

# 이동 로봇을 위한 3차원 거리 측정 장치기반 비포장 도로 인식

## 3D Depth Measurement System-based Unpaved Trail Recognition for Mobile Robots

김 성 찬, 김 형 석\*, 김 종 만  
(Seongchan Gim, Hyongsuk Kim, and Jongman Kim)

**Abstract :** A method to recognize unpaved road region using a 3D depth measurement system is proposed for mobile robots. For autonomous maneuvering of mobile robots, recognition of obstacles or recognition of road region is the essential task. In this paper, the 3D depth measurement system which is composed of a rotating mirror, a line laser and mono-camera is employed to detect depth, where the laser light is reflected by the mirror and projected to the scene objects whose locations are to be determined. The obtained depth information is converted into an image. Such depth images of the road region represent even and plane while that of off-road region is irregular or textured. Therefore, the problem falls into a texture identification problem. Road region is detected employing a simple spatial differentiation technique to detect the plain textured area. Identification results of the diverse situation of unpaved trail are included in this paper.

**Keywords :** road detection, mobile robot, depth measurement, structured lighting

### I. 서론

최근의 로봇기술은 산업용 로봇으로부터 인간의 일을 대신하거나 돕는 서비스 로봇의 형태로 발전하고 있다. 로봇이 고정된 테이블에서 작업했던 공간 제약적 기능으로부터 탈피하여 능동적으로 이동하며 임무를 수행하는 방향으로 진화하고 있다고 할 수 있다. 이러한 자율 이동 로봇의 원활한 이동을 위해서는 장애물 인식이 필수적 요구사항이다. 로봇 주변의 물체에 대한 인지뿐만 아니라 어느 정도의 높이로 어느 거리만큼 떨어져 있는지를 정확하게 인식하는 일과 도로의 평탄성 여부도 로봇의 이동 계획수립에 중요한 정보가 된다.

주위의 물체를 인식하는 방법으로는 초음파 기반 측정 방식이 많이 사용되고 있다[1,2]. 그러나 초음파 방식은 한정된 방향성과 좁은 측정 각도 및 주변 물체에 의해 난반사되는 왜곡으로 인한 오차가 발생하는 단점을 가지고 있다. 또한, 장애물이 복잡한 경우에는 좁은 방향성으로 인하여 한정된 영역만 측정 가능하므로 전방의 모든 장애물에 대하여 인식하기가 쉽지 않다.

전방 영역에 대한 3차원 거리 정보를 한 꺼번에 인식할 있는 방법에는 평행하게 설치된 두 대의 카메라를 이용하는 스테레오 비전 방식이 있다. 스테레오 비전 방식은 간단하게 두 대의 카메라로 구성할 수 있지만 카메라의 정렬 상태 및 두 영상의 유사성에 따른 정합 포인트 결정이나 정합오류로 인하여 거리 측정 오차가 크다는 단점을 가지고 있다. 또한, 두 개의 영상을 픽셀단위로 매칭하기 때문에 계산시간이 오래 걸리는 단점도 있다[3-5].

이러한 문제를 보완하기 위한 기술로 능동 비전(active vision)기술이 제안되었다[6-8]. 능동 비전은 단일 카메라와 일정한 패턴방식의 구조적 조명(structured light)을 이용한다. 그러나 광원(light source)이 회전하면서 발생하는 블러 현상, 빛 투사각의 회전 각도에 따른 오차가 여전히 남아있고 정합문제도 해결되어야 할 문제이다[6-8]. 기존의 구조적 조명 방법의 문제를 해결하는 방법으로 광원을 회전하지 않고, 광원을 평면 거울로 반사시켜 물체를 스캔하며, 물체와 광원 영상을 카메라에 의해 포착함으로써 레이저 광의 위치에 의해 물체까지의 거리를 측정하는 회전평면경 이용 방법이 개발되었다[9,10].

