

# 지면 특징점을 이용한 영상 주행기록계에 관한 연구

## A Study on the Visual Odometer using Ground Feature Point

이윤섭<sup>1</sup>, 노경곤<sup>1,✉</sup>, 김진걸<sup>1</sup>

Yoon Sub Lee<sup>1</sup>, Gyung Gon Noh<sup>1,✉</sup> and Jin-Geol Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 인하대학교 전기공학과 (Department of Electrical Engineering, Inha Univ.)

✉ Corresponding author: as900515@hotmail.com, Tel: 019-9174-7408

Manuscript received: 2010.1.15 / Revised: 2010.7.5 / Accepted: 2010.11.2

*Odometry is the critical factor to estimate the location of the robot. In the mobile robot with wheels, odometry can be performed using the information from the encoder. However, the information of location in the encoder is inaccurate because of the errors caused by the wheel's alignment or slip. In general, visual odometer has been used to compensate for the kinetic errors of robot. In case of using the visual odometry under some robot system, the kinetic analysis is required for compensation of errors, which means that the conventional visual odometry cannot be easily applied to the implementation of the other type of the robot system. In this paper, the novel visual odometry, which employs only the single camera toward the ground, is proposed. The camera is mounted at the center of the bottom of the mobile robot. Feature points of the ground image are extracted by using median filter and color contrast filter. In addition, the linear and angular vectors of the mobile robot are calculated with feature points matching, and the visual odometry is performed by using these linear and angular vectors. The proposed odometry is verified through the experimental results of driving tests using the encoder and the new visual odometry.*

Key Words: Visual Odometry (영상 주행기록계), Ground Feature Point(지면 특징점), Mobile Robot (이동로봇)

### 1. 서론

로봇의 위치추정은 크게 전역 위치추정(global localization)과 지역 위치추정(local localization)으로 분류할 수 있다. 그 중 지역 위치추정은 로봇의 초기위치를 알고 있다고 가정하고 이를 기준으로 로봇 이동시 위치변화를 측정하여 로봇의 위치를 추정하는 것이다.<sup>1</sup> 주행기록계(odometry)는 로봇의 위치에 따른 주행경로를 기록한다. 주행기록계는 주행하는 로봇의 가장 기본이 되는 센서인 엔코더(encoder)에 의존한다. 엔코더는 로봇의 바퀴에 대한 회전수를 측정하는 센서로 초기위치부터 회전수를 바탕으로 계산된 이동거리를 더해 나감으로

써 자신의 위치를 추정할 수 있다.<sup>2</sup> 그러나 엔코더는 바닥과 바퀴간의 미끄러짐, 바닥의 청소상태, 바퀴의 정렬상태 등 시스템적 또는 비 시스템적인 이유들로 인해 부정확하며 로봇이 주행함에 따라 주행기록오차(odometric error)가 누적되기 때문에 엔코더 정보만으로는 이동로봇의 정확한 위치를 알 수 없다.<sup>3</sup>

엔코더를 제외하고 로봇의 위치추정에 사용되는 센서는 크게 거리센서와 비전센서로 나눌 수 있다. 거리센서에 기반을 둔 위치추정은 동적 장애물이나 의자와 같은 가는 다리가 있어 감지하기 어려운 물체가 환경에 많을 경우 오차가 커진다. 비전센서는 획득할 수 있는 정보량이 많기 때문에

비전센서에 기반을 둔 위치추정에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.<sup>4,15</sup> 하지만 단일카메라에서는 정확한 깊이 정보를 계산하기 어렵기 때문에 스테레오 카메라와 같은 장비를 사용하여 깊이 정보를 계산한다.

본 논문에서는 부정확한 엔코더 정보에 의존하지 않고 바닥을 향한 단일 웹 카메라만을 사용하여 주행기록을 작성하는 방법을 제안한다. 이전에 시도하지 않았던 방식으로 기존의 천장과 주변 사물의 모서리를 특징점으로 사용하는 방식과는 특징점 추출 방식에서도 차별화 된다. 본 논문에서의 특징점 추출은 바닥의 연속적인 영상에서의 화소 밝기 패턴에 대한 움직임을 필터로 특징화 하여 매칭하는 기법을 사용한다. 이는 기존의 모서리 특징점 기반의 방식으로는 바닥에서 특징점을 검출하기 어렵기 때문이다. 반면 영상화소의 밝기 패턴에 따른 방식은 바닥의 특징점 추출에 용이하므로 다양한 지면환경에서도 강인한 특성을 보이며, 이를 실험을 통하여 검증한다.

### 2. 관련연구

영상 주행기록계의 관련 연구로는 카메라를 로봇 몸체 전방에 설치하여 사물의 특징점을 기반으로하는 영상 주행기록계 연구와, 카메라를 로봇 몸체 위에 설치하여 천장을 기반으로 하는 상향카메라 기반 시각 주행기록계 연구로 나눌 수 있다.

