

논문 2006-43SC-6-2

인간친화적인 안내 로봇 연구

(A Study on Human-Friendly Guide Robot)

최 우 경*, 김 성 주*, 하 상 형*, 전 흥 태**

(Woo-Kyung Choi, Seong-Joo Kim, Sang-Hyung Ha, and Hong-Tae Jeon)

요 약

최근 로봇 개발의 현황을 살펴보면 인간과 로봇이 공존하면서 인간이 로봇으로부터 서비스를 받을 수 있는 로봇의 개발이 지속적으로 증가하는 추세다. 그 중에서도 특히 관심을 끌고 있는 것은 복지 로봇에 관한 연구이다. 현재 가장 일반화되어 있는 복지 로봇은 시각 장애인의 주행을 도와주는 안내 로봇이며 장애물을 인식하여 안전한 경로를 제공하는 것을 목적으로 한다. 본 논문에서는 장애물 충돌회피의 기능뿐만 다양한 센서를 장착하여 환경 정보를 파악하여 사용자에게 가장 안전한 이동 방향과 이동 속도를 제시한다. 또한 지도 정보를 이용하여 사용자에게 가장 친숙하고 안전한 주행 경로를 선택하는 안내 로봇을 제시한다.

Abstract

The recent development in robot field shows that service robot which interacts with human and provides specific service to human has been researched continually. Especially, robot for human welfare becomes the center of public concern. At present time, guide robot is priority field of general welfare robot and helps the blind keep safe path when he walks outdoor. In this paper, guide robot provides not only collision avoidance but also the best walking direction and velocity to blind people while recognizing environment information from various kinds of sensors. In addition, it is able to provide the most safe path planing on behalf of blind people.

Keywords : Human-Friendly Guide Robot, Sensor Fusion, Fuzzy Inference, SOM, Collision Avoidance

I. 서 론

1950년대 대량생산 시대부터 1980년대 이후의 다품종 소량생산 시대에 이르기까지 자동화의 형태는 크게 달라졌지만, 언제나 그 중심에서는 산업의 중심에는 산업용 로봇이 큰 역할을 해 왔다. 산업용 로봇의 발전은 제조공정의 무인화를 가져왔지만 인간소외라는 부정적인 측면을 발생 시켰다.

1970년대에 시각장애인들을 위한 전자적 보행 도우미가 등장한 이후 로봇 가치관은 변하였으며 점차 로봇 개발의 방향이 바뀌어 가고 있다. 특히 1999년에 발표된 소니의 애완용 로봇 아이보를 필두로, 21세기로 접

어들면서 로봇은 본격적으로 산업현장 뿐만 아니라 일상생활에도 찾아오고 있다.

최근의 로봇 개발의 현황 중에서 특히 관심을 끌고 있는 것은 복지 로봇에 관한 연구이다^{[1][2]}. 현재 가장 일반화 되어 있는 복지 로봇은 시각 장애인의 주행을 도와주는 안내 로봇이다. 1994년에 Shoval에 의해 소개된 "NavBelt"와 1997년 Borenstein에 의해 소개된 "Guide Cane"이 대표적인 로봇이다^{[3][4]}. 앞의 안내 로봇들은 초음파 센서를 장착하고 충돌회피의 기능만 제공하였다. 그러나 시각장애인은 주변 환경을 감지하고 안전한 경로로 안내하는 로봇이 필요하다. 본 논문에서는 충돌회피의 기능뿐만 아니라 사용자에게 가장 익숙한 주행 경로를 제공해주고 다양한 센서를 장착하여 환경에 대한 정보를 파악하여 보다 사용자에게 친숙하고 안전한 방향과 이동 속도를 제시하는 안내 로봇을 제시하고자 한다.

* 정회원, ** 평생회원, 중앙대학교 전자전기공학부
(School of Electrical and Electronic Engineering
Chung-Ang University)
접수일자: 2006년6월7일, 수정완료일: 2006년11월4일

II. 안내 로봇 시스템 구성

외부환경에서 보다 안전하고 사용자의 편의를 제공하기 위해 장애물의 회피뿐만 아니라 지면의 상태나 날씨, 온도, 습도 등의 환경정보 및 사용자의 경로에 대한 인식정도 등 여러 가지 요소를 고려해야 한다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 센서부, 인식부, 추론부 그리고 출력부로 구성된다.