본 연구는 회전 평면경 이용방법의 응용으로서 거리측정 장치를 이용하여 얻은 거리 영상에서는 평탄한 도로와 도로 밖의 영상 텍스처가 판이하게 다르다는 특징을 이용하여 도로를 검출하는 방법이다. 이 시스템에서 사용한 거리측정 장치에는 적외선 레이저와 카메라가 평행하게 설치되어 있으며 이들의 맞은편에 회전하는 평면경으로 구성되어 있다. 이 시스템에서는 적외선 레이저 빔이 평면경에 반사된 후, 측정하고자 하는 물체에 투사되고 그 상이 거울에 다시 투영되어 맞은편의 카메라에 포착되어 영상화된다. 또, 평면경이 회전하기 때문에 거의 모든 방향의 거리 측정이 가능하고, 선형의 적외선 레이저를 사용하므로 한 번의 스캔으로 3차원 정보를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 기존의 구조적 조명방법(structured lighting)에 비해 레이저 빔 영상의 블러(blur)가 거의 없고, 회전평면경의 각이 거리계산에 포함되지 않으므로 평면경의 회전 각도 측정값 오차에 따른 거리 값 오차가 존재하지 않게 된다.

본 논문의 2절에서는 이러한 회전 평면경을 이용한 거리 측정 장치의 원리를 기술하였고, 3절에서는 거리측정 장치를 사용한 도로 인식 시스템 구현에 관한 내용을 기술하였다. 또한, 4절은 회전 평면경을 이용한 거리측정 시스템을 비포장 도

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 11. 25., 채택확정 : 2006. 2. 25.

김성찬, 김형석 : CAIIT, 전북대학교 제어계측공학과

(scgim@chonbuk.ac.kr/hskim@chonbuk.ac.kr)

김종만 : 전남도립남도대학교 컴퓨터응용전기과(jmk@namdo.ac.kr)

※ 본 연구는 한국산업기술평가원지원의 메카트로닉스 연구센터 지원에 의하여 연구되었음.

로 인식에 적용한 실험결과이고 5절은 이에 대한 결론이다.

II. 거리측정 시스템

1. 기하학적 원리

제안한 도로 인식 시스템은 3차원 거리를 측정하여 도로 면과 도로 위의 물체를 인식하는 시스템으로 단일 카메라와 적외선 레이저가 회전 평면경의 맞은편에 설치된다. 적외선 레이저 빛은 회전평면경에 비춰지며 회전평면경에서 반사된 레이저 빛은 물체에 맺히게 되고 이렇게 맺힌 빛은 다시 거울을 통하여 카메라에 들어오게 된다. 이러한 시스템의 기하학적 구조는 그림 1과 같다.

Light source가 되는 레이저 빛이 회전 평면경에 반사되어 물체 T에 맺힌다. 물체 T에 맺힌 레이저 빛은 다시 거울의 허상 T'에 맺힌다. 실제 카메라에서 측정되는 영상은 T'에 위치한 영상이 되고 레이저 빛은 카메라 CCD의 점 P에 맺히게 된다.

그림 1은 카메라와 레이저가 기구적으로 정확하게 평행하게 될 수 없으므로 이러한 비평형상태를 가정하고 비평행 각도 ζ를 고려한 구조이다. 각 매개 변수는 카메라와 레이저의 비평행 정도를 각 ζ, 카메라의 일직선 축과 수직하는 수평 축과 평면경 사이의 각을 θ, 카메라와 레이저가 떨어져 있는 거리를 δ<sub>o</sub>, 카메라의 초점과 수평 축 사이의 거리를 d<sub>m</sub>, 카메라의 초점 거리를 f, 입력된 영상의 중심을 기준으로 점 P까지의 거리를 P<sub>x</sub>로 설정했다.

물체까지의 실제 거리 R을 구하기 위해서 카메라의 초점 f를 기준으로 삼각형의 닮음비 공식을 이용하면 아래 식과 같은 닮음비가 성립한다.