Fig. 1 은 로봇의 몸체 위에 카메라를 설치하여 전방 사물의 특징점을 추출한 그림이다. 추출된 특징점은 3D(dimension)로 재구축하기 위해 6D(x, y, z, yaw, pitch, roll)테이더로 변환된다. 사물의 특징점을 6D 로 변환하여 3D 화 시켜 사용하게 되면 자신의 위치 분별에 많은 도움을 줄 수 있으나, 데이터로 인해 많은 시간이 소요된다.<sup>16</sup>

이와 같은 시스템은 자신의 위치를 학습을 통해 정확히 가져 올 수 있어, 정확도가 높다는 장점



Fig. 1 Landmarks in the current frame

이 있다. 반면 처리 과정이 많으며, 많은 데이터를 저장 및 매칭해야 하므로 많은 데이터를 저장할수록 처리량이 많아지는 문제점이 있다. 또한 카메라와 로봇간의 기구학적 해석도 필요할 뿐만 아니라 로봇의 오차에 의한 튜닝도 해야 하기 때문에 결과물을 얻기 위해서는 많은 실험과 시간을 튜닝 작업에 할애해야 한다.

상향 카메라 기반 시각 주행기록계는 형광등과 광학적 흐름(optical flow)을 이용한다.<sup>17</sup> Harris 코너를 이용하여 모서리의 광학적 흐름과 형광등의 위치를 통한 움직임벡터를 구한 뒤 병합하여 움직임벡터를 결정하는데, 이 방식은 천장의 형광등을 바라본다는 점에서 오차 누적을 막을 수 있지만, 모든 천장 환경이 동일하지 않다는 점과, 천장의 높낮이 및 형광등의 크기와 모양에 따라 오차가 발생하는 문제점이 있다. 또한, 형광등의 조도에 따라 시스템이 오작동을 보일 수 있어, 기존의 영상 주행기록 시스템은 여러 이동로봇에게 적용이 쉽지 않다. 본 논문에서는 바닥을 촬영하여 환경에 영향을 받지 않고 강인하며 쉽게 이동로봇에게 적용할 수 있는 영상 주행기록 시스템 제안하며, 이를 실험을 통해 검증하고자 한다.

### 3. 영상시스템

본 논문에서, 영상 시스템은 이동로봇의 바닥면에 장착되어 영상을 취득한다. 로봇의 바닥면은 몸체에 의해 음영이 생기게 되므로 조도가 떨어지는 문제를 가지게 된다. 그러므로 선명한 영상을 취득하기 위해서는 로봇의 바닥면 광량을 늘려줄 보조 광원 시스템이 필요하다.

웹 카메라는 시중에서 용이하게 구입할 수 있는 Logitech 社의 QuickCam E2500 을 사용하였다. 웹 카메라는 640x480 화소의 VGA CMOS 를 사용하며, 프레임 전송률 최대 초당 30 프레임을 보장한다. 웹 카메라와 광원 시스템은 로봇의 바닥면에 장착해야 하며, 진동에 강인해야 하므로, 이를 지지할 수 있는 프레임이 필요하다. 프레임은 알루미늄 프로파일을 사용하였으며, 광원 시스템은 백색 고회도 LED 를 사용하였다. 전원부는 Li-Polymer 14.8V 이며, 용량이 1500mAh 인 배터리를 사용하여 2 시간의 동작 시간을 보장하였다.

웹 카메라를 통해 pixel 의 실제 거리를 얻기 위해서는 보정 과정이 필요하다. 실세계 좌표의 임의의 한 점이 이차원 카메라 좌표계 평면에 어

떻게 사상이 되는지를 표현하는데 있어서 관련된 카메라 변수의 값을 정해줄 필요가 있는 것이다. 카메라 보정 알고리즘은 크게 2 가지 방법이 있는데, 카메라 변수들을 바로 구하는 방법과 프로젝션 매트릭스로부터 카메라 변수를 구하는 방법이 있다. 전자는 Tsai 가 제안한 방법<sup>18</sup> 이고, 후자는 Faugeras 에 의하여 제안된 방법<sup>19</sup> 이다. 본 논문에서는 Tsai 가 제안한 방법을 사용하여 카메라의 보정을 수행하였다.

#### 4. 영상처리 알고리즘

##### 4.1 환경 분석

본 논문에서 제시한 시스템은 다음과 같은 제약 조건을 가진다. 지형은 굴곡이 0°에서 10° 이내의 굴곡이 없는 완만한 지형 이여야 하며, 지면은 외부의 사물이 비추어 보이지 않아야 하며, 3cm<sup>2</sup>의 영역 안에 색상대비(色相對比)가 고루 분포되어 있어야 한다. 일정한 그림 및 형태가 포함되어 있는 대리석 타일이 깔려 있는 건물이 이에 해당된다. 이러한 지형의 제약 조건을 고려하여, 서로 다른 색상적 특징이 혼합된 3 개의 실내 환경과 1 개의 실외 환경 등 총 4 가지 환경을 대상으로 필터를 적용하였다. 본 논문의 영상처리 알고리즘은 Fig. 2 와 같은 처리 과정을 거친다.

