

노면 상태 검출에 기반한 자율 주행 시스템

An Autonomous Mobile System based on Detection of the Road Surface Condition

정혜전* · 서석태* · 이상화** · 이인근* · 권순학*¹

Hye C. Jeong*, Suk T. Seo*, Sang H. Lee**, In K. Lee* and Soon H. Kwon*¹

* 영남대학교 전기공학과

* Dept. of Electrical Engineering, Yeungnam University

** 영남대학교 기계공학과

** School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

요 약

최근 외부 개입 없이 스스로 주변 환경을 파악하고 목적지까지의 이동경로를 생성하여 자율 주행하는 지능형 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 자율 주행 시스템은 기본적으로 운행 중에 사고가 발생하지 않고 안전하게 목표점까지 이동해야 한다. 본 논문에서는 레이저 변위 센서를 이용하여 노면의 왜곡(훼손된 노면, 비포장 도로, 장애물 등)을 검출하고, 영상 이진화 기법을 적용하여 위험 요소를 검출, 판단하여 주행 시스템의 안정적 운항이 가능한 경로를 생성하는 기법을 제안한다. 제안 기법의 타당성은 임의로 제작된 국부영역의 지도 데이터에 기반한 모의실험을 통하여 보인다.

키워드 : 자율 주행 시스템, 레이저 변위 센서, 노면 검출, 안정적 운항, 경로 생성

Abstract

Recently, many researches for autonomous mobile system have been proposed, which can recognize surrounded environment and navigate to destination without outside intervention. The basic sufficient condition for the autonomous mobile system is to navigate to destination safely without accident. In this paper, we propose a path planning method in local region for safe navigation of autonomous system through evaluation of the road surface distortion(damaged/deformed road, unpaved road, obstacle and etc.). We use laser distance sensor to get the information on the road surface distortion and apply image binalization method to evaluate safe region in the detected local region. We show the validity of the proposed method through the computer simulation based on the artificial local road map.

Key Words : Autonomous robots, Laser distance sensor, Road surface detection, Safe navigation, Path planning

1. 서 론

최근 들어 인간의 개입 없이 주변 환경을 인식하고, 목적지까지의 이동 경로를 파악하여 자율적으로 진행되는 주행 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-5]. 이러한 자율 주행 시스템에 관한 관심이 높아짐에 따라서 탑승자의 쾌적한 환경을 위해서 적응적 현가장치 제어를 통해서 진동을 최소화 하는 방법[1] 등 탑승자의 요구를 충족시키기 위한 부가서비스에 관한 연구도 진행되어지고 있다.

그러나 이와 같은 지능형 자율 주행 시스템의 기본적인 사항은 운행 중에 사고가 발생하지 않고 안전하게 목표점까지 이동하는 것이다. 이를 위해 영상에 기반한 차선 인식 및 이탈 방지 시스템[1, 6-8], 레이저와 같은 센서 기반의 장애물 인식/회피[1, 6-11] 및 이동 노면의 상태에 기반한 속도 제어 시스템[1, 12, 13] 등에 관한 연구가 활발히 진행되고

있다.

본 논문에서는 레이저 변위 센서를 이용하여 자율 주행 시스템의 안정적 운항이 가능한 경로를 생성하는 기법을 제안한다. 제안기법은 레이저 변위센서를 이용 노면의 왜곡(훼손된 노면, 비포장 도로, 장애물 등) 상태 정보를 획득하고 획득된 정보에 영상 처리에서 사용되는 이진화 기법을 적용하여 안정영역을 평가한다. 또한 평가된 영역을 기반으로 안정적 운항이 가능한 경로를 제시한다. 제안기법은 크게 다음과 같이 3단계로 구성된다. 1)레이저 변위 센서를 이용하여 노면의 정보 획득하고, 2)획득된 노면의 정보로부터 자율 주행 시스템이 운항 가능한 공간을 Otsu의 임계값 결정법을 이용하여 검출하며, 3)검출된 영역을 대상으로 운행 경로를 생성한다. 제안 기법을 순서도로 나타내면 그림 1과 같다.

