

원격 감시용 카메라의 자동 조향을 위한 Fuzzy 제어

정우태, 박영수, 윤지섭
한국원자력연구소

Fuzzy Control of Camera Pan Tilt Device for Remote Surveillance System

Woo Tae Jung, Young Soo Park, Ji Sup Yun
Korea Atomic Energy Research Institute

ABSTRACT

The development of fuzzy pan/tilt controller for remote handling in hostile environment is presented in this paper. In remote handling, control of the camera system is somewhat tedious and time consuming. Operators should do the two tasks of manipulating teleoperator and camera pan/tilt at the same time. By automating pan/tilt control, we expect operators could concentrate only on remote operation.

When operators control camera pan/tilt, they use simple linguistic rules such as "If the position of end effector on TV monitor is at the edge of the screen, control pan/tilt to display the end effector near the center of the screen". Such a rule is similar to fuzzy logic, so we used fuzzy logic controller to control camera pan/tilt.

1. 서론

원자력 시설, 해저 탐험, 우주 개척 등 극한 환경 하에서의 원격 조작 작업을 위해서는 여러 가지 원격 조작기가 사용되고 있다⁽¹⁾. 원격 조작기: 사람이 들어갈 수 없는 곳에서 물건을 이동시키거나 조립하는 등의 실제 작업을 수행하는 종(slave) 매니플레이터와 이 종 매니플레이터를 작업자가 원하는 대로 작동하기 위한 장치인 입력기구 (input device)로 나눌 수 있다. 원격 조작기에는 아주 간단한 원격 조작 공구로부터 매우 복잡한 서보형 매니플레이터 까지 그 종류가 매우 다양하다. 이 중에서 가장 많이 사용되는 원격 조작기로 두 대의 매니플레이터가 기계적으로 연결된 주종형 매니플레이터와 입력 기구와

종 매니플레이터가 전기적으로 연결된 전동 매니플레이터를 들 수 있다. 입력 기구는 사람이 접근 할 수 있는 안전 지역에 설치되며, 종 매니플레이터는 접근할 수 없는 위험 지역에 설치되므로 이 두 기구를 기계적, 전기적으로 연결할 필요가 있다. 또한 원격 조작 작업 시 작업자를 위험으로부터 보호하기 위해 유리, 납, 벽 등으로 위험 지역과 안전 지역을 차폐한다. 유리로 차폐할 경우에는 작업자가 종 매니플레이터 및 작업 환경을 관찰할 수 있으므로 큰 어려움 없이 조작 작업을 수행할 수 있으나, 원자력 시설과 같이 방사선을 차폐하기 위해 납이나 콘크리트 벽으로 차폐해야 할 경우에는 카메라와 모니터를 설치하여 작업 환경을 보면서 작업을 수행하여야 한다. 대개의 경우 카메라는 두 대가 설치되어 한 대는 작업 영역을 다른 한대는 전체 환경을 비추게 한다. 작업 부위가 이동함에 따라 카메라도 따라서 움직여야 하므로 팬/틸트 기구나 카메라 방향 설정용 매니플레이터 등 별도의 카메라 조향 장치를 설치하여 사용한다. 대형 매니플레이터를 사용하여 작업 공간의 이곳 저곳을 이동하면서 작업할 경우에는 작업자가 매니플레이터도 동작시키고 카메라의 조향 장치도 매니플레이터의 그리퍼를 향하게 하여야 하므로 번거롭게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 서보형 매니플레이터의 경우 각 축의 회전 각도 정보를 이용해 매니플레이터의 위치를 계산하여 카메라가 항상 매니플레이터의 그리퍼를 추종하도록 카메라 조향 장치를 제어하는 경우도 있다. 그러나 이 경우는 특정 매니플레이터의 경우에만 적합한 카메라 조향장치로서 매니플레이터의 형상이 조금만 바뀌어도 사용할 수 없으며, 그리퍼의 미세한 동작에도 카메라 조향 장치가 계속 움직이는 문제점이 있다. 따라서 작업자들은 자동 카메라 조향 장치의 필요성은 인정하면서도 실제 작업에 그다지 큰 도움

