

論文 99-36T-6-7

화상 특징량을 이용한 로봇제어 알고리즘

(An Algorithm of the Robot Control Using Image Feature Value)

許炯八 *

(Hyeong-Pal Her)

요 약

로봇이 환경변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 화상정보를 이용한 시각귀환제어(VFC)가 필요하다. 시각귀환 제어시스템은 매니플레이터와 카메라로 구성되는데, 고정된 시각시스템의 경우, 특징량이 동일선상에 위치하면 시각귀환제어를 할 수 없는 특이치 문제가 발생한다. 특이치 문제를 해결하기 위한 방법으로 이미 지 자코비안의 상태값을 정의하고, 여러가지 경우 특징량을 조합 평가하여 이용 가능한 특징량을 선택하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 특징량의 수를 증가해야하는 단점이 있다.

그러므로 본 논문에서는 시각귀환시스템의 카메라를 능동적으로 이동시키므로써 특이치가 발생하지 않는 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 그 유효성을 확인한다.

Abstract

To cope actively with the changes of external environments, it is necessary that a robot should have visual feedback control (VFC) using image informations. A VFC system consists of a manipulator and camera(s). For the fixed visual system, when feature value are located at the same line, we have a problem of singular value unable to be controlled by VFC. As a solution, we may define state values of the image Jacobians, then, by making comparisons and evaluations of feature values, select available ones. This method, however, has a demerit increasing numbers of feature values.

To solve the problem, moving cameras of VFC system actively, we suggest an algorithm which does not cause singular value, and prove its availability through simulations.

I. 서 론

1960년대에 개발된 로봇은 과학기술의 고속화에 따라 눈부시게 발전되어 산업사회의 모든 분야에 큰 공헌을 하고 있다. 그러나 지금까지의 로봇은 제한된 조

건에서 부여된 일을 충실히 수행할 뿐, 환경변화에 능동적으로 대처하지 못하고 있다. 따라서 근래에는 시시각각으로 변하는 동적 환경에 대해서도 능동적으로 작업을 수행할 수 있는 지능로봇의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 지능로봇의 실현을 위해서는 3차원 정보를 빠르고 정확하게 처리할 수 있는 센서가 필수적이다.

스테레오 카메라로부터 얻어진 화상정보를 이용하여 로봇을 제어하는 방법을 시각귀환제어(VFC : visual feedback control)라 한다.^[1-4]

시각귀환 제어시스템을 대별하면 매니플레이터와 카

* 正會員, 순천제일대학 電子情報科

(Dept. of Elec. & Telecom Eng., Suncheon First College)

※ 이 논문은 1998년 순천제일대학 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

接受日字: 1999년 4월 30일, 수정완료일: 1999년 6월 19일

메라로 구성되고, 카메라를 매니플레이터에 고정된 일체형과 카메라를 매니플레이터와 독립적으로 설치하여 고정된 분리형 시스템으로 구분된다. 시각귀환 제어시스템은 특징량을 이용하여 제어하는 방법으로써 일체형 시스템은 카메라 시계가 고정되어 있으므로 매니플레이터가 물체를 잡고 있는 상황에 따라, 제어를 어렵게 하는 경우가 발생한다.^[5-7] 이에 반하여 분리형 시스템은 매니플레이터의 상대적인 위치와 자세를 시각정보에 의해 얻고, 이 상대오차를 이용하여 카메라 시계를 능동적으로 이동시킬 수 있는 장점이 있다.