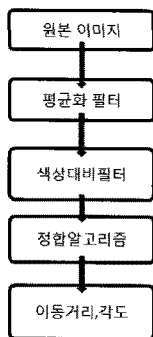


Fig. 2 Image processing plan

Fig. 3 은 3 가지 종류의 타일의 모습이다. Fig. 3 의 (a)는 회색 바탕에 흰색과 회색의 패턴 조합으로 이루어진 회색타일(Type A)이고, Fig. 3 의 (b)는 회색 바탕색에 검정색의 점들로 무늬가 되어 있는 화강암(花崗巖)으로 구성된 타일(Type B)이다. 또한, Fig. 3 의 (c)는 연녹색 바탕에 회색과 흰색의 패턴 조합으로 이루어진 타일(Type C)이다.

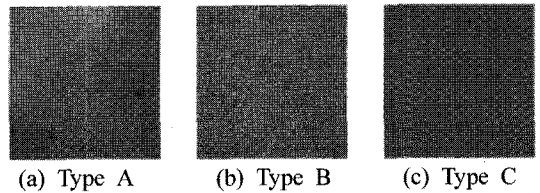
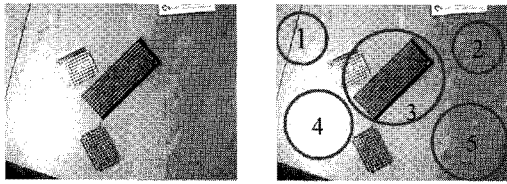


Fig. 3 Tiles of three types

##### 4.2 기존의 필터

기존의 필터는 영상 인식을 위해 특징 점을 사용하였다. 이러한 특징 점을 검출하는 대표적인 필터 알고리즘으로는 허프라인 검출 필터(hough line detection filter), 케니 엣지 필터(canny edge filter), 헤리스 코너 검출 필터(harris corner detection filter), 이진화 필터(binary filter)가 있다. 각 필터는 인식 분야에 널리 사용되는 공인된 필터이다. 본 논문에서는 상기 언급한 4 가지 필터를 사용하여 색상 대비 필터의 비교 분석하였다.

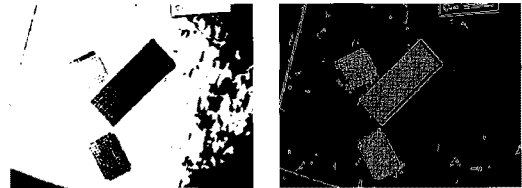
실험에 사용한 바닥 타일의 크기는 0.3x0.3m 의 정사각형의 크기의 바닥으로부터 특징점을 가져 오기 위해, 다양한 알고리즘을 통한 특징점 검출을 수행하였다. Fig. 4 의 (a)는 웹 카메라로 부터 들어오는 영상을 캡처한 그림이다. 필터 실험 결과를 확인하기 위해 녹색의 PCB 기판과 노란색의 포스트잇(post-it)을 회색타일위에 배치하였다. 이는 타일에 생길 수 있는 이물질 및 각 필터의 성능을 확인하기 위한 실험군(實驗群)의 역할을 한다. Fig. 3 의 (a)에서와 같이 타일의 모습은 고유의 무늬와 주변의 이물질이 포함된 모습을 확인할 수 있다. 사람들이 밟고 지나다니는 타일은 신발의 이물질 및 먼지로 인해 더럽혀질 수 있다. 이물질에 의해 타일은 일정한 패턴만을 가지고 있지 않게 되며, 일정한 무늬만을 검출하여 사용하게 되는 경우, 시스템의 한계가 커지게 되는 문제점을 가져오게 된다. 필터 실험은 카메라를 지면 수직으로 250mm 떨어진 지점에서 카메라를 고정시킨 후 조명을 사용하여 실험을 진행하였다. 필터는 매 프레임에 적용되며, 출력된 이미지를 휴리스틱(heuristic)하게 성능 평가하였다. Fig. 4 의 (b)는 원본 영상을 영역화 해 놓은 것으로 각 필터가 적용된 이후의 그림들도 동일하다. 붉은색 동그라미 안의 숫자는 각 영역의 고유 식별 번호를 나타내는데, 각각 1 번 영역, 2 번 영역, 3 번 영역, 4 번 영역, 5 번 영역으로 표시하였다. 필터의 실험에서 1, 2, 3, 5 번의 영역에 잡음에 영향을 받지 않는 강인한 특징점이 나와야 한다.