$$P_x : f = \delta T' : D \tag{1}$$

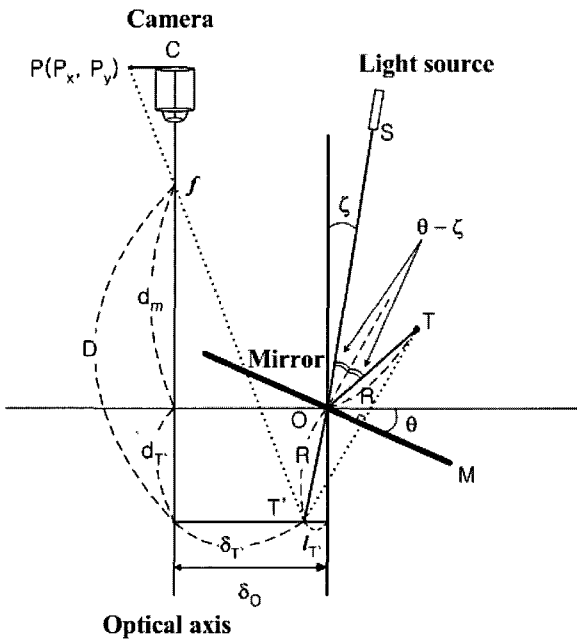


그림 1. 제안한 거리측정 시스템의 기하학적 구조.  
Fig. 1. Structure of the proposed depth measurement system.

(1)을 전개하면

$$P_x(d_m + d_T) = f \delta T' \tag{2}$$

가 되고,  $d_T' = R \cos \zeta$ ,  $\delta T' = \delta O - IT'$ ,  $IT' = R \sin \zeta$  이므로 (2)에 대입하여 정리하면

$$P_x(d_m + R \cos \zeta) = f(\delta_o - R \sin \zeta) \tag{3}$$

이고, 거리 R에 대하여 정리하면

$$R = \frac{f \delta_o - P_x d_m}{f \sin \zeta + P_x \cos \zeta} \tag{4}$$

를 얻는다. 물체의 거리는 CCD의 중심인 축 C를 기준으로 물체가 멀리 있을 경우 카메라의 점 C에 가까우며, 물체가 가까이 있을 경우 점 C에서 멀어져 입력 영상의 원편 모서리에 가까워진다.

2. 점 P(P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub>)에서 보정

P(P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub>)에서 P<sub>x</sub>는 아래 식과 같이 CCD상의 실제 거리 이므로 영상에 나타나는 중심으로부터의 픽셀 개수 n<sub>x</sub>와 셀의 너비 δ<sub>cell</sub>의 곱으로 표현할 수 있다.

$$P_x = n_x \times \delta_{cell} \tag{5}$$

(5)를 (4)에 대입하면

$$R = \frac{f \delta_o - \delta_{cell} n_x d_m}{f \sin \zeta + \delta_{cell} n_x \cos \zeta} = \frac{\frac{f}{\delta_{cell}} \delta_o - n_x d_m}{\frac{f}{\delta_{cell}} \sin \zeta + n_x \cos \zeta} \tag{6}$$

와 같이 나타낼 수 있다.  $\frac{f}{\delta_{cell}}$ 를 외부변수 k라하면,

$$R = \frac{k \delta_o - n_x d_m}{k \sin \zeta + n_x \cos \zeta} \tag{7}$$

와 같이 나타낼 수 있다. (7)에서 k를 구하기 위해서 거리 R을 50, 100, 150, 200, ..., 500cm로 설정하고 레이저와 카메라의 거리 δ<sub>o</sub>를 충분히 먼 거리에서도 유지하여 평행을 맞추면 ζ를 0으로 볼 수 있다. 이미 알 수 있는 ζ, δ<sub>o</sub>, d<sub>m</sub>, R 값 및 영상에서 알 수 있는 n<sub>x</sub>를 (7)에 대입한다. 대입한 결과인 k 값들의 평균을 보정 상수로 사용한다. k는 카메라와 렌즈에 의한 값이므로 한번 구하면 가변되지 않는다.

III. 도로 인식 시스템 구현

제안한 거리측정 장치에 의한 도로인식 시스템의 구조는 그림 2와 같이 거리 측정 부분, 데이터를 처리하고 명령을 주는 컴퓨터 부분, 명령을 받아 처리하고 데이터를 수집하는 제어 보드부분으로 되어있다. 거리측정 시스템 부분은 회전 거울과 이를 구동하는 모터, 카메라 및 적외선 레이저 광원으로 구성된다.

