
지능형 휠체어를 위한 하이브리드 내비게이션 시스템

A Hybrid Navigation System for Intelligent Wheelchair

고은정, Eunjeong Ko*, 주진선, Jin Sun Ju**, 김은이, Eun Yi Kim***

요약 본 논문은 지능형 휠체어의 장애물 감지 및 회피를 위한 하이브리드 내비게이션 시스템을 제안한다. 하이브리드 내비게이션 시스템은 센서정보와 비전 정보를 통합하여, 다양한 종류의 장애물을 강건하게 검출하고 휠체어가 안전한 길로 이동할 수 있도록 경로를 선정하는 시스템이다. 이를 위해 지능형 휠체어에 2개의 초음파센서와 8개의 적외선 센서, CCD 카메라를 부착하였다. 이로부터 들어온 센서정보와 실시간 영상을 이용하여 제안된 시스템은 다양한 장애물들을 감지할 수 있었고 최적의 경로를 선정할 수 있었다. 제안된 하이브리드 내비게이션 시스템의 효율성을 증명하기 위하여 다양한 환경에서 장애물들이 설치된 장소에서 실험한 결과 제안된 시스템은 사용자의 안전한 이동성을 제공할 수 있음을 보여주었다.

Abstract In this paper, we propose hybrid navigation system, for obstacle detection and avoidance in Intelligent wheelchairs (IWs). To robustly detect obstacles and avoid them on various environments, hybrid navigation system combines both range-sensor and camera information. For this, 10 range-sensors (2 ultrasonic and 8 infra-red sensors) and CCD camera are used. Through processing the informations obtained from those sensors, our system can detect obstacles with various sizes and shapes, and then avoid them. To assess the effectiveness of the proposed hybrid navigation system, it was tested on complex environments including various obstacles, then the results showed the potential of our system as mobility aids for disabled people.

핵심어: *Intelligent Wheelchair, Hybrid Navigation, obstacle detection, path finding*

*주저자 : 건국대학교 신기술융합학과 iIT전공 석사과정 e-mail: rritty33@konkuk.ac.kr

**공동저자 : 건국대학교 신기술융합학과 iIT전공 박사과정 e-mail: vocaljs@konkuk.ac.kr

***교신저자 : 건국대학교 신기술융합학과 iIT전공 부교수 e-mail: eykim@konkuk.ac.kr

1. 서론

일반적인 전동 휠체어는 노인 및 장애인의 이동성을 제공한다. 이러한 전동 휠체어는 사용자의 장애 등급, 유형에 맞춘 지능적인 휠체어(intelligent wheelchair: IW)의 형태로 발전하고 있다. 지능형 휠체어란 일반적인 전동 휠체어에 센서나 컴퓨터를 추가하여 지능적으로 동작하도록 만든 휠체어로서, 지능형 인터페이스와 자동 내비게이션 기술을 필요로 한다. 지능형 인터페이스는 사용자의 부족한 신체 능력을 보완하여 쉽게 제어할 수 있도록 도와준다[2]. 이러한 인터페이스를 이용하는 사용자는 신체의 장애로 인한 순발력 및 인지능력의 부족으로 갑작스러운 위급상황에 대처하지 못하는 경우가 생긴다. 따라서 이들의 안전성을 위해 센서나 카메라 등의 보조 장치를 이용하여 자동으로 장애물을 감지하고 회피할 수 있는 내비게이션의 기술 개발이 필수적이다 [1]. 지금까지 개발된 대부분의 내비게이션 기술은 적외선, 초음파 센서 등의 거리센서를 기반으로 하여 장애물을 감지한다. 이러한 거리 센서 기반 내비게이션들은 어떠한 센서를 사용 하는지에 따라 다른 결과를 보이지만, 대체로 장애물의 감지 거리가 한정되어 있고, 더욱이 완벽한 장애물 감지 및 안전한 주행 경로를 선정하기 위해 많은 개수의 센서를 필요로 한다. 많은 개수의 센서는 센서간의 간섭을 일으키며, 처리 속도에 영향을 끼친다. 또한 작거나 평평한 특징을 가지는 장애물을 감지하지 못하며, 센서의 종류에 따라 사용할 수 있는 환경에 제약을 가진다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 비전 기반의 내비게이션 시스템이 개발 되었다. 비전 기반의 내비게이션 시스템들은 센서 기반의 내비게이션이 감지 할 수 없는 작거나 평평한 장애물을 감지 할 수 있지만, 카메라가 포함하지 않는 범위의 장애물은 감지 할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해 모든 주변