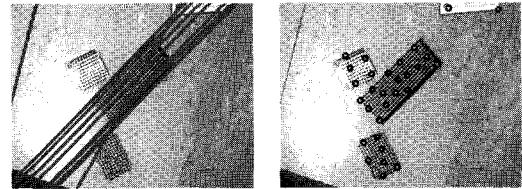
(a) original image (b) regionalized image  
Fig. 4 Original and regionalized images

Fig. 5 의 (a)는 문턱치 값에 의한 이진화 필터를 통한 영상처리 이미지이다. 문턱치 값과 조도에 의해 영상의 이미지가 일정하게 검출되지 않는 문제가 발생하며, 바닥의 무늬를 검출하지 못하는 문제로 사용할 수 없다. Fig. 5 의 (b)는 케니엣지 필터를 통한 영상의 모습이다. 외각라인을 잘 검출해 내지만 타일의 무늬를 잡아 내지 못하며, 잡음에 의한 영상의 떨림이 발생하여 사용할 수 없다. Fig. 5 의 (c)는 허프 라인 검출 필터를 사용한 영상이다. 그림에서와 같이 선 성분에 해당하는 검출에는 용이하나 잡음에 의해 일정한 검출이 이루어지지 않아 사용할 수 없다. Fig. 5 의 (d)는 해리스 코너 검출 필터영상이다. 해리스 코너 검출 필터는 VSLAM(visual simultaneous localization and mapping)과 같은 많은 영상 위치인식 기반 시스템은 모서리를 검출하여 사용하므로 이 필터를 통해 기존의 영상 시스템이 바닥면에 대한 성능을 분석해 볼 수 있다. Fig. 5 의 (d)에서 파란색 동그라미는 검출된 모서리를 나타낸다. 3 번 영역의 녹색 기판과 포스트잇을 제외한 나머지 영역은 검출이 이루어 지지 않는 것을 확인할 수 있다. 또한 모서리 검출은 동일한 지점에 이루어지지 않고 영상의 잡음에 의해 인근 지점에 검출되는 현상을 보인다. 따라서 바닥의 무늬를 인식하기에는 적합하지 않으며, 기존의 사용된 위치인식 기반 시스템은 바닥 촬영을 통해 자신의 위치 추정을 하기에는 부적합하다는 것을 알 수 있다. 기존의 위치 인식은 특징점을 기반으로 특징점의 기하학적 변화에 따른 자신의 위치 변화를 감지하는 시스템으로 구성되어 왔다. 하지만 바닥은 무늬가 일정하지 않으며 선과 모서리가 항상 존재 하지 않는 비선형성을 띄고 있다.

Fig. 5 의 실험을 통해 알 수 있듯이 기존의 특징점 기반의 위치 인식 시스템은 바닥 면을 대상으로 한 영상처리 시스템으로 적합하지 않다.



(a) binary filter (b) Canny edge filter



(c)Hough line detection filter (d)Harris corner detection on filter

Fig. 5 Image filters

### 4.3 색상대비 알고리즘

기존의 영상 주행 기록계에 사용한 필터는 바닥 무늬 검출에 적합하지 않으므로, 본 논문은 바닥 무늬 검출할 수 있는 색상대비 영역 검출 기법을 제안한다. 주변의 색상의 비해 급격한 변화를 가진 색상을 추출하여 바닥의 무늬를 검출하는 것이다. 이러한 색상 대비 알고리즘은 Table 1 과 같이 동작된다.

Table 1 의 색상 대비 알고리즘은 들어온 이미지의 각 화소를 주변 화소와 비교하여 바닥의 특징이 되는 점들을 추출해 낸다. Table 1 의 M 은 5x5 크기 마스크이며, K는 색상대비 문턱치 값이다. 문턱치 값은 여러 번의 실험을 통해 적절한 값을 찾는 휴리스틱한 방법을 선택하였다. X 와 Y 는

Table 1 Color contrast algorithm

```

Algorithm color contrast(M,K,X,Y)
for all Y do
    if  $M_{min} < Y \ \&\& \ Y < M_{max} \ \&\& \ M_{min} < X \ \&\& \ X < M_{max}$ , then
         $sum = \sum_{n=1}^X I$ 
        average = sum / X
        if average + k < I, then
            I = 0
        else
            I = 255
    end for
return new_val
    
```

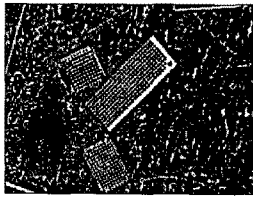


Fig. 6 Color contrast perception filter image

이미지의 좌표 값이며, I는 이미지객체를 나타낸다. Fig. 6 은 색상대비 알고리즘을 적용한 이미지로 1, 2, 3, 4, 5 번 모든 영역에서 무늬가 잘 표현된 것을 확인할 수 있다.

색상대비 필터는 해리스 코너 검출 필터에 비해 잡음의 영향을 덜 받는다. 하지만 잡음이 없어야 정확한 데이터를 얻을 수 있기 때문에, 영상 잡음을 줄일 수 있는 평균화 필터(median filter)를 사용하였다. Fig. 7은 평균화 필터를 사용한 후의 이미지이다. Fig. 7의 이미지 전 영역에서 특징으로 사용할 수 있는 특징점 그룹들이 남아 있는 것을 확인할 수 있다. 특징점 그룹은 바닥무늬의 특징이 되는 위치 검출을 의미하므로, 본 논문에서는 평균화 필터와 색상대비 필터를 전처리 과정에 사용하였다.