이 되지 못하므로 별로 사용하지 않고 있다. 본 연구에서는 매니플레이터의 형상에 무관하고 넓은 작업 영역에서 매니플레이터가 이동할 때에는 카메라 조향장치가 항상 매니플레이터의 그리퍼를 추종하는 동작 특성을 보이면서 동시에 물건을 잡거나 조립하는 등의 미소한 그리퍼의 이동에는 카메라가 움직이지 않게 하는 퍼지 제어를 고안하여 실질적으로 작업에 도움이 될 수 있는 카메라 조향장치를 개발하였다.

2. 시스템 구성

제어 대상인 카메라 조향 장치는 그림 1에서 보여지는 것과 같이 두 대의 스테핑 모터를 사용하여 제작하였다. 각 모터는 두개의 parallel port에 의해 출력되는 신호에 따라 주어진 각도만큼 회전하도록 되어 있다. 그리퍼의 현재 위치에 관한 정보를 알기 위해 카메라 및 화상처리기를 사용하였다. 그리퍼에는 주변보다 상대적으로 밝은 전구가 부착되어 있는데 카메라로 이 화상을 잡아 밝은 부분의 좌표를 인식하여 이를 이용하여 팬/틸트용 모터를 제어한다. 화상처리기는 Data Translation사의 DT2862^(2,3)를 이용하였으며, T형 코넥터를 이용하여 한 대의 카메라에 화상처리 장치와 TV 모니터를 동시에 연결하여 사용하였다.

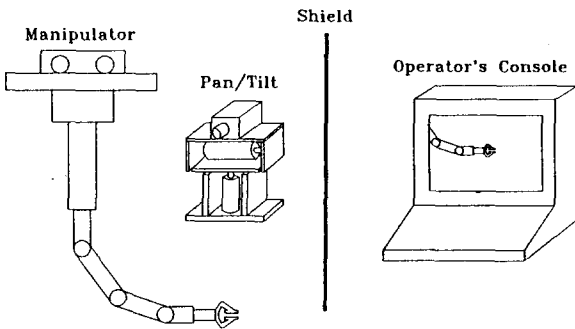


그림 1. 원격 조작 시설의 개념도

실시간으로 조향 장치를 제어하기 위해서는 빠른 화상 처리 속도가 필수적이다. 화상 처리 속도를 빠르게 하기 위해 화상을 디지털이 할 때 look-up 테이블을 이용하여 바로 2치화된 화상을 얻었으며, 이 화상을 가로 세로로 각각 10 pixel line 씩 scanning 하면서 화면 상에 나타난 밝은 부분의 중심의 좌표를 구하였다. 2치화된 화상에서 밝게 표시된 물체 중심의 좌표는 다음 수식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\bar{x} = \sum_{y=0}^{y=511} \sum_{x=0}^{x=511} x g(x, y) \quad (1)$$

$$\bar{y} = \sum_{x=0}^{x=511} \sum_{y=0}^{y=511} y g(x, y) \quad (2)$$

여기서 x, y 는 화면의 왼쪽 상부의 좌표를 (0,0)으로 하였을 때 여기서부터 X 축 및 Y 축 방향에 놓여진 화소(pixel)까지의 거리를 나타내며, $g(x,y)$ 는 그 화소의 grey level을 나타내는데 여기서는 2치화 하였으므로 목표 물체의 경우 1, 기타의 경우 0이 된다. 식 (1)과 (2)를 사용하면 목표 물체의 중심의 좌표를 1 화소 단위까지 정확하게 구할 수 있으나 계산 시간이 약 1초나 소요되어 조향장치를 실시간으로 제어하는 데는 부적합하였다. 이 문제점을 해결하기 위해 각 방향으로 10개씩의 화소를 건너뛰어 계산하였다. 이렇게 한 결과 계산된 물체 중심 좌표에 대한 해상도는 1/10로 감소하였으나 계산 시간도 0.1초로 단축되어 거의 실시간으로 물체의 좌표 계산이 가능하였다.