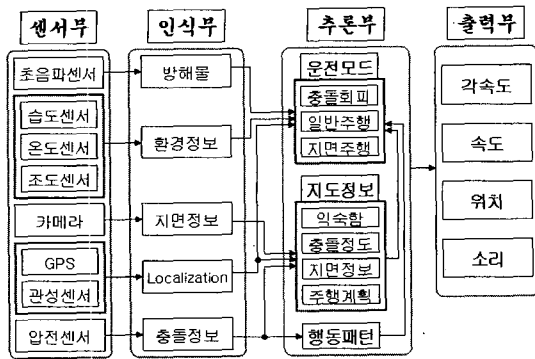


그림 1. 안내 로봇의 시스템 구성도
Fig. 1. The system structure of guide robot.

III. 사용된 알고리즘

1. 센서부

장애물 거리 측정을 위하여 정면에 3개의 초음파 센서, 양쪽으로 4개의 초음파 센서를 사용한다. 또한 환경정보 획득을 위하여 조도센서와 온도센서, 습도센서를 사용하고 스테레오 카메라를 이용하여 경사도를 판단한다. 또한 GPS 사용하여 현재 안내 로봇의 절대적인 좌표를 알 수 있다^{[5][6]}. 로봇의 이동방향은 지자기 센서를 이용하고 이동 로봇의 충돌여부는 압력 센서를 이용하였다.

2. 인식부

안내 로봇은 조도 센서, 습도 센서, 온도센서의 값을 이용하여 로봇의 주변 환경을 평가한다^[7]. 환경정보는 퍼지이론을 이용하여 평가하였고 그림 2는 전건부와 후건부의 멤버쉽 함수이다.

3. 추론부

안내 로봇의 인식부는 추출한 정보를 이용하여 자율적으로 상황을 판단하고 행동해야 한다. 추론부는 운전 모드, 지도 정보, 행동 패턴이라는 3개의 모듈로 구성되어 있다. 운전모드 모듈은 일반 주행, 충돌 회피 주행,

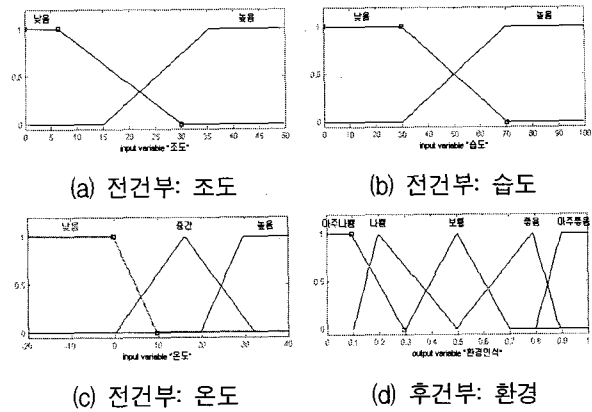


그림 2. 환경평가 멤버쉽 함수
Fig. 2. Membership function for environment.

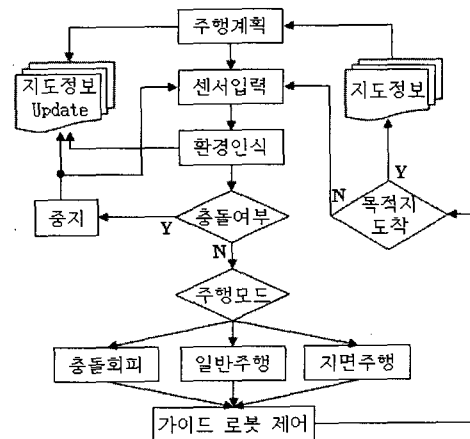


그림 3. 안내 로봇의 제어 흐름도
Fig. 3. The control flowchart of guide robot.

지면 주행으로 구성되고, 지도 정보는 출발지에서 목적지까지의 안전한 전체적인 주행경로의 선택이다. 마지막으로 행동패턴은 안내 로봇이 국지적으로 선택할 수 있는 가장 기본적인 안전 전략이다. 그림 3과 같은 진행 과정을 거친다.

