

영상 정보를 이용한 로봇의 창법 연구.

장 무 경 한 민 홍

포항 공과 대학 산업 공학

Aisle following of a Mobile robot using Machine Vision

MooGyeong Jang, Min-Hong Han

Department of Industrial Engineering,
Pohang Institute of Science and Technology

[Abstract]

This paper describes a method of aisle following of a mobile robot using machine vision. As a navigation guide, Black strip painted on the lower part of wall of aisle is used. The offset of the vehicle position from the center of aisle and the heading angle are determined from the binary image of guide strip captured by a CCD camera. To remove the effect of noise, i.e. break of guide strip for the door or reflection of light, pixel sampling method together with consistency check of the incline for the sampled pixels is used.

1. 서론

무인 차량의 복도 주행에 대한 연구는 컴퓨터 비전(Computer Vision)을 사용한 무인 차량의 도로 주행에 관한 연구의 일환으로서 큰 의미를 지닌다. 무인 차량이 이동하기 위해서는 주행하여야 할 패스(path)에 대한 정보를 가지고, 필요한 위치 혹은 시간마다의 현재 위치를 파악하여 주어진 패스(path)와의 차이를 비교함으로써 차후의 주행에 대한 계획을 세울 수 있어야 한다.

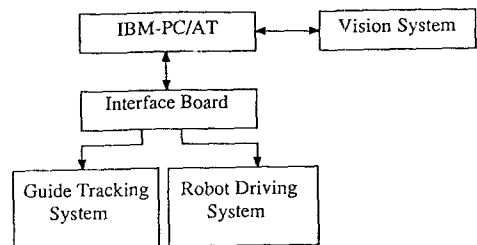
무인 차량이 복도를 주행하기 위해 필요로 하는 정보로서는 현재 무인 차량의 위치와 복도의 중앙선 간의 간격, 현재 무인 차량의 진행 방향과 복도의 중앙선 간의 각도

차이 등을 들 수 있다. 이와 같은 정보는 복도 벽 하단에 도색되어 있는 4 인치(inch)의 검은 색 선(이하 가이드 라인)에 대한 흑백 영상(binary image)를 분석함으로써 얻어진다.

무인 차량의 복도 주행 실험은 현재 본 실험실에서 자체 개발하여 보유 중인 무인 차량을 이용하여 수행하였다. 또한 복도 주行的 알고리즘(algorithm)을 활용하여 교내의 일차선 순환 도로 주행을 성공적으로 수행해냄으로써 무인 차량의 일반 도로 주행에 대한 조기 실현 가능성도 제시하였다.

2. 무인 차량의 구성

본 연구에 사용된 무인 차량의 구성은 IBM-PC/AT, 비전 시스템(Vision system)과 인터 페이스 보드(interface board) 그리고 이들에 의해 구동되는 카메라(camera) 구동 시스템, 차량 구동 시스템의 4부분으로 이루어져 있으며 이에 대한 그림은 아래 [그림 1] 과 같다.



[그림 1] 무인 차량의 구성

영상의 포착은 하나의 CCD 카메라와 이미지 프레임 보드(image frame board) PC-EYE 1000으로 구성되어 있는 비전 시스템(Vision system)에 의해 이루어지며 바이너리(binary)로서 컴퓨터(computer)의 램(RAM)에 저장되게 된다. 이렇게 저장된 영상(image)의 분석으로 무인 차량의 현재 위치에 대한 판단과 이를 기저로 하는 다음 이동 위치 및 주행 방향에 대한 판단이 이루어지며 이는 인터 페이스 보드(interface board)를 통해 연결되어 있는 차량의 구동 시스템에 전달되어 차량 이동을 위한 정보로 사용되어진다. 차량의 구동 시스템은 2개의 스테핑 모터(steping motor)로 구성되어 있다. 주행 중의 영상 포착 실패를 보상하기 위해 카메라 구동 시스템이 갖추어지며 카메라 시속의 상하 좌우 조절을 위해 2개의 스테핑 모터를 사용한다.

3 이미지의 분석과 주행 계획

무인 차량의 복도 주행을 위해 필요한 정보는 복도의 중앙선과 무인 차량의 현재 위치 간의 간격과, 주행해야 할 방향과 무인 차량의 현재 진행 방향과의 차이이다. 이와 같은 차이들은 일정한 시간 간격마다 가이드 라인의 영상을 분석함으로써 계산되어지며, 일정 한도 이상을 벗어날 때에는 그러한 차이를 줄이는 방향으로 무인 차량의 진행 방향을 조정하게 된다.