접수일자 : 2008년 4월 1일

완료일자 : 2008년 8월 27일

¹Corresponding author

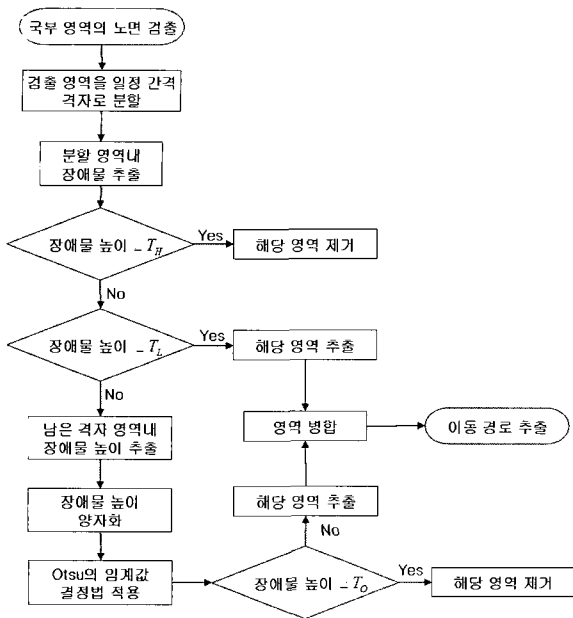


그림 1. 제안 기법 순서도
Fig. 1. Block diagram of the proposed method

제안 기법의 타당성은 임의로 구성된 지도 데이터에 기반한 모의실험을 통하여 보인다.

2. 노면 상태 검출 및 안전 영역 평가

2.1. 노면 상태 검출

본 논문에서는 자율 주행 시스템에 장착된 레이저 변위 센서를 장착, 레이저 변위 센서로 노면을 스캐닝 하여 노면의 상태를 검출한다. 레이저 변위 센서의 구성 및 탐색 범위는 그림2와 같다.

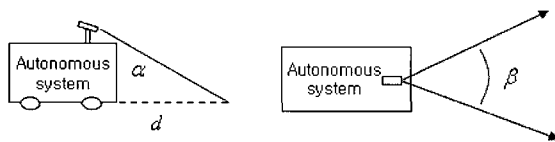


그림 2. 주행 시스템의 레이저 변위 센서 구성
Fig. 2. Laser distance sensor of autonomous system

구성된 레이저 변위 센서의 탐색 범위(β) 및 탐색 거리(d)는 센서의 회전부 및 센서의 구성 각(α)을 이용하여 다음과 같이 조절할 수 있다.

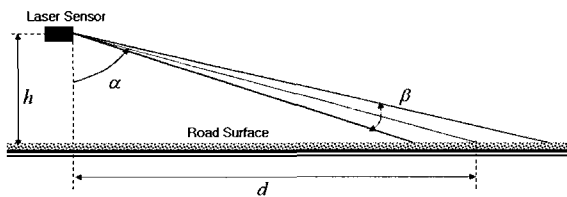


그림 3. 레이저 변위 센서 측정 범위
Fig. 3. Sensing range of laser distance sensor

즉, 레이저 센서를 이용한 탐색 거리(d)는

$$d = h \tan \alpha \quad (1)$$

가 되며, 여기서 h 는 지면으로부터 레이저 변위 센서까지의 높이를 나타낸다. 위와 같은 레이저 변위 센서를 이용한 장애물의 높이 측정은 다음과 같다.

$$h_o = (r - l) \sin \theta \quad (2)$$

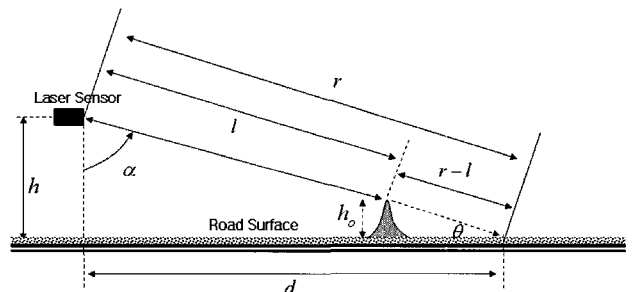


그림 4. 레이저 센서를 이용한 장애물 검출
Fig. 4. Obstacle detection with laser distance sensor

레이저 변위 센서를 이용하여 그림 4의 r 과 l 의 거리를 측정할 수 있으며, 구성된 센서의 각도 α 를 알고 있으므로 θ 를 알 수 있다. 따라서 위의 측정된 값 r, l 과 θ 를 이용한 식(2)로부터 장애물의 높이를 계산할 수 있다.

