

## 비전 정보를 이용한 이동 자율로봇의 물체 추적에 관한 연구

강진구\*, 이장명\*\*

# A Study on Object Tracking for Autonomous Mobile Robot using Vision Information

Jin-Gu Kang \*, Jang-Myung Lee \*\*

### 요약

이동자율로봇은 작업 공간을 벗어난 작업에 대하여 높은 성능을 보일 수 있으므로 고정 베이스 구조인 매니퓰레이터에 비하여 다양한 작업 환경에서 유용하다. 임의의 위치에 있는 물체를 인식하기 위하여 이동자율로봇에 부착된 2 자유도의 능동카메라에 의해 입력되는 영상과 능동카메라의 기구학적 관계와 직각좌표계를 이용하여 물체의 위치와 이동로봇의 위치를 구하는 방법을 제시한다. 동차행렬을 이용하여 이미지정보와 물체의 위치를 해석하므로 이동자율로봇의 최적경로를 생성한다. 최종적으로, 물체의 인식을 통하여 이동로봇을 제어할 수 있는 조인트변수의 값을 계산한다. 제안된 방법은 제작된 이동자율로봇의 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인되어지고 논의된다.

### Abstract

An Autonomous mobile robot is a very useful system to achieve various tasks in dangerous environment, because it has the higher performance than a fixed base manipulator in terms of its operational workspace size as well as efficiency. A method for estimating the position of an object in the Cartesian coordinate system based upon the geometrical relationship between the image captured by 2-DOF active camera mounted on mobile robot and the real object, is proposed. With this position estimation, a method of determining an optimal path for the autonomous mobile robot from the current position to the position of object estimated by the image information using homogeneous matrices. Finally, the corresponding joint parameters to make the desired displacement are calculated to capture the object through the control of a mobile robot. The effectiveness of proposed method is demonstrated by the simulation and real experiments using the autonomous mobile robot.

▶ Keyword : Autonomous Mobile Robot, Kinematics, Position Estimation, 2-DOF Active Camera, Optimal Path

---

• 제1저자 : 강진구  
• 접수일 : 2008. 1. 22, 심사일 : 2008. 2. 15, 심사완료일 : 2008. 3. 25.  
\* 극동정보대학 애니메이션과 부교수, \*\* 부산대학교 전자공학과 정교수

## I. 서론

로봇의 사용 범위가 다양해지고 있는 현재, 로봇을 이용한 효율적 활용은 현 산업계에서 크게 기대되어지고 있다. 그러나 현실적으로 로봇의 사용은 실제 환경에서 로봇을 제어할 경우 많은 불확실성이 포함되어 있으므로 로봇의 활용도 측면에서는 큰 기대에 부응하지 못하고 있는 실정이다. 또한 기존의 6축 이하의 자유도를 가지는 로봇의 경우 작용점의 작업 위치가 가능하더라도 로봇의 자세측면에서 볼 때 그 안정도가 낮아 효율적인 작업을 수행하기 어렵다[1]. 또한 로봇제어알고리즘의 발전에도 불구하고 실제 현장에서는 로봇 시스템의 불감대 (deadzones), 포화(saturation), 히스테리시스(hysteresis) 등과 같은 많은 비선형적 요소들을 포함하고 있으며 환경의 변화 등으로 인한 제어의 어려움으로 인하여 로봇시스템의 작용점의 안정도와 효율성을 높이는데 관심이 증가되고 있다. 또한 다수개의 매니퓰레이터가 협동하여 작업을 하는 경우 병렬로 매니퓰레이터들이 하나의 작업을 실행하는 경우와 직렬로 결합된 여러 개의 로봇이 협동하여 작업효율을 향상시키는 연구가 진행되고 있다[1][2]. 본 연구에서는 기존의 특정한 작업만을 위한 고정된 매니퓰레이터가 아닌 여러 공간을 자유롭게 이동이 가능한 자율이동로봇을 제작하여 실험하였다.

최근 지능형 이동로봇의 관심은 증가되고 있는 실정이며 그 주된 이유는 사람이 직접 관찰 및 운반하기 어려운 환경이나 실제의 작업 현장에서 영향력을 미치는 요소가 증가하고 있기 때문이다. 따라서 불확실한 환경에 지능적으로 대처하기 위해서는 지각을 위한 센서정보가 필요하다. 이러한 한계점을 극복하고자 본 연구에서는 카메라를 사용하여 미지의 작업공간에서 이동자율로봇은 움직이는 물체를 추적하여 환경의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 이동자율로봇의 연구가 필요하다. 또한 이동자율로봇의 현재 자기의 위치추정 및 물체를 추적하기 위한 궤적계획, 그리고 센서퓨전을 이용한 자율로봇의 제어기술에 관한 연구가 필요할 것이다[1].