3.1 가이드 라인(guide line)의 탐색과 추출

가이드 라인의 영상을 모니터(monitor)를 통해 살펴보면 아래 쪽에 있는 경계 선은 빛의 반사로 인한 노이즈가 너무 심하기 때문에 사용하기가 좋지 않으므로 위쪽에 있는 경계 선을 가이드 라인의 추출을 위해 사용한다. 하지만, 위쪽에 있는 경계 선도 출입구 근처에서 심한 노이즈(noise)를 보일 뿐만 아니라 출입구에 의한 단락등으로 해서 이미지 자체로부터 무인 차량의 주행을 위한 정보를 추출해 내는 데는 어려움이 있다. 가이드 라인을

이미지로부터 추출해 내기 위해 일정한 간격으로 픽셀 인텐시티(pixel intensity)의 변화를 가지는 점들을 샘플링(sampling)한다. 샘플링된 점들 간의 기울기의 변화를 계산하고 신뢰할 만한 범위 내에서 일정한 기울기의 존재가 확인되면 이를 근거로 하여 가이드 라인을 추출한다. 하지만, 무인 차량의 주행 오차나 영상의 noise 등에 의해 가이드 라인의 탐색에 실패하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 가이드 라인의 포착을 위하여 카메라 시속의 조절이 필요하다. 카메라의 시속 조절은 2개의 스테핑 모터를 사용하여 카메라의 pan과 tilt를 조정함으로써 이루어진다.

3.2 차이 계산

본 연구는 3개의 좌표 시스템을 설정한다. 첫번째 좌표계는 카메라 좌표계(X_e, Y_e, Z_e)이다. 두번째 좌표계는 화면 좌표계(X_s, Y_s)로서 영상면에서 정의되어진다. 세번째는 월드 좌표계(X_w, Y_w, Z_w)로서, 주행 평면과 카메라 시속이 만나는 점을 원점으로 하고 카메라의 시속이 주행 평면에 프로젝트(project)된 선을 Y축으로, 주행 평면에 수직인 축을 Z축으로 하여 설정되는 좌표계이다. 무인 차량의 복도 주행을 위해서는 영상 내의 임의의 한점의 화면 좌표로부터 주행 평면 위로 back project되는 점의 월드 좌표가 계산되어야 한다. 화면 좌표계, 카메라 좌표계, 그리고 월드 좌표계 간의 관계는 다음의 2가지 식에 의해 일의적으로 결정되어 지므로 화면 좌표계 내의 임의의 한 점에 대한 월드 좌표는 유일하게 결정되어 질 수 있다.

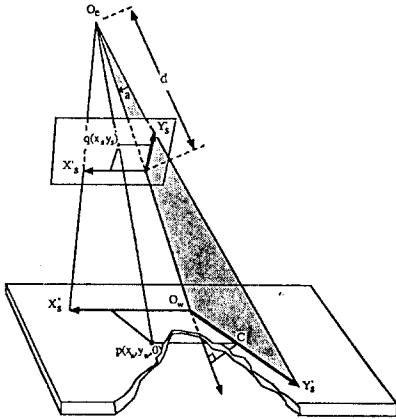
$$x_e = x_s z_e / d,$$

$$y_e = y_s z_e / d.$$

$$\begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = (x_w \ y_w \ z_w \ 1) \cdot \begin{pmatrix} -\sin(\theta) & -\cos(\theta)\cos(\phi) & -\cos(\theta)\sin(\phi) & 0 \\ \cos(\theta) & -\sin(\theta)\cos(\phi) & -\sin(\theta)\sin(\phi) & 0 \\ 0 & \sin(\phi) & -\cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & D & 1 \end{pmatrix}$$

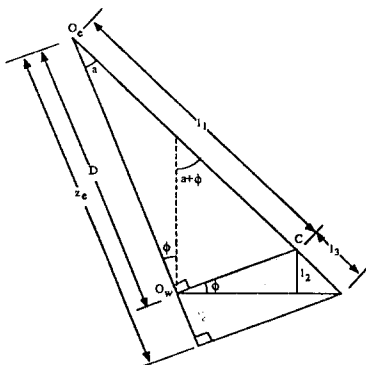
여기서, 팬(pan)각 ϕ 는 카메라 시축의 주행 평면으로의 정사영(projection line)과 world coordinate의 X축이 이루는 각도로 정의되며 270도로 항상 일정하다. 틸트(tilt) 각 θ 는 카메라 시축과 world coordinate의 Z축이 이루는 각도로 정의된다.