위와 같이 구성된 레이저 변위 센서를 이용하여 자율 주행 시스템은 이동하면서 노면의 상태를 다음과 같이 스캐닝 한다.

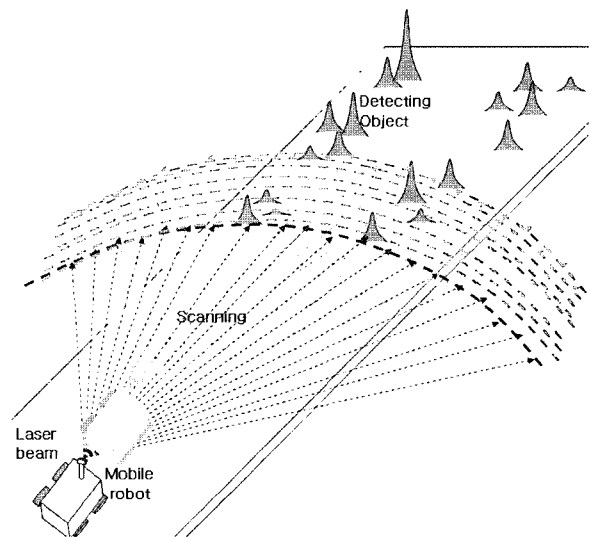
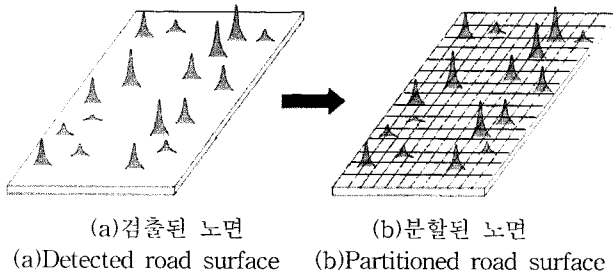


그림 5. 레이저 변위 센서를 이용한 노면 검출
Fig. 5. Road surface detection with laser distance sensor

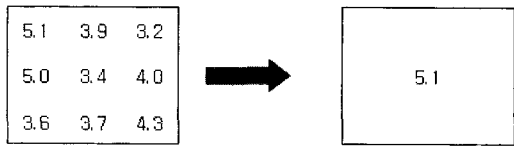
2.2. 검출 영역 분할

검출된 국부 영역의 노면을 일정한 크기에 따라서 격자 형태로 그림 6과 같이 분할한다. 분할 격자내의 대표값은 그림 7과 같이 격자내의 검출값 중에서 최대값을 취하여 할당한다.



(a)검출된 노면 (b)분할된 노면
(a)Detected road surface (b)Partitioned road surface

그림 6. 검출 영역 분할 예
Fig. 6. An example of region partitioning



(a)분할 영역내 노면 정보 (b)분할 영역 대표값 선정
(a)Information on road (b)Value selection of a surface in a partitioned region

그림 7. 분할된 격자의 대표값 선정 예
Fig. 7. An example of value selection of partitioned region

2.3. 다중 임계값을 이용한 안정 영역 평가

2.2절에서 분할된 영역내의 노면 정보로부터 위험 영역에 속하는 영역과 안정 영역을 추출한다. 즉, 두 개의 임계값 T_H 와 T_L 을 이용하여 격자의 값이 T_H 이상인 경우는 위험 영역으로 분류하고, 격자의 값이 T_L 이하인 영역은 안정 영역으로 분류한다. 이를 표현하면 다음과 같다.

$$G(x,y) = \begin{cases} S & \text{if } P(x,y) \leq T_L \\ X & \text{elseif } P(x,y) \geq T_H \end{cases} \quad (3)$$

여기서 (x,y) : 각 격자의 좌표
 $P(x,y)$: 격자의 대표값
 $G(x,y)$: 판별 결과

식 (3)으로부터 $G(x,y)$ 가 'S'인 영역은 안정 영역이며, 'X'인 영역은 위험 영역으로 분류된다. 본 논문에서는 식 (3)에서의 T_H 와 T_L 을 각각 0.8, 0.2로 설정한다.

