단일 카메라를 이용한 VFH 기반의 실시간 주행 기술 개발

조장원*, 주진선*, 고은정*, 김은이*
*건국대학교 신기술융합학과 iIT
e-
mail : jangwon@konkuk.ac.kr, vocaljs@konkuk.ac.kr, rritty33@konkuk.ac.kr, eykim@konkkuk.ac.kr

Real Time Monocular Navigation using VFH

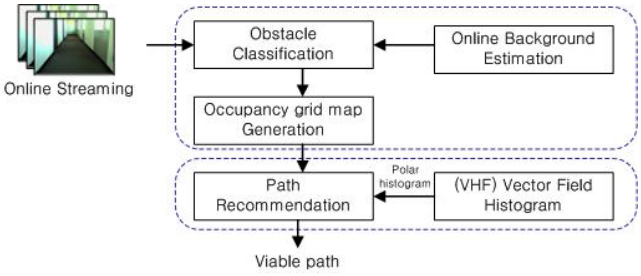
Jang-won Jo *, Jin Sun Ju*, Eunjeong Ko*, Eun Yi Kim*
*Dept. of Advanced Fusion Technology iIT, Konkuk University

요 약

본 논문에서는 단일 카메라로부터 주어진 영상을 실시간으로 장애물과 비장애물 영역으로 분류한 후 VFH 를 이용하여 안전한 경로를 선정하는 실시간 주행 시스템을 개발한다. 제안된 시스템은 점유 그리드맵 생성기와 VFH 기반의 선정기로 구성된다. 점유 그리드맵 생성기는 입력된 320×240 영상의 색조와 명도 정보를 이용하여 실시간으로 배경과 장애물 영역을 분류하고, 이를 바탕으로 위험도에 따라 10 개의 그레이 레벨을 가지는 32×24 의 점유 그리드맵을 생성한다. VFH 를 이용하여 폴라 히스토그램을 작성한 후 밀도가 낮은 곳으로 주행 경로를 결정 한다. 제안된 기술의 효율성을 증명하기 위하여 다양한 형태의 장애물을 포함하는 실내 및 실외 환경에서 평가하였으며 센서 기반의 그 결과는 기존의 센서기반의 주행시스템과 비교 되었다. 그 결과 제안된 시스템은 88%의 정확도를 보였으며, 기존의 시스템보다 실시간으로 빠르고 안전한 주행을 수행할 수 있음이 증명되었다.

1. 서론

실제의 다양한 환경에서 장애물을 자동으로 감지하고 회피할 수 있는 주행 시스템은 이동로봇뿐만이 아니라 장애인을 위한 이동 보조 기기 분야 에서도 많은 관심을 받으며 개발 되고 있다[1]. 장애인을 위한 이동 보조 기기분야에서는 장애인의 인지 장애 및 운동 장애를 보완하여 안전한 이동을 제공하는 내비게이션 기술이 필수적이다[2]. 즉, 보행자 및 시설을 비롯한 여러 가지 장애물과의 충돌을 막고 안전하게 이동할 수 있도록 돕는 자동 내비게이션은 장애인을 위한 이동 보조 장치에 중요하다. 따라서 지금까지 많은 내비게이션 기술이 개발되어 왔으며, 이들은 크게 센서 기반 주행 시스템과 비전 기반의 주행 시스템으로 분류된다. 센서 기반의 주행 시스템은 적외선, 초음파 센서와 같은 거리 센서를 이용하여 장애물과의 거리를 인식하고 센서를 통해 얻어진 거리 정보를 기반으로 VFH(Vector Field histogram)를 이용하여 주행 경로를 선정한다[3]. VFH 는 일반적으로 센서로부터 얻어진 거리 정보를 바탕으로 폴라 히스토그램을 생성하여 빠르고 효율적으로 회피방향을 선정 하는 방법으로 쉽게 구현이 가능하다. 하지만 센서가 측정한 정보에 의존하여 히스토그램을 생성하기 때문에 다양한 환경에서 정확한 장애물 인식을 위해서는 많은 개수의 센서 및 장거리 인식이 가능한 고가의 센서를 필요로 한다. 이는 센서간의 간섭뿐만 아니라 계산 비용의 증가를 야기시킨다[4]. 따라서 이에 대한 대안으로 최근 비전 기반의 자동주행 시스템이 많은 관심을 받고 있다[3]. 바닥으로부터 돌출된 거리를 기반으로 장애물을 인지하는 센서기반의 시스템과는 달리 비전기반의 시스템은 바닥과의 외형정보의 차이, 즉 배경 컬러 및 텍스쳐를 이용하여 장애물을 감지한다. 따라서 비전기반시스템들은 보다 작거나 평평한 형태의 장애물을 감지 할 수 있다. 하지만 배경영상의 사전 학습과 복잡한 계산을 필요로 한다. 따라서 본 논문은 온라인 배경모델 학습과 VFH 기반의 경로 선정 방법을 이용하여 다양한 환경 및 장애물 타입에 강건한 실시간 주행 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 하나의 카메라를 이용하며 점유 그리드맵 생성기와 VFH 경로 선정기로 구성된다. 그림 1 은 제안된 시스템의 구조를 보여준다.