화상 처리 과정에서 발생할 수 있는 잡음의 영향을 최소화하기 위해서 여기서 사용한 방법은 표적의 형상을 구형으로 하고 직경을 약 10cm으로 하여 약간의 잡음이 들어오더라도 그로 인해 큰 영향을 받지 않도록 하였다. 그러나 정밀한 제어가 필요할 경우에는 광학적 필터를 카메라 렌즈 앞에 부착하면 표적 중심의 정확한 위치 계산이 가능할 것이다. 그러나 이 경우에는 카메라를 두 대 사용하여 한 대는 화상처리용으로, 다른 한 대는 모니터 입력용으로 사용해야 하는 문제점이 있다.

3. 제어기 구성^(4,5,6,7)

작업자는 나뭇대로의 몇 가지 규칙을 가지고 카메라의 조향 장치를 제어한다. 화면에서 목표물이 가장자리 쪽으로 가까워지면 신속히 화면의 중앙 쪽으로 오도록 제어하며, 목표물이 화면의 중앙 부근에 있을 때에는 조향 장치를 움직이지 않는다. 이러한 법칙은 퍼지를 사용하면 쉽게 표현할 수 있다. 따라서 본 조향 장치의 제어를 위해 퍼지 제어를 구성하여 사용하였다. 퍼지 제어기의 규칙 테이블은 그림 2와 같이 구성하였으며, 오차, 오차 변화 및 출력의 멤버십 함수는 그림 3과 같은 모양으로 하였고, 퍼지 출력은 면적 모멘트 법을 사용하여 계산하였다. 시뮬레이션 결과 그림 4와 같은 동작 특성을 얻을 수 있었는데 여기서 보는 것과 같이 조향 장치는 목표물이 화면의 가장 자리에 있을 경우에는 비교적 정확하게 목표물을 추종하고 화면의 중앙 부근에 있을 때에는 정지하는 동작 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 여기에 비해 그

		오차의 변화						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
오차	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
	NS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM
	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB

그림 2. 퍼지 제어기의 규칙표(I)

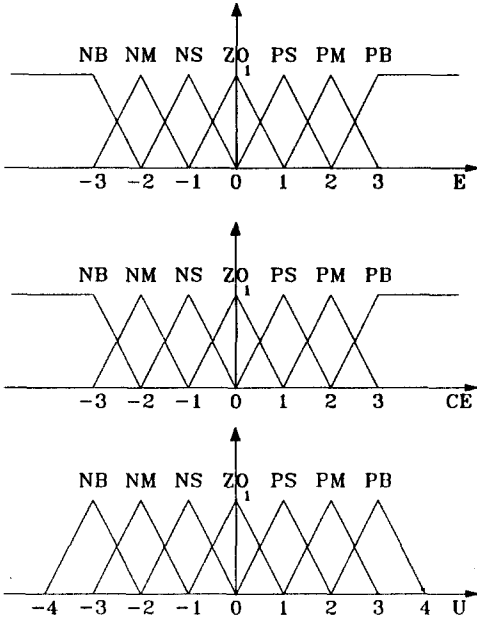


그림 3. 퍼지 제어기의 오차(E), 오차 변화(CE) 및 출력(U)의 멤버십 함수

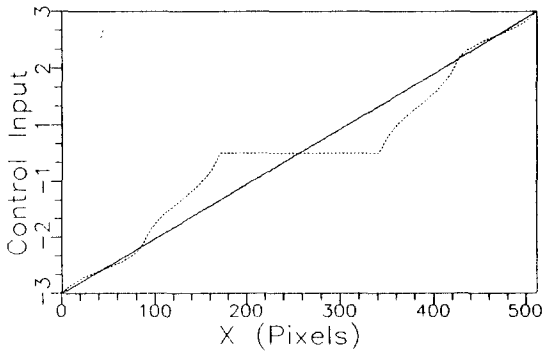


그림 4. 퍼지 제어기의 동작 특성 (I)

림 5에서 보는 것과 같이 일반적으로 많이 사용되는 퍼지 제어 규칙을 이 경우에 사용해 보면 그림 6과 같은 동작 특성을 얻게 되며, 이렇게 되면 목표물의 미소한 움직임이나 화상처리시 발생하는 잡음에 의해 조향 장치가 영향을 받아 움직이거나 진동하게 되므로 원격 조작용 카메라라 조향장치로는 적합하지 않다.