특징량을 이용하여 제어를 하는 경우, 특징량의 자유공간에서의 속도와 카메라의 화상평면상에서의 속도를 해석하는데 이미지 자코비안은 중요한 요소가 된다.^[8-9] 이미지 자코비안에서 랭크는 특징량의 위치에 따라 감소하게 되고, 이를 특이치 문제라 한다. 랭크 감소로 인해 특이치 문제가 발생할 경우 제어 입력이 무한대에 근접하여 매니플레이터를 제어할 수 없게 된다. 따라서 특이치 문제를 해결하기 위해 특징량을 조합하여 시각귀환제어에 이용하는 방법이 있다.^[10] 또 다른 방법은 이미지 자코비안의 역행렬 대신에 일반화 역행렬을 이용하는 방법이 있는데 이 방법은 특이치 문제를 완전히 해결할 수 없다.^[10-11]

그러므로 본 연구에서는 화상평면상에 나타난 특징량의 정보로부터 평가량을 정의하고, 이 평가량에 기초하여 카메라를 능동적으로 이동시키는 알고리즘을 제안하므로써 특이치 문제를 해결한다. 제안 알고리즘을 5 DOF 매니플레이터 제어에 적용하여 시뮬레이션 하고, 그 실효성을 확인한다.

II. 스테레오 카메라에 의한 시각서보

1. 스테레오 시각시스템

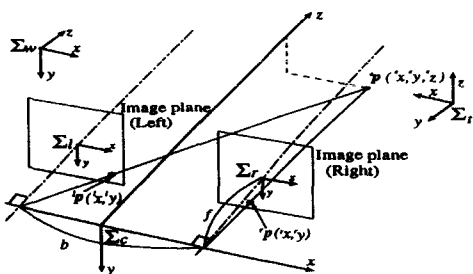


그림 1. 스테레오 카메라의 모델
Fig. 1. Model of the stereo camera.

스테레오 시각시스템의 좌표계는 그림 1과 같다. 2대의 카메라 중심을 연결하는 기선과 광축의 방향은 직각이고, 2대의 카메라 사이의 중심이 카메라 좌표의 원점이다. 이때, 카메라 중심으로부터 광축 방향으로 촛점거리 f 만큼 떨어진 위치에 광축과 직각으로 만나는 평면이 화상평면이고, 광축과 화상평면의 교점이 각각 좌화상평면계와 우화상평면계의 원점이다.

공간에 위치한 점 p 의 카메라 좌표계 ${}^c p$ 는 식 (2.1)과 같다.

$${}^c p = \begin{pmatrix} {}^c x \\ {}^c y \\ {}^c z \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

점 p 가 좌,우화상평면에 비친 상의 화상좌표계는 식(2.2)와 같다.

$${}^l p = \begin{pmatrix} {}^l x \\ {}^l y \end{pmatrix}, {}^r p = \begin{pmatrix} {}^r x \\ {}^r y \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

화상좌표계의 ${}^l p$ 과 ${}^r p$ 를 카메라 좌표계로 변환하면 식(2.3)과 같다.^[12]

$$\begin{aligned} {}^c x &= \frac{b}{{}^l x - {}^r x} \frac{{}^l x + {}^r x}{2} \\ {}^c y &= \frac{b}{{}^l x - {}^r x} {}^l y \\ {}^c z &= f \frac{b}{{}^l x - {}^r x} \end{aligned} \quad (2.3)$$

카메라 좌표계를 좌,우 화상좌표계로 변환하면 식 (2.4)와 같다.^[12]

$$\begin{aligned} {}^l x &= f \frac{{}^c x + \frac{b}{2}}{{}^c z} \\ {}^r x &= f \frac{{}^c x - \frac{b}{2}}{{}^c z} \\ {}^l y &= f \frac{{}^c y}{{}^c z} \\ {}^r y &= f \frac{{}^c y}{{}^c z} \end{aligned} \quad (2.4)$$

여기서, ${}^l x - {}^r x$ 는 시차(視差)로서 특징점까지의 수평 거리정보이고, ${}^l y - {}^r y$ 는 수직 거리정보이다.

2. 특징선의 이미지자코비안

시각귀환제어에 있어서 특징량으로 특징선을 추출하고 이를 하프변환에 적용하여 제어하는 방법을 제안한다. 하프변환은 면 전체에 산재한 화소집합에서 글로벌한 패턴특징을 추출할 수 있는 유력한 방법이다.