(그림 1) 제안된 시스템의 개요

2. 점유 그리드맵 생성기

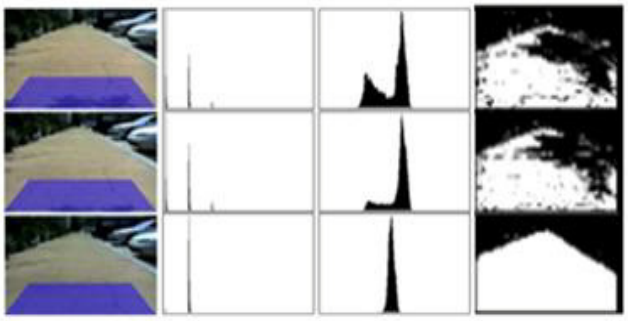
점유 그리드맵 생성기는 카메라로부터 입력 받은 영상에서 자동으로 배경과 장애물 영역을 분류하고, 분류된 결과를 기반으로 위험도에 따라 10 개의 그레이 레벨을 가지는 점유 그리드맵을 생성한다.

2.1. 실시간 배경 분류

배경 분류기는 실시간으로 입력된 320×240 영상이 포함하고 있는 잡음들을 가우시안 함수를 이용하여 제거하고, 사다리꼴 모양의 참조영역을 추출하여 배경모델을 생성하여 장애물과 배경을 분류한다. 배경과 장애물을 분류하기 위해 사다리꼴의 참조 영역을 추출하여 배경 모델을 생성한다. 이 때, 참조영역 내에 존재하는 화소 들의 색조(Hue)와 명도(Intensity)값을 이용하여 히스토그램을 작성한다. 배경모델과 입력 영상은 아래의 식에 따라 비교되어 최종적으로 배경 영역은 흰색, 장애물 영역은 검정색인 이진 영상을 작성한다.

$$M_t = 1 \quad if\ |H_B(i) - H_t(i)| \le T_H\ and\ |I_B(i) - I_t(i)| \le T_I$$
$$M_t = 0 \quad otherwise \qquad (1)$$

여기서 T_H 와 T_I 는 색상과 명도의 임계 치이며 실험을 통해 60 과 80 으로 정의하였다. 그림 2(a)는 입력 이미지와 참조영역을 보여주며 그림 2(b)와 (c)는 배경 모델의 색상과 명도의 히스토그램을 보여준다. 그림 2(d)는 최종적으로 배경영역과 장애물 영역을 분류한 결과를 보여준다. 그림 2(d)에서 흰색 영역은 배경, 검정색 영역은 장애물을 나타낸다.

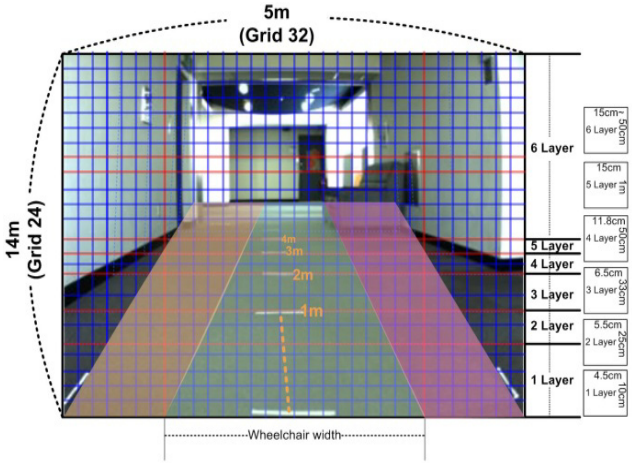


(a) (b) (c) (d)