을 포함 하도록 제작된 특수한 카메라를 사용 한다. 이러한 특수 카메라를 통해 들어온 정보들은 통합되어 처리하는데 많은 시간이 걸리며, 개발 비용이 비싸다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하는 하이브리드 내비게이션 시스템을 개발 한다. 제안된 시스템의 목적은 센서 정보와 비전 정보를 동시에 사용하여, 기존의 단일 내비게이션들이 가지는 문제점들을 상호 보완하여, 다양한 종류의 장애물을 강건하게 검출 하고, 안전한 방향으로 휠체어의 경로를 선정함으로써, 사용자의 안전성을 확보하는 내비게이션을 개발 하는 것이다. 제안된 시스템의 전체적인 구조는 그림1에서 보여 진다. 제안된 시스템은 배경 분류기, 그리드 기반의 Supervisory 제어기, 경로 탐색기, 휠체어 제어기로 구성된다. 배경 분류기는 실시간 영상을 입력받아 장애물 영역과 배경 영역의 이진 영상으로 분류 하고, 분류된 결과는 그리드 기반의 Supervisory 제어기에서 미리 정의된 그리드 맵으로 매핑 하여 장애물의 거리 및 위치 정보를 추정한다. 추정된 비전 정보는 경로 탐색기에서 센서 정보와 통합하여 최종 회피 경로를 선정한다. 이러한 최종 경로는 휠체어 제어기로 들어가 데이터수집보드를 통해 휠체어 모터를 제어함으로써, 휠체어 움직임을 제어한다.

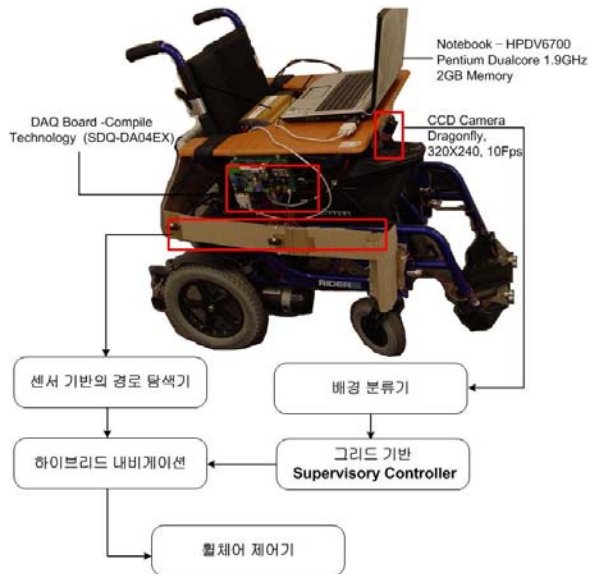


그림1. 제안된 시스템의 구성도

2. 하이브리드 내비게이션

2.1 배경 분류기

배경 분류기는 실시간으로 입력된 영상을 통해 배경모델을 학습하고, 이를 이용하여 배경과 장애물 영역으로 분류한다. 이를 위해 제안된 시스템은 장소 및 조명 변화에 적응시키기 위한 배경모델 학습단계와 배경영역과 장애물 영역으로 분류하기 위한 장애물 분류 단계로 나뉜다.

2.1.1. 배경모델 학습

배경모델 학습 단계는 갑작스러운 장소 및 조명의 변화에도 정확하게 배경영역과 장애물 영역을 분류하기 위해 배경모델을 학습한다.

