VFH(Vector Field Histogram)

VFH를 이용한 장애물 회피

생기원 양광웅 작성

(J. Borenstein의 논문 The Vector Field Histogram – Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots;
Thomas Hellstrom의 논문 Path Tracking and Obstacle Avoidance Algorithms for Autonomous
Forest Machines 참조)

VFH는 Virtual Force Field(VFF) 방법을 기반으로 하고있다. VFF의 몇 가지 단점을 극복하기 위해
VFH가 만들어졌다.

Creation of the Local Map

Local Map은 로봇을 중심으로 로봇 주변의 장애물을 기록하는 격자지도다. 격자지도의 크기는 33
x 33 셀이며 하나의 셀은 10cm x 10cm 크기를 가진다.

Creation of the Polar histogram

그리드 맵의 활성 영역 내의 각 셀 $C_{i,j}^*$ 로부터 obstacle vector를 만든다. 이 벡터의 방향($\beta_{i,j}$)과
크기($m_{i,j}$)는 다음과 같이 계산한다.

$$\beta_{i,j} = \tan^{-1} \frac{y_j - y_0}{x_i - x_0}$$

$$m_{i,j} = (C_{i,j}^*)^2 (a - bd_{i,j})$$

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2}$$

a, b - positive constants

$C_{i,j}^*$ - Certainty value of active cell (i,j)

x_0, y_0 - current coordinates of the VCP(Vehicle Center Point)

x_i, y_j - Coordinates of active cell (i,j)

a, b 는 $a - bd_{max} = 0$ 를 만족하도록 설정한다.

장애물이 Polar histogram의 어느 섹터에 속하는지를 계산한다.

$$k = \text{INT} \left(\frac{\beta_{i,j}}{\alpha} \right)$$

여기서 α 는 한 섹터의 해상도다. 프로그램에서는 $\alpha = 1$ 로 적용되었다. 각각의 섹터 k 에서 POD(Polar Obstacle Density)는 다음과 같이 계산한다.

$$h_k \leftarrow \max(m_{i,j}, h_k)$$

Smoothed Polar Histogram

인접한 각 섹터의 장애물 정보를 고려하여 Polar histogram을 완만하게 만든다.

$$h'_k = \frac{h_{k-l} + 2h_{k-l+1} + \dots + lh_k + \dots + 2h_{k+l-1} + h_{k+l}}{2l+1}$$

h'_k 는 Smoothed Polar Obstacle Density가 된다. 프로그램에서는 $l = 25$ 로 적용되어 있다.

Find Steering Direction

Smoothed polar histogram에서 로봇의 목적지 방향과 가장 근접한 골짜기를 찾는다. 여기서 두 가지 경우가 있을 수 있다. 우리가 설정한 골짜기의 최대 넓이 s_{max} 보다 넓거나 좁은 경우다. (여기서 $s_{max} = 90$ 으로 설정되어있다.)

골짜기에서 로봇의 목적지 방향에 가까운 섹터를 k_n , 먼 섹터를 k_f 이라 할 때, $|k_f - k_n| > s_{max}$ 인 경우, 먼 섹터는 $k_f = k_n \pm s_{max}$ 로 제한된다. Steering direction은 다음과 같이 계산된다.

$$\theta = \frac{k_n + k_f}{2} \alpha$$

Speed Control

로봇의 각속도는 로봇의 현재 방향(θ_R)으로부터 로봇이 가고자 하는 방향(θ)의 차에 비례하게 계산한다.

$$\Omega = K_\Omega (\theta_R \ominus \theta)$$

여기서 K_Ω 는 비례 상수이고, 연산자 $\ominus$ 는 $-180^\circ \sim 180^\circ$ 사이의 값을 가지도록 두 각도의 최단 각도 차를 계산한다.

로봇의 전진 속도는 로봇 앞의 장애물에 의해 제한 받는다. 즉, 로봇이 진행하고자 하는 방향(Steering direction; θ)에 있는 Smoothed polar obstacle density의 섹터의 값 h'_c 에 따른다.

$$V' = V_{max} \left(1 - \frac{h_c''}{h_m} \right)$$

$$h_c'' = \min(h_c', h_m)$$

여기서 h_m 은 경험적으로 결정된 상수다. 하지만 $h_c'' < h_m$ 를 만족해야 한다.
전진 속도는 로봇의 각속도 Ω 에 의해 다시한번 제한된다.

$$V = V' \left(1 - \frac{\Omega}{\Omega_{max}} \right) + V_{min}$$

Ω_{max} - 로봇의 최대 각속도

V_{min} - 로봇의 최소 전진 속도

V_{max} - 로봇의 최대 전진 속도