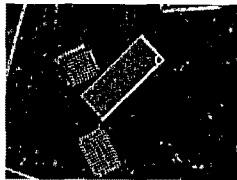


Fig. 7 Image by color contrast perception filter and median filter

#### 4.4 정합 알고리즘

정합 알고리즘(matching algorithm)은 이전 영상과 현재의 영상을 비교하여 영상의 움직임과 틀어짐을 알아내는 알고리즘이다. 거리와 각도의 출력은 현재 영상이 이전 영상에 비해 움직인 거리와 각을 산출해야 하므로, 영상의 이동과 회전을 통한 영상 정합율이 가장 높은 영상의 변화량을 통해 산출하였다.

현재 영상 크기가 15x15 픽셀인 영상을 사용하였다면, 영상의 중심픽셀에서 7x7의 영역만을 비교하는데 사용하였다. 현재 영상의 중심픽셀에서 7x7 영역을 잘라 내어, 이전 영상의 중심 좌표로부터 3x3 영역좌표에 중심 좌표를 이동시키며 비교 하였다. 즉 이전 영상의 중심좌표(8,8)를 포함한 (7,7), (8,7), (9,7), (7,8), (9,8), (7,9), (8,9), (9,9) 영역

에서 비교하였다. 영상의 비교는 픽셀간의 차연산을 통해 나온 합이 가장 적은 위치와 회전 각을 이동 벡터 값으로 산정하였다.

이미지 정합 기법은 Fig. 8과 같이 정합 영역과 검사 영역으로 나눌 수 있다. 정합 영역은 실제 정합할 이미지 영역이다. 영상의 전 영역을 정합에 사용시 많은 컴퓨팅 파워를 필요로 하기 때문에 영상의 약 1/4에 해당하는 영역만을 정합에 사용한다. 검사 영역은 영상의 중심부를 기준으로 5x5의 25개의 픽셀(pixel)로 구성된 픽셀 영역을 지칭한다. 정합율은 이전 정합 영역의 중심을 현재 영상 검사 영역의 각 픽셀에 위치시킨 후 감산 연산을 통해 최적의 정합율을 얻는다.

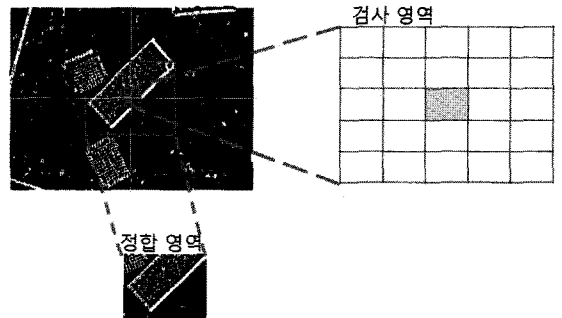


Fig. 8 Regions of image

정합율을 얻는 작업을 영역 픽셀 수만큼 반복하여 최적의 정합율이 나오는 지점을 찾는다. 이러한 최적 정합율 지점을 통해 벡터값이 추출된다. 회전각은 9 번의 회전을 통해 최종 움직인 거리와 회전각 등을 출력하게 된다. 회전의 과정은 -4° 부터 +4° 도에 이르기까지 1°의 간격으로 회전을 시킨 이미지를 대입하여 얻게 된다. 이때, 1° 이하의 작은 움직임은 판정하지 않는다. 0.5°의 작은 회전을 검출하기에는 많은 컴퓨팅 파워가 소모된다. 또한 이미지의 해상도가 낮으며, 잡음이 심하여 0.5° 이하 회전은 검출이 용이하지 않다.



(a) previous image (b) current image

Fig. 9 Correct matching

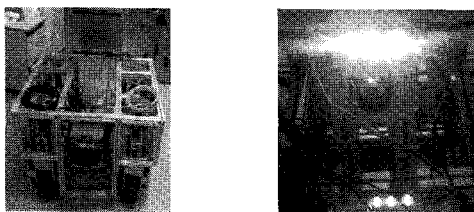
Fig. 9 는 이전영상을 현재영상에 정합하는 이미 지이다. 이전 영상이 현재 영상에 비해 틀어져 있 는 모습을 확인할 수 있다.

**5. 실험**

본 논문의 실험은 실내와 실외로 나뉜다. 실내 는 타일 Type A, Type B, Type C 로 구성된 복도에서 실험하였으며, 실외는 표면이 거친 화강암 타일로 구성된 평지에서 실험하였다. 실험은 로봇의 기구학적 오차를 측정하기 위해 복도에서 엔코더 만을 사용한 직선 주행 실험 및 회전 주행 실험을 각기 7 번씩 실험을 실시하였다. 이후 본 논문에서 제안 한 영상 주행 기록시스템을 사용하여 직선 주행 및 회전 실험을 각기 7 번씩 실시하였다.