		오차의 변화						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
오차	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS
	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM
	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB

그림 5. 퍼지 제어기의 규칙표(II)

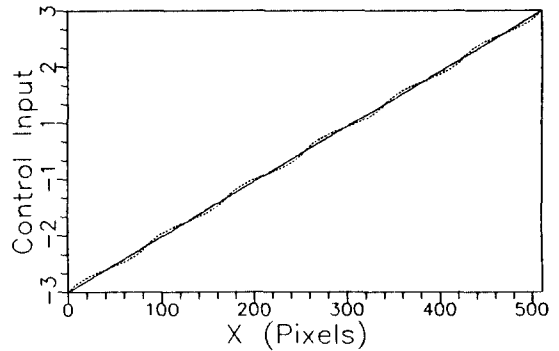


그림 6. 퍼지 제어기의 동작 특성 (II)

제어기를 구성하고 있는 소프트웨어는 기능별로 볼 때 화상 처리 부분, 퍼지 제어기 부분, 팬/틸트 제어 부분의 세 부분으로 나누어져 있다. 화상 처리 부분은 카메라에서 들어오는 비디오 신호를 밝기에 따라 0과 1의 숫자로 표시하고 이 숫자를 이용하여 밝은 부분의 중심의 좌표를 계산하는 역할을 하며, 퍼지 제어기 부분은 앞에서 계산한 좌표 값과 한 단계 앞에서 계산한 좌표 값을 이용하여 퍼지 제어기의 출력 값을 계산하는 역할을 한다. 팬/틸트 제어 부분은 퍼지 제어기의 출력 값을 이용하여 팬/틸트를 원하는 각도 만큼 회전시킨다.

4. 실험 및 결과 분석

제작된 카메라 조향 장치를 이용하여 그 장치의 활용 가능성을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 실험은

PUMA 760 산업용 로봇이 정해진 경로를 움직이게 하고 펜/틸트의 추종 특성을 관찰하는 방식으로 진행하였다. 실험은 크게 세 가지 경우에 대하여 수행하였는데 첫 번째는 로봇이 넓은 범위를 직선 운동을 하면서 움직일 경우, 두 번째는 큰 원운동을 할 경우, 마지막으로 세 번째는 작은 원운동을 할 경우였다. 실험 결과 그림 7 및 8에서 보는 것과 같이 큰 원운동 또는 직선 운동의 경우에는 화면의 중앙 부근에 그리퍼가 있을 경우에는 펜/틸트가 움직이지 않다가 가장자리 부근으로 이동하면 펜/틸트를 움직여 그리퍼가 항상 화면의 중앙 부근에 표시되도록 제어함을 관찰할 수 있었다. 매니플레이터의 그리퍼가 작은 원운동을 할 경우에는 그림 9에서 보는 것과 같이 펜/틸트가 거의 움직이지 않다가 중앙 부근을 벗어나면 조금 움직여 그리퍼가 중앙에 오도록 펜/틸트를 제어하며, 중앙 부분에 오면 다시 카메라의 펜/틸트는 동작하지 않고 정지하고 있음을 알 수 있다. 그림 7, 8, 9에서 X 축 및 Y 축은 모니터 상의 좌표를 화소 단위로 표시한 것이다.

· 항상 매니플레이터의 그리퍼가 화면의 중앙에 오도록 퍼지 규칙을 구성하여 실험을 해 본 결과 정확하게 화면의 중앙에 그리퍼가 위치하도록 제어할 수는 있었으나 그리퍼를 전혀 움직이지 않아도 화상 처리 과정에서 생기는 잡음의 영향으로 펜/틸트가 조금씩 계속적으로 진동하는 현상을 관찰할 수 있었으며, 그리퍼의 작은 움직임도 계속 추종하기 때문에 오히려 사용하기에 불편한 문제점이 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구를 통해 원격 조작 시 작업자가 흔히 겪는 카메라 조향 장치 조작의 번거로움을 해소하기 위한 자동 조향장치를 개발하였다. 이 조향 장치는 매니플레이터의 기하학적인 형상이나 크기에 무관하며, 카메라의 초점 거리에 상관없이 사용할 수 있다. 이 장치를 사용하기 위해서 사전에 해 주어야 하는 작업은 단지 주변보다 밝은 표적이나 광원을 추종하고자 하는 물체에 부착하는 것이다.