그림 8(b)와 같이 처리된 후 남은 격자의 대표값은 정해진 비트에 따라서 양자화 단계를 거치게 된다. 그림 9는 6bit 양자화의 예를 나타낸다.

2.4. Otsu 임계값 결정법

앞서 검출된 노면을 격자의 형태로 분할하고 분할 영역의 값을 양자화를 통하여 할당하였다. 이러한 격자의 분할은 디지털 영상에서 각 픽셀과 대응되며, 분할된 영역의 값은 디지털 영상에서 각 픽셀의 화소값과 대응된다. 따라서 영상 처리에서 사용되어지는 임계값 결정법인 Otsu를 이용하여 위험 요소가 존재하는 구간을 구분한다. 본 논문에서 사용된 Otsu의 임계값 결정법은 다음과 같다.

0.81	0.16	0.66	0.71	0.44	0.28	0.75	0.84	0.36	0.08
0.91	0.97	0.04	0.03	0.38	0.68	0.26	0.25	0.83	0.05
0.13	0.96	0.85	0.28	0.77	0.66	0.51	0.81	0.59	0.53
0.91	0.49	0.93	0.05	0.80	0.16	0.70	0.24	0.55	0.78
0.63	0.80	0.68	0.10	0.19	0.12	0.89	0.93	0.92	0.93
0.10	0.14	0.76	0.82	0.49	0.50	0.96	0.35	0.29	0.13
0.28	0.42	0.74	0.69	0.45	0.96	0.55	0.20	0.76	0.57
0.55	0.92	0.39	0.32	0.65	0.34	0.14	0.25	0.75	0.47
0.96	0.79	0.66	0.95	0.71	0.59	0.15	0.62	0.38	0.01
0.96	0.96	0.17	0.03	0.75	0.22	0.26	0.47	0.57	0.34

(a)분할된 노면 정보
(a)The information on partitioned surface

X	S	0.66	0.71	0.44	0.28	0.75	X	0.35	S
X	X	S	S	0.38	0.68	0.26	0.25	X	S
S	X	X	0.28	0.77	0.66	0.51	X	0.59	0.53
X	0.49	X	S	0.80	S	0.70	0.24	0.55	0.78
0.63	X	0.68	S	S	S	X	X	X	X
S	S	0.76	X	0.49	0.50	X	0.35	0.29	S
0.28	0.42	0.74	0.69	0.45	X	0.55	S	0.76	0.57
0.55	X	0.39	0.32	0.65	0.34	S	0.25	0.75	0.47
X	0.79	0.66	X	0.71	0.69	S	0.62	0.38	S
X	X	S	S	0.75	0.22	0.26	0.47	0.57	0.34

(b) $T_H:0.8, T_L:0.2$ 로 처리된 결과

(b)Region evaluation result with $T_H:0.8, T_L:0.2$

그림 8. T_H, T_L 을 이용한 영역 평가 예

Fig. 8. An example of region evaluation with T_H, T_L

X	S	48	54	24	6	59	X	14	S
X	X	S	S	18	51	4	3	X	S
S	X	X	6	61	48	32	X	40	34
X	29	X	S	64	S	53	2	37	62
46	X	51	S	S	S	X	X	X	X
S	S	60	X	30	31	X	14	7	S
6	22	58	53	25	X	36	S	60	39
36	X	19	10	47	13	S	3	59	28
X	64	48	X	54	40	S	44	18	S
X	X	S	S	59	1	4	28	39	13

그림 9. 6bit 양자화 결과

Fig. 9. The result of 6bit quantization

$$\sigma_B^2(T) = w_1(u_1 - u_t)^2 + w_2(u_2 - u_t)^2 = w_1w_2(u_1 - u_2)^2 \quad (4)$$

$$T^* = \arg \max \sigma_B^2(T) \quad (5)$$

여기서 $w_1 = \sum_{z=0}^T h(z), w_2 = \sum_{z=T+1}^{L-1} h(z) = 1 - w_1$

$$u_1 = \sum_{z=0}^T zh(z)/w_1, u_2 = \sum_{z=T+1}^{L-1} zh(z)/w_2$$

$$u_t = \sum_{z=0}^{L-1} zh(z), h(z) = \text{normalized histogram}$$

2.5. 안정 영역 검출

2.3절의 그림 9와 같이 양자화된 값을 대상으로 Otsu의 임계값 결정법으로 임계값을 구하고, 얻어진 임계값을 이용하여 대상 영역을 이진화 한다. 그림 9의 영역을 대상으로 얻어진 임계값을 이용한 이진화 결과는 다음과 같다.