화면 위의 임의의 한 점에 대한 월드(world) 좌표(X_w, Y_w, Z_w)를 구하기 위해서는 그점에 대한 카메라 좌표(X_e, Y_e, Z_e)를 먼저 구해야 한다. 이는 아래의 [그림 2]으로 이해 될 수 있다.



[그림 2] 좌표 시스템

화면 좌표계 상의 한 점 $q(X_s, Y_s)$ 의 인버스 퍼스펙티브(inverse perspective)와 주행 평면이 만나는 점을 P라고 했을 때 점 P의 y좌표 C와 월드 좌표계의 원점 O_w , 그리고 카메라 좌표계의 원점 O_e 의 3 점이 이루는 삼각형은 [그림 3]으로 나타내어 질 수 있다.



[그림 3] Z_e 의 기하학적 표현

이로부터 P의 Z_e 는 아래의 식으로 구해 질 수 있다.

$$z_e = \frac{l_1 + l_3}{l_1} D,$$

여기서의 l1과 l3는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$a = \tan^{-1}(y_s'/d),$$

$$l_1 = D / \cos(a),$$

$$l_2 = D \tan(a) \sin(\phi),$$

$$l_3 = l_2 / \cos(a + \phi).$$

일단 Z_e 가 결정되면아래의 식으로 X_e, Y_e 가 결정 된다.

$$x_e = x_s z_e / d,$$

$$y_e = y_s z_e / d.$$

여기서, D는 world coordinate의 원점과 카메라 위치 간의 거리이며, d는 focal length이다.

화면 좌표계의 임의의 한 점에 대해 카메라 좌표(X_e, Y_e, Z_e)가 결정되면 다음의 식을 이용하여 그 점에 대한 월드 좌표 (X_w, Y_w, Z_w)를 구할 수 있다.

$$x_w = -\sin(\theta)x_e - \cos(\theta)\cos(\phi)y_e - \cos(\theta)\sin(\phi)z_e + \cos(\theta)\sin(\phi)D,$$

$$y_w = \frac{x_e + \sin(\theta)x_w}{\cos(\theta)},$$

$$z_w = \frac{y_e + \cos(\theta)\cos(\phi)x_w + \sin(\theta)\cos(\phi)y_w}{\sin(\theta)}.$$

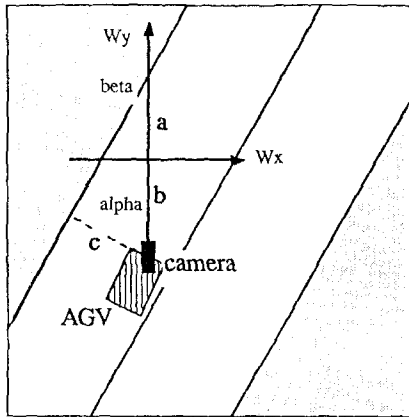
world 좌표계에 있어서 카메라의 위치는 카메라의 view ing parameter, pan과 tilt에 의해 일의적으로 결정되어지며 카메라 위치(X_c, Y_c, Z_c)의 x,y좌표 값은 현재 무인 차량의 주행 평면 상의 위치($X_c, Y_c, 0$)로 간주 되어 지므로 , 카메라의 시축과 무인 차량의 주행 방향이 이루는 각을 항상 유지함으로써 현재의 무인 차량의 위치와 주행 방향 을 알 수 있게 된다.

이러한 configuration의 한 예가 그림 [그림 4]에 나타나 있다. world 좌표계 상에서 가이드 라인상의 임의의 두 점에 의해 결정되는 라인(line)의 기울기(alpha)와 Y 절편을 사용하여 카메라의 시축과 복도 벽이 이루는 각(beta)과 복도 벽으로부터의 무인 차량의 거리(c)를 계산할 수 있다.

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$c = (a + b) \sin(\beta)$$

where, $b =$ 무인 차량의 높이 / $\tan(90^\circ - \text{tilt각})$



[그림 4] 무인 차량의 주행

3.3 주행 계획

현재의 위치에서 일정한 거리(5feet)를 진행한 후 복도의 중앙선에 있기 위해 필요한 방향 보정 각도는 복도의 중앙선과 평행하게 되기 위해 필요한 방향 보정 각도와 평행해진 상태에서 복도의 중앙선으로 진입하기 위해 필요한 방향 보정 각도의 합이다.