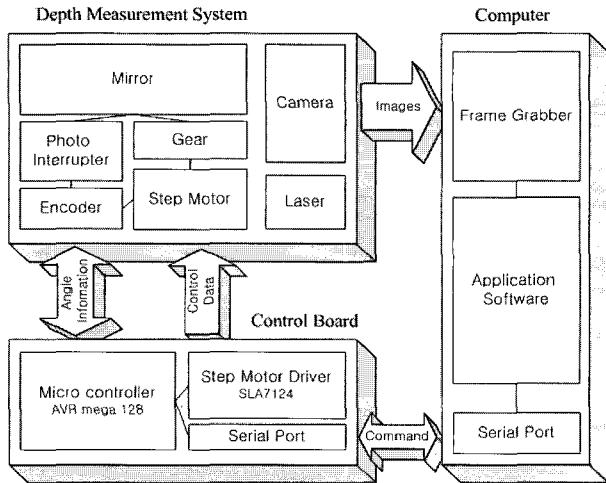


그림 2. 도로 인식 시스템의 블록다이어그램.  
Fig. 2. Block diagram of the proposed road recognition system.

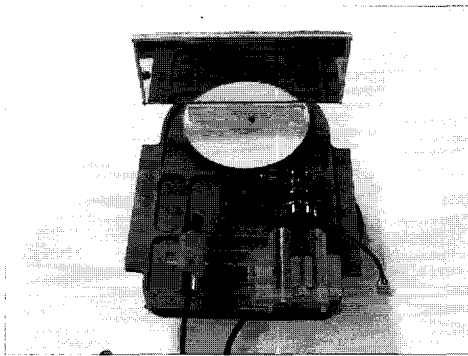


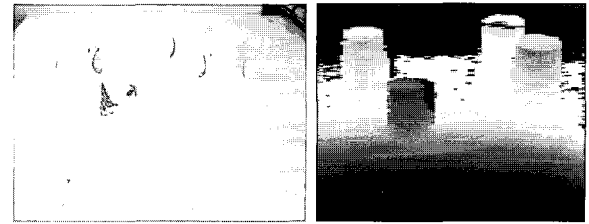
그림 3. 개발한 3차원 거리측정 시스템.  
Fig. 3. The developed 3D depth measurement system.

컴퓨터에서 시리얼 통신을 이용하여 제어 보드에 거울회전 명령을 인가하면 스텝모터는 거울을 제어하여 규정 속도로 회전시킨다. 거울의 초기위치는 포토인터럽트를 통하여 전달 받으며 거울의 각도는 인크리멘탈 엔코더를 통하여 마이크로컨트롤러에 전달된다. 회전평면경을 통하여 카메라로 들어오는 영상은 컴퓨터에 장착된 프레임그래버를 거쳐 응용 소프트웨어에 전달되고 입력된 영상 안에서 적외선 레이저 빛의 위치를 찾아 (7)에 의해 3차원 거리를 측정한다. 이 구조에서 거리측정 시스템 부분을 하드웨어로 구현한 시스템은 그림 3과 같다. 그림 위쪽에 회전할 수 있는 평면경이 위치해 있고 왼편에는 선 레이저, 오른편에는 CCD카메라가 있다. 그리고 중앙에는 스텝모터가 있어서 시스템 아래에 위치해 있는 거울의 회전축과 타이밍 벨트로 연결되어 있다.

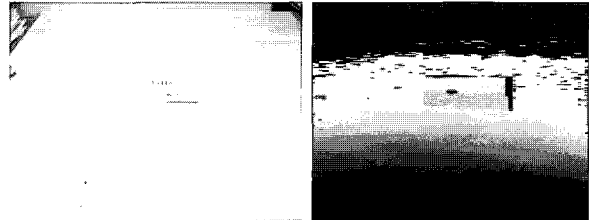
**IV. 실험 및 분석**

회전 평면경 기반의 거리측정 장치를 사용하여 비포장 도로인식 실험을 하였다. 실험에서 640x480 8-bit pixels의 흑백카메라를 사용하였고, 거리측정장치에 사용한  $d_m$  과  $\delta_o$  값들은 15cm와 8cm였다.  $k$  와  $\zeta$  로는 1377.56와 3.869° 를 켈리브레이션을 통하여 얻어 사용했다.