본 논문에서 사용된 이동자율로봇은 6개의 구동축을 가지며 앞, 뒤의 기구부가 30°씩 아래 위로로 움직이며 좌,우로 30°씩 움직일 수 있는 구조로 되어 있으며 이는 고정식 인어 로봇과는 다르므로 주어진 작업환경에 따라 특이자세 회피, 충돌 회피, 기계적 부위의 효율적인 활용 과 장애물을 극복할 수 있는 이점을 가진다.

제안된 이동자율로봇 시스템은 그림 1과 같이 이동로봇과 카메라 시스템으로 구성되어 있으며, 물체를 인식하기 위하여 카메라로 물체를 능동적으로 탐색 및 인식할 수 있도록

Pan/Tilt 2-자유도의 능동구조로 카메라 기구부를 설계, 제작 하였다. 임의의 위치에 있는 물체를 인식하기 위하여 이동자율로봇에 부착된 2 자유도의 능동카메라에 의해 입력되는 영상데이터와 능동카메라의 기구학적 관계를 이용하여 물체의 공간상의 위치를 구하며, 그 위치에 도달하여 이동매니퓰레이터가 작업을 수행할 수 있도록 최적의 경로를 생성한다.

본 논문에서 제안한 이동자율로봇의 제어구조와 경로계획 알고리즘의 효율성을 검증하기 위하여 임의의 위치에 있는 이동하는 물체를 인식하여 그 물체를 추적하는 작업을 수행하고 그 결과를 분석한다. 결과에서 특히 이동자율로봇의 궤적계획을 통해 이동물체가 영역 밖의 인식에 대해서도 원활하게 대상의 인식을 성공적으로 수행할 수 있음을 보인다. 또한 병렬 데이터 인터페이스 방식을 이용한 분산제어방식의 도입은 이동자율로봇의 운행에 요구되는 많은 제어들을 실시간으로 효율성 있게 수행할 수 있음을 보여준다.

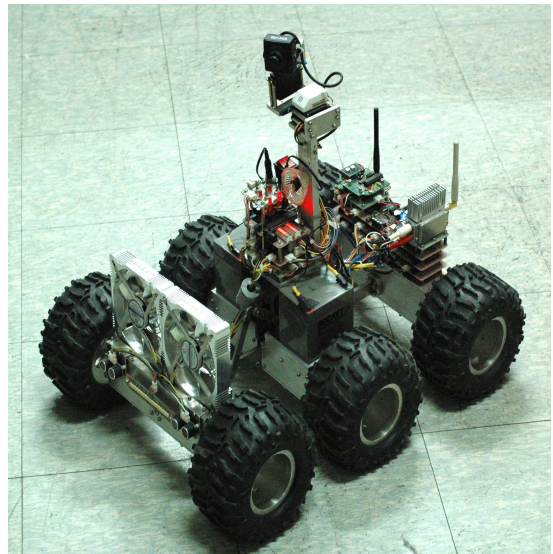


그림 1. 이동 자율로봇 KCR-I  
Fig. 1. Autonomous mobile robot KCR-I

## II. 이동자율로봇의 구성

### 2.1. 이동자율로봇의 구조

본 연구에 사용된 이동자율로봇의 이동부인 이동로봇의 기구적 구성도를 그림 2에서 나타내었다.

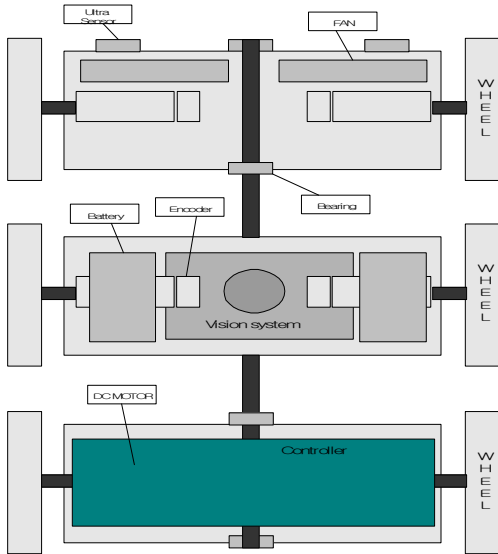


그림 2.1. 이동자율로봇의 기구적 구성도  
Fig. 2.1. Constructional diagram of the Autonomous mobile Robot