현재의 진행 방향에서 무인 차량이 복도와 평행하게 되기 위해 필요한 방향 보정 각도는 카메라의 시축으로부터 복도 벽이 이루는 각도와 무인 차량의 주행 방향으로 부터 카메라가 이루는 각도의 합으로 정의 되어 진다.

3.4 주행 알고리즘(algorithm)

Start from arbitrary position on the aisle.

```

begin
  repeat
    if ( camera를 통해 얻어 진 guide strip의 image가
        reliable하다 )
      begin
        image를 분석하여 복도 중앙선으로 부터의
        deviation을 계산한다.
        다음의 이동 위치 및 진행 방향을 결정한다.
        차량의 motor를 구동 시킨다.
      end
    else
      camera의 pan과 tilt를 조정하여 guide strip을
      search한다.
    until ( arrive at the goal position )
  end.

```

4. 결론

본 실험실에서 수행한 무인 차량의 복도 주행 실험은 ALV(Autonomous Land Vehicle)의 실현을 위해 일보 가까이 갔다는 점에서 큰 의의를 갖는다. 하지만 ALV의 실현에 앞서 우선적인 과제는 무인 차량의 도로 주행이라고 볼 수 있다. 현재의 복도 주행 algorithm을 활용하여 교내의 일차선 순환 도로에서 이미 성공적인 주행을 실험한 바 있다

하지만 일반 도로의 주행을 위해 우선적으로 수행되어야 하는 과제는 obstacle의 출현에 대한 인식과 obstacle에 대한 실시간(real-time)대응이다. 현재 본 실험실에서는 stereo vision을 사용하여 계산된 image depth로써 ob

stacle의 크기와 높이를 인식하고 이에 따른 주행 계획의 변화를 check할 수 있는 algorithm을 개발 중이다.

참고 문헌

1. R.A.Brooks, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot," IEEE J. Robotics and Automation., Vol.RA-2, No.1, pp.14-23, 1986.
2. J.W.Courtney, M.J.Magee, and J.K.Aggawal, "Robot Guidance Using Computer Vision," Pattern Recognition., Vol.17, No.6, pp.585-592, 1984.
3. J.L.Crowley, "Navigation for an Intelligence Mobile Robot," IEEE J. Robotics and Automation., Vol.RA-1, No.1, pp.1-41, 1985.
4. I.Fukui, "TV image processing to determine the position of a robot vehical," Pattern Recognition., Vol.14, Nos.1-6, pp.101-109, 1981.
5. Min-Hong Han, and Mun-Sung Hong, "Position Finding of a Mobile Robot in #-D Space," IE-TR-89-01, POSTECH, May, 1989.
6. Mun-Sung Hong, and Sangyong Rhee, and Min-Hong Han, "Navigation Control of a Vision Guided Robot," IE-TR-89-05, POSTECH, May, 1989.
7. S.S.lyengar, C.C.jorgensen, S.V.N.Rao, and C.R.Weisbin, "RobotNavigation Algorithm using learned S partial Graphs," Robotica., Vol.4, No.2, pp.93-100, 1986.
8. M.R.Kabuka, and A.E.Arenas, "Position Verification of a Mobile Robot Using Standard Pattern," IEEE J. Robotics and Automation., Vol.RA-3, No.6, pp.505-516, 1987.
9. S.Kambhampati, and L.S.Davis, "Multiresolution Path Planning for Mobile Robots," IEEE J. Robotics and Automation., Vol.RA-2, No.3, pp.135-145, 1986.
10. M.J.Magee, and J.K.Aggarwal, "Determining the Position of a Robot Using a Single Calibration Object," Proceeding of the International Joint Conference of Robotics., pp.140-150, 1984.
11. Hans P.Moravec, "Visual Mapping by a Robot Rover," Proceeding of the International Joint Conference on Artificial Intelligence '79, Tokyo, Japan, Vol.1, No.2, pp.598-600, 1979.
12. N.S.Rao, S.S.lyengar, C.C.jorgensen, and C.R.Weisbin, "Robot Navigation in an Unexplored Terrain," J.of Robotics System., Vol.3, NO.4, pp.389-407, 1986.