Fig. 10 의 (a)는 실험에 사용된 로봇의 이미지 이다. 로봇은 전륜 조향이 가능한 4 륜 이동로봇으 로 8 자유도를 가지고 있다. Fig. 10 의 (b)는 보조 광량 시스템의 모습이다.

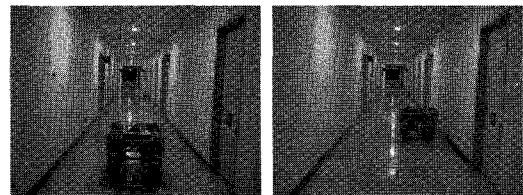
보조 광량 시스템은 카메라의 사방(四方)에 하 나의 모듈씩 장착되어 바닥의 조도를 높여준다. 하나의 모듈은 고휘도 발광소자 3 개를 담고 있으 며, 고휘도 발광소자에서 나오는 광원은 직진성에 의해 광원과 수직인 부분은 밝고 주변은 어두운 성질이 있다. 따라서 사방에 하나씩 장착해서 영 상처리에 적합한 조도를 얻는다.



(a)overview of a robot (b)auxiliary light system  
Fig. 10 Experimental robot and auxiliary light system

Fig. 11 은 Type A, Type B, Type C 로 구성된 복도 에서 로봇의 기구학적 오차를 확인하기 위한 엔코 더를 이용한 직선 주행 실험을 보여주고 있다. Fig. 11 의 (a) 그림은 출발위치의 모습이며, Fig.11 의 (b) 그림은 출발 후 4m 를 이동한 후의 모습이다. Fig. 11 의 (a)와 (b)를 통해 시각적으로 직선 주로 에서 벗어나 우측으로 기울어져 멈춰 있는 모습을 확인할 수 있다. 이는 로봇의 바퀴의 정렬 상태와 기구적 결함의 오차로 인해 발생하는 문제이므로,

자신의 위치를 피드백(feedback)받아 목적지까지 자신의 경로를 수정하며 이동해야 한다. 직선로에 서 벗어난 평균 오차는 0.35m 이며, 회전각 평균 오차는 26° 이다.



(a)departure point (b)end point  
Fig. 11 Encoder-based driving test

Fig. 12 는 영상 주행 기록계를 사용한 주행 실험의 이미지이다. Fig. 11 의 엔코더기반 주행 실험 에 비해 직선로를 정확히 주행하였음을 확인할 수 있다. 영상 주행 기록계를 이용한 주행 실험에서 직선로에서 벗어난 평균 오차는 0.003m 이며, 회전 각 평균 오차는 3.2° 이다. 엔코더를 이용한 평균 주행 실험에 비해 0.008 배로 오차 거리가 감소하 였으며, 오차각은 0.123 배로 감소하였다.

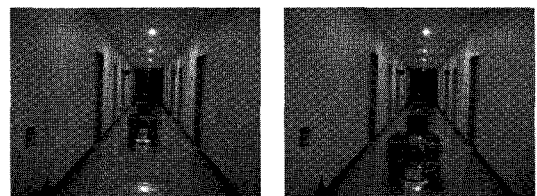


Fig. 12 Visual odometry-based driving test

Fig. 13 은 실내 타일 Type A 에서의 바닥 모습 과 영상 처리된 모습이다.

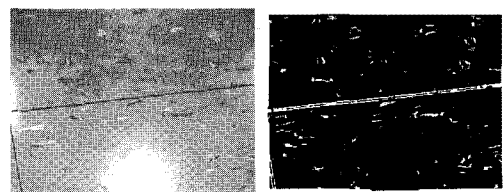


Fig. 13 Image processing result of Type A(indoors)

Fig. 14 는 실내 타일 Type B 에서의 바닥 모습과 영상 처리된 모습이다. Fig. 13 의 Type A 에 비해 짙 고 선명한 무늬가 많아 특징점 추출이 용이하며, 정합과정에서도 회색타일에 비해 오차가 적다.

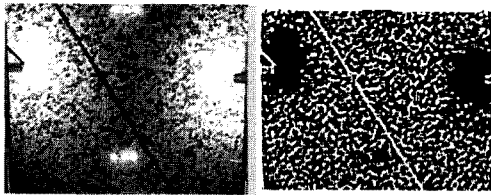


Fig. 14 Image processing result of Type B(indoors)

Fig. 15 는 실내 타일 Type C 에서의 바닥 모습과 영상 처리된 모습이다. 바닥의 무늬를 선명히 추출하는 것을 확인할 수 있다.