배경 모델을 학습하기 위해서는 제일 먼저 입력 영상이 포함하고 있는 잡음들을 가우시안 함수를 이용하여 제거한다. 잡음이 제거된 영상을 배경과 장애물 분류에 이용하기 위해 참조 영역을 추출 하며, 참조 영역은 실험을 통해 50cm의 사다리꼴 형태로 정하였다. 이러한 참조 영역 내의 색상과 명도 값으로 히스토그램을 작성하고, 작성된 히스토그램을 배경데이터로 이용하여 후보 큐(Queue)에 하나의 노드로 삽입하고, OR연산을 통해 후보 큐에 각 노드들의 배경 데이터를 통합하여 배경 모델을 생성한다.

그림 2(a)는 가우시안 함수를 이용하여 잡음이 제거된 영상을 보여주며, 그림2(b)는 배경을 분류하기 위한 참조영역을 추출한 결과를 보여준다.



그림2. 참조영역 추출 결과 (a) 잡음제거 영상, (b) 참조영역 추출 영상

2.1.2. 장애물 분류

장애물 분류 단계는 장애물 학습단계에서 얻어진 배경모델과 입력영상의 화소의 색상과 명도 값을 비교하여 배경영역은 검은색, 장애물 영역은 희색인 이진 영상을 작성한다. 장애물 분류를 위한 임계값은 실험을 통해 결정하였으며, 장애물 분류를 위한 판별 조건은 아래와 같다.

$$\begin{cases} O_t(i,j) = 1 & \text{if } H_{hue}(G_t(i,j)) < T_1 \text{ OR } H_{in}(G_t(i,j)) < T_2 \\ O_t(i,j) = 0 & \end{cases}$$

비교 조건에서 G_t 는 잡음이 제거된 입력 영상이고, H_{hue}, H_{in} 는 배경모델의 색상 및 명도 히스토그램이며, T_1, T_2 는 임계값을 의미한다. 입력영상에 매핑되는 배경모델의 히스토그램 빈도수가 임계값보다 큰 경우를 배경영역으로 분류하고, 작은 경우를 장애물 영역으로 분류한다. 그림 3은 실내외 환경에서의 장애물 분류 결과를 보여준다.

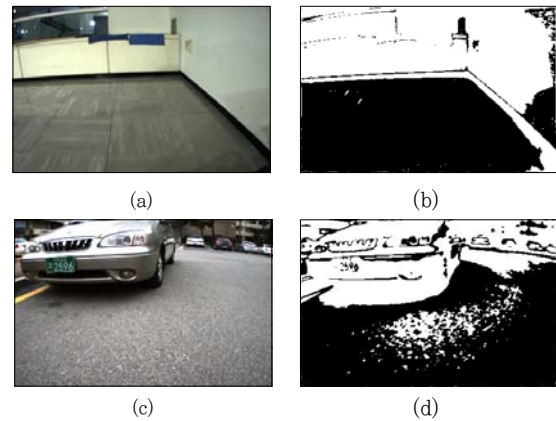


그림3. 장애물 분류 결과 (a) 실내에서의 장애물 분류 결과 (b) 실외에서의 장애물 분류 결과

2.2 그리드 기반의 Supervisory Controller

그리드 기반의 Supervisory 제어기는 배경분류기의 결과를 거리 기반으로 정의한 그리드 맵에 매핑 시키고, 장애물의 위치와 거리를 추정하여 주행 가능한 방향을 선정한다. 본 논문에서는 CCD카메라를 통해 들어오는 영상의 거리를 측정하여 5개의 층과 5개의 방향을 가지는 그리드 맵으로 정의 하였다.

그림4는 영상의 방향 판별을 위해 정의된 그리드 맵을 보

여준다. 그림 5는 장애물이 분류된 이진영상을 그리드 맵에 매핑한 결과영상을 보여준다.

