

원격조작 로봇트를 위한 카메라 추종시스템 개발

박영수 윤지섭 임태준 이재설

한국 원자력 연구소 원격장치 기술실

Development of Camera Auto-Tracking System for Telemanipulators

Young Soo Park Ji-Sup Yoon Tae-Jun Um Jae-Sol Lee

Remote Technology Department

Korea Atomic Energy Research Institute

ABSTRACT

This paper reports the design procedure and testing result of a servo driven pan/tilt device which is capable of tracking arbitrary movement of a specified target object. In order to achieve real-time acquisition of feedback signal, a 2 degrees-of-freedom non-contact type displacement follower is used. The performance of the system is tested for different target velocities and control gains. The result of the research may provide an effective tool for visual transfer in the context of teleoperation.

1. 서론

원격조작 장치는 사람이 접근할 수 없는 극한 작업에 널리 응용되고 있으며, 이때 여러가지 센서의 정보를 원격리에 있는 조작자에게 효과적으로 전달해 줌으로써 조작자가 작업 현장에 실재하는 느낌(telepresence)을 이루어주는 것이 중요한 과제가 되고 있다. 이와같은 센서의 정보로는 시각, 힘, 촉각, 청각 등의 1차적인 정보와 운동감/공간위치감(proprioception)등의 2차적인 정보들이 응용되고 있으며[1], 이 중에 시각 정보가 가장 효과적이고도 중요한 요소라고 할 수 있다. 특히 발달된 컴퓨터의 정보처리 능력과 캐드(CAD) 시스템을 도입

함으로써 시각전시의 질을 향상시킴으로써 더욱 복잡한 작업의 원격 조작화가 계속 추진되고 있다[2]. 이와같은 시각정보의 추출과 전송은 주로 텔레비전 카메라를 통해서 이루어 지는데, 이때 카메라의 방향을 관심있는 작업 영역이나 원격조작 로봇트의 그리퍼(gripper)와 같은 작업 기구에 항상 맞추어 줄 필요가 있다. 따라서 카메라 추종기능의 자동화가 원격조작 분야에서 많이 연구되어 왔는데, 성공적인 카메라 자동 추종장치의 도입은 일반적인 원격작업에 있어서 40 %의 효율 개선을 이루어 준다고 보고 된 바 있다[3]. 가장 이상적인 카메라 추종장치는 카메라의 위치와 방향뿐 아니라 자동조심(auto-focusing)및 확대/축소(zooming)와 고정부의 움직임까지 제어, 보상해 주어야 하나, 본 연구에서는 카메라의 방향제어에만 주안점을 두었다. 카메라 추종 장치에서 위치 귀환 신호를 얻기 위해서는 목표물의 카메라에 대한 상대 위치가 내장된 센서로 부터 얻어질 수 있는 극히 제한된 경우 외에는 주로 별도의 센서를 사용하게 되는데, 정확한 추종을 위해 주로 카메라의 화상 정보를 처리해서 얻어지게 된다.[4] 이 경우 화상 정보 처리에 필요한 계산 시간이 문제가 되어 고속의 추종에 어려움을 겪게 된다. 본 연구에서는 이와같은 문제점을 별도의 2 자유도를 가진 비 접촉식 고속 변위 추종장치(Displacement Follower)을 사용하여 해결하고자 하였다. 추종장치의 구동은 하모닉 드라이브 기어(Harmonic Drive Gear)와 스테핑모터를 사용한 조향

장치(Pan/Tilt Device)를 제작해서 구현하였으며, 모터의 구동을 위해서 별도의 펄스 발생 장치를 도입, IBM/AT 컴퓨터로 제어하였다. 개발된 장치의 성능을 실험하기 위하여 대상 목표물의 속도를 변화시키고, 제어 계인을 변화 시켜가며 그 응답을 관찰하고, 평가하였다.