(그림 2) 배경과 장애물 분류 결과 (a)입력영상 (b) 색조 히스토그램 (c) 명도 히스토그램 (d) 배경 분류 결과

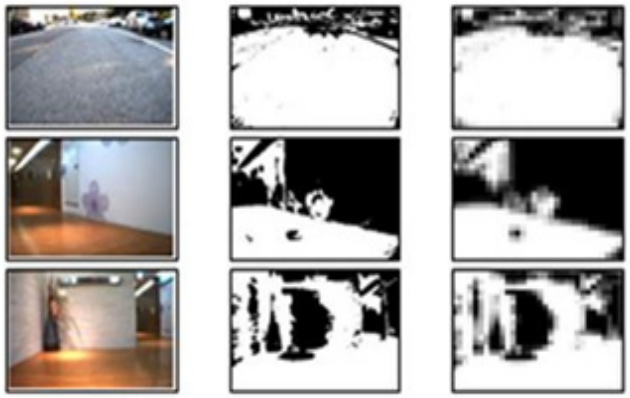
2.2. 점유 그리드맵 맵핑

점유 그리드맵은 배경과 장애물 영역의 분류 결과를 32×24 개의 셀로 나눈 것으로 각 셀은 위험도에 따라 10 개의 그레이 레벨로 표현된다. 이를 위해 제안된 방법에서는 카메라의 화각을 기반으로 그리드 맵을 정의하였다. 제안된 시스템에서 사용된 카메라는 실제 환경에서 120 도의 화각을 가지며, 14m×50m 의 촬영 범위를 가진다. 그림 3 은 카메라의 화각을 기반으로 정의된 격자 맵을 보여준다.



(그림 3) 카메라 화각을 기반으로 정의한 그리드맵

배경 영역과 장애물 영역의 분류 결과는 점유 그리드맵 맵핑 단계를 통해 위험도에 따라 10 개의 그레이 레벨을 가지는 점유 그리드맵으로 변환 된다. 각 그레이 레벨은 1/10×(# 장애물 화소로 분류된 픽셀 개수)에 의해 정해지며, 그레이 레벨 값이 높을수록 더 위험한 셀로 간주된다.



(a) (b) (c)

그림 4) 점유 그리드맵 결과 (a)입력영상 (b) 장애물 분류 결과 (c) 10 level 점유 그리드맵 생성 결과

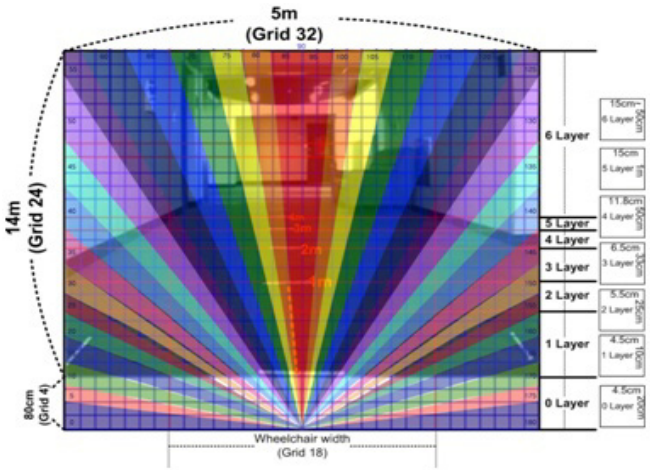
3. VFH 기반의 경로 선정기

제안된 시스템에서는 경로 선정을 위해 VFH 를 이용하고 이를 위해 그림 5 와 같은 마스크를 정의 한다. 그 후 정의된 섹터 마스크와 생성된 점유 그리드맵과 맵핑되어 폴라 히스토그램을 생성한다. 생성 방법은 다음과 같다.