이동자율로봇은 각 6개의 바퀴 구동 및 앞,뒤의 바퀴는 Y 축과 Z축 방향으로의 30°의 회전축을 가지고 있다. 바퀴의 구동을 가능케 하는 6개의 각각의 독립된 12V-60(rpm)을 가지는 DC모터로 토크는 10[Kg-Cm]구성되어져 있다. 각 모터를 구동시키는 모터 드라이버는 H-bridge형으로 구성하여 양방향의 속도제어에 적합토록 설계하였다. 또한, 각 모터에는 2,537[pulse/rev]출력의 엔코더가 부착되어 정속제어 및 이동로봇의 위치계산에 사용된다. 엔코더 신호를 4채배하여 실제로는 10,148 [pulse/rev]의 정밀도로 제어된다. 또한 카메라를 이용한 시각센서 시스템은 영상정보를 통하여 비교적 정확한 추적물체의 정보를 추출하기 용이하다. 따라서 본 논문에서는 Pan, Tilt 동작이 가능한 능동카메라 시스템을 사용하여 이동자율로봇의 작업에 사용하였다.

2.1. 이동자율로봇의 기구학 해석

독립적인 목적으로 설계된 로봇의 작업수행을 위하여 전체 시스템의 기구학을 해석하여 제어되어야 한다. 그림 2.2에서는 제작한 이동자율로봇의 모델링을 나타내었다. 그림과 같이 좌표계를 설정하고 2차원 평면으로 구성된 전역 좌표계에서 속도기구학을 통해 이동자율로봇의 상태를 위치와 방향을 갖는 벡터  $p = [x_m \ y_m \ \theta_m]^T$  로 표현할 수 있다.

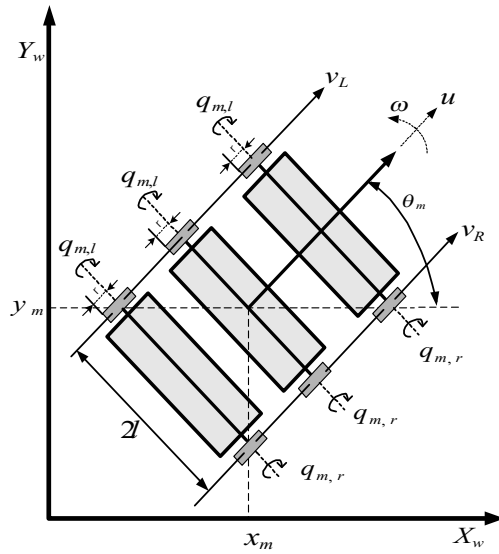


그림 2.2 이동자율로봇 모델링 및 좌표계  
Fig. 2.2. Autonomous Mobile robot modeling and coordinate system.

여기서,

- $X_w, Y_w$  : Cartesian 좌표계에서의 world frame
- $x_m, y_m$  : Cartesian 좌표계에서의 이동자율로봇의 중심점의 좌표
- $l$  : 이동자율로봇 중심에서 바퀴 축의 거리
- $v_R, v_L$  : 이동자율로봇의 오른쪽 및 왼쪽 바퀴의 선형속도
- $u$  : 이동자율로봇 중심에서의 선형속도
- $\omega$  : 이동자율로봇 중심에서의 각속도

일반적으로 이동로봇은 non-holonomic 시스템이므로 “순수 구름 조건(Pure rolling condition)”과 “미끄러짐 없음 조건(Non slipping condition)”이 필요하다. 순수 구름 조건은 바퀴와 접촉면 사이의 순간적 이동방향으로의 상대속도가 0이라는 조건이므로 오른쪽 바퀴에 대하여 식 (1)과 같이 나타나고,

$$\begin{aligned}
 &-\cos(\theta_m)\dot{x}_m - \sin(\theta_m)\dot{y}_m \\
 &-l\dot{\theta}_m + r\dot{q}_{m,r} = 0 \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

왼쪽 바퀴에 대하여 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 & -\cos(\theta_m)\dot{x}_m - \sin(\theta_m)\dot{y}_m \\
 & -l\dot{\theta}_m + r\dot{q}_{m,l} = 0 \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