2. 카메라 자동 추종장치의 구성 및 기능

2.1. 전체 실험장치 구성

본 연구를 통해서 개발된 카메라 자동 추종장치의 전체적인 구조는 그림 1에서 보는 바와 같다. 전체 시스템은 목표물의 위치 변화량을 전압으로 출력시키는 위치 추종장치(displacement follower)가 2개의 스테핑모터/하모닉 드라이브 시스템으로 이루어진 조향 기구위에 장착되어 있고, 제어기를 구성하는 IBM/AT 컴퓨터와 각축의 스테핑 모터를 구동시키기 위한 고속의 펄스 발생기와 모터 드라이버로 구성되어 있다. 그 외에 위치오차 출력을 증폭시켜주는 증폭기와 상용 A/D 변환기가 장착되어 있으며, 실험을 위해서 목표물(target object)과 이의 구동장치 및 조명 장치로 이루어져있다. 위치 추종 장치로부터 시각 영역(field of view)의 중심에서 주어진 목표물의 정해진 모서리까지의 수평, 수직 방향의 위치오차에 비례한 $-10V \sim 10V$ 의 전압이 실시간으로 출력되면, 이 전압을 증폭, A/D 변환시킨 값을 오차 귀환시켜 제어를 실행함으로써 2자유도의 조향 기구의 각

스테핑모터를 구동시킨다. 컴퓨터는 위치오차를 귀환받아 제어 알고리즘을 이용하여 펄스수를 계산하고 계산된 펄스수를 펄스 발생기에 전달하고, 이에 따라 발생한 펄스가 드라이버를 통해서 모터를 구동시킨다. 다음에 각 부분의 자세한 설명이 주어졌다.

2.2. 위치추종장치 (Displacement Follower)

목표물의 조향 장치의 방향에서부터의 위치오차를 실시간으로 언어내기 위해 옵트론 사 (Optron Co.) 의 전자광학식 2차원 위치추종장치 모델5600 (Electro-Optical Biaxial Displacement Follower Model 5600)을 사용하였다. 이 장치는 렌즈를 통해서 비친 시각 영역 (field of view)의 중심으로부터 표적이 벗어난 거리를 두 방향에 대하여 실시간으로 추정해 주는 기능이 있다. 그림 2는 이 위치 추종 장치 (displacement follower)의 내부 구조를 보여준다. 이 장치는 밝은 면과 어두운면의 경계가 뚜렷한 표적의 명암 경계선의 움직임을 감지하도록 구성 되어 있다. 그림에서 보는 바와같이 장치의 머리 부분 (optical head)에 부착된 렌즈를 통해서 들어오는 빛의 강도에 비례하는 양의 전자가 포토튜브(photo tube)을 통해서 포토 캐소우드 (photo cathod)로 전달되어 전자형상이 형성되고, 시각 영역 (field of view)의 중심에서 명암 경계선이 벗어난만큼의 전압이 출력으로 나타내어진다.

2.3. 조향 장치 (Pan/tilt Device)