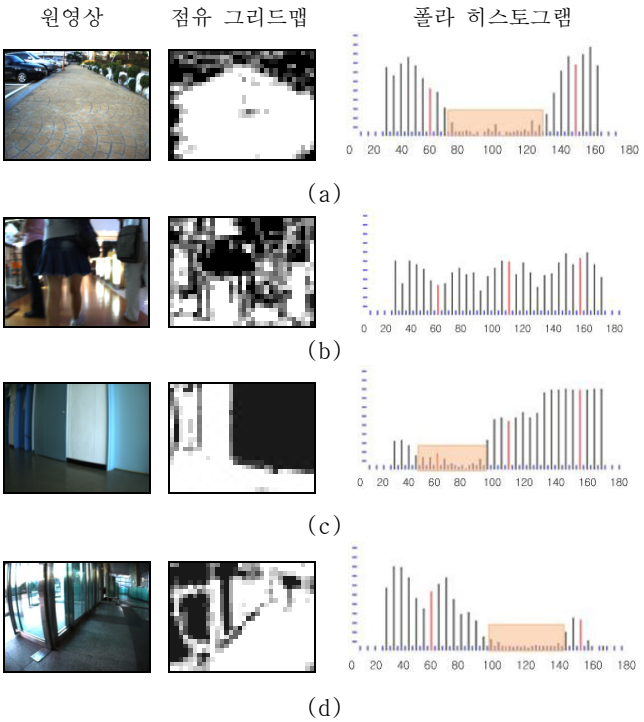
① 각 섹터(i) 에 분포 된 점유 그리드맵의 셀을 위험도에 따라 누적한다.
② 폴라 히스토그램 PH(i)에서 valley 와 peak 를 검색 한 후 그 분포에 따라 방향이 결정된다.

직진	if 70≤i< 110
좌회전	if 5≤i< 75
우회전	if 100< i≤175
정지	otherwise

30 개의 각각의 섹터들은 해당 섹터에 포함되는 장애물의 위험 정도를 의미하는 극 장애물 밀도 값 (POD, polar obstacle density)를 가지며, 이 값을 통해 폴라 히스토그램을 생성한다. 폴라 히스토그램에는 높은 POD 값을 가지는 섹터들의 집합인 Peak 와 낮은 POD 값을 가지는 섹터들의 집합인 valley 가 존재한다. 히스토그램에 valley 가 분포하는 따라 경로를 선정하게 되고 valley 의 특징이 없을 경우 정지의 경로 선정을 한다.



(그림 5) 점유 그리드맵 기반 폴라 히스토그램 생성을 위해 정의된 섹터 마스크



(그림 6) 방향 별 폴라 히스토그램 특징 (a)직진 (b) 정지 (c) 좌회전 (d) 우회전

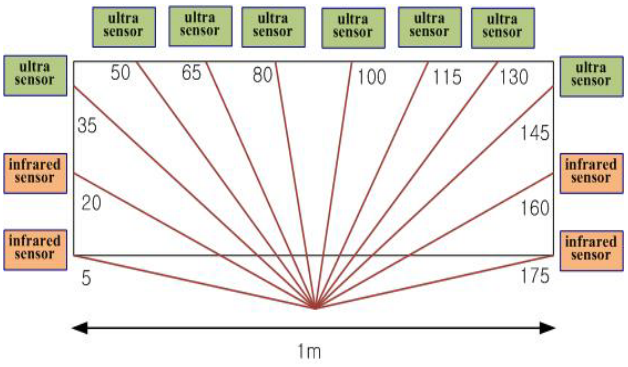
그림 6 은 정의된 섹터마스크를 점유 그리드맵과 맵핑 시킨 폴라 히스토그램 결과 이다. 각각의 valley 분포에 따라 그림 6(a)는 직진, 6(c) 는 좌회전, 6(d)는 우회전의 경로를 선정하게 되고 6(b) 에서는 valley 의 특징 점이 없기 때문에 정지의 경로 선정을 하게 된다.

4. 실험

제안된 방법의 효율성을 평가하기 위하여 일반적인 거리 기반 센서를 이용한 VFH 방법과 제안된 방법을 비교한다. 이를 위해 두 가지 실험이 설계되었다. 첫 번째 실험은 다양한 형태, 크기, 색상을 가지는 장애물 검출 실험으로, 동일한 실험 환경에서 제안된 방법과 센서 기반의 방법의 성능을 비교 하였다. 두 번째 실험은 실제 환경에서 주행 할 시 실시간으로 얼마나 빠르고 효율적으로 장애물을 회피하여 주행 할 수 있는지 비교 한다.