두 대의 스텝핑 모터를 사용한 펜/틸트를 제작하여 실험해 본 결과 제어기는 처음에 의도한 대로 잘 작동하여 작업자가 펜/틸트의 조작에 소모하였던 시간을 절약할 수 있게 해 주었으며, 따라서 보다 많은 시간을 원격 조작 작업에 할당할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] J. Vertut, P. Coiffet, Robot Technology (Teleoperation and Robotics), London:Kogan Page, 1984.
 [2] DT2858 and DT2868 User Manual, Data Translation Inc., 1991.

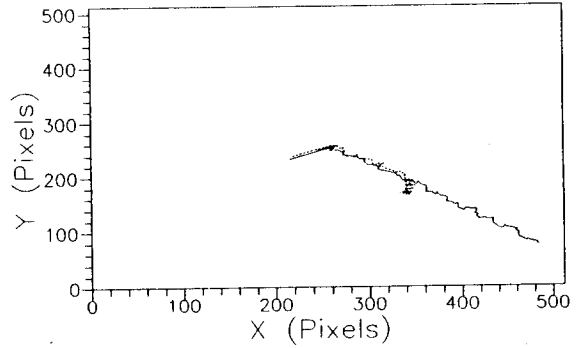


그림 7. 직선운동을 하는 그리퍼를 추종할 경우

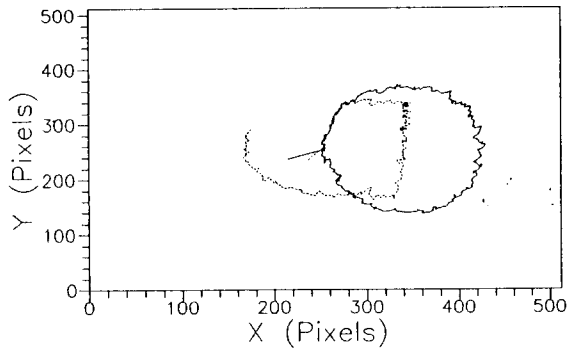


그림 8. 큰 원운동을 하는 그리퍼를 추종할 경우

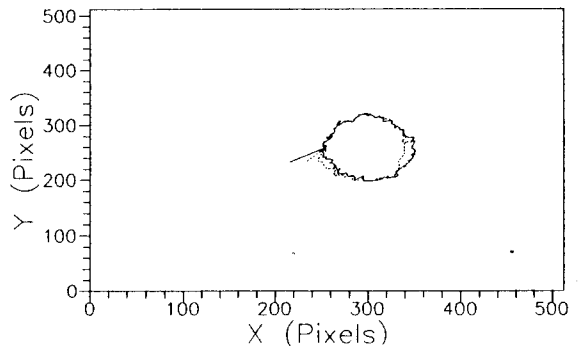


그림 9. 작은 원운동을 하는 그리퍼를 추종할 경우
 (직선은 펜/틸트를 제어하지 않을 때, 점선은 제어할 때 화면상에 나타난 그리퍼의 좌표 변화임)

[3] DT-IRIS User Manual, Data Translation Inc., 1991.
 [4] 이광형, 오길록, 퍼지 이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 1991.
 [5] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," IEEE Proc. Control & Science, Vol. 121, No. 12, pp1585-1588, Dec. 1974.
 [6] T. J. Procyk, E. H. Mamdani, "A linguistic self organizing process controller," Automatica, Vol. 15, pp15-30, 1979.
 [7] M. Sugeno, "Fuzzy control of model car," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 16, pp103-113, 1985.