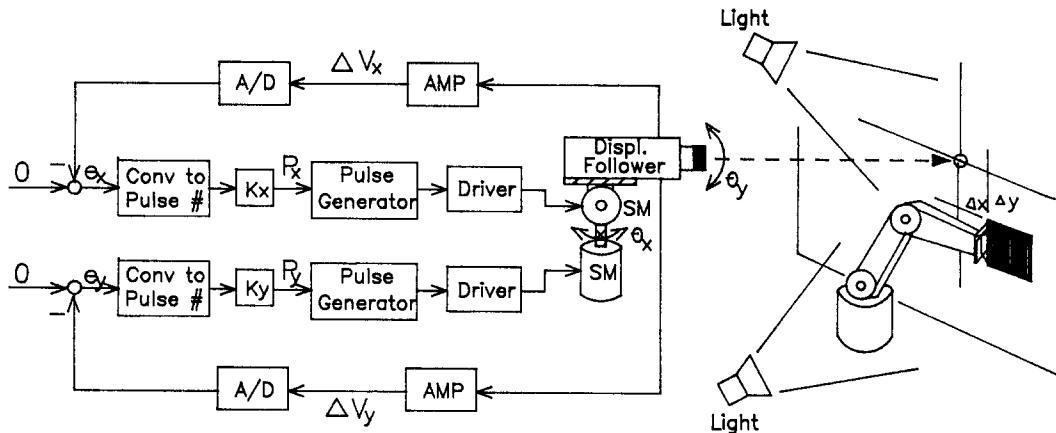


그림 1 카메라 자동 추종장치의 전체구조

Fig. 1 Overall structure of auto-camera tracking system

조향 장치 (Pan/Tilt device)는 2개의 스텝모터/하모닉 드라이브 유닛 (stepping motor/harmonic drive unit)으로 구성되며, 이는 각각 수직축을 중심으로 회전하는 팬(pan)축과 이축과 90° 방향으로 연결된 틸트(tilt)축을 구성한다. 그림 3은 조향 장치의 전체적인 구조를 보여준다. 모터를 축에 직접 연결 시킴으로써 간단한 구조를 가지며, 기어등을 통한 백래쉬(backlash)가 없도록 설계하였으며, 50:1 하모닉 드라이브 기어 (harmonic drive gear)를 통해서 토크(torque)를 크게 증가 시켰으며, 각 축의 위치 정밀도(resolution)가 1회전당 25000 펄스(pulse)인 고정밀도의 장치로서 정밀한 위치제어에 적합하도록 하였다. 이와같은 고정밀도의 스텝 모터를 빠른 속도로 구동시키기 위해서는 고속의 펄스를 발생시켜 주어야하며, 이를 위해서 각각 최대 100KHz까지의 pulse를 발생시킬수 있는 오리엔탈 SPG6100K 펄스 발생 기판을 사용하였고, 이는 다시 컴퓨터와 병렬 통신 포트 (parallel communication port)를 통해서 핸드쉐이크 방식으로 통신된다.

2.4. 이동 목표물 시스템 (Moving Target System)

로봇 그리퍼에 장착된 타겟의 움직임을 모사하기 위하여, 그림 1에서 보는 바와 같이 2 자유도의 움직임을 갖는 상용 x-y 플로터(plotter)의 펜 고정부(Pen,

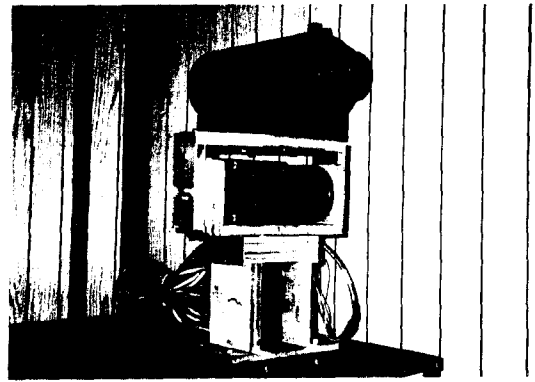


그림 3 조향장치의 전체 모습

Fig. 3 Overview of Pan/Tilt device

Holder)에 표적을 붙여 실험장치를 꾸몄고, 표적의 움직임은 IBM PS/2 컴퓨터를 이용하여 조정하였다. 고른 조명분포를 주기 위해 광원의 강도와 방향을 자유로이 조절할 수 있는 광섬유 조명장치 (fiber optic illuminator device)를 사용하였다.

3. 보정(Calibration) 및 제어 방식

이 장에서는 제작된 시스템의 보정(calibration) 순서와 제어 방식을 설명한다. 사용된 위치 추종 장치(displacement follower)는 2차원 평면상의 움직임을 감지하므로, 본 시스템의 응용은 현재로서 목표물의