가. 주행부

(1) 일반주행 모드

외부의 방해물이 없을 때 안내 로봇은 최단 거리인 경로로 움직여야 하고 환경정보에 의하여 사용자에게 가장 최적화 된 속도로 이동해야 한다. 안내 로봇의 출발지에서 목적지까지 기본적인 주행 방법이다. 안내 로봇의 진행 방향은 지자기센서를 이용하고 GPS는 로봇의 위치와 목적지의 방향차(그림4)를 계산하여 이동 방향 각속도를 결정한다. 그리고 환경정보와 현재 이동경로의 익숙함 및 충돌정도를 결합하여 이동 속도를 결정한다. 그림 5와 6은 안내 로봇의 각속도와 이동 속도 제어를 위한 멤버쉽 함수이다.

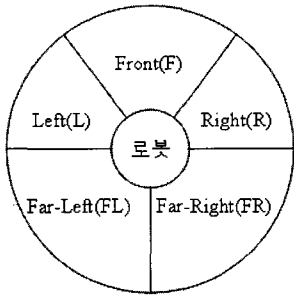


그림 4. 안내 로봇의 방향차이에 대한 영역 분할
Fig. 4. Sector division depended on guide robot heading difference form goal direction.

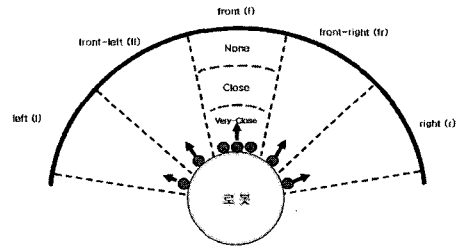
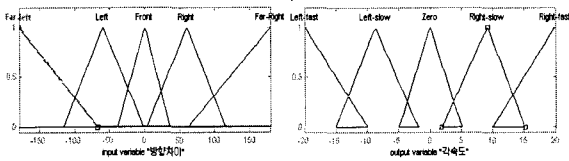
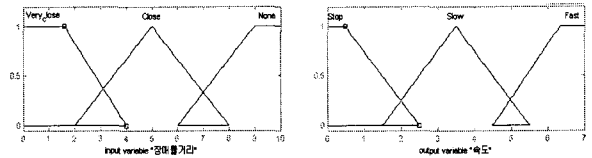


그림 7. 충돌회피 주행을 위한 안내 로봇의 영역 분할
Fig. 7. Sector division of guide robot for obstacle avoidance behavior.



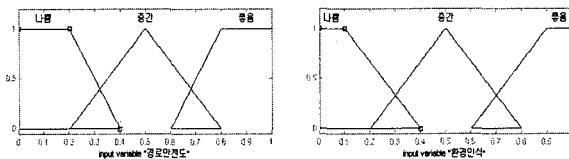
(a) 전건부: 방향차이 (b) 후건부: 각속도

그림 5. 각속도 멤버쉽 함수
Fig. 5. Membership function for angular velocity.

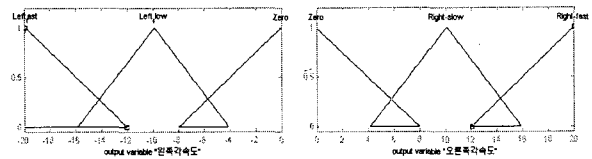


(a)전건부: 5개 영역 거리 (b)후건부: 이동속도

그림 8. 장애물 회피를 위한 속도의 멤버쉽 함수
Fig. 8. Membership function of velocity for obstacle avoidance.

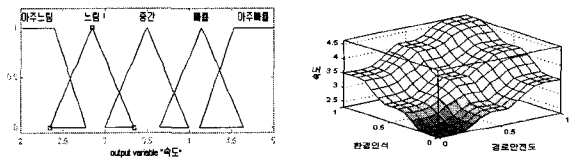


(a) 전건부: 경로안전도 (b) 전건부: 환경



(a) 왼쪽 각속도 (b) 오른쪽 각속도

그림 9. 후건부: 충돌회피를 위한 왼쪽과 오른쪽 각속도 멤버쉽 함수
Fig. 9. Consequent: membership function of left and right angular velocity for obstacle avoidance.