$$P(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } Q(x,y) \leq T_O \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 (x,y) : 분할 영역 좌표
 $Q(x,y)$: 양자화 결과
 $P(x,y)$: 이진화 결과 값
 T_O : Otsu의 임계값 결정법에 의해서 얻어진 임계값

X	S	0	0	1	0	0	X	1	S
X	X	S	S	1	0	1	1	X	S
S	X	X	1	0	0	1	X	0	0
X	1	X	S	0	S	0	1	0	0
0	X	0	S	S	S	X	X	X	X
S	S	0	X	1	1	X	1	1	S
1	1	0	0	1	X	0	S	0	0
0	X	1	1	0	1	S	1	0	1
X	0	0	X	0	0	S	0	1	S
X	X	S	S	0	1	1	1	0	1

그림 10. Otsu에 의해서 얻어진 임계값 32로 이진화된 결과
 Fig. 10. The binarized result with threshold value 32 obtained by Otsu method

그림 10의 예제 데이터에서 'S', '1'로 표시된 영역은 안정 영역으로 주행 시스템이 이동할 수 있는 경로가 되며 나머지 'X', '0'으로 표시된 영역은 이동이 불가능한 영역이다.

3. 이동 경로 설정

일반적인 이동 경로 결정법은, 출발지점과 목적지가 정해지면 이동 가능한 경로를 모두 검사하여 가장 짧은 거리로 이동할 수 있는 경로를 탐색한다. 그러나 이와 같은 방법의 경로 탐색은 연산량이 매우 많다.

따라서 본 논문에서는 특정 영역에서 가장 짧은 거리를 가지는 영역으로 이동을 행하는 방법으로 국부 영역의 장애물을 회피하여 주행하는 경로를 생성한다.

3.1. 진행 방향 우선순위 경로 생성

최단 거리 탐색에 있어서 자율 주행 시스템이 나아가고자 하는 방향성에 우선순위를 둔다.

예를 들어, 아래 그림 11과 같이 주행 시스템의 현재 위치가 A, 이동 가능한 영역이 1번 영역, 2번 영역, 3번 영역 일 때, 주행 시스템의 진행 방향에 존재하는 영역이 우선적으로 선택된다.

따라서 아래 그림 11의 경우 주행 시스템의 현재 위치 A에서 다음 이동 위치는 주행 시스템의 이동 방향에 존재하는 2번 영역이 된다.

시스템 진행 방향

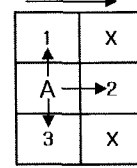


그림 11. 주행 시스템의 이동 경로 생성 예

Fig. 11. An example of path planning of autonomous system

위의 그림 11과 달리 아래 그림 12처럼 주행 시스템의 진행 방향이 이동 불가 영역이며, 현재 위치에서 위, 아래로 진행이 가능한 경우가 발생할 수 있다.

이와 같은 경우, 주행 시스템은 최대 3단 이동 경로를 측정하여 진행 방향에 우선순위를 가지는 경로를 따라서 이동하게 된다.

예를 들어, 그림 12와 같은 경우, 로봇의 현재 위치가 A이며 1, 5번 영역으로 이동이 가능할 경우, 1번 영역으로 진입했을 때의 경로와 2번 영역으로 진입했을 때의 경로가 다음과 같이 생성이 된다.

Case 1 : 1⇒2⇒3⇒4

Case 2 : 5⇒6⇒7

Case 1은 2번 영역에서 3번 영역으로 진행하게 되며 이 방향은 시스템의 진행 방향이 아닌 경우로 이동한다. 반면, Case 2의 경우는 6번 영역에서 7번 영역으로 주행 시스템의 진행 방향으로 이동함을 확인 할 수 있다.

