

Space filtering method for obstacle avoidance using ultrasonic sensor

*김진욱, 김윤구, 곽정환, 신동환, #안진웅

*Jinwook Kim, Yoon-Gu Kim, Jeong-Hwan Kwak, Dong-Hwan Shin, #Jinung An (robot@dgist.ac.kr)
대구경북과학기술원 실용로봇연구소

Key words : obstacle avoidance, ultrasonic sensor, space filtering

1. 서론

로봇을 포함한 이동체에서 센서 데이터를 이용한 자율주행 및 장애물회피를 위해 본 논문은 모바일 로봇이 좀 더 개선된 센서 데이터로 장애물을 회피할 수 있는 센서 데이터의 전처리 혹은 필터링 기술에 대해 다룬다. 기존의 로봇을 포함한 이동체의 자율주행 및 장애물회피 기술에서 센서 데이터에 대한 필터링(filtering)은 주로 수신 잡음(noise)을 제거하는 기법 위주로 연구가 진행되어 왔으며, 잡음 필터링 후에 자율주행에 적용하기 전 단계에서 로봇의 주행 성능향상을 위해 제거되어야 할 공간에 대한 전처리 방법에 대한 연구는 많지 않다. Thongchai의 논문[1]과 Li의 논문[2]에서는 초음파센서(ultrasonic sensor or sonar sensor)를 이용한 장애물 회피에 대해 다루었으며, 로봇 혹은 이동체의 제어 방법으로는 퍼지제어기 방법을 사용하였다. 하지만 두 논문에서는 장애물 회피를 위한 공간의 전처리에 대한 개념이 소개되어 있지 않다. 퍼지제어기를 이용한 장애물 회피 실험에서 센서 데이터(Sensor Data)를 전처리 없이 사용하게 되면 로봇이 주행할 수 없는 좁은 통로와 같은 공간도 주행 가능한 영역으로 포함되어 연산이 적용될 수 있으므로 올바르게 제어기 출력을 얻을 수도 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고 자율주행 및 장애물 회피 성능을 향상시키기 위하여 센서 데이터의 전처리 방법을 제시한다. 제시된 전처리 방법은 자율주행, 특히 장애물 회피 제어에서 로봇의 크기보다 좁은 폭의 장애물이 없는 공간도 주행 가능한 공간 영역으로 포함되어 처리됨으로 인해 발생하는 주행 성능의 저하를 막기 위하여 제어기로 입력되는 센서 데이터에 대한 전처리 과정으로써 공간 정보를 필터링한다.

2. 공간 필터링 방법

자율주행 및 장애물 회피 성능을 향상시키기 위하여 수행하는 센서 데이터의 전처리 방법은 로봇 혹은 이동체의 크기보다 좁은 폭의 장애물이 없는 공간을 주행이 불가능한 공간 영역으로 해석 및 변경함으로써 이러한 공간이 유발할 수 있는 장애물 회피 성능의 저하를 막기 위한 방법이다. 이를 위한 센서 데이터의 전처리 방법은 입력된 센서 값을 통하여 장애물이 감지된 센서 간의 간격을 계산하고 그 간격이 로봇의 크기보다 작으면 장애물이 있는 것으로 처리가 되도록 한다.

본 논문에서는 공간 필터링을 통한 센서 데이터의 전처리를 설명하기 위하여 퍼지기반 장애물 회피 제어기 적용 예를 통하여 공간 필터링의 개념을 설명한다.

로봇의 장애물회피 퍼지제어기 구조가 Fig. 1에 예시되어 있다.