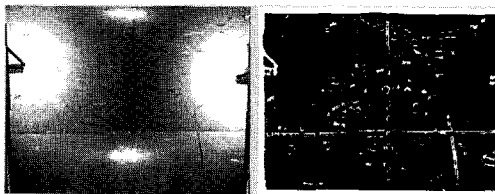


Fig. 15 Image processing result of Type C(indoors)

Fig. 16 은 실외 타일 에서의 바닥 모습과 영상 처리된 모습이다. Fig. 14 의 Type B 에 비해 반사도가 낮으며, 무늬가 조밀하여 많은 특징점을 추출할 수 있다.

복도에서의 직선 주행 실험의 결과는 Table 2 와 같다.  $C$  는 실험 횟수,  $D$  는 이동한 거리를 나타낸다.  $E_1$  과  $O_1$  는 Type A 에서 실험한 결과인 오차거리와 오차각 나타내며,  $E_2$  와  $O_2$  는 Type B 에서 실험한 결과인 오차거리와 오차각을 나타낸다.  $E_3$  와  $O_3$  는 Type C 에서 실험한 결과인 오차거리와 오차각을 나타낸다.  $E_4$  와  $O_4$  는 실외 타일에서 실험한 결과인 오차거리와 오차각을 나타낸다.

$E'$  와  $O'$  는 엔코더를 이용한 실험 결과인 오차거리와 오차각을 나타낸다. 오차거리의 단위는 미터(m), 오차각의 단위는 도(degree)이다. 실험은 총 각기 7 번씩 수행되었다. 결과에서 확인할 수 있듯이 실외의 거친 화강암타일이 많은 특징점을 보유하면서도 빛의 영향을 받지 않아 가장 오차가 적

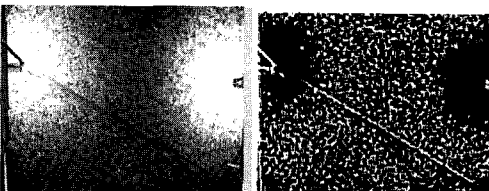


Fig. 16 Image processing result of outdoors

Table 2 Experiment result of straight path

$C$	$D$	$E_1$	$O_1$	$E_2$	$O_2$	$E_3$	$O_3$	$E_4$	$O_4$	$E'$	$O'$
1	4	0	3	0	4	0.02	3.2	0	1	0.358	27.8
2	4	0.01	6	0	2	0.02	1	0	6	0.23	16
3	4	0.01	2	0.02	2	0.01	2	0	2	0.371	20
4	4	0	5	0	1	0.01	4.5	0	5	0.382	28
5	4	0.02	4	0	4	0.01	1	0.01	1	0.32	35
6	4	0	5	0.01	2	0.003	7	0	7	0.48	27
7	4	0	2	0	2	0.008	4	0	2	0.375	28
average	4	0.005	3.857	0.004	2.428	0.01	3.242	0.001	3.428	0.359	25.97

음을 확인할 수 있었다. 또한 바닥의 무늬가 선명하지 않은 타일 Type C에서는 바닥의 특징점 수가 작아 오차 발생 빈도가 높아 오차가 커짐을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 이동로봇의 제자리 회전을 시켜 로봇의 기구학적 오차와 영상주행 기록계의 성능을 비교 하여 성능을 검증하였다. 엔코더를 이용한 360° 회전실험과 영상주행 기록계를 이용한 360° 회전실험을 하였다. Fig. 17 는 영상주행 기록계를 이용한 회전실험을 하는 모습이다. 그림과 같이 바퀴의 비정렬 문제로, 로봇의 초기 위치에 비해 우측 방향으로 이동한 모습을 확인할 수 있다.



Fig. 17 Rotation experiment

Table 3 은 회전 실험의 결과를 나타내는 표이며,  $C$  는 실험 횟수,  $O$  는 회전각도,  $O1$  는 타일 Type A 에서의 실험한 결과인 오차각,  $O2$  는 타일 Type B 에서의 실험결과인 오차각,  $O3$  는 타일 Type C 에서의 오차각,  $O4$  는 실외 타일 에서의 오차각,  $O'$  는 엔코더를 이용한 회전실험 결과인 오차각을

나타낸다. 오차각의 단위는 도(degree)이다. Table 3 과 같이 엔코더를 이용할 경우 바퀴의 비정렬 상태 및 바퀴의 슬립으로 회전이 정확히 이루어 지지 않을 경우가 많음을 확인할 수 있었다. 하지만 바닥을 바라보는 영상주행기록계를 사용하여 오차를 최소화 할 수 있었으며, 엔코더를 사용한 실험에 비하여 평균 오차각이 0.082 배로 감소하였다.