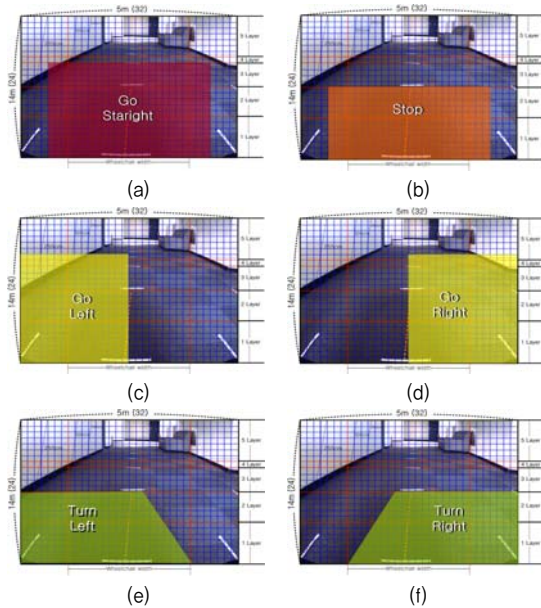


그림4. 주행방향 선정을 위한 판별기준 (a) Go straight (b) Stop (c) Go Left (d) Go Right (e) Turn left (f) Turn right

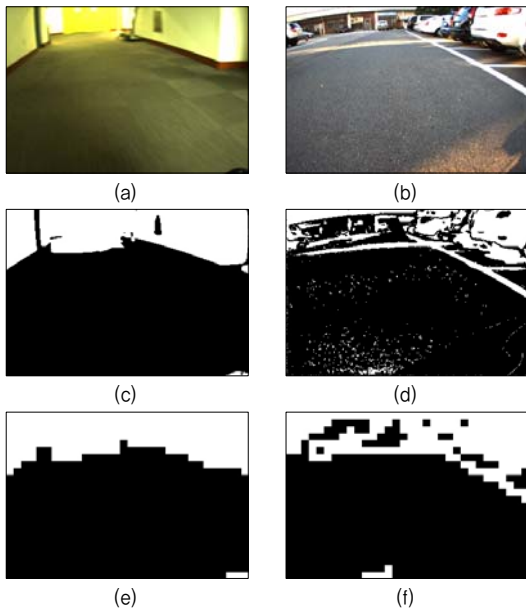


그림5. 그리드 맵 매핑 결과 (a), (b) 원 영상 (c), (d) 장애물 분류영상 (e), (f) 그리드 맵에 매핑한 영상

제안된 방법에서는 방향제어 명령어의 마스크에 대응하는 그리드의 개수에 따라 주행경로가 결정된다. 각 명령어의 마스크와 이진분류영상에서의 장애물 영역과의 오버랩이 되는 영역을 A^* 라고 할 때, 다음의 판별 기준에 따라 주행경로가 선정된다. 이 때, θ_1 과 θ_2 의 값은 실험에 의해 결정된다.

```

Find_path_using images (Gridmap, O)
if A(go) <  $\theta_1$            perform go_straight
else if A(stop) >  $\theta_2$    perform stop
else
{
  find min(A(turnleft), A(trunright), A(go), A(goleft),
  A(goright))
  perform the direction
}
  
```

2.4 센서 기반의 경로 탐색기

경로 탐색기는 그리드 기반의 Supervisory Controller에서 판별 기준을 통해 선정된 주행 경로를 10개의 거리센서 정보와 통합하여 최종적으로 안전한 주행 경로를 결정하는 역할을 한다. 제안된 시스템은 거리 센서 정보를 얻기 위해 2개의 초음파 센서와 8개의 적외선 센서를 지능형 휠체어에 부착 하였으며, 그림6은 제안된 시스템에 부착된 센서의 위치를 보여 준다. 이러한 센서들은 실시간으로 장애물까지의 거리 정보를 데이터 수집 보드에 전송한다.

