

Vector Field Histogram를 이용한 장애물 회피 시뮬레이션

정현룡* (전남대 대학원 기계공학과), 김영배** (전남대 대학원 기계공학과)

Obstacle avoidance using Vector Field Histogram in simulation

Jung, HyunRyong(Mech. Eng. Dept, CNU), Young-Bae Kim(Mech. Eng. Dept, CNU)

ABSTRACT

The vector field histogram(VFH) uses a two-dimensional Cartesian histogram grid as a world model. The VFH method subsequently employs a two-stage data-reduction process in order to compute the desired control commands for the vehicle. In the first stage the histogram grid is reduced to a one dimensional polar histogram that is constructed around the robot's momentary location. Each sector in the polar histogram contains a value representing the polar obstacle density in that direction. In the second stage, the algorithm selects the most suitable sector from among all polar histogram sectors with a low polar obstacle density, and the steering of the robot is aligned with that direction. We applied this algorithm to our simulation program and tested..

Key Words : VFH, Mobile robot, Polar Obstacle Density(POD)

1. 서론

장애물 회피(Obstacle Avoidance)는 mobile robot 시스템의 성공 여부에 있어 매우 중요한 부분이다. 모든 mobile robot은 장애물을 인식하고 정지하는 간단한 알고리즘부터, 아주 정교한 알고리즘을 탑재하여 장애물을 회피하는 것까지 아주 다양하다. 후자의 경우는 장애물의 탐색뿐만 아니라, 여러 가지 계산으로 인해서 전자보다 더욱 복잡하게 된다. VFH(Vector Field Histogram)은 후자의 경우로 기존의 Potential Field Method, Virtual Force Field등의 방법보다 계산 양이 많이 줄어들어, 로봇이 실시간으로 장애물을 회피할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 VFH를 OpenGL을 이용해 3차원으로 테스트하였다.

2. 이론

2.1 The VFF(Virtual Field Force) Concept

VFH⁽¹⁾는 장애물들 histogram grid를 이용해서 표

시한다. CMU^(2,3,4)의 CV와 같이 histogram grid의 (i, j) cell은 certainty value, c_{ij} ,를 갖는다. Histogram grid는 만들어지고, 갱신되는 방법에 있어서 certainty grid와는 다르다. CMU의 방법은 초음파에 의해 읽어들이 값의 영역에 있는 모든 cell에 영향을 주기 때문에, 계산 양이 많아져, on-board computer에서는 실시간 실행이 어려워진다. 하지만, 이 방법은 센서에 의해서 거리 데이터가 갱신될 때 센서가 진행하는 방향의 축에 있는 오직 하나의 cell만 증가시키게 된다. 그리고 potential field 개념을 histogram grid에 적용한다. 방법은 다음과 같다. 현재 로봇의 위치에서 로봇을 중심으로 33×33 cell들을 active window라고 지정하고, 그 안에 위치한 cell들이 가지고 있는 certainty value에 비례한 값의 합(F)이, robot에 repulsive force로 정의된다. 그리고 target으로의 attractive force(F_a)과의 합 vector(R)를 구하게 된다.

VFH는 대부분의 환경에서 잘 동작하지만, 다음과 같은 경우에는 그렇지 못하다.

첫 번째는, 문을 통과하지 못한다는 것이다. 문의

양쪽 면에서 repulsive force로 인해서 로봇이 문으로부터 멀어지게 된다.

두 번째는, histogram grid의 특성으로 인해서 발생하는 것으로, 로봇이 움직이는 동안 repulsive force를 계속해서 갱신하게 되는데, 로봇이 다음 cell로 이동함으로써 R이 크게 변하는 현상이 발생한다. 예를 들어, cell(m, n)에 의해서 repulsive force가 발생하고, 로봇의 VCP(Vehicle Center Point)이 (m, n+6)이라고 하자, 하나의 cell 크기는 10cm×10cm이다. cell(m, n)에 의해서 로봇에 영향을 미치는 repulsive force의 크기는 $|F_{m,n}| = k/0.6^2 = 2.8k$ 이다. 로봇이 (m, n+5)로 이동한 후의 repulsive force의 크기는 $|F_{m,n}| = k/0.5^2 =$ 이다. 변화율이 42%나 되어, 로봇의 steering control에 있어서 fluctuation이 일어나게 된다. 이러한 현상은 로봇이 좁은 통로를 이동할 때 발생하게 된다. 로봇이 통로의 중심선을 따라가는 경우는 안정적이거나, 중심으로부터 한쪽으로 기울었을 때는 한쪽 벽으로부터 강한 repulsive force를 받게 되어 로봇의 경로가 불안정하게 된다.

2.2 Vector Field Histogram(VFH)

VFH은 Virtual Force Field(VFF)의 단점을 보완하기 위해서 만들어 졌다.