또한, 미끄럼 없음 조건에 대하여 식 (3)과 같이 나타난다.

$$-\sin(\theta_m)\dot{x}_m + \cos(\theta_m)\dot{y}_m = 0 \dots\dots\dots (3)$$

식 (1) ~ 식 (3)에 의해 Cartesian space의 이동로봇의 속도와 각속도는 식 (4)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= \frac{R}{2}(\dot{q}_{m,r} + \dot{q}_{m,l})\cos\theta_m \\
 \dot{y} &= \frac{R}{2}(\dot{q}_{m,r} - \dot{q}_{m,l})\sin\theta_m \dots\dots\dots (4) \\
 \dot{\theta}_m &= \frac{R}{2l}(\dot{q}_{m,r} - \dot{q}_{m,l})
 \end{aligned}$$

또한 이동로봇을 제어하는데 있어서의 두 제어입력인 선형 속도 u와 각속도 ω로 달리 표현하면, 식(5)와 같다[2].

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{1}{2}(v_r + v_l) \\
 \omega &= \frac{1}{2l}(v_r - v_l) \dots\dots\dots (5)
 \end{aligned}$$

입력변수 q에 대한 전역좌표계에서의 속도  $\dot{p}$ 는 자코비안 행렬 J(p)에 의해 통해 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \dot{p} &= J(p)\dot{q} \\
 \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \omega \end{bmatrix} \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

전역좌표계에서의 위치벡터 p는 식 (7)와 같이 식 (6)의 적분형태가 된다[4][5].

$$p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \int u(\tau)\cos(\theta(\tau))d\tau \\ \int u(\tau)\sin(\theta(\tau))d\tau \\ \int \omega(\tau)d\tau \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

이러한 기구학적 관계로부터 로봇은 매 제어주기마다 위치 벡터를 계산하며, u 및 ω는 각 바퀴의 엔코더 신호로부터 계산된다[6].

### 2.2. 이동매니퓰레이터의 제어 구조

그림 3은 본 연구에서 개발한 이동자율로봇의 전체 시스템 구성을 나타낸 것이다. 전체적으로 5개의 제어기가 있으며 이들은 하나의 상위제어기와 4개의 하위제어기로 구분된다. 상위제어기는 PC와 영상 R/F 통신을 이용하여 영상정보를 획득하여 PC로 전송하고 전송된 이미지 데이터는 PC에서 연산을 수행한 이후 이동자율로봇이 진행되어야할 경로를 다시 지정한 이후 이동자율로봇으로 DATA R/F 통신을 이용하여 전송된다. 또한 이동자율로봇의 각각의 축과 능동카메라의 Pan/Tilt 제어기 네트워크를 위한 4개의 병렬 인터페이스로 구성되어있다. 구성된 각축은 6개의 구동축을 가지며 앞, 뒤의 기구부가 30°씩 아래 위로로 움직이며 좌,우로 30°씩 움직일 수 있는 구조로 설계되어있으며 이는 고정식 잉여로봇과는 다르므로 주어진 작업환경에 따라 특이자세 회피, 충돌 회피, 기계적 부위의 효율적인 활용등에 용이할 것이다. 상위제어기는 10 msec의 주기로 영상정보와 로봇 상태정보의 획득, 영상처리 및 로봇동작 계획과 하위제어기로의 명령전송 처리 과정이 이루어진다. 능동카메라의 제어기는 PC에서 카메라의 자세를 명령받는다. Pan/Tilt는 하나의 제어기에서 다른 ID가 할당되어져 각 축이 동시에 제어되며 가/감속 기능과 Holding 기능을 구현하여 고속 정밀제어를 실현하였다. 각 바퀴의 속도를 제어하는 하위제어기 모듈은 상위제어기로부터 네트워크를 통해 받은 속도명령에 추종하기 위하여 10msec의 제어주기로 PID제어를 수행한다. PID제어기는 로봇의 운동으로 인한 동역학 성분에 강인한 특성을 나타내도록 설계되었다.