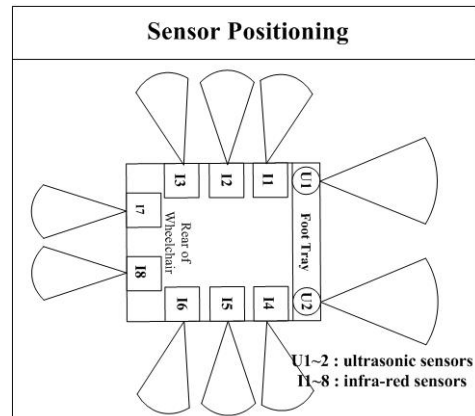


그림6. 센서 부착도

실시간으로 얻어진 센서의 거리 정보는 장애물의 위치를 추정하기 위해 사용되며, 장애물과 추정 경로 선정을 위해 실험을 통해 정의된 아래의 규칙을 이용한다. S_t 는 10개의 거리센서의 장애물과의 거리 값들의 집합이고, λ 의 값은 실험에 의해 결정된다.

```

Find_path_using sensors (St)
if U1 <  $\lambda$  OR U2 <  $\lambda$            perform stop
else if IL > IR           perform goleft
else if IL < IR           perform goright
else perform go_straight
※ S={U1, U2, I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8}
  
```

2.5 하이브리드 내비게이션

제안된 시스템에서는 최종적으로 영상분석을 통한 그리드

기반의 Supervisory Controller의 결과와 센서로부터 얻어진 방향을 통합하여 최종적으로 안전한 주행 경로가 선정된다.

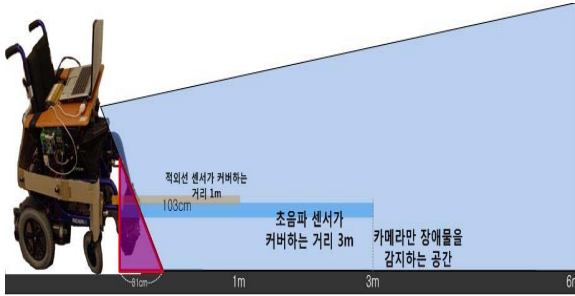


그림7. 카메라 사각지대

그림 7에서 카메라가 인식하지 못하는 사각영역(빨간색 삼각형 영역)의 경우, 센서로부터 얻어진 결과를 바탕으로 방향이 결정된다. 따라서 사용자의 위치로부터 4m이상까지 위치한 장애물을 인식하여 보다 안전한 주행을 보장하게 된다.

3. 실험 결과

제안된 시스템은 CCD카메라를 통해 얻어지는 비전 정보와 거리 센서 정보를 통합하여, 휠체어의 안전한 최적의 경로를 선정 한다. 제안된 시스템의 비전 정보를 얻기 위해, CCD카메라는 1394 포트에 컴퓨터에 연결되고, 320×240영상을 초당 10프레임 공급한다. 또한 제안된 시스템은 센서 정보를 얻기 위해 2개의 초음파 센서와 8개의 적외선 센서를 이용하며, 이러한 센서 정보는 데이터 수집 보드를 통해 0.1초 간격으로 전송받는다.

제안된 하이브리드 내비게이션의 효율성을 증명하기 위하여 다양한 바닥 재질과 조명을 가지는 환경에서 제안된 하이브리드 내비게이션을 실험 하였다.

그림 8, 9, 10은 제안된 비전내비게이션의 결과를 보여준다. 제안된 시스템의 효율성을 증명하기 위해, 다양한 환경과 조명조건에서 실험을 실시하였다. 그림 8, 9는 실내 환경에서 조명 조건을 다르게 하여 실험한 결과이다. 그림 10은 실외환경에서 제안된 비전 내비게이션을 실험한 결과이며, 그림 11은 센서를 이용한 방향 회피 결과를 보여 준다.

제안된 시스템은 비전내비게이션에서 추정된 판단과 센서 정보를 통합함으로써 보다 안전한 회피방향을 결정할 수 있다.