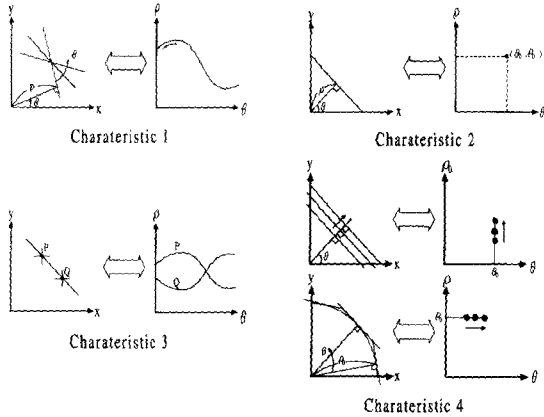


그림 2. 하프변환의 성질
Fig. 2. Characteristics of Hough transform.

하프변환을 스테레오 비전에 의한 시각귀환제어의 특징선의 추출에 적용하므로써 특징점만이 아닌 선과 같은 특징량을 이용하는 것이 가능하게 된다.

- 하프변환의 기본적 성질을 정리하면 그림 2와 같다.
- 성질 1 : (x, y) 를 통과하는 모든 직선 군은 파라메타 평면상 하나의 하프곡선으로 표현된다.
- 성질 2 : 파라메타 평면상의 한 점은 직선하나에 대응한다.
- 성질 3 : 동일선상의 임의의 두점은 하프 곡선파라메타 평면상에서 단 한번만 교차한다.
- 성질 4 : 상호 평행인 직선군은 파라메타평면상의 θ 축에 직교하는 Slit상에 존재한다. 원점을 중심으로 한 원의 점선군은 이것에 직교하는 Slit상에 존재한다.

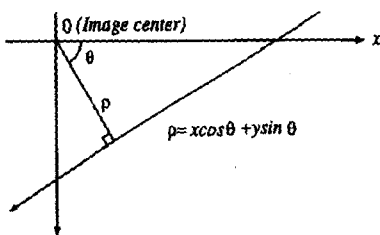


그림 3. 하프 변환
Fig. 3. Hough transformation.

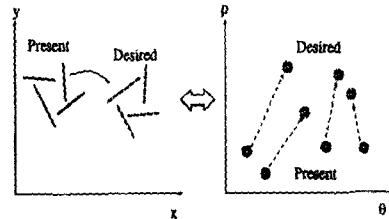


그림 4. 하프변환을 이용한 시각서보의 예
Fig. 4. Example of visual servoing using Hough transformation.

여기서 직선을 선택하여 고려하여 본다. 화상상에서는 특징점의 집합인 선은 다음 식의 하프 변환에 의해 (θ, ρ) 파라메타 평면의 어떤 한 점으로 변환할 수 있다. 그림 3에서 화상중의 직선군에 대해 행하면 각각의 직선이 파라메타 평면상에서는 점이 되고 이들 점에 대해서 시각귀환제어를 행하는 것이 가능하다.

이제, 좌우 화상 속에 화상 특징량으로서 직선이 존재하고 그 직선에 하프 변환을 행하면 좌우 화상 속에 투영된 직선의 각도 ${}^l\theta, {}^r\theta$ 와 원점으로부터의 거리 ${}^l\rho, {}^r\rho$ 를 이용하여 식(2.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$${}^l x \cos {}^l \theta + {}^l y \sin {}^l \theta = {}^l \rho \tag{2.5}$$

$${}^r x \cos {}^r \theta + {}^r y \sin {}^r \theta = {}^r \rho$$

식(2.5)를 미분하면 식(2.6)이 된다.

$$\begin{aligned} {}^l \dot{\rho} + ({}^l x \sin {}^l \theta - {}^l y \cos {}^l \theta) {}^l \dot{\theta} &= \cos {}^l \theta \dot{{}^l x} + \sin {}^l \theta \dot{{}^l y} \\ {}^r \dot{\rho} + ({}^r x \sin {}^r \theta - {}^r y \cos {}^r \theta) {}^r \dot{\theta} &= \cos {}^r \theta \dot{{}^r x} + \sin {}^r \theta \dot{{}^r y} \end{aligned} \tag{2.6}$$