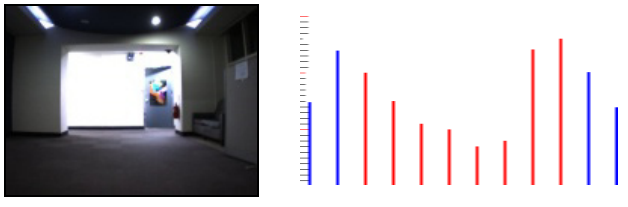
4.1. 정확도 측정

다양한 장애물 검출의 정확도를 비교 하기 위해 제안된 방법과 센서기반의 VFH 를 이용하였다. 일반적인 거리 센서기반의 VFH 를 구현하기 위하여 초음파센서 8 개와 적외선 센서 4 개를 5°~175° 사이에 15° 간격으로 분할하여 그림 7 과 같이 센서를 배치하였다. 각각의 초음파 센서의 감지거리는 5400mm 이고 적외선 센서는 550mm 이다.



(그림 7) 센서 기반의 폴라 히스토그램 생성을 위해 정의된 센서 위치

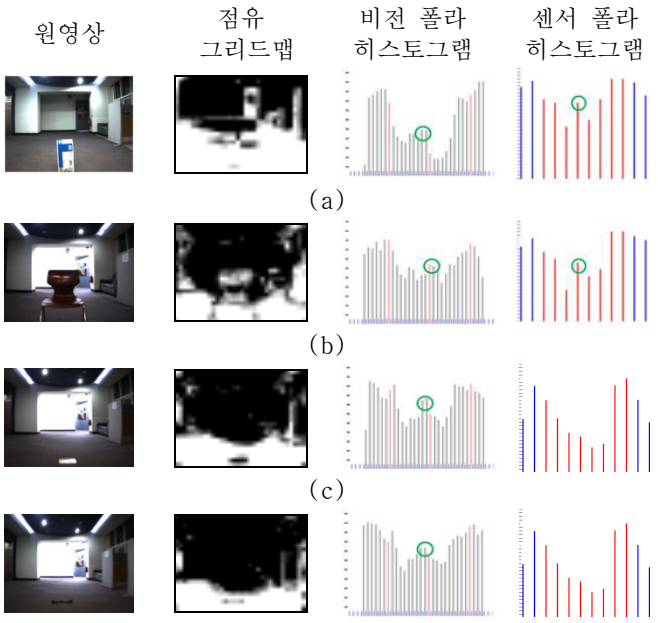
그림 8 은 거리 센서가 측정한 일반적인 직진 상황의 폴라 히스토그램을 보여준다. 그림 8(b)의 각 히스토그램 값은 12 개 센서의 POD 값을 나타낸다.



(a) (b)

(그림 8) 거리센서가 측정한 일반적인 직진상황의 예 (a) 원영상, (b) 히스토그램 결과

제안된 방법의 장애물 검출 정확도를 증명하기 위해 크기가 다양한 장애물로 실험하였다. 장애물은 돌출된 형태의 장애물과 중간이 비어있는 장애물, 작고 평평한 장애물, 작고 가는 장애물 네 가지를 이용하였다. 그림 9 는 제안된 방법과 센서를 이용한 폴라 히스토그램의 비교 결과를 보여준다.



(그림 9) 장애물 종류 별 폴라 히스토그램 생성 결과 (a) 돌출된 형태의 장애물 (b) 중간이 비어있는 장애물 (c) 작고 평평한 장애물 (d) 작고 가는 장애물

다양한 장애물에 대해서 제안된 방법과 센서 기반의 방법을 실험한 결과 돌출된 형태의 장애물의 경우 제안된 방법과 센서기반의 VFH 방법 모두 장애물 검출을 하였고 비슷한 폴라 히스토그램을 보였다. 그림 9 의 폴라 히스토그램 결과에서 녹색으로 표시된 부분이 장애물을 검출한 결과이다. 그림 9 (b)의 경우 중간이 비어 있는 장애물은 제안된 방법으로 검출이 되었지만 센서 기반의 방법은 정확하게 검출하지 못하였다. 그림 9(c)와 9(d)에서 보이는 것처럼 제안된 방법은 센서가 감지 하지 못하는 작은 장애물에 대해서도 정확한 검출을 수행하였다.