회피 방향	(a)	(b)
Go		
Go left		
Go right		
Turn left		
Turn right		

그림8. 하이브리드 내비게이션 비전 실험 결과: 낮에 촬영한 실내 영상 (a) 입력영상, (b) 그리드 맵에 매핑한 영상

회피 방향	(a)	(b)
Go		
Go left		
Go right		
Turn left		
Turn right		

그림9. 하이브리드 내비게이션 비전 실험 결과: 밤에 촬영한 실내 영상 (a) 입력영상, (b) 그리드 맵에 매핑한 영상











회피 방향	(a)	(b)
Go		
Go left		
Go right		
Turn left		
Turn right		

그림10. 하이브리드 내비게이션 비전 실험 결과: 실외 영상 (a) 입력 영상, (b) 그리드 맵에 매핑한 영상



그림11. 하이브리드 내비게이션 실행 결과

4. 결론

본 논문에서는 거리센서와 비전 정보를 통합하여 안전한 주행 경로를 선정하는 하이브리드 내비게이션 시스템을 개발 하였다. 제안된 시스템의 효율성을 증명하기 위해 다양한 바닥재질과 조명을 가지는 환경에서 시스템을 실험한 결과 제안된 시스템은 센서만을 이용하거나, 비전만을 이용한 내비게이션이 가질 수 있는 한계를 서로 보완하여 안전한 내비게이션으로서, 장애인에게 충분한 이동성을 제공 할 수 있다는 것을 보여 주었다.

본 논문에서 제안한 방법은 규칙을 기반으로 방향을 결정 한다. 따라서 구현이 간단하고 직관적이라는 장점을 가지지만 복잡한 환경이나 다양한 방향이 결정될 수 있는 상황에서 방향 결정이 어려운 단점을 가진다. 따라서 본 연구팀

에서는 다양한 상황들을 인지하고 효율적인 방향결정을 하기 위하여 신경망을 이용한 방향결정과 SURF(Speeded Up Robust Features)를 이용한 주변 환경인식으로 내비게이션을 확장할 예정이다.

참고문헌

- [1] I. Ulric and I. Nourbakhsh, "Appearance-Based Obstacle Detection with Monocular Color Vision," In Proceedings of AAAI National Conference on Artificial Intelligence, Austin, TX, USA, 2000.
- [2] Jin Sun Ju, Yunhee Shin, Eun Yi Kim, " Intelligent Wheelchair using face and mouth shape recognition" International Conference on Consumer Electronics, 2008.
- [3] Osamu Matsumoto and Kiyoshi Komoriya, " Autonomous Traveling Control of the TAO Aicle Intelligent Wheelchair" IEEE Trans. International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.13.
- [4] Yutaka Satoh, Caihua Wang and Katsuhiko Sakaue, "Development of Intelligent Wheelchair System based on Stereo Omni-directional System(SOS)," TENCON 2005, Nov. 2006.
- [5] Simpson, R. et al., "A prototype power assist wheelchair that provides for obstacle detection and avoidance for those with visual impairments," Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation, vol.2, n.30, 2005.
- [6] Yoshinori Kuno and Akio Nakamura, "Robotic Wheelchair Looking at All People," Conference on Human Factors in Computing Systems, 2003
- [7] I. Moon, S. Joung, and Y. Kum, "Safe and Reliable Intelligent Wheelchair Robot with Human Robot Interaction," Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, 2002.
- [8] A. A. Argyros, P. Georgiadis, P. Trahanias and D. P. Tsakiris, "Semi-autonomous navigation of a robot wheelchair," Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2002.
- [9] S.P. Levine, D.A. Bell, L.A. Jaros, R.C. Simpson, and Y. Koren, "The NavChair Assistive Wheelchair Navigation System," IEEE Trans. on Rehabilitation Eng., Vol. 7, No. 4, 1999.
- [10] S.P. Levine, R.C. Simpson, "Automatic Adaptation in the NavChair Assistive Wheelchair Navigation System," IEEE Trans. on Rehabilitation Eng., Vol. 7, No. 4, 1999.