Table 3 Result of rotation test

C	O	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	O'
1	360	2	1	1	1	32
2	360	3	3	1	2	28
3	360	1	1	2	2	34
4	360	4	2	5	3	14
5	360	3	3	4	4	35
6	360	5	1	3	1	27
7	360	2	2	1	2	28
average	360	2.8	1.8	2.4	2.1	28.2

## 6. 결론

본 논문에서는 기존의 주변 사물을 통한 영상주행 기록계가 아닌 바닥의 무늬를 특징점으로 하는 영상주행 기록계를 제안하였다. 영상주행 기록계를 로봇의 몸체 바닥 중심부에 장착하여 시스템의 기구학적 해석이 필요하지 않으며, 타 로봇 시스템에 쉽게 적용할 수 있다. 제안된 시스템을 검증하기 위하여 이동로봇의 엔코더만을 사용한 직선 주행과 제자리 회전실험과, 제안된 영상주행 기록계를 이용한 직선 주행과 제자리 회전 실험을 비교 검증하였다. 영상주행 기록계는 4m 이동시 직선로에서 벗어난 오차평균이 0.003m 로 엔코더만 사용한 오차 평균 0.359m 보다 0.008 배로 오차값이 감소한 것을 확인할 수 있었다.

추후 기존의 정형화된 바닥 환경뿐만 아니라 좀더 다양한 환경과 패턴에 강인한 영상주행 기록계를 구현하기 위하여 각 알고리즘의 성능지표의 정의와 문턱치 값에 대한 지능적 알고리즘 및 성능 데이터의 비교 부분이 요구된다.

## 후 기

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

1. Clark, S., Dissanayake, G., Newman, P. and Durrant-Whyte, H., "A Solution to Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem," IEEE Transaction of Robotics and Automation, Vol. 17, No. 3, pp. 229-241, 2001.
2. Doh, N., Choset, H. and Chung, W. K., "Accurate Relative Localization using Odometry," International Conference on Robotics and Automation, Vol. 2, pp. 1602-1612, 2003.
3. Borenstein, J., "Internal Correction of Dead-reckoning Errors with the Smart Encoder Trailer," International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 1, pp. 127-134, 1994.
4. Corke, P., Strelow, D. and Singh, S., "Omnidirectional Visual Odometry for a Planetary Rover," Proc. of IROS, 2004.
5. Campbell, J., Sukthankar, R. and Nourbakhsh, I., "Techniques for Evaluating Optical Flow for Visual Odometry in Extreme Terrain," International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 4, pp. 3704-3711, 2004.
6. Cheng, Y., Maimone, M. W. and Matthies, L., "Visual Odometry on the Mars Exploration Rovers," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 1, pp. 903-910, 2005.
7. Suhr, J. K., Jung, H. G., Bae, K. and Kim, J., "Automatic Free Parking Space Detection by using Motion Stereo-based 3D Reconstruction," Machine Vision and Applications, Vol. 21, No. 2, pp. 163-176, 2008.
8. Cha, Y. Y. and Gweon, D. G., "An Exact 3D Data Extraction Algorithm For Active Range Sensor using Laser Slit," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 73-85, 1995.
9. Nüchter, A., Surmann, H. and Hertzberg, J., "Automatic Model Refinement for 3D Reconstruction with Mobile Robots," 4<sup>th</sup> International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling, pp. 394-401, 2003.
10. Nüchter, A., Surmann, H. and Hertzberg, J., "Automatic Classification of Objects in 3D Laser Range Scans," Proc. of 8<sup>th</sup> Conference on Intelligent Autonomous Systems, pp. 963-970, 2004.



11. Surmann, H., Lingemann, K. and Nüchter, A., "A 3D laser range Finder for Autonomous Mobile Robots," Proc. of International Symposium on Robotics, pp. 153-158, 2001.
12. Hähnel, D., Burgard, W. and Thrun, S., "Learning Compact 3D Models of Indoor and Outdoor Environments with a Mobile Robot," Robotics and Autonomous Systems, Vol. 44, No. 1, pp. 15-27, 2003.
13. Tardif, J., Pavlidis, Y. and Daniilidis, K., "Monocular Visual Odometry in Urban Environments Using an Omni-directional Camera," International Conference on Intelligent Robots and System, pp. 2531-2538, 2008.
14. Agrawal, M. and Konolige, K., "Real-time Localization in Outdoor Environments Using Stereo Vision and Inexpensive GPS," International Conference on Pattern Recognition, pp. 1063-1068, 2006.
15. Dornhege, C. and Kleiner, A., "Visual Odometry for Tracked Vehicles," IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, 2006.
16. Royer, E., Lhuillier, M., Dhome, M. and Lavest, J. M., "Monocular Vision for Mobile Robot Localization and Autonomous Navigation," International Journal of Computer Vision, Vol. 74, No. 3, pp. 237-260, 2007.
17. Oh, Y. G., Yi, C. and Choi, B. U., "Visual Odometry using Upward Monocular Camera," Proc. of Electrical Engineering and Information Science Autumn Conference, Vol. 35, No. 2(C), pp. 457-462, 2008.
18. Tsai, R., "A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3D Machine Vision Metrology using off the Shelf TV Cameras and Lenses," IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 3, No. 4, pp. 323-344, 1987.
19. Faugeras, O. D. and Toscani, G., "The Calibration Problem for Stereo," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 15-20, 1986.