(c) 후건부: 속도 (d) 요소들의 관계

그림 6. 속도 멤버쉽 함수
Fig. 6. Membership function for velocity.

(2) 충돌회피 주행 모드

충돌회피를 위해 CCD 카메라와 초음파 센서가 사용되었다. 초음파 센서를 사용한 이동 로봇 주행 알고리즘은 Virtual Force Field와, Vector Field Histogram이 대표적인 방법이다^{[8][9]}. 그러나 본 논문에서는 직관적이고 빠른 판단을 위하여 퍼지이론을 이용한 충돌 회피하였다^{[10][11]}.

충돌회피를 위해 그림 7과 같이 5개의 영역으로 분리하였다. 그림 8은 안내 로봇의 이동 속도를 결정하기 위하여 전건부와 후건부이다. 안내 로봇의 회전 각속도를 구하기 위한 멤버쉽 함수의 전건부는 그림 8-(1)과 같고 후건부는 그림 9에 나타내었다.

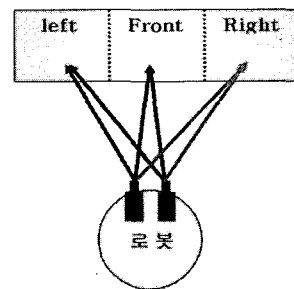
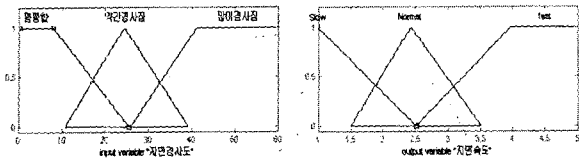


그림 10. 두 대의 카메라를 이용한 경사도 측정
Fig. 10. Slope measurement with two cameras.

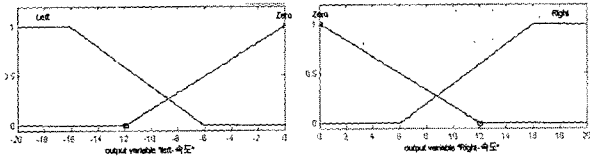
(3) 지면주행 모드

안내 로봇은 경로를 주행하면서 사용자에게 가장 안전한 지면을 선택하여 주행하여야 한다. 그림 10과 같이 스테레오 카메라를 이용해 3개의 영역에 대한 지면의 경사도를 파악한다. 로봇은 가장 안전한 영역을 선택하고 경사도에 따라 속도를 조절한다.



(a) 전건부: 3영역 경사도 (b) 후건부: 이동속도

그림 11. 경사도에 따른 속도의 멤버십 함수
Fig. 11. Membership function of velocity slope.



(a) 왼쪽 각속도 (b) 오른쪽 각속도

그림 12. 후건부: 경사도에 따른 왼쪽과 오른쪽 각속도 멤버십 함수
Fig. 12. Consequent: membership function of left and right angular velocity slope.

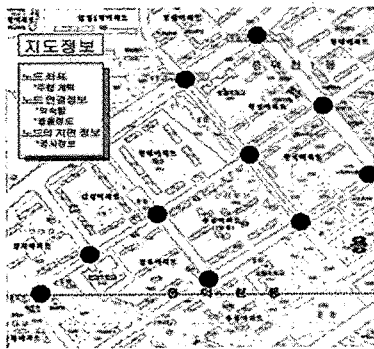


그림 13. 안내 로봇의 Topology 지도정보
Fig. 13. Topology map information of guide robot.

로봇의 지면 경사도에 따른 이동 속도의 멤버십 함수는 그림 11에, 각 속도는 그림 11-(a)를 전건부로 사용하고 그림 12에 후건부의 멤버십 함수를 나타내었다. 지면주행 모드에서 각속도는 충돌회피 모드와 같은 방법으로 이루어진다.

(4) 주행모드 결합

일반주행 모드, 충돌회피 주행 모드, 지면주행 모드는 서로 독립적으로 안내 로봇의 속도와 각속도를 결정한다. 각기 주행 모드에서 제시한 속도와 각속도는 가중치를 정하고 무게중심법을 이용하여 결합하였다^{[10][12]}.