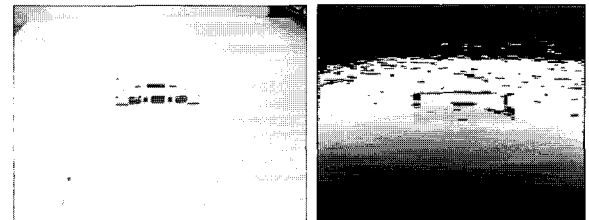
실험은 일반적인 실내 바닥에서 물체가 널려있는 환경과



(a) Paper cups



(b) Cigarette pack



(c) Cassette tape

그림 4. 실내 바닥에 놓여있는 소품의 인식. (좌는 원 영상, 우는 거리측정 장치에 의해서 측정된 거리영상).

Fig. 4. Small objects on the indoor floor. (Left images are the original objects, right images are the depth images).

야간에 운용되는 로봇이 비포장 소로에서 경계업무를 수행하는데 필요한 도로 인식실험이다.

실내 환경의 바닥은 대부분 평탄하지만, 예기치않은 물체가 바닥에 떨어져 있을 경우가 많다.

그림 4는 실내 환경에서 로봇의 진로 상에 물체가 놓여 있을 경우, 이에 대한 인식 실험 결과이다. 실험에는 각각 크고 작은 종이컵, 담배갑, 카세트 테이프가 이용되었다.

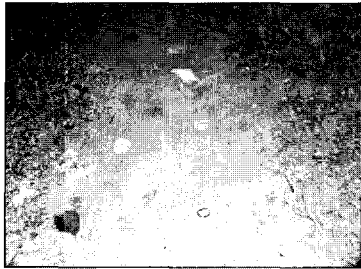
거리 영상에서 동일한 색은 동일한 거리임을 나타낸다. 실험에서 평탄한 바닥을 측정하게 되면 거리 값 영상은 평탄함을 유지하게 된다. 만약 바닥이 평탄하지 않거나, 장애물이 존재하는 경우는 거리값이 변할 것이며, 이에 따라, 색도 변한다. 이러한 특성을 이용하면 수평 방향에서 색의 변화가 검출 될 경우 물체가 존재한다고 판단할 수 있다. 그림 4(a), (b), (c) 모두 장애물이 존재함을 알 수 있었다.

비포장도로에서는 흙이 패인 부분과 흙이 쌓인 부분 등 예측하지 못하는 곳에서 지형 변화가 나타날 수 있다. 그런데, 촬영 위치에 따라서 2D 영상으로는 그 굴곡을 분별하기 쉽지 않은 경우가 발생한다. 그림 5(a)는 둔덕이 존재하는 지형에서 약간 위에서 촬영한 것인데, 고저의 분간이 어려울 수 있음을 알 수 있다. 그런데, 개발한 거리 측정시스템을 이용하면, 그림 5(b)와 같이 3차원 정보에의해 고저를 알 수 있게 된다.

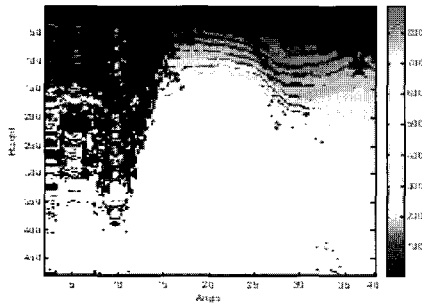
그림 5(b)의 왼쪽 상단 부분에 대해서는 작은 풀잎에 의해

측정되는 부분도 있고 풀앞에 가려져 뒤쪽의 거리 값이 표현되지 않은 경우도 있다. 이와 같은 결과는 로봇이 진행하는 좁은 길에서 가이드라인과 같은 역할을 할 수 있음을 보여준다. 또한, 15~25도 사이의 둔덕부분과 30~40도의 계곡 부분이 있음을 보여주는 본 결과는 일반 영상에서는 인식하기 힘든 지형의 모습을 제대로 인식할 수 있음을 보여주고 있다.