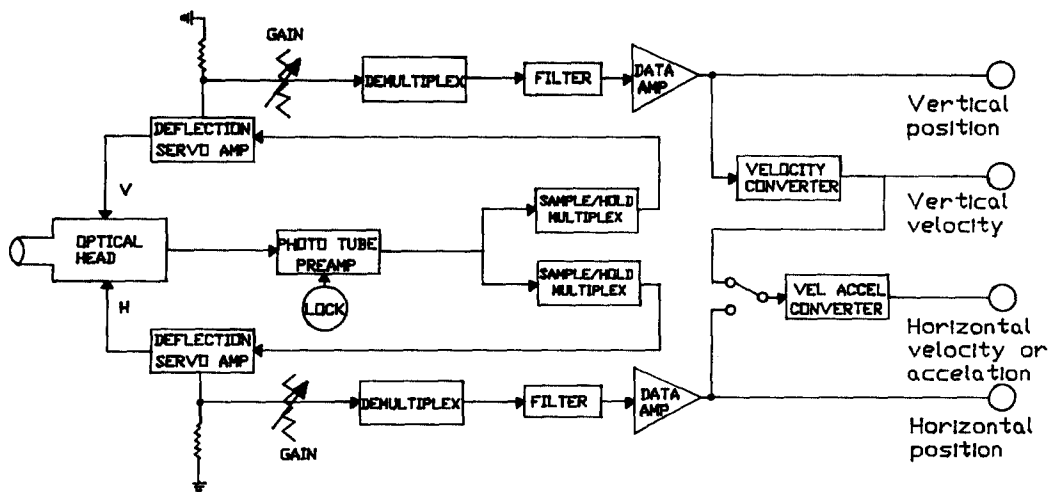


그림 2 위치추종장치의 구조

Fig. 2 Detailed structure of displacement follower

움직임이 일정한 거리에 위치한 수직 평면상에서의 동작에 응용의 제한을 두었다. 그림 1에서 보는 바와같이 목표 평면상의 수평선을 x축, 수직선을 y축으로 정의하고, 조향장치의 수평회전각도를 θ_x , 기울임각도를 θ_y 라 정의한다. 이때, 조향장치에 장착된 렌즈가 목표 평면에 수직으로 위치 했을때 그 사이의 수직거리 ℓ 이 정해지면, x,y 방향을 선형 변위 Δx , Δy 와 수평회전/기울임(Pan/Tilt) 각도와와의 관계는

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\ell}, \quad \theta_y = \tan^{-1} \frac{\Delta y}{\ell} \quad (1)$$

로 정의된다. 본 추종실험에서 각 샘플링 주기(sampling time) 마다의 변위오차가 적을 것을 가정하여 위식을 선형화 하여

$$\theta_x = \frac{\Delta x}{\ell}, \quad \theta_y = \frac{\Delta y}{\ell} \quad (2)$$

을 사용하였다. 또한 위치 추종 장치와 증폭기(amplifier)를 거쳐서 출력되는 전압과 해당 변위의 관계는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \frac{V_x}{K_1}, \quad y = \frac{V_y}{K_2} \quad (3)$$

여기서 V_x , V_y 는 각각 x, y 변위에 비례하는 -10V ~ 10V 사이의 출력이다. 식 (3)의 비례상수 K_1 과 K_2 , 위치 추종 장치의 렌즈의 축점거리와 ℓ 로부터 기하학적인 방법으로 대략적으로 구해질수 있으나 보다 정확한 값을 얻기위해 실험적인 방법으로 보정(Calibration)하여 구하여졌다. 그림 4는 보정의 결과로 얻어진 x,y 방향의 변위와 출력 전압과의 관계를 보여준다. 각 경우에 $\ell = 325$ cm로