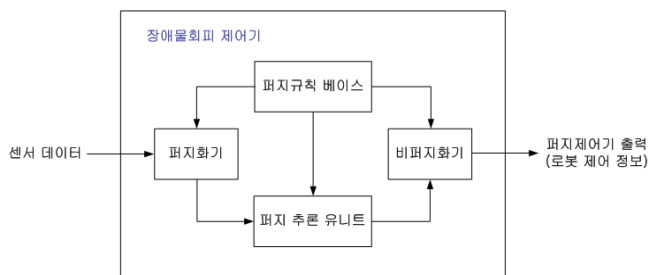


Fig. 1 Conceptual structure of fuzzy controller for obstacle avoidance

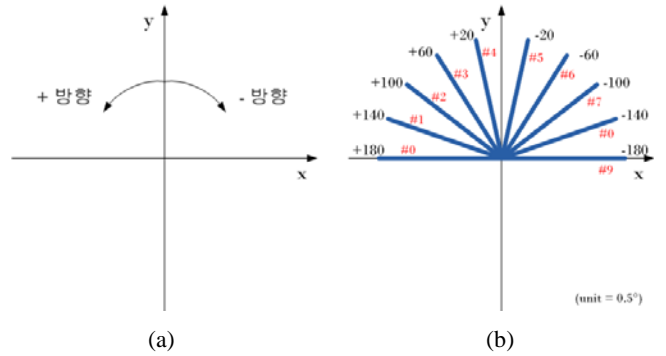


Fig. 2 Direction and angular position of ultrasonic sensors

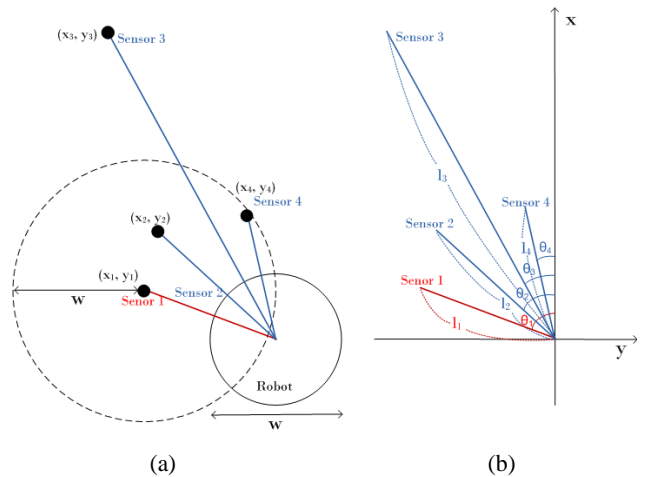


Fig. 3 Example of sensor data for space filtering

또한 Fig. 2는 제어기에서 사용하는 센서의 수와 각 센서에 대한 방향 정보를 나타낸다. Fig. 2의 (a)는 로봇의 전면 방향을 기준으로 한 초음파 센서의 방향 좌표를 나타내며, (b)는 각 센서의 간격을 나타낸다. 각 센서는 20° 각도 간격으로 10개가 배치되어 있다. 또한 이 시스템에서는 0번부터 9번까지의 센서에 대한 각도가 모두 고정되어 있다. 위의 퍼지 제어기에서 사용하는 센서의 값은 각각의 센서의 개별적인 값을 사용한다. 하지만 로봇의 장애물에서 로봇이 통과할 수 없는 폭의 공간은 장애물로 인식하는 것이 장애물 회피 성능을 향상시켜 준다. 따라서 제안한 필터링 방법은 각 센서를 통한 거리 입력 값을 통하여 로봇이 이동할 수 없는 공간을 조사하여 그 공간에 대해 값을 조정한다. 이 방법은 개념은 간단하지만 구현에 있어서 복잡한 구현이 될 수 있으며, 본 논문에서는 기준이 되는 센서를 선택하고 로봇의 폭에 해당하는 길이를 반지름으로 가지는 원을 사용하여 로봇이 이동할 수 없는 공간을 찾는 방식을 제안한다.

센서 데이터의 전처리 과정은 다음과 같이 설명할 수 있다. 우선 모든 측정이 가능한 장애물 거리 중 가장 짧은 거리에 있는 점을 탐색점(search point)으로 설정한다. 예를 들어 Fig. 3의 (x1, y1)를 탐색점이라고 하면, 그 다음으로는 탐색점으로부터 길이 w의 반지름을 가지는 원의 영역을 찾는다. 이 영역은 다음과

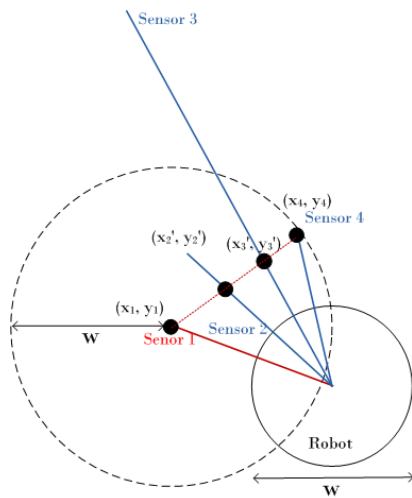


Fig. 4 Preprocessing values of sensor data

같은 식으로 표현될 수 있다.

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 < w^2$$

여기서 w 는 로봇의 폭을 의미하며 이 값은 실제 로봇의 물리적인 폭의 크기일 수도 있고 안정된 주행을 위해 사용자가 그 이상의 값으로 임의로 정할 수도 있다. 탐색점에 해당하는 각도는 Fig. 3에서와 같이 정면을 기준으로 θ_1 이 되며, θ_1 에 대한 측정거리는 l_1 이 된다. 센서에서 측정된 장애물 지점 중 위의 식으로 표현되는 영역내에 존재하는 점을 찾고 그중 각도값의 차이가 큰 점을 선택한다. 여기서는 영역내에 존재하는 두 점 (x_2, y_2) , (x_4, y_4) 이 있는데, $\theta_1 - \theta_2$ 보다 $\theta_1 - \theta_4$ 가 더 크므로 (x_4, y_4) 이 선택된다. 탐색점 (x_1, y_1) 와 선택점 (x_4, y_4) 을 잇는 직선을 그리면 이것은 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$y - y_1 = \left(\frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1} \right) (x - x_1)$$