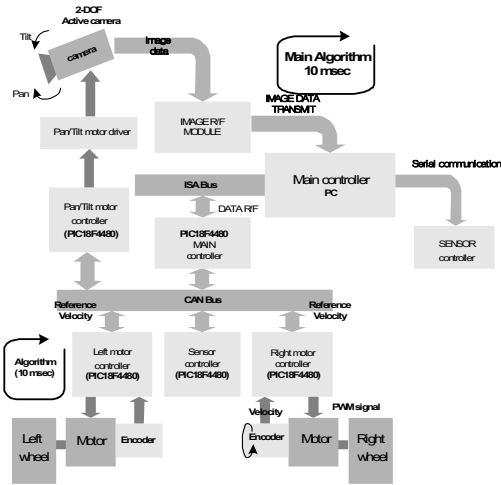


그림 3. 이동자율로봇의 제어 구성도  
Fig. 3. Overall system of Autonomous mobile Robot

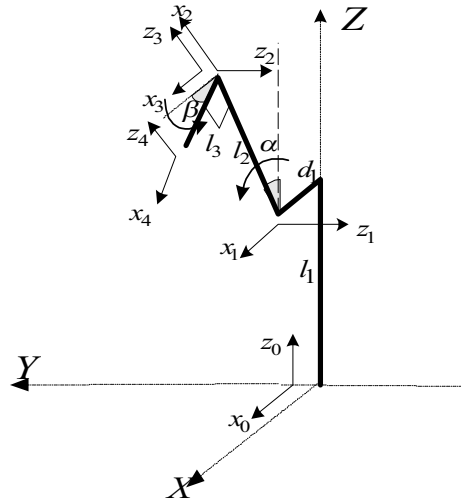


그림 4. 능동카메라 기구부의 좌표계  
Fig. 4. Coordinates of the active camera actuator

### III. 카메라 시스템 및 물체 위치 추정

#### 3.1. 카메라 모델링 및 기구학 해석

본 논문에서 사용한 능동카메라의 기구부는 두 개의 관절을 사용하여 2 자유도의 Pan/Tilt 동작이 가능하도록 구성되었다. 각 관절의 구동기로는 스텝모터를 사용하였으며 Pan/Tilt 동작은 0.9(deg/pulse)로 제어된다. 영상정보에서 물체의 거리를 추정하기 위해서는 기저(base)좌표계에 대한 카메라의 위치 및 방향에 대한 정보가 필요하며 따라서 각 관절의 각도에 대한 기저좌표계와 마지막 좌표계의 관계를 나타내는 순방향 기구학 해석이 선행되어야 한다. 순방향 기구학 해석을 위하여 그림 4와 같이 D-H법에 의해 좌표축을 설정한다. 여기서  $\alpha$ 는 Tilt 각도를 나타내며,  $\beta$ 는 Pan 각도를 나타낸다. 동차행렬의 변위 벡터는 능동카메라 기구부의 관절 각  $\alpha$ ,  $\beta$ 에 대한 기준 좌표계에서의 카메라의 위치로  $x$ ,  $y$ ,  $z$  각 축에 대하여 식 (8)로 나타낸다.

$$\begin{aligned} x_{cnd} &= l_2 \sin(\alpha) + l_3 \cos(\alpha) \cos(\beta) \\ y_{cnd} &= l_3 \sin(\beta) \\ z_{cnd} &= l_1 + l_2 \cos(\alpha) - l_3 \sin(\alpha) \cos(\beta). \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (8)$$

동차행렬의 자세벡터는 기준좌표계에 대한 카메라의 Roll, Pitch, Yaw 각에 대한 동차행렬의 회전변환행렬이며 각 방향성분에 대하여 Roll 각,  $\Theta_R$ , Pitch 각,  $\Theta_P$ , Yaw 각,  $\Theta_Y$ 는 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} \theta_p &= \tan^{-1} \left( \frac{\sin(\alpha) \cos(\beta)}{\sqrt{\cos^2(\alpha) \cos^2(\beta) + \sin^2(\beta)}} \right) \\ \theta_R &= \tan^{-1} \left( \frac{\sin(\alpha) \sin(\beta)}{\sqrt{\cos^2(\alpha) \sin^2(\beta) + \cos^2(\beta)}} \right) \\ \theta_Y &= \beta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (9)$$

#### 3.2. 영상정보로부터 물체 위치 추정 알고리즘

영상정보에서 실제물체의 위치를 추정하기 위하여 핀 홀 카메라 모델을 사용하였다. 핀 홀 카메라 모델에서는 그림 5와 같이 모든 영상은 하나의 점으로 모이며 영상센서의 각 셀들은 중심과의 각으로 모델링 된다. 식 (10)은 핀 홀 카메라 모델로부터 임의의 한 픽셀과 그 이웃하는 픽셀에 대한 중심과의 각도를 표현한 것이다.