따라서 이러한 경우 주행 시스템의 진행 방향에 우선권을 부여하여 Case 1이 아닌 Case 2의 진행 방향이 선택된다.

시스템 진행 방향

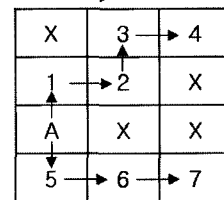


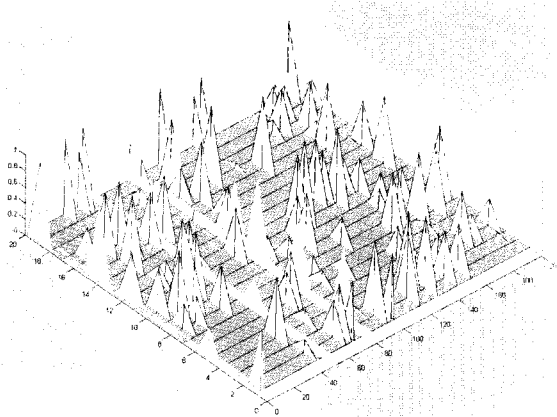
그림 12. 경로 생성 예

Fig. 12. An example of path planning

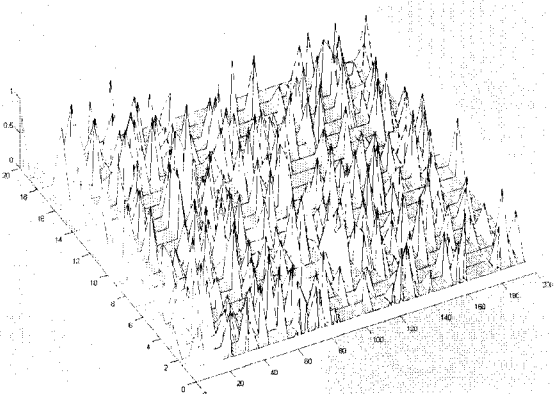
이와 같은 방법으로 주행 시스템의 이동 경로를 출발지점에서 목적지 까지 생성한다.

4. 모의실험

본 논문에서는 임의로 구성된 그림 13의 노면 정보 데이터에 대해서 모의실험을 행한다.



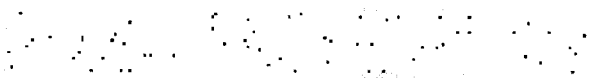
(a)노면 정보 데이터 A
(a)Road surface information A



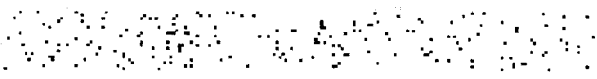
(b)노면 정보 데이터 B
(b)Road surface information B

그림 13. 모의실험에 사용된 노면 정보
Fig. 13. Road surface information used in simulation

그림 13의 노면 정보에 다중 임계값과 Otsu 임계값을 이용하여 안정 영역을 검출하면 다음과 같다.



(a)노면 정보 A의 안정 영역 평가 결과
(a)The result of safe region evaluation from road information A



(b)노면 정보 B의 안정 영역 평가 결과
(b)The result of safe region evaluation from road information B

그림 14. 안정 영역 평가 결과
Fig. 14. The result of safe region evaluation

그림 14에서 검은색 포인트는 위험 지대를 나타낸다. 그림 14와 같이 안전지역과 위험지역을 구한 뒤 3절에서 제안한 경로탐색 기법을 적용하여 경로를 구성하면 다음 그림 15와 같다.



(a)노면 정보 A에 대한 경로 생성 결과
(a)The result of path planning from the road surface information A



(b)노면 정보 B에 대한 경로 생성 결과
(b)The result of path planning from the road surface information B

그림 15. 경로 생성 결과
Fig. 15. The result of path planning

그림 15에서 검은색 점은 그림 14에서 얻어진 위험 영역을 나타내며, 흰색 선은 자율 주행 시스템이 이동할 경로를 나타낸다.

그림 15의 최종 경로 생성 결과로부터 제안기법이 임의로 구성된 노면 정보 데이터 A, B에 대해서 하나의 안정 경로를 생성하여 제시하여 주는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

외부적 개입 없이 목적지까지의 이동경로를 생성하여 자율 주행하는 시스템의 기본적 충족 조건은 운행 중 사고 없이 안전하게 목적지에 도착하는 것이다. 이를 위해서 차선 이탈 방지 시스템 및 보행자 인식/회피 등과 같은 연구가 활발히 진행 중이다.