평균적으로, 제안된 방법은 다양한 종류의 장애물을 센서 기반의 방법보다 정확하게 검출 하였으며 88%의 정확도를 보였다.

따라서 실험 결과는 제안된 방법이 기존의 시스템보다 보다 정확하게 다양한 형태의 장애물을 감지하고, 안전한 회피 경로를 생성할 수 있음을 증명하였다.

4.2. 효율성 측정

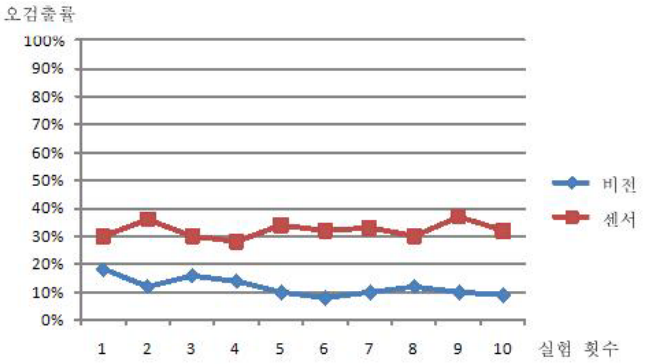
제안된 방법이 실제 환경에서 실시간으로 빠르고 효율적으로 사용 할 수 있는지 측정하기 위하여 제안된 방법과 센서기반의 방법의 모듈 별 처리 시간과 실제 주행 시 장애물의 오 검출 율을 비교 하였다. 이 실험을 위해 Notebook HPDV6700 Pentium Dual core 1.9GHz, 2GB Memory 와 Dragonfly CCD 카메라를 사용하였으며, 320×240 영상을 12 frame/sec 로 받아 처리 하였다.

표 1 은 제안된 방법과 센서 기반방법의 처리 시간을 비교한 결과이다.

<표 1> 장소에 따른 모듈 별 처리 시간 (ms)

모듈 / 방법	제안된 방법		센서 기반 방법	
장소	홀	복도	홀	복도
장애물 검출	82	82	296	282
VFH 생성	0.027	0.027	0.45	0.45
평균	83	83	297	283

모듈 별 처리 시간을 측정한 결과 제안된 방법은 장소에 영향을 받지 않고 평균 83ms 로 처리 하였지만 센서 기반의 방법은 넓은 장소의 경우 처리 시간이 약 15ms 느렸다. 이 실험을 통해 여러 개의 센서를 이용하여 방향을 선정하는 방법이 제안된 방법보다 3 배의 처리시간이 더 소요 되었다. 따라서 제안된 시스템이 센서 기반의 방법보다 실시간으로 효율적인 주행 경로 선정을 수행함을 알 수 있었다.



(그림 10) 장애물 오검출률 결과

그림 10 은 제안된 방법과 센서 기반의 방법이 실제 환경에서 안전하게 주행 할 수 있는지 비교하기 위해 장애물의 오 검출률 측정 결과이다.

실험 결과 제안된 방법이 센서 기반의 방법 보다 오 검출률이 약 20% 낮았다. 따라서 제안된 방법이 실제 환경에 적용 되었을 때 다양한 형태적 특징을 가지는 장애물들을 빠르고 정확하게 검출함으로써, 안전한 주행을 수행 할 수 있음을 증명 하였다.

참고문헌

[1] Ju. et al, "Vision-based interface system for hands free control of an Intelligent Wheelchair," JNER, Vol.6, 2009

[2] DeSouza. et al, "Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey," IEEE Trans. on PAMI, Vol.24, No.2, 2002

[3] Levine. et al, "The NavChair Assistive Wheelchair Navigation System," IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering, Vol.7, No.4, 1999

[4] Ju. et al, "EYECane: Navigating with camera embedded white cane for visually impaired person," Eleventh International ACM SIGACCESS, 2009