따라서, 화상중의 직선 파라메타의 변화 ${}^l \dot{\phi} = ({}^l \dot{\theta} \quad {}^l \dot{\rho})^T$ 와 매니퓰레이터의 제어입력 벡터 u 와의 관계식은 식(2.7)과 같다.

$${}^l \dot{\phi} = J_{line} {}^l u_i \tag{2.7}$$

직선인 경우의 이미지 자코비안 J_{line} 은 식(2.8) 과 같다.

$$J_{line} = \begin{pmatrix} \theta^l J_u \\ \rho^l J_u \\ \theta^r J_u \\ \rho^r J_u \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & {}^c z_t & -{}^c y_t \\ 0 & -1 & 0 & -{}^c z_t & 0 & {}^c x_t \\ 0 & 0 & -1 & {}^c y_t & -{}^c x_t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} {}^cR_t & O \\ O & {}^cR_t \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

카메라 좌표계로 부터 본 End-effector의 이동속도와 특징량과의 관계를 나타내는 이미지 자코비안을 구할 수 있다.

III. 능동적 시각서보제어를 위한 알고리즘 제안

시각귀환 제어시스템에서 특이치 문제를 해결하기 위해 몇 가지 방법이 제안되었으나 정확성에 문제가 있었다. 따라서, 본 논문은 이상의 문제점을 해결하고자 기존의 고정된 시각귀환 시스템을 능동적 시각귀환 시스템으로 할 수 있는 평가량을 정의하고 이에 따른 알고리즘을 제안한다.

1. 평가량 정의

이동하는 대상물체의 특징점 위치를 나타내는 화상 평면상의 특징점 상대 속도 벡터 ${}^I\dot{p}$ 는 식(3.1)과 같다.¹³⁾

$${}^I\dot{p} = J_{image} u \quad (3.1)$$

시각귀환제어에서 이미지 자코비안은 매니플레이터의 제어 입력을 얻기 위한 필수적인 행렬로서 이 행렬의 랭크가 감소하면 식(3.2)가 성립되어 특이치 문제가 발생한다.

$$\det(J), \sqrt{\det(J^T J)} = 0 \quad (3.2)$$

식(3.2)의 전항은 이미지 자코비안이 정방행렬인 경우이고 후항은 이미지 자코비안이 정방행렬이 아닌 경우로서, 본 연구에서는 식(3.2)의 스칼라량인 식(3.3)을 능동적 시각귀환 제어시스템을 위한 평가량 w 로 정의한다.

$$w = |\det(J)|, (\sqrt{\det(J^T J)}) \quad (3.3)$$

평가량이 0인 경우는 특이치 상태가 되어 시각귀환 제어를 할 수 없게 된다. 결국 매니플레이터의 속도는 특이치의 상태에 접근함에 따라 무한대에 이르고 특이치의 상태로부터 멀어짐에 따라 균등하게 되어 매니플레이터의 제어가 용이하게 된다.

2. 특징선의 평가량

대상물체에 존재하는 직선은 하프변환에 의해서 파라메타 공간의 점으로 대응되므로 특징점일 때와 마찬가지로 시점을 이동하는 경우, 카메라 시점의 이동 범위는 그림 5와 같이 반구면이 된다. 카메라 시점의 회전은 먼저 y 축방향으로 θ_y 회전하고 나서 x 축 방향으로 θ_x 회전한다.

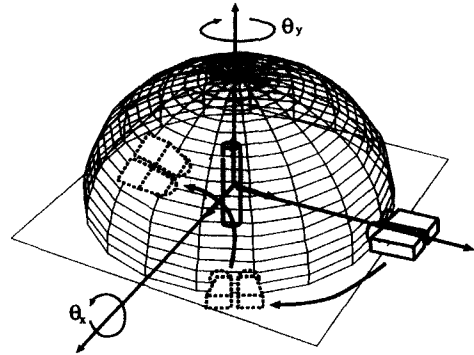


그림 5. 특징선의 시점
Fig. 5. View point for feature line.