나. 지도정보

지도 정보는 그림 13과 같이 경로 상에 특정노드를 이용하여 Topology 형태의 지도로 구성되어 있다^{[13][14]}. 각 특정 노드는 노드사이의 익숙함과 충돌정도의 정보

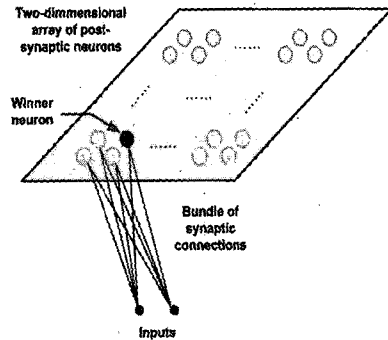


그림 14. Kohonen의 SOM 모델
Fig. 14. SOM model of Kohonen.

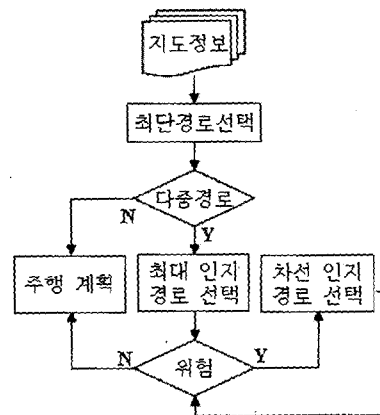


그림 15. 적 경로 탐색 흐름도
Fig. 15. The flowchart of path planning.

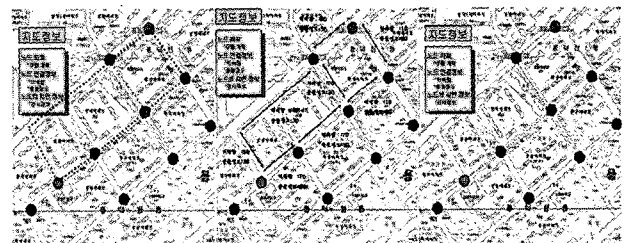


그림 16. 다중 경로에서 최적의 경로 탐색과정
Fig. 16. The process to find the safest path among various paths.

를 가지고 있으며 로봇 주행 시 위험한 지역의 경사정보를 저장한다.

(1) SOM을 이용한 익숙함 및 충돌정도 학습

본 논문에서는 SOM(Self Organizing Map)을 이용하여 주행 경로의 익숙함과 충돌 정도를 학습하였다^[15]. SOM구성은 Kohonen 모델을 이용하였고 100개의 출력셀로 구성한다(그림 14).

(2) 주행계획

주행계획은 현재 위치에서 최종 목적지까지 가장 빠

른 경로를 선택하도록 계획한다(그림 15). 실제 도로에서는 여러 가지의 경로가 제시될 수 있다(그림 16). 빠르고 안전한 경로를 찾기 위해 경로에 대한 익숙함과 로봇의 충돌횟수를 이용하였다.

(3) 지면 정보

주간 이동시 안내 로봇은 카메라에 의한 지면의 안전 정도를 파악할 수 있으나 야간에 경사도를 판단하기 힘들다. 그러므로 안내 로봇은 주간에 판단된 경사도 중 높은 경사도를 지도 정보에 추가하고 야간 주행 시 기억된 지면정보를 이용하여 이동한다.

(4) 행동패턴

안전한 안내를 위해서 5개의 행동 패턴을 정의하였다. 첫째로 동적 방해물과의 충돌 시 멈추는 정지 행동, 벽일 때 벽을 따라 가는 행동(2종류), 복도일 때 중앙으로 가는 행동과 자유로운 길에 있을 때 기본적인 행동이다.

4. 출력부

출력부는 추론의 결과인 속도와 각속도와 행동패턴의 결과를 이용하여 안내 로봇을 제어하는 부분이다. 또한 장애물 감지나 안내 로봇의 행동, 사용자의 현재 위치 등에 대한 정보를 사운드를 통하여 전달하여 사용자가 안내 로봇의 상태와 자신의 위치 등에 대한 종합적인 정보를 알 수 있도록 하는 부분이다.