본 논문에서는 이러한 사고 예방의 한 부분으로 주행 중인 노면의 상태 정보에 영상 이진화기법인 Otsu를 적용하여 위험 영역과 안정 영역을 추출하며, 안정적 운항이 가능한 이동경로를 생성하는 기법을 제안하였다. 또한 모의실험을 통하여 제안 기법의 타당성을 확인하였다. 차후 연구과제로는 실제 시스템을 구성하고, 구성된 시스템에 제안 기법을 적용하여, 제안 기법의 타당성을 확인하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, MIT Press, 2004.
- [2] 서석태, 이인근, 권순학, "동적 환경하에서의 이동로봇을 위한 언어지도 기반 운항계획," *한국퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, 제14권, 4호, pp. 396-401, 2004.
- [3] P. K. Pal and A. Kar, "Mobile Robot Navigation Using a Neural Net," *In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1503-1508, 1995.
- [4] 주영훈, 조상균, "유전알고리즘을 이용한 지능형 로봇의 주행 제어," *한국퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, 제15호, 4호, pp. 451-456, 2005.
- [5] 이현재, 최영규, "미지 환경에서 이동로봇의 주행

알고리즘," 한국퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 제16권, 3호, pp. 275-284, 2006.

- [6] W. S. Wijesoma, K. R. S. Kodagoda and A. P. Balasuriya, "Laser and Vision Sensing for Road Detection and Reconstruction," *In Proc. IEEE 5th Int. Conf. Intelligent Transportation Systems*, pp. 248-253, 2002.
- [7] J. W. Lee, "A Machine Vision System for Lane Departure Detection," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 86, no. 1, pp. 52-78, 2002.
- [8] M. Bertozzi, A. Broggi and A. Fascioli, "Vision-based Intelligent Vehicles: State of the Art and Perspectives," *Robot Automat System*, vol. 32, pp. 1-16, 2000.
- [9] Z. Xu, Y. Zhuang and H. Chen, "Obstacle Detection and Road Following Using Laser Scanner," *In Proc. the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp. 8630-8634, 2006.
- [10] C. Rasmussen, "Combining Laser Range, Color, and Texture Cues for Autonomous Road Following," *In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 4320-4325, 2002.
- [11] L. Montano and J. R. Asensio, "Real-Time Robot Navigation in Unstructured Environments using a 3Dlaser Rangefinder," *In Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp. 526-532, 1997.
- [12] Y. Sasada, M. Nakano, Y. Miyata, K. Suqiyama and E. Shiba, "Development of the Road Surface Condition Sensing System," *In Proc. IEEE/IEEJ/JSAI Int. Conf. Intelligent Transportation Systems*, pp. 14-19, 1999.
- [13] M. Yamada, T. Oshima, K. Ueda, I. Horiba and S. Yamamoto, "A study of the road surface condition detection technique for deployment on a vehicle," *JSAE*, vol. 24, pp. 183-188, 2003.

저 자 소 개

정혜천(Hye C. Jeong)

제18권 3호 (2008년 6월호) 참조
E-mail : doldory@kotmi.re.kr

서석태(Suk T. Seo)

제18권 3호 (2008년 6월호) 참조
E-mail : kenneth78@ynu.ac.kr



이상화(Sang H. Lee)

1993년 : 영남대학교 기계공학과(공학사)
1995년 : 영남대학교 대학원 정밀기계공학과(공학석사)
2001년~2003년 : 동 대학원 기계공학부 박사수료
1995년~2000년 : 삼성중공업 제품개발팀
2003년~2006년 : 한국철유기계연구소 자동화기술팀

2006년~현재 : 대구전략산업기획단 평가관리실

관심분야 : 로봇기구설계, 제어시스템
E-mail : shlee@dria.or.kr

이인근(In K. Lee)

제18권 3호 (2008년 6월호) 참조
E-mail : iklee@ynu.ac.kr

권순학(Soon H. Kwon)

제18권 3호 (2008년 6월호) 참조
E-mail : shkwon@yu.ac.kr