직선이 그림 5와 같이 존재할 때 카메라 시점을 $\{\theta_x: 0^\circ < \theta_x < 180^\circ\}$, $\{\theta_y: -90^\circ < \theta_y < 90^\circ\}$ 이동시킬 경우 평가량은 그림 6과 같다.

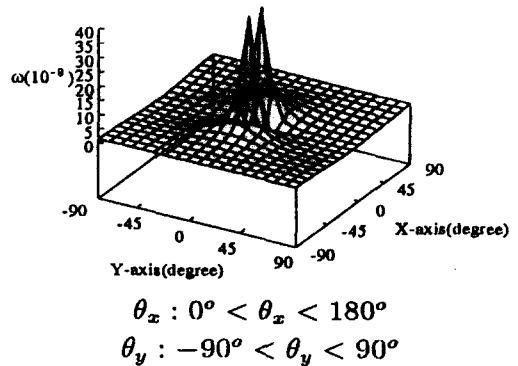


그림 6. 특징선의 평가량
Fig. 6. The estimate value of a feature line.

그림 6으로부터 평가량이 최대가 되는 카메라 시점의 위치는 xy 평면에 대칭이면서 $(\theta_x, \theta_y) = (87.0), (93.0)$ 으로 2곳이 존재한다. 이것은 직선의 축 방향으로부터 적게 떨어진 위치에 있고 직선을 이용하여 작업을 행할 경우 카메라의 시점을 약간 직선 축으로부터 벗어나게 하면, VFC의 평가량이 $w = 0.38 \times 10^{-6}$ 으로 최대가 되는 것을 알 수 있다. 직선을 이용할 때 사람이 바늘에

실을 통과시키는 경우나, 연필로 무엇을 쓰는 경우, 인간은 무의식 중에 축으로 부터 작게 벗어난 위치에 시점을 두고 있다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 정의된 화상평면상 나타나는 평가량에 근거하여 제한한 알고리즘의 실효성을 확인하기 위해 매니플레이터의 End-effector가 목적하는 위치에 도달하도록 능동적 시각귀환제어를 하였다. 카메라와 매니플레이터를 동시에 제어할 수 없기 때문에 카메라와 매니플레이터의 순으로 제어하고 매니플레이터는 5 DOF를 갖는 것으로 한다.

능동적 시각귀환제어를 함에 있어 상대적인 오차를 최소화하기 위해 대상물체의 중심위치를 End-effector의 좌표계 원점으로 하였고, 대상물체와 End-effector 그리고 스테레오 카메라의 초기 위치 자세를 "조건 1"과 "조건 2"로 나누어 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션은 Sun SPARC 20에서 C언어를 이용하였다.

1. 시뮬레이션 (조건 1)

카메라 좌표계를 기점으로 한 대상물체와 End-effector의 초기위치(단위:mm)는 식(4.1)이고, 대상물체에 대한 카메라와 End-effector의 초기자세(단위:degree)를 Roll, Pitch, Yaw로 표현한 결과는 식(4.2)이다.

$$p_{od} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 900 \end{pmatrix}, p_{ed} = \begin{pmatrix} 155 \\ -400 \\ 950 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

$$p_{oa} = \begin{pmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, p_{ea} = \begin{pmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 75 \\ 50 \\ 150 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

식(4.1), 식(4.2)의 시뮬레이션 조건에서 평가량이 최대가 되는 카메라의 시점은 x 축 방향으로 -60°, y 축 방향으로 -10° 이동했을 때 였다. 결국, 평가량은 대상물체의 초기위치에 따라 변하므로 평가량이 최대인 위치를 찾아 카메라를 이동시켜야 할 필요가 있다.