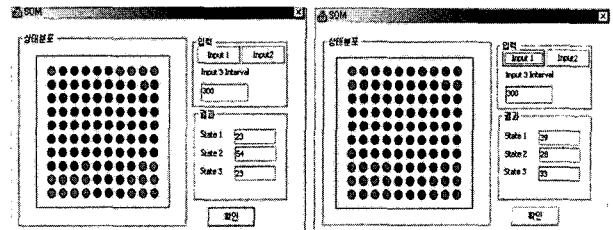
IV. 모의실험

제시된 시스템의 적절성을 검증하기 위하여 먼저 SOM을 이용한 지도 정보의 학습정도와 지도 정보에 의하여 다중경로 상에서 가장 안전한 경로를 찾기 위한 실험, 센서융합 결과의 적절성, 마지막으로 환경정보와 기타 센서에 의해 각기 주행모드의 선택 및 결합의 적절성을 컴퓨터 모의실험에 의하여 확인한다.

가. SOM을 이용한 익숙함 및 충돌정도의 학습

SOM은 출력셀 100, 이웃함수는 Gaussian function, 이웃반경셀 49개, 임계치 0.5, 학습률 0.2로 설정하였다.

입력벡터는 경로선택/비충돌, 경로선택/충돌, 경로제외의 경우를 각각 [1, 0], [1, 1], [0, 0]인 2차원벡터로 정의하였다(그림 17). 그림 18은 입력에 대한 SOM 상태 변화를 보여준다.



(a) SOM의 변경 전 (b) SOM의 변경 후

그림 17. SOM 모의실험

Fig. 17. SOM simulation.

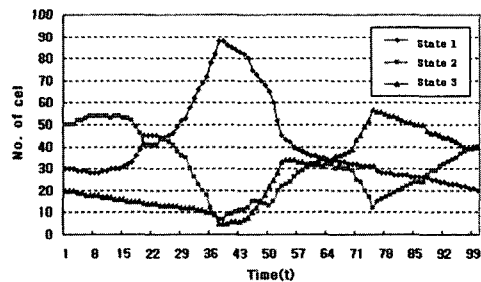


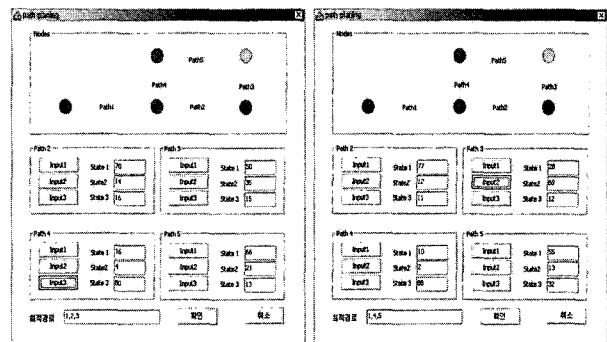
그림 18. SOM 모의실험 결과

Fig. 18. The result of SOM simulation.

2. 경로 계획 모의실험

SOM의 결과를 경로 계획에 적용한 실험이다. 그림 19에서 Input1, Input2, Input3과 State1, State2, State3은 이전 실험에 사용한 정의와 같다. 그림 19-(a)와 같이 현재 위치에서 목적지까지 두 가지 길이 있을 때 State1 즉, 익숙함이 큰 경로 path1, path2, path3을 최적 경로로 선택하였다.

그림 19-(b)는 임의적으로 path3에 충돌 입력을 넣었을 때 경로 2는 충돌이 적어 State1의 상태가 증가하고 path4, path5는 선택되지 않아 State3의 크기가 증가한다. 그러나 path2의 충돌 정도가 많아 path2의 적합에



(a) 모의실험(1) (b) 모의실험(2)

그림 19. 주행계획 모의실험

Fig. 19. Computer simulation for path planning.

도 불구하고 안내 로봇은 위험도가 큰 path3을 포함하는 경로를 찾지 않고 익숙하지 않은 path4, path5의 새로운 경로를 주행계획에 넣게 된다.