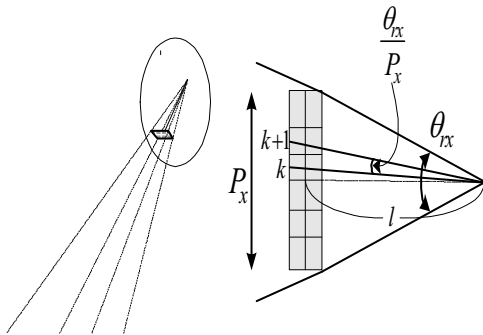


그림 5. 핀 홀 카메라 모델  
Fig. 5. Pin-hole camera model

그림에서 k pixel 과 중심과의 각도는 식 (10)과 같이 표현되어진다.

$$\theta_k = \tan^{-1}\left(\frac{k}{l}\right). \dots\dots\dots (10)$$

그리고, k+1 pixel 과 중심과의 각도는 식 (11)과 같이 표현되어진다.

$$\theta_{k+1} = \tan^{-1}\left(\frac{k+1}{l}\right). \dots\dots\dots (11)$$

위의 두 식으로부터 각 pixel 사이와 중심점과의 각도  $\Delta\theta$  는 식 (12)과 같이 표현되어질 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \tan^{-1}\left(\frac{k+1}{l}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{k}{l}\right) \quad \left[\frac{k}{l} < 1\right] \\ &\approx \frac{k+1}{l} - \frac{k}{l} = \frac{1}{l} \left[ l = \frac{P_x}{2} \cot\left(\frac{\theta_{rx}}{2}\right) \right] \\ &= \frac{1}{\frac{P_x}{2} \cot\left(\frac{\theta_{rx}}{2}\right)} \approx \frac{2}{P_x} \frac{\theta_{rx}}{2} = \frac{\theta_{rx}}{P_x}. \end{aligned} \dots\dots\dots (12)$$

능동카메라의 자세에 의해 실제 영상은 Roll 각에 의해  $\theta$  R만큼 회전된 영상이므로 식 (13)과 같이 회전 변환하여 식 (14)와 같이 공간상 거리  $\hat{r}_o$ 와 방향  $\hat{\theta}_o$ 를 추정할 수 있다. 여기에서 기저좌표계에 대한 x 방향에 대한 위치와 y 방향에 대한 위치는 식 (15)로 추정된다[7][8].

$$\begin{bmatrix} j' \\ k' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_R) & -\sin(\theta_R) \\ \sin(\theta_R) & \cos(\theta_R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j - \frac{P_x}{2} \\ k - \frac{P_y}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (13)$$

$$\hat{r}_o = z_{ccd} \cdot \cot\left(\theta_T - \frac{k'}{P_y} \theta_{ry}\right) \dots\dots\dots (14)$$

$$\hat{\theta}_o = \frac{j'}{P_x} \theta_{rx}$$

$$\begin{aligned} \hat{x}_o &= r_{ccd} \cos(\beta) + \hat{r}_o \cos(\beta + \hat{\theta}_o) \\ \hat{y}_o &= r_{ccd} \sin(\beta) + \hat{r}_o \sin(\beta + \hat{\theta}_o) \dots\dots (15) \\ (r_{ccd} &= \sqrt{x_{ccd}^2 + y_{ccd}^2}) \end{aligned}$$

### IV. 시뮬레이션 및 실험

#### 4.1. 영상정보를 이용한 위치추정

본 논문에서 제시한 영상정보와 카메라의 기구학적 관계를 이용한 거리추정의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 시뮬레이션은 능동카메라의 자세에 따라 0.3m 격자의 바닥이 입력되는 영상을 논문에서 제시한 기구학적 관계로 나타내었다. 그림 6은 능동카메라 Tilt 각,  $\alpha = 10.4^\circ$ , Pan 각,  $\beta = 30.3^\circ$ 의 자세에서 실험한 결과이다. 그림 6은 복도에 상자의 앞면이 이동매니플레이터의 중심으로부터 설정한 좌표계에 따라  $x = 0.55m$ ,  $y = 0.3m$  에 놓이게 한 다음, 앞서 설정한 능동 카메라 자세에서 실제 입력 영상 및 제시한 알고리즘에 의해 처리되어진 영상과 그에 따른 데이터를 보여주고 있다. 실험에서 볼 수 있듯이 실제 카메라 자세에 의한 영상정보와 기구학적 관계를 통해 거리 정보를 추정하였다.