평가량이 최대가 되는 위치로 카메라를 이동시키는

경우와 이동시키지 않는 경우 End-effector의 이동 궤적은 그림 7, 그림 8 이다.

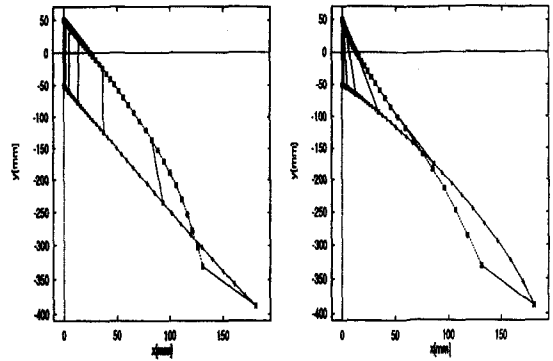


그림 7. End-effector x,y 축의 궤적
Fig. 7. Trajectory of End-effector(x,y axis).

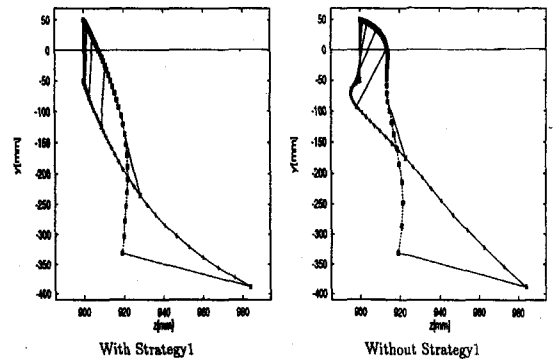


그림 8. End-effector y,z 축의 궤적
Fig. 8. Trajectory of End-effector(y,z axis).

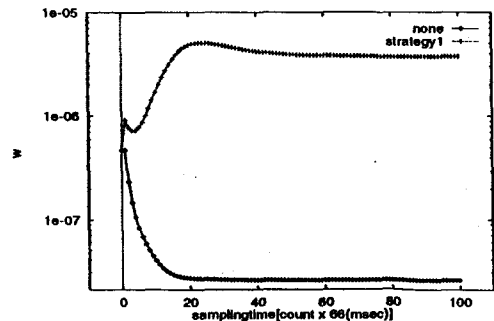


그림 9. 평가량
Fig. 9. Servability.

그림 7로부터 x, y평면상의 End-effector의 궤적은 카메라를 이동하지 않더라도 오버슈트가 발생하지 않지만, 그림 8에서 y,z평면상의 End-effector 궤적은 카메라 시점의 이동에 따라 영향을 받는다. 즉, 카메라

이동이 없는 경우는 z축 방향으로 오버슈트가 발생되나 카메라 이동이 있는 경우는 오버슈트가 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

마찬가지로 카메라를 이동시키지는 경우와 이동시키지 않은 경우 화상평면상에 나타난 샘플링타임에 따른 평가량 변화는 그림 9 이다.

그림 9의 결과, 화상평면상에 나타난 평가량이 최대가 되는 위치로 카메라를 이동시켜 매니플레이터를 제어할 필요가 있다.

2. 시뮬레이션 (조건 II)

카메라 좌표계를 기점으로 한 대상물체와 End-effector의 초기위치(단위:mm)는 식(4.3)이고, 대상물체에 대한 카메라와 End-effector의 초기자세(단위:degree)를 Roll, Pitch, Yaw로 표현한 결과는 식 (4.4) 이다.

$$p_{od} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 900 \end{pmatrix}, p_{ed} = \begin{pmatrix} 290 \\ -160 \\ 850 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

$$p_{oa} = \begin{pmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 90 \\ 0 \\ -10 \end{pmatrix}$$

$$p_{ea} = \begin{pmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -155 \\ -90 \\ 45 \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

식(4.3), 식(4.4)의 시뮬레이션 조건에서 평가량이 최대가 되는 카메라의 시점은 x 축 방향으로 -20°, y 축 방향으로 80° 이동했을 때 였다. 이는 “조건 I”의 결과와 마찬가지로 대상물체의 초기위치에 따라 평가량이 최대가 되는 카메라의 위치가 변하는 것을 다시 확인할 수 있었다.