VFH는 2단계로 이루어진 자료 간략화(two data reduction)가 있다.

첫 번째 단계는 histogram grid(C)의 active region(C)을 polar histogram(H)로 다음과 같이 바꿔준다. 먼저, histogram grid의 모든 active cell의 값을 obstacle vector로 사용하고, 방향(β)은 현재 로봇의 중심좌표(Vehicle Center Point)를 기준으로 결정된다.

$$\beta_{i,j} = \tan^{-1} \left(\frac{y_j - y_0}{x_j - x_0} \right) \quad (1)$$

$$m_{i,j} = (c_{i,j}^*)^2 (a - b d_{i,j}) \quad (2)$$

여기서,

a, b : Positive constants

$c_{i,j}^*$: Certainty value of active cell(i,j)

$d_{i,j}$: Distance between active cell(i,j) and the VCP

$m_{i,j}$: Magnitude of the obstacle vector at cell(i,j)

x_0, y_0 : Coordinates of active cell(i,j)

$\beta_{i,j}$: Direction from active cell(i,j) to the VCP

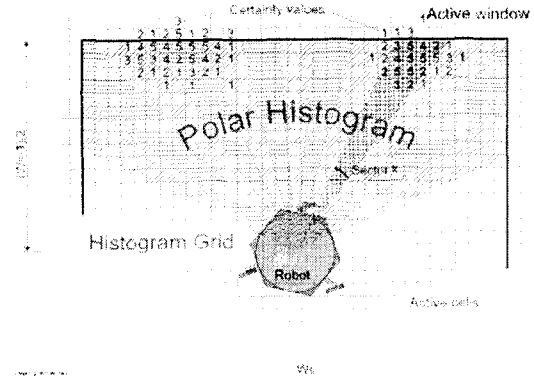


Fig.1 Mapping of active cells onto the polar histogram

$c_{i,j}^*$ 는 시각영역이며, $m_{i,j}$ 는 $-d$ 에 비례한다. 그래서 장애물이 로봇에 가까울수록 $m_{i,j}$ 는 큰 값을 갖게 된다. 그리고 가장 멀리 떨어진 active cell의 $m_{i,j}$ 는 0이 된다.

d_{max} 는 active cell과 로봇의 중심(VCP)에서 가장 먼 거리를 나타내며, $a - b d_{max} = 0$ 이다. 로봇의 중심을 기준으로 5 간격으로 전 방향을 나누고 각 섹터는 $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ($n=72$)라고 하자. 그리고 각 섹터에 대한 polar obstacle density는 h_k 라하고, 다음과 같이 계산한다.

$$h_k = \sum_{i,j} m_{i,j} \quad (3)$$

그리고 이렇게 각 섹터 별로 계산된 POD(Polar Obstacle Density)에 임계값(threshold)을 적용하여 안전영역(safe area)와 비 안전 영역(unsafe area)으로 나눈다(Fig.2).

이렇게 두 가지 영역으로 나누게 되면, 두 개 이상의 안전영역이 나오게 되는 경우가 발생하게 되는데, 이런 경우는 목표점에 가장 가까운 방향의 영역을 선택하도록 한다. 그리고 선택된 영역이 로봇이 통과할 수 있을 만큼의 공간인지를 판단하고, k_f (far border)와 k_n (near border)를 정한다.

이렇게 k_f 와 k_n 이 정해지면 로봇이 진행해야 할 방향 θ_{max} 를 계산한다(Fig.3).

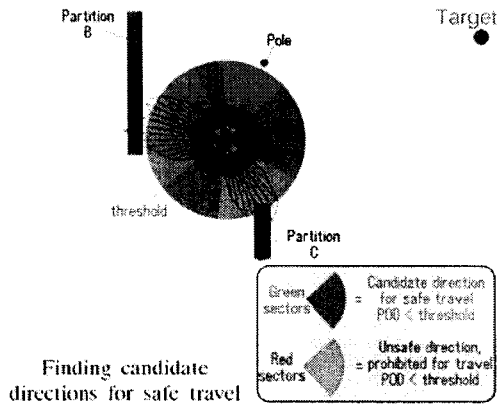


Fig. 2 A threshold on the polar histogram determines the candidate directions for subsequent travel.

$$\theta_{steer} = \frac{(k_n + k_f)}{2} \quad (4)$$

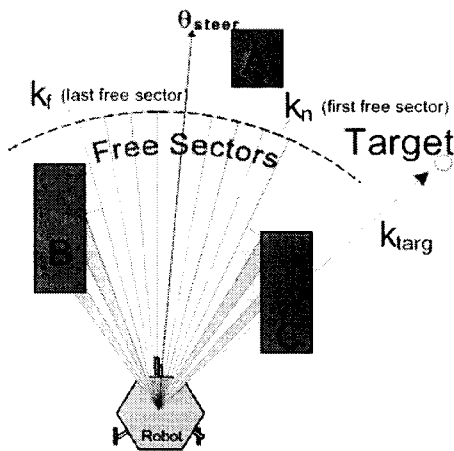


Fig. 3 Finding the steering reference direction θ when k_{targ} is obstructed by an obstacle

3. 실험

시뮬레이션을 하기 위해서 모델이 된 로봇은 UWA(University of Western Australia)의 CIIPS(Centre for Intelligent Information Processing System) Lab에서 개발된 Eyebot이다.