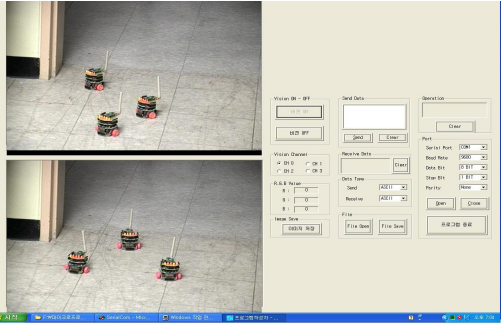


그림 6. 물체 위치 추정( $\alpha=10.4\circ$ ,  $\beta=30.3\circ$ )  
 Fig. 6. Estimation of object position. ( $\alpha=10.4\circ$ ,  $\beta=30.3\circ$ )

4.2. 동차행렬을 이용한 경로 생성

그림 7은 경로생성 알고리즘을 나타내었다. 시뮬레이션을 수행하기에 앞서 이동물체의 초기 위치와 방향은  $(0m, 0m, 0.35m, 0^\circ)$  이고, 이동자율로봇의 초기 자세는  $(-60^\circ, 20^\circ, -15^\circ)$  로 설정하였다. 또한 이동자율로봇의 평균이동속도는 1m/s로 설정하였다.

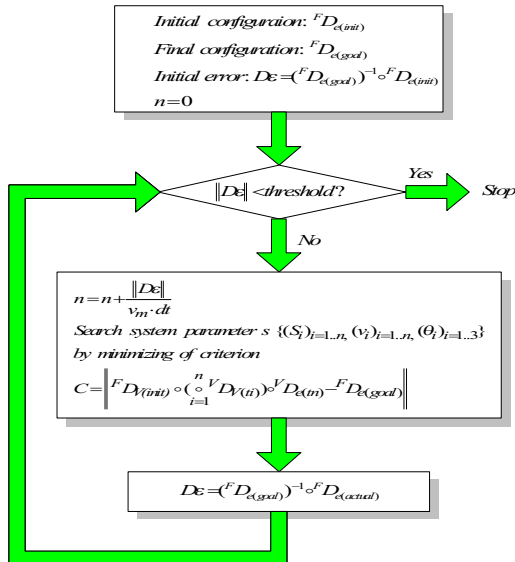


그림 7. 경로 생성 알고리즘  
 Fig. 7. Implemented algorithm for path

그림 8은 초기 위치에서 출발하여 목표 위치와의 에러를 계산한다. 시스템 파라미터인 곡률 S와 속도 v에 의해 생성되는 최적 경로를 추행하면서, 목표 위치에 접근해 가는 시뮬

레이션 결과를 3차원으로 보여주고 있다. 그림 9는 각 구간에서의 곡률과 속도의 변화를 보여주고 있다.

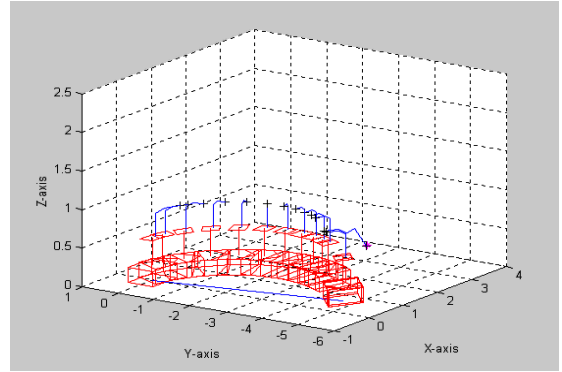


그림 8. 동차행렬을 이용한 궤적 생성  
 Fig. 8. Trajectory generation using homogeneous matrix

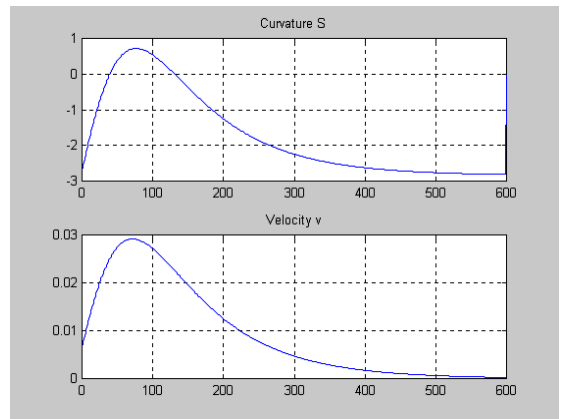


그림 9. 각 구간에서의 곡률과 선형속도  
 Fig. 9. Curvature and linear velocity in each displacement