평가량이 최대가 되는 위치로 카메라를 이동시키지는 경우와 이동시키지 않는 경우 End-effector의 이동궤적은 그림 10, 그림11 이다.

그림 10, 11로부터 카메라를 이동시키지 않는 경우는 이미지 자코비안의 랭크가 감소하여 End-effector의 위치 자세가 발산하고, 반면에 카메라를 이동시킬 경우 End-effector가 수렴하고 있음을 확인할 수 있었다.

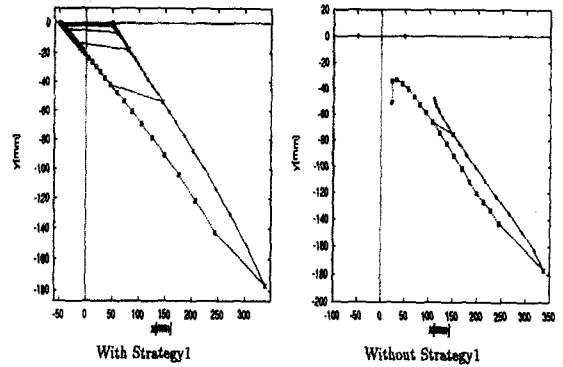


그림 10. End-effector x,y 축의 궤적
Fig. 10. Trajectory of End-effector(x,y axis).

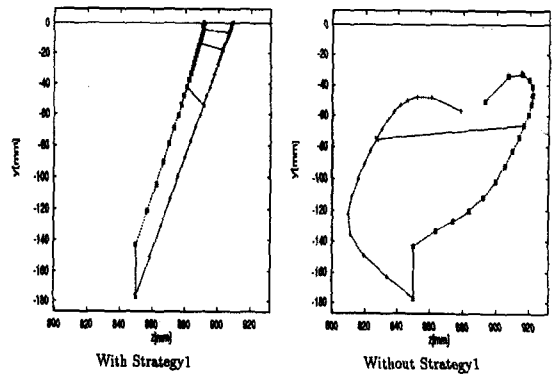


그림 11. End-effector y,z축의 궤적
Fig. 11. Trajectory of End-effector(y,z axis).

마찬가지로 카메라를 이동시키지는 경우와 이동시키지 않은 경우, 화상평면상에 나타난 샘플링타임에 따른 평가량의 변화는 그림 12 이다.

그림 12로부터 시각시스템(카메라)의 이동 유, 무에 따라 평가량이 변화되고 이는 곧 이미지자코비안 랭크와 직결된다.

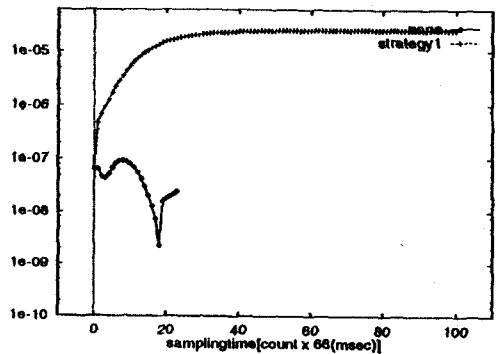


그림 12. 평가량
Fig. 12. Servability.

이상의 시뮬레이션 결과, 카메라 시점(카메라 좌표계의 원점)을 평가량이 최대가 되는 위치로 카메라 시점을 이동시켜 특이치문제(랭크감소)를 해결함으로써 카메라를 이동시키지 않는 경우보다 이동시키는 경우, End-effector가 목표위치(대상물체)까지 정확히 도달할 수 있음을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

고정 스테레오 카메라를 이용한 시각귀환 산업용 로봇을 제어하는 경우, 특이치 문제는 필연적으로 발생하게 되고, 이 문제를 해결하기 위해 복수 특징량을 설정해야하는 등의 방법을 활용하고 있으나 여러 가지 문제를 안고 있다.