앞의 실험에서는 야간에 장애물과 지형변화를 인식하기



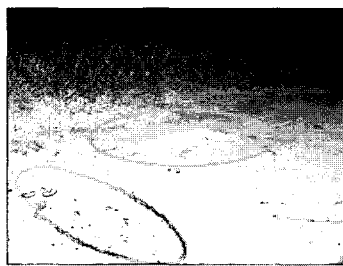
(a) Image taken at high position



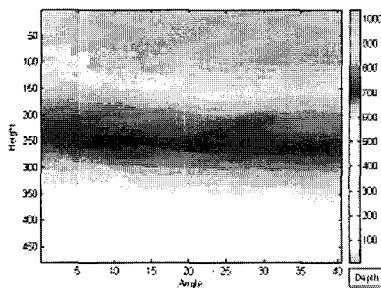
(b) Depth image

그림 5. 평탄치 않은 도로에서 실험.

Fig. 5. Experiment on the uneven road.



(a) Image with obstacles



(b) Depth image

그림 6. 돌출 장애물이 있는 비포장 도로에서 실험.

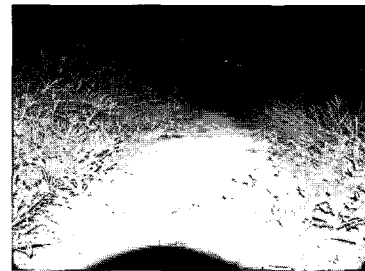
Fig. 6. Experiment on the unpaved road with extruded obstacles.

위한 실험 결과를 보였다. 다음 실험에서는 진행 경로에 있는 작은 돌부리나 나무뿌리와 같이 작은 장애물이 있는 환경에 대한 인식에 대한 실험을 하였다.

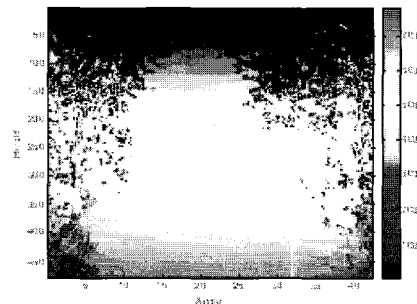
그림 6(a)는 비 포장 도로에 존재할 수 있는 돌출 나무뿌리들이다. 로봇의 진행 경로에 있는 요철 부분에 대한 인식 실험 결과는 그림 6(b)와 같다. 결과에서 두 곳에 있는 나무뿌리의 위치를 인식하고 있음을 알 수 있다.

로봇의 이동시 소로의 경계를 인식하여 진행 가능한 길을 인지하는 기능도 필요하다. 다음 실험은 도로와 풀밭과의 경계를 인지하여 로봇의 주행로를 파악하는 실험이다.

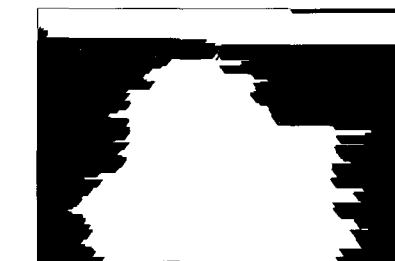
그림 7(a)는 일반적인 비포장 도로 영상이고 그림 7(b)는 측정된 거리 영상이다. 측정 결과에서 도로 경계 밖의 부분은 데이터의 복잡도가 높지만 소로 안쪽은 거리에 따른 점진적인 변화만 보인다. 이와 같은 현상은 소로의 경계에는 둔덕이나 풀이 있어서 거리 값이 급변하거나 돌출되기 때문으로서 거리 영상의 텍스처가 도로명과 비 도로면 간에 현저히 다르다. 이러한 특성을 가진 도로 부분은 수평방향의 미분과 필터링을 취함으로써 구할 수 있다. 그림 7(c)는 거리영상에서 수평방향의 미분을 취하고 필터링을 하여 얻은 영상으로서 로봇이 이동할 수 있는 도로의 범위를 보여준다.



(a) Trail image



(b) Depth image



(c) After taking derivative and filtering of (b)

그림 7. 비포장 소로 인식.

Fig. 7. Unpaved trail recognition.

**V. 결론**

본 논문에서는 3차원 물체 인식 시스템을 통한 이동로봇용 비포장도로 인식 방법을 제안하였다. 야간에 운용되는 로봇의 경우 어두운 환경과 돌출 부분에 대한 강인한 인식이 필요하므로 이를 위해서 3차원거리 측정장치 이용방법을 제시하였다.