V. 결론

본 논문에서는 비전 정보를 이용한 이동자율로봇의 작업능력에 관한 연구로서 이동자율로봇은 임의의 위치에 있는 이동하는 물체를 인식하여 목표지점에 이동하는 물체를 포획하는 작업을 목표로 하였으며 이를 위한 시스템 구성, 작업 대상을 인식하기 위한 카메라 시스템 구성, 이동자율로봇의 제어구조 및 경로 생성에 대한 방법과 연구 내용을 제시하였다. 본 논문에서는 능동카메라의 자세와 영상의 물체위치로부터 앞에서 제시했던 실제 환경과의 맵핑 관계를 이용하여 대상물체의 공간상의 위치를 추정한다. 그리고, 좌표변환에 의한 동차행

렬을 이용하여 이동자율로봇을 하나의 시스템으로 간주하여 해석한다. 그리고 나서, 자율로봇의 작업공간을 벗어난 추정된 위치에 도달하여 작업을 수행하기 위하여 매 제어주기마다 곡률과 속도의 최적 값에 따른 최적의 경로를 생성한다. 이동자율로봇의 시스템 구성은 각 관절의 제어와 카메라 기구부 제어에 관련된 많은 작업들을 실시간으로 제어하기 위하여 다수개의 제어기들이 네트워크를 통하여 제어를 수행하는 분산 제어 방식을 채택하였다. 향후 과제로서 이동자율로봇의 속도 제어에 있어서의 위치오차의 보정을 위한 외부센서를 이용하여 정확한 위치제어가 필요하며, 카메라에 의한 영상정보에서 조명영향에 대한 강인한 이미지 처리문제, 그리고 위치 추정을 위한 카메라 기구부 파라미터 및 불확실성에 대한 강인성 문제에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] Eric T. Baumgarther and Steven B. Skaar, "An Autonomous Vision-Based Mobile Robot" IEEE Trans on Automatic Control. Vol. 39. No 3, pp. 493-502, 1994.
- [2] Jea-Kyung Lee, "Mobile Manipulator Motion Planning for Multiple Tasks Using Global Optimization Approach," Journal of Intelligent and Robotic System, Vol. 18, pp. 169~190, 1997.
- [3] Homayoun Seraji, "A Unified Approach to Motion Control of Mobile Manipulator," The International Journal of Robotics Research, Vol. 17, No. 2, pp. 107~118, 1998.
- [4] Jae H. Chung, "Interaction Control of a Redundant Mobile Manipulator," The International Journal of Robotics Research, Vol. 17, No. 12, pp. 1302~1309, 1998.
- [5] Jang Myung Lee, "Dynamic Modeling and Cooperative Control of a Redundant Manipulator Based on Decomposition," International Journal of KSME, Vol. 12, No. 4, pp. 642~658, 1998.
- [6] Jin-Gu Kang, Min-Gyu Kim, Ki-Hong Jin, Jang-Myung Lee, "A Study on Optimal Configuration Control of the Mobile Manipulator," International Conf. on Mechatronics Technology (ICMT'99), pp. 572~577, 1999.
- [7] Jin-woo Park, Jae-Han Park, Jang-Myung Lee, "Intelligent Control of a Mobile Robot using Fuzzy Logic," Proc. of ITC-CSCC'99, Japan sado, 1999.
- [8] 박재한, 노동규, 이장명, 김종형, "이동물체 포획을 위한 이동로봇의 동작계획," 1999년도 한국자동제어학술회의 논문집 A권, pp. 373~376, 1999.
- [9] 황철호, 이상헌, 고재평, 이장명, "이동물체의 포획을 위한 최적 경로계획," 2003년도 제어자동화시스템공학회 합동학술발표대회 논문집, pp. 125-132, 2003/12/13.

### 저 자 소 개



강진구

2001년 2월 : 부산대학교 전자공학과 공학박사 졸업  
2001년 ~ 현재 :  
극동정보대학 애니메이션과 부교수



이장명

1980년 서울대학교 전자공학부 졸업.  
1982년 동대학원 석사.  
1990년 USC(미국 남가주 대학교) 공학박사.  
1992년~ 현재 부산대학교 정교수.  
[관심분야] 지능로봇 시스템 설계 및 제어, 마이크로프로세서 응용, 시스템 설계 및 모터 구동제어.