그러므로 본 연구에서는 특이치 문제의 해결을 위해 화상평면상에 나타난 특징량의 정보로부터 평가량을 정의하고, 이 평가량에 기초하여 카메라 좌표계를 이동시킬 수 있는 능동적 시각귀환 제어를 위한 알고리즘을 제안하였고, 이의 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

- 카메라를 능동적으로 이동시킬 경우, End-effector의 이동궤적에서 오버슈트가 발생하지 않았다.
- 특이치가 발생할 경우, 능동적 카메라 시스템에서는 End-effector가 발산하지 않고 목표치에 수렴하였다.
- 특징량의 상대 평가량을 고정된 시각귀환제어 시스템에서 보다 크게하므로 End-effector의 오차를 줄일 수 있었다.

앞으로, 평가량이 기준 이하의 값을 갖는 경우까지 적용 가능하도록 제안된 알고리즘을 발전시키고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Hiroshi Kase, "Manipulator Control by Visual Servoing with Stereo Vision," system 制御情報學會論文紙, vol.6 No.8, pp360-367, 1993.
- [2] K.S. Fu & R.C. Gonzalez & C.S.G. Lee : ROBOTICS, McGRAW-HALL Book Company, 1987.
- [3] J. Hill and W.T. Park : Real Time Control of a Robot with a Mobile Camera :

proc. of 9th Int. symp. on Industrial Robots, pp.233-246. 1979.

- [4] K. Hashimoto, T. Ebine and H. Kimura: "Dynamic Visual Feedback Control for a Hand-Eye Manipulator," IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, Raleigh, NC, pp.1863-1868, 1992.
- [5] K. Hashimoto, and H.Kimura: "Dynamic Visual Servoing with Nonlinear Model-based Control", International Federation of Automatic Control, Sydney, Australia, Vol.9, pp. 405-408, 1993.
- [6] B. Espiau, Member, IEEE, F. Chaumette, and P. Rives: "A New Approach to Visual Servoing in Robotics", IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol.8, No.3, pp.313-326, 1992.
- [7] P.I.Corke and M.C.Good: "Controller design for high-performance visual servoing", International Federation of Automatic Control, Sydney, Australia, Vol.9, pp.395-398, 1993.
- [8] B. Nelson, N.P. Papanikolopoulos and P.K. Khosla: Dynamic sensor placement Using Controlled Active Vision ; proc. of 12th IFAC World Congress, Vol.9, pp.419-422. 1993.
- [9] B.Nelson, N.P. Papanikolopoulos and P.K. Khosla (K.Hashimoto (ed)) : Visual Servoing for Robotic Assembly ; visual servoing, World Scientific, pp.139-164. 1993.
- [10] L.E. Weiss, A.C. Sanderson and C.P. Neuman: "Dynamic Sensor-Based Control of Robots with Visual Feedback", IEEE Journal of Robotics and Automation, VOL, No.5 October, 1987.
- [11] W. Jang and Z. Bien: "Feature-based

- Visual Servoing of an Eye-In-Hand Robot with Improved Tracking Performance", IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Sacramento, CA, pp.2254-2260, 1991.
- [12] 出口光一郎, 畫像と空間.センツク" / 認識 シリ- ス" 5. 昭晃堂, 1991.
- [13] 吉川恒夫: "Robot Arm의 可操作度". 日本 Robot 學會誌, 2月號, pp. 63-67, 1984.

 著 者 紹 介



許 炯 八(正會員)

1982년 2월 조선대학교 전자공학과(공학사).
 1984년 2월 조선대학교 전자공학과(공학석사). 1998년 2월 조선대학교 전자공학과(공학박사). 1984년 3월 ~ 현재 순천제일대학 전자정보과 교수. 주관심 분야는 화상처리, 로보틱스