시뮬레이션 프로그램(Fig.4)은 Visual C++로 개발되었으며, 3차원으로 테스트하기 위해서 OpenGL을 사용하였다.

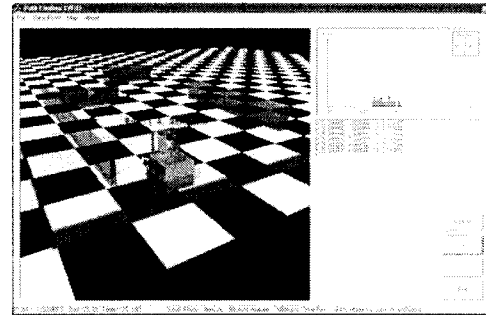


Fig. 4 Simulation program

Fig.4의 오른쪽 위의 창은 로봇의 현재 위치에서의 POD(Polar Obstacle Density)를 표시하도록 하였다.

OpenGL⁽⁶⁾상의 로봇의 렌더링은 3D-Max에서 모델링을 한 후 MD2파일로 변환하여 읽어 들이는 방법을 사용하였다.

실험은 로봇의 출발점과 목표점을 정하고, 로봇의 경로를 보도록 하였다. 장애물의 배치는 Fig.6와 같이 장애물을 많이 위치시켰다. Fig.6의 반투명화 부분은 로봇이 지나온 경로를 표시하고 있다. Fig.6에서 보듯이 로봇은 목표점까지 잘 이동하는 것을 알 수 있다.

Fig.7은 기존의 장애물 회피 이론인 VFH에서 통과하지 못하는 장애물의 형태인 출입구 모양이다. 하지만 VFH를 적용한 경우는 Fig.7에서 보듯이 잘 통과하는 것을 알 수 있다.

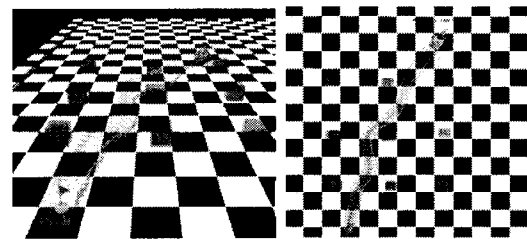


Fig. 6 Result of experiment(1)

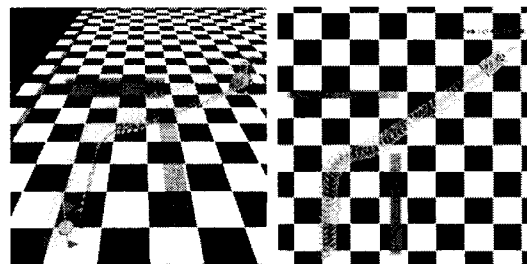


Fig. 7 Result of experiment(2) - Doorways

4. 결론

VFH는 목표점까지 최적의 경로⁽⁷⁾를 찾는 방법이 아니라 빠른 속도로 이동하는 로봇을 위한 적합한 방법이다. 또한 장애물을 통과함에 있어서 멈추지 않는 장점이 있다. 또한 기존의 이론들^(1,3)에서 해결하지 못한 출입구 형태나, 복도에서도 잘 이동하는 것을 알 수 있었다. 하지만, VFH 역시 local minimum는 빠져 나오지 못하였다.

참고문헌

1. Borenstein, J. and Koren, Y., "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No. 5, sept/Oct 1989, pp. 1179-1187.
2. Elfes, A., "Using Occupancy Grids for Mobile Robot Perception and Navigation." Computer Magazine, June, pp. 46-57 1989
3. Moravec, H.P. and Elfes, A., "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar." IEEE Conference on Robotics and Automation, Washington D.C., 1985, pp.116-121.
4. Moravec, H.P., "Sensor Fusion in Certainty Grids for Mobile Robots." AI Magazine, Summer 1988, pp.61-74.
5. Borenstein, J. and Koren, Y., 1991, "The Vector Field Histogram -- Fast Obstacle-Avoidance for Mobile Robots." IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 7, No. 3., June 1991, pp. 278-288
6. Andre LaMothe, "OpenGL Game Programming", pp.626-675, 2001
7. Borenstein, J. and Koren, Y., "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No. 5, Sept/Oct 1989, pp.1179-1187
8. Khatib, O., "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots." 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation St. Louis, Missouri, March 25-28, 1986, pp. 500-505.