이 연구에서 사용한 거리 측정시스템은 단일카메라와 선형 레이저가 평행하게 설치되어 있고, 그 전방에 회전하는 평면경이 설치되어 있어, 평면경에 비치는 레이저 빔의 위치를 카메라에 의해 검출함으로써 거리가 측정되는 원리이다. 이렇게 측정된 거리 값을 영상으로 변환하면, 이 거리 영상에서는 평탄한 도로면과 장애물 혹은 도로 밖 영역의 텍스처에 현저한 차이가 있으므로 텍스처 분류법에 의해 이들을 차이를 인식할 수 있다.

이 방법의 효용성을 검토하기 위해서, 실내 바닥에 작은 소품이 떨어져 있는 경우와 요철이 있는 비포장 도로, 비포장 도로상에 돌출이 있는 경우 및 비포장도로 내의 영역 인식 실험등을 수행하였다. 실험 결과 도로 상의 장애물뿐만 아니라 도로의 요철 및 도로내외의 구분이 명확하게 수행될 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 제한한 3차원 거리측정장치에서 선형레이저를 적외선 타입으로 사용할 경우, 인간의 눈에 포착되지 않게되므로 로봇의 야간 경계용으로도 효과적으로 사용할 수 있을 것이다.

**참고문헌**

[1] P. K. Ray and A. Mahajan, "A genetic algorithm based approach to calculate the optimal configuration of ultrasonic sensors in a 3D position estimation system," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 41, pp. 165-177, Issue 4, 31, Dec 2002.

[2] F. Figueroa, A. Mahajan, "A robust navigation system for autonomous vehicles using ultrasonics," *Control Engineering Practice*, vol 2, pp. 855-858, Issue 5, October 1994.

[3] W. Eric L. Grimson, "Computational experiments with a feature based stereo algorithm," *IEEE Transactions on Patt Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-7, no. 1, 17, Jan., 1985.

[4] M. El Ansari, L. Masmoudi, and L. Radouane, "A new region matching method for stereoscopic images," *Pattern Recognition Letters*, vol. 21, pp. 283-294, April 2000.

[5] F. Candocia and M. Adjouadi, "A similarity measurement for stereo feature matching," *IEEE Tr. on Image processing*, vol. 5, pp.1460-1464, October 1997.

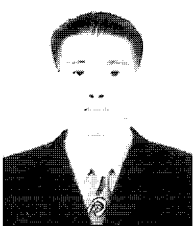
[6] C. S. Chen, Y. P. Hung, C. C. Chiang, and J. L. Wu, "Range data acquisition using color structured lighting and stereo vision," *Image and Vision Computing*, vol. 15, pp. 445-456, 1997.

[7] D. Scharstein and R. Szeliski, "High-accuracy stereo depth maps using structured light," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 1-195-202, 2003.

[8] K. Pulli and L. G. Shapiro, "Surface reconstruction and display from range and color data," *Graphical Models*. vol. 62, pp. 165-201, 2000.

[9] H. S. Kim, C.-S. Lin, C.-B. Yoon, H.-J. Lee, and H. R. Son, "A depth measurement system with the active vision of the striped lighting and rotating mirror," *Lecture Note in Computer Sciences: Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications*, vol. 3287, pp. 108-115, Oct. 2004.

[10] J. H. Song, S. I. Na, H.-G. Kim, H. S. Kim, and C.-S. Lin "Depth measurement associated with the mono camera system with a rotating mirror," *Lecture Notes in Computer Science: Advances in Multimedia Information Processing*, vol. 2532, pp. 1145-1152, December 2002.



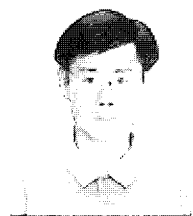
**김 성 찬**

1981년 6월 18일생. 2005년 전북대학교 전자정보공학부 졸업. 2005년~현재 전북대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 로봇비전, 영상처리.



**김 형 석**

1980년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1982년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 University of Missouri, Columbia, Dept. of Electrical and Computer Eng.(박사). 1993년~현재 전북대학교 정교수.



**김 종 만**

1986년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1988년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1996년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2000년~현재 전남도립 남도대학교 조교수.