3. 센서 융합을 이용한 환경 평가 모의실험

퍼지 이론으로 구성된 센서융합의 환경평가 한 모의 실험이다. 그림 20에서 온도가 낮고 조도가 낮고 습도가 높을 경우 바닥은 빙판일 확률이 높고 사용자가 움직이기에 충분한 환경이 아니므로 환경평가 결과가 최고 1을 기준으로 0.111로 나쁘게 나타났다. 그러나 온도도 적당하고 습도도 낮고 조도가 높을 시는 사용자가 가장 활동하기 좋은 환경 평가를 내린다. 마지막으로 온도가 어느 정도 적당하더라도 조도가 낮으면 실제로 사람은 이동하기 다소 두려움을 느끼는 것처럼 환경 평가 결과도 0.5정도의 중간 정도의 평가 결과를 나타낸다.

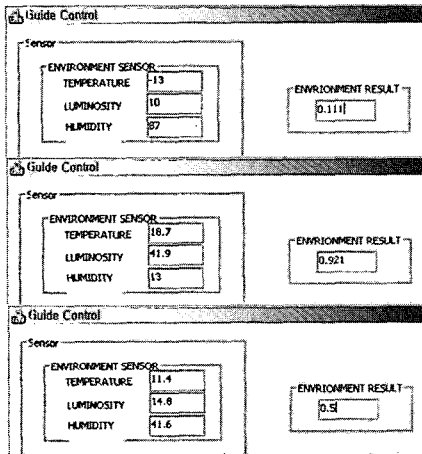


그림 20. 환경평가 모의실험
Fig. 20. Simulation for environment evaluation.

4 전체 시스템 모의실험

안내 로봇이 환경인식과 능동적인 제어를 통하여 사용자에게 제공할 수 있는지 보이는 실험이다. 그림 21에서 환경 평가는 좋지만 경로에서 충돌을 많이 발생하였으므로 일반 주행은 느린 속도를 제시하였다. 또한 안내 로봇의 정면에 가까이 장애물이 발견되었으므로 속도를 줄이며 장애물이 없는 왼쪽으로 회전하도록 장애물 회피 주행에서 제시하였다. 그리고 지면 주行的 결과는 정면이 가장 경사도가 평평하므로 현재 방향을 유지하며 빠른 속도를 갈 것을 제시하였으나 가중치 적용 후 최종 시스템은 장애물 회피 주행에 모드로 안내 로봇은 주행하고 있다.

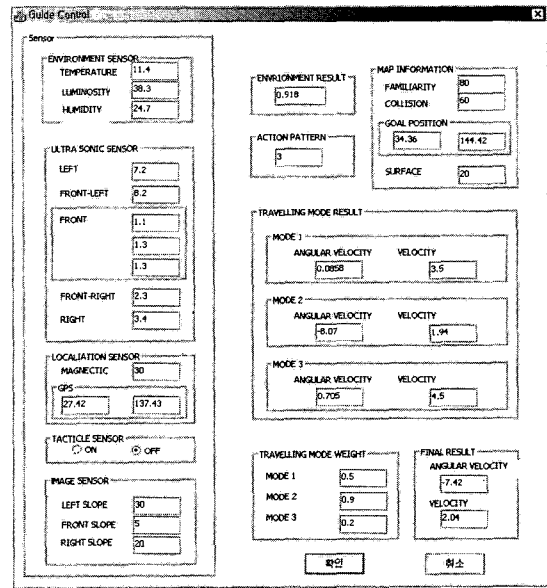


그림 21. 전체 시스템 모의실험
Fig. 21. Simulation for proposed system.

V. 결론

센서 기술의 발달과 이미지 처리 기술의 발달로 로봇이 인간과 상호작용이 가능하고 편리한 기능을 제공하는 연구가 활발히 연구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 기술을 바탕으로 시각장애인에게 보다 안전하게 외부환경에서 보행할 수 있는 안내 로봇 시스템을 구성해 보았다. 제시된 시스템은 센서부, 인식부, 추론부, 출력부로 체계적으로 구성하여서 이후 부분적인 기술의 발달에 대하여도 빠르게 적용 가능할 할 것이다. 특히 인식부에서는 센서융합을 이용하여 환경에 대한 평가를 하였고 이를 바탕으로 환경에 대한 평가가 안내 로봇의 주행에 영향을 주는 추론부를 구성하였다. 추론부에서는 학습이 가능한 인공 신경망을 이용하여 지도 정보를 작성하고 인간과 비슷한 방식으로 지도 정보를 향상시키는 방법을 제시하였으며, 지도정보를 이용해 안전한 주행 경로를 계획하였다. 또한 카메라와 센서를 이용하여 충돌회피 뿐만 아니라 사용자에게 국지적으로 가장 안전하고 편안하게 주행할 수 있는 주행 방식을 퍼지이론을 이용하여 제시하였다.