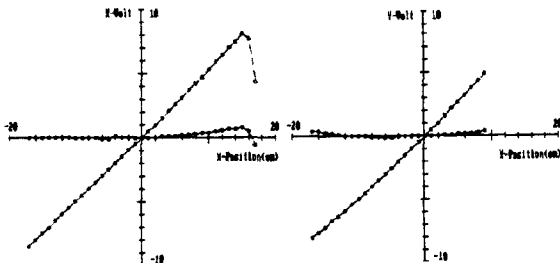


그림 4 위치추종장치의 보정 곡선

Fig. 4 Calibration Curve of displacement follower

고정되었고, 그림에서 보는 바와같이 넓은 범위에 있어서 선형적인 특성이 얻어졌으며, 원점을 중심으로 ± 4 cm 내에서는 변위 방향에 수직한 방향에 대응하는 출력의 오차도 거의 없음을 볼수가 있다. 각 그래프의 선형계수를 구하면, $\ell = 325$ cm일때 $K_1 = 0.514$, $K_2 = 0.521$ 로 구해졌다. 위 그림의 양단에서 관찰된 비선형특성은 렌즈의 곡률, 조명상태등에 기인한것으로, 특히 조명상태의 변화에 따라 비선형 범위가 달라짐을 알 수 있었고, 일정한 변위/전압 특성을 얻기 위해서 전 목표평면에 있어서 고르게 조명을 비추어 줄 필요가 있었다. 앞의 보정을 통해서 K_1 , K_2 가 구해지면, 얻어진 신호 전압 출력으로부터 수평회전각과 기울기각이 구해진다. 식 (2)와 (3)으로 부터

$$\theta_x = \frac{180}{\pi K_1 \ell} V_x \text{ (rad)}$$

$$\theta_y = \frac{180}{\pi K_2 \ell} V_y \text{ (rad)} \quad (4)$$

조향장치를 구성하는 2개의 스테핑 모터의 정도가 25000 펄스/회전이므로 θ_x , θ_y 로부터 해당 펄스 수는 아래와 같이 구해진다.

$$P_1 = \frac{25000}{2\pi} \theta_x$$

$$P_2 = \frac{25000}{2\pi} \theta_y \quad (5)$$

본 시스템의 제어는 위에서 계산된 P_1 , P_2 의 값에 일정한 비례 계인을 부과시켜 제어 입력으로 출력시켜, 펄스 발생기를 통해 스테핑 모터를 구동 시킴으로 이루어진다. 사용된 펄스 발생기는 구형의 속도 궤적을 가지며 사용된 최대 펄스 속도는 10000 pulse/sec 이며 가감속 구간의 가속도는 100kpulse/sec로 구동시켰다. 이는 샘플링 주기를 150 msec으로 했을때 1500개의 펄스, 즉 21.6° 의 오차 교정이 가능하다는 것을 나타낸다.

4. 실험 및 결과

개발된 시스템과 제어의 성능을 본 실험을 통해서 제어

제인과 속도를 변화시키면서 평가 하였다. 전 실험은 앞서 보정에 적용된 $\ell = 325 \text{ cm}$ 에서 수행되었다. 제어 계인의 변화에 따른 동작 특성을 알아보기 위하여, 여러가지 제어 계인을 주고, 10 cm의 x방향 초기 변위 오차를 교정하는 정점제어(set point regulation) 실험을 수행 하였다. 이 실험에서 샘플링 주기는 150 msec 으로 주어졌다. 여러가지 제어 계인에 따른 반응이 그림 5에 주어졌다. 그림에서 보여진 바와같이 큰 제어 계인에서 진동이 심하며, 안정시간(settling time)이 긴 반응이 나타났고, 제어 계인이 1보다 작은 경우에 과감쇄(over damped)된 반응이 얻어졌다. $K_x = 1$ 일때 가장 좋은 반응 결과가 얻어졌다. 본 제어기의 경우 제어 입력이 주어진 샘플링 주기 내에 입력되는 모터 구동 펄스의 수를 나타내므로, 모터의 토크가 충분하다면 한 주기만에 원하는