위의 연립 방정식으로 Fig. 4의 'Sensor 2'에 해당하는 직선과의 교점 (x_2', y_2') 을 구할 수 있다. 'Sensor 2'의 거리 측정치를 l_2 이라고 하고 (x_2', y_2') 와 로봇의 위치인 원점 $(0, 0)$ 사이의 거리를 l_2' 라고 했을 때, l_2' 보다 l_2 가 더 크고 아래의 경우에 해당 하는 경우에는 다음의 수식에 의해 'Sensor 2'의 거리 데이터를 l_2' 로 변경한다.

$$\begin{cases} SensorData_i = l_i & (l_i \leq l_i') \\ SensorData_i = l_i' & (l_i > l_i') \end{cases}$$

$$l_i' = \sqrt{x_i'^2 + y_i'^2}$$

Fig. 5의 청색 영역은 'Sensor 1', 'Sensor 2', 'Sensor 3', 'Sensor 4'에 장애물이 탐지 되었을 때, 센서 데이터 전처리에 따라서 로봇의 주행가능 영역이 변화하는 예를 보여준다. Fig. 5. (a)의 청색 영역은 센서 데이터 전처리 전의 개념적인 주행 가능 영역을 나타낸다. 그리고 Fig. 5. (b)의 청색 영역으로 센서 데이터 전처리 후의 주행 가능 영역이 변경되었음을 알 수 있다. 반면 Fig. 5. (b)의 적색 영역은 센서 데이터 전처리 전에는 주행 가능 영역으로 인식 되었으나 로봇이 주행할 수 있는 폭이 되지 않으므로 사실상 주행을 불가능한 영역이다. 이러한 영역이 전처리 후에는 주행 가능한 영역에서 제외되므로 장애물회피의 정확도가 커지게 된다.

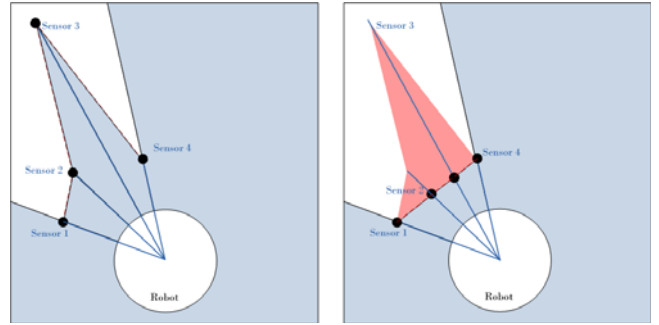


Fig. 5 Result of space filtering based on ultrasonic sensors

위와 같은 방식으로 하나의 탐색점에 대한 공간 탐색 및 필터링이 완료되며, 필터링에 관여하거나 값이 변경된 측정점은 다음 필터링을 위한 탐색점의 후보군에서 제외된다. 만약 현재 기준이 되는 탐색점에서의 공간 필터링이 해당하는 조건이 만족되지 않아 처리가 이루어지지 않은 경우에는 현재의 탐색점만을 후보군에서 제외한다. 이 후 나머지 측정점에 대한 공간 필터링을 위해 탐색점을 재선정 하는데, 선정하는 방법은 처음과 마찬가지로 후보군 중 가장 측정거리가 짧은 점이 선택된다. 선택된 탐색점을 기준으로 공간 필터링이 수행되고, 그 측정점과 처리가 이루어진 측정점을 탐색점 후보군에서 제외시키는 방식을 반복적으로 수행한다. 만약 모든 측정점이 후보군에서 탈락되면 공간 필터링은 종료된다.

3. 실험 및 결론

본 논문에서는 자율주행 및 장애물 회피 성능을 향상시키기 위하여 센서 데이터의 전처리 방법을 제안하였다. 이 방법은 Mobile Robots사의 Pioneer 3-DX 모바일 로봇 플랫폼을 이용하여 실험을 하였으며, 다양한 환경에서 총 50회의 실험을 수행하였다. 공간필터링을 적용하지 않았을 경우 좁은 공간에 의한 충돌수는 9회였으며, 공간필터링 후에는 좁은 공간에 의한 충돌이 더 이상 발생하지 않음을 알 수 있었다. 본 논문에 제시된 전처리 방법은 자율주행, 특히 장애물 회피 제어에서 로봇의 크기보다 좁은 폭의 장애물이 없는 공간을 주행을 불가능한 공간 영역으로 연산되도록 하여 장애물 회피 성능의 저하를 막고 좀 더 개선된 자율주행 및 장애물 회피를 기대할 수 있다.

후기

본 연구는 "지식경제부", "한국산업기술진흥원", "대구경북광역경제권 선도산업지원단"의 "광역경제권 선도산업 육성사업"으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

1. Thongchai S, Kawamura K, "Application of fuzzy control to a sonarbased obstacle avoidance mobile robot," IEEE Int. Conf. Control Applications, September 2000, pp. 425 - 430.
2. Hao Li and Simon X. Yang, "Ultrasonic Sensor based Fuzzy Obstacle Avoidance Behaviors," IEEE SMC MP2L2, 2002.