참고 문헌

[1] G. Engelberger, *Services, Handbook of Industrial Robotics*, S. Y. Nof ed., John Wiley & Sons, New York, pp.1021-1212, 1999.

[2] R. D. Schraft and G. Schmierer, *Service Robots*, A. K. Peters, Wellesley, Mass., 2000.

[3] S. Shoval, J. Borenstein and Y. Koren, "The NavBelt-A Computerized Travel Aid for the Blind Based on Mobile Robotics Technology," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, Vol.45, pp. 1376-1386, November 1998.

[4] J. Borenstein and I. Ulrich, "The GuideCane-A Computerized Travel Aid for the Active Guidance of Blind Pedestrians," *Proc. of the 1991 IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1283-1288, 1997.

[5] M.G. Soares, B. Malheiro, and F. J. Restivo, "An Internet DGPS Service for Precise Outdoor Navigation," *Proc. of IEEE Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation*, Vol.1, pp. 512-518, 2003.

[6] Y. Yang, J. Farrell and M. Barth, M, "High-Accuracy, High-Frequency Differential Carrier Phase GPS Aided Low-Cost INS," *IEEE Symposium on Position Location and Navigation*, pp. 148-155, 2000.

[7] W. K. Choi, S. J. Kim, and H. T. Jeon, "Multiple Sensor Fusion and Motion Control of Snake Robot Based on Soft-Computing," *International Conference, KES 2005, Part II*, pp. 291-297, 2005.

[8] J. Borenstein and Y. Koren, "The Vector Field Histogram Fast Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol.7, pp.278-288, 1991.

[9] J. Borenstein and Y. Koren, "Histogramic In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol.7, pp. 535-539, 1991.

[10] H. Seraji and A. Howard, "Behavior-Based Robot Navigation on Challenging Terrain : A Fuzzy Logic Approach," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol.18, pp. 308-321, 2002.

[11] H. Li and S. X. Yang, "Ultrasonic Sensor Based Fuzzy Obstacle Avoidance Behaviors," *IEEE International Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.2, pp. 644-649, 2002.

[12] Chin-Teng Lin and C. S. Geroge Lee, *Neural Fuzzy System-A Neuro Fuzzy Synergism to intelligent System*, Prentice Hall PTR, 1996.

[13] C. Choi, J. Song, W. Chung and M. "Topological Map Building Based on Thinning and Its Application to Localization," *IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robots and System*, Vol.1, pp. 552-557, 2002.

[14] T. Duckett and U. Nehmzow, "Exploration of Unknown Environments Using a Compass, Topological Map and Neural Network" *Proc. of IEEE International Symposium on Robotics and Automation*, pp. 312-317, 1999.

[15] T. Kohonen, "Self-Organizing Maps," *Proc. of the Institute of Electrical and Electronic Engineers*, Vol.78, pp. 1464-1480.

저 자 소 개



최 우 경(정회원)
2000년 전남대학교 전기공학사
2003년 중앙대학교
전자전기공학부 석사
2004년~현재 동 대학교
전자전기공학부박사과정

<주관심분야 : 소프트 컴퓨팅, 웨어러블 컴퓨팅, 모바일 로봇 제어>



하 상 형(정회원)
1990년 중앙대학교 전자공학사
1994년 동 대학교 전자공학과
석사
2002년~현재 동 대학교 박사과정
2006년 현재 휴노랩스 재직중

<주관심분야 : 소프트 컴퓨팅, 웨어러블 컴퓨팅, 인공지능>



김 성 주(정회원)
1999년 중앙대학교 전자공학사
2001년 동 대학교 전자전기공학부
석사
2004년 동 대학교 전자전기공학부
박사

<주관심분야 : 뇌공학, 인공두뇌, 인공지능>



전 흥 태(평생회원)
중앙대학교 전자전기공학부 교수.
대한전자공학회 논문지
43권 CI편 제4호 참조