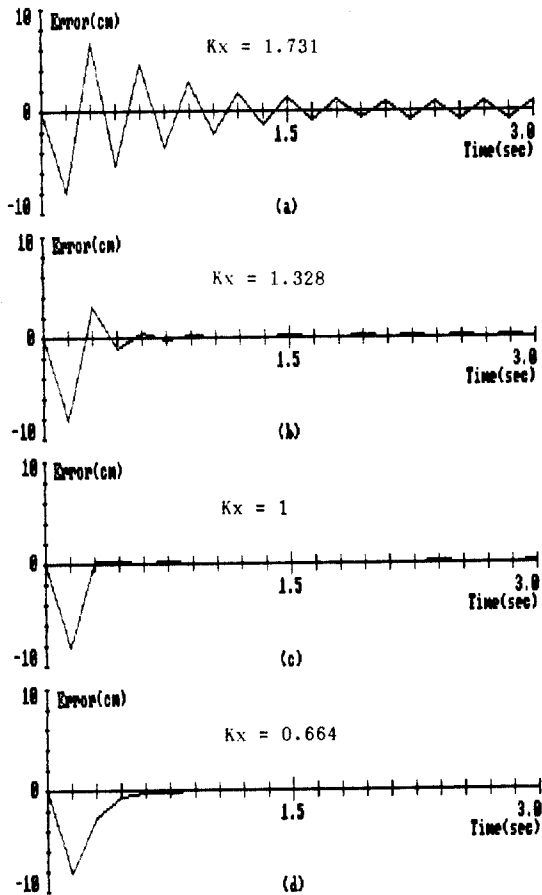


그림 5 정점제어의 오차특성

Fig. 5 Error in set point regulation

제어(regulation)가 이루어지게 된다. 따라서 이 경우 제어 계인의 변화는 보정 곡선 (calibration curve)의 기울기를 변화시킨 의미가 되고, 물리적으로는 수평회전/기울기(pan/tilt)각도와 x,y 변위와의 상관 관계가 달라진 즉, 목표물까지의 거리 ℓ 이 변화한 것으로도 해석할 수가 있다. 따라서 본 실험의 결과로부터 거리 ℓ 이 변했을 경우의 시스템의 추종 성능을 예측할 수가 있다. 구체적으로 실제 거리가 보정에 사용된 ℓ 값보다 작을 경우 그림 5-a, 5-b와 같은 진동하는 반응이 나타나고, 실제 거리가 ℓ 보다 큰 경우에 그림 5-d와 같은 과감쇄된 반응이 나타날 것을 예측할 수가 있다. 실험의 두번째 부분으로는 목표물의 속도를 변화시켜가며, 조향장치의 추종성능을 살펴보았다. 목표물의 움직임은 변의 길이가 20 cm인 정사각형을 형성하도록 하였으며, 샘플링 주기는 50 msec 으로 정해주었으며, K_x, K_y 는 모두 1로 주어지고 실험이 수행되었다. 그림 6은 추종시의 오차를 보여주며 그림 7은 추종경로를 보여준다. 목표물의 속도가 5 cm/sec일 경우 추종오차가 작았으며, 15 cm/sec일때는 보다 큰 추종 오차가 나타났다. y방향의 오차에는 일정한 주기의 보다 큰 추종 오차가 나타났는데, 이는 조향장치 제작상의 문제로 y방향에 미소진동이 발생하기 때문이다. 또한 추종경로의 오른쪽 상단에 진동이 발견되는데 이는 이 부분에 있어서의 조명의 불균형 때문으로 해석된다. 실험결과로 보아 본 시스템은 날카로운 비연속점(discontinuity)이 있는 경로를 가진 목표물의 움직임도 비교적 잘 추종함을 알수가 있으며, 고속의 펄스를 필요로하는 스테핑 모터를 사용함으로써 빠른 목표물의 움직임을 추종할 때 추종 성능이 떨어짐이 나타났고, 스테핑 모터의 특성상 추종시 잔진동이 존재함을 알수가 있다. 이런 문제점은 모터를 직류 서보모터(DC servo motor)로 대체하여 개선 시킬수가 있을 것이며, 본 연구의 목적인 방사성물질 처리를 위한 원격조작 작업의 평균 속도가 매우 느림을 고려할때, 본 목적에 사용가능함을 알수가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 원격조작시 조작자의 동작을 돕기위한

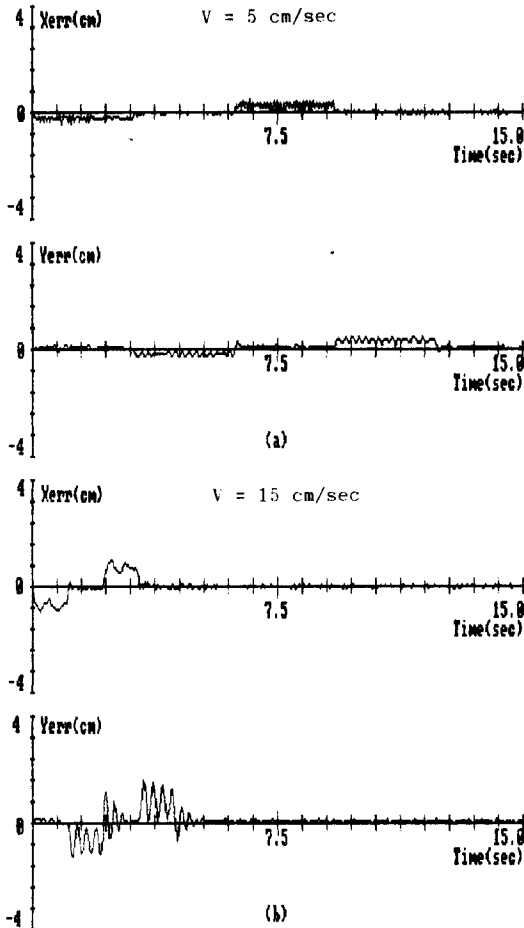


그림 6 추종제어의 오차특성

Fig. 6 Tracking error for square target motion

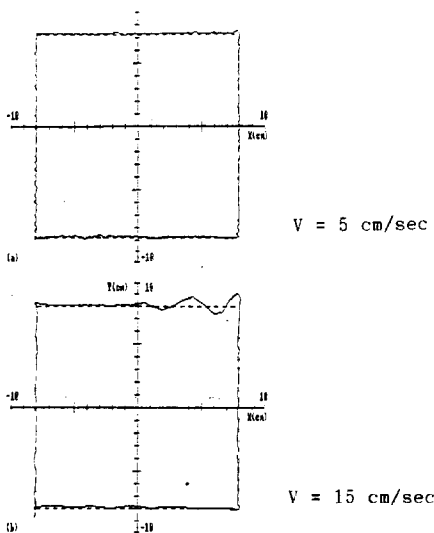


그림 7 정방형 움직임의 추종경로

Fig. 7 Tracking contour for square target motion

원격 카메라의 자동 추종장치의 개발이 수행되었다. 카메라 정보의 화상 처리를 통한 추종신호의 추출 방식을 대신해서 실시간 위치 오차의 정보를 보내줄 수 있는 2 자유도의 비접촉식 고속 위치 추종 장치 (displacement follower)를 사용하여 기준 위치 오차(reference positional error)가 입력되도록 고안 되었다. 고정밀도의 스테핑모터를 사용 조향장치를 구성 구동시켰으며, 비례 게인을 통한 제어 성능 실험을 통해 정점제어(set point regulation) 성능과 속도 변화에 따른 추종실험이 수행되었다. 그 결과 보정에 사용된 기준(nominal) 거리 이하에서의 만족할 만한 제어 성능이 확인되었으며, 날카로운 비연속점(discontinuity)이 있는 경로에서도 저속의 경우 좋은 추종 성능이 확인 되었다. 더욱 좋은 추종성능을 얻기 위해서는 스테핑 모터의 직류서보모터로의 대치가 바람직하다. 또한 3차원의 카메라 정보의 효과적인 전송을 위해서 카메라의 자동 확대/축소(zooming) 기능과 자동 보정이 필요할 것이다. 보다 안정된 보정을 위해서 넓고 고른 분포의 조명장치의 개발이 또한 요구된다.

참고문헌

- [1] G. Andre Irida, et al. "Status of the Advanced Teleoperation Project in the French A.R.A Program," Proceedings Remote Systems and Robotics in Hostile Environments, pp.28, 1987
- [2] Uwe Kuehnepfel, et al. "Graphics support for jet boom control," Proceedings Remote Systems and Robotics in Hostile Environments, pp.28, 1987
- [3] Vertut J., et al. "Coordination camera telemanipulator by microprocessor," Proceedings of 6th World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms", New Delhi, pp.1071, 1983 II
- [4] Linda M. Strunk, et al. "A linearly-mapping Stereoscopic visual interface for teleoperation," IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, pp.429, 1990
- [5] T. B. Sheridan "Telerobotics," Automatica, Vol.25, No.4, pp.487, 1989