

마스터-슬레이브형 원격 조작기의 쌍방향 서보제어기 제작에 관한 연구

김기엽, 박찬용

한국기계연구소 자동제어실

A bilateral servo system design for master-slave manipulators

Gi-Yeop Kim, Chanwoong Bahk

Automatic Control Lab. Korea Institute of Machinery and Metals

Abstract

Basic types of bilateral servo systems were described and practical consideration in the bilateral servo controller design was introduced. Power assistance to the operator is essential for high efficiency and accurate force reflection is necessary for dexterous manipulation. This paper shows a controller structure under development at KIMM which employs nonlinear friction compensation and memory based gravity compensation technique for efficiency and dexterity.

1. 서론

원격 조작기는 방사능 지역, 우주 또는 해저 작업등 극한 환경이나 인간에 인간에게 위대한 환경에서 비반복적이며 미리 예정화 되어 있지 않은 일을 수행하는 정교한 Man-Machine 시스템 이다.

마스터-슬레이브형 원격 조작기는 조작자가 Master Manipulator 를 조작 하고 동일한 운동이 Slave Manipulator 에 발생토록 함으로써 여러가지 복잡한 작업을 수행한다. 이 때 조작자는 마치 작업현장에 있는 것처럼 Slave 축에서 일어나는 작업감각을 느낄 수 있어야 정교한 작업을 수행할 수 있으므로 Master 와 Slave 간에 정보를 주고 받을 수 있는 쌍방향 서보 제어기가 필요하여 진다.

쌍방향 서보 제어 방식의 마스터-슬레이브 원격 조작 시스템의 문제점으로는 조작자가 항상 긴장한 상태에 있게 되어 쉬 피로해지며 Manipulator Arm 의 마찰력, 중력

등에 의해 필요한 조작력이 크게 되어 정교한 작업이 어렵게 된다는 것과 서보 제어계에 Slave Manipulator 의 Dynamics 뿐만 아니라 Master Manipulator 와 작업 대상물, 조작자의 Dynamics 도 포함하여 이 전체가 시스템 전체의 안정성의 설계에 영향을 준다는 것이다. 이중 첫번째 문제는 관리제어 (Supervisory control) 기법으로 보완하는 방법이 연구되고 있으며 [1], 두번째 문제에는 그동안 많이 연구된 로봇트 제어 기술을 응용할 수 있다. [2,3] 그러나 세번째 문제는 아직 여러 가지 새로운 쌍방향 서보 기술의 실용화를 저해 하는 주요원인의 하나로 남아 있다 [4].

원격 조작기 제어부는 그림1과 같이 Master-Slave Manipulator를 구동하기 위한 쌍방향 서보 (Bilateral Servo) 와 카메라 조종을 위한 카메라 서보 및 전체 시스템을 관장하며 조작자의 의사결정을 도와주고 이상상태

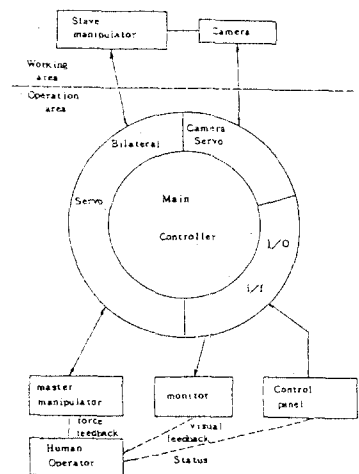


그림1. 원격조작기 제어부 구성도
Fig 1. Master-Slave Manipulator Controller

감지기능 등을 갖는 Main Controller 를 중심으로 구성된다. 본 논문에서는 이중 쌍방향 서보의 기본 방식과 현재 한국기계연구소에서 제작중인 실험용 원격 조작기에 적용할 쌍방향 서보 제어기에 대하여 기술 하고자 한다.

2. 쌍방향 서보 제어의 기본 방식

쌍방향 서보제어는 슬레이브 측의 조작력을 마스터 측에 반력으로 작용시켜 조작자가 그 반력을 느낄 수 있도록 하는 서보제어 방법으로 반력을 주는 방법에 따라 대칭형, 힘역송형 (Force Inverse Transmission type), 힘케환형 의 3가지 방식으로 분류할 수 있다. [5]

대칭형은 마스터와 슬레이브간의 위치 편차를 이용하는 것으로 이 편차에 비례하는 힘을 마스터에 반력으로 작용시킨다. (그림2 참조) 이 방식은 센서로 Encoder 와 같은 위치 검출기 만으로 구성할 수 있기 때문에 구조가 가장 간단하고 Cable Volume 도 작다. 기본적으로 마스터, 슬레이브가 동일한 구조의 위치 제어기를 구성하고 있으므로 position-position 제어 방식이라고도 한다. [6] 이 방식의 문제점은 모터와 감속기의 마찰력, 백래쉬 등 때문에 미세한 위치 오차에 대한 반력 정도가 나쁘다는 것이다. 이를 보상하기 위하여 서보계의 gain 을 크게 하면 시스템의 안정도에 영향을 미치게 되고 슬레이브의 부하가 커 위치 편차가 커지면 조작자가 마스터를 조종할 수 없는 경우도 일어날수 있다.

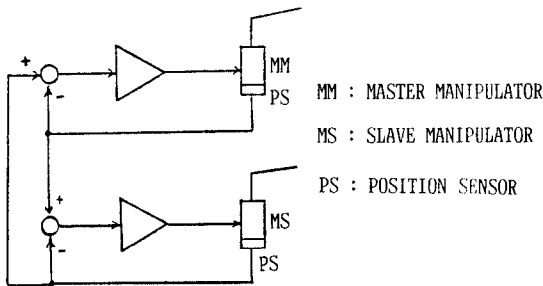


그림2. 대칭형 쌍방향 서보
Fig 2. Position-Position type Bilateral Servo

힘역송형은 그림3과 같이 슬레이브에 가해지는 외력을 스트레인 게이지와 같은 힘센서로 검지하여 마스터에 반력으로 감속시키는 방식으로 힘센서를 모터와 감속기를

지만 관절에 부착하면 전동기구의 관성, 마찰력이 제거된 직접적인 힘정보를 처리할 수 있는 장점이 있다. 그러나 슬레이브의 동작시 관성력도 검출되기 때문에 동작 개시 때나 급가감속시 과도한 반력을 받게되는 문제가 있다.

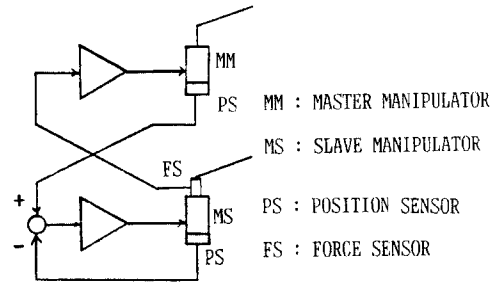


그림3. 힘역송형 쌍방향 서보
Fig 3. Force Inverse Transmission type Bilateral Servo

힘케환형은 이상의 두 방식의 결점을 보완하기 위하여 그림 4와 같이 마스터와 슬레이브 양쪽에 힘센서를 부착하여 각각의 힘의 차이를 반력으로 삼는다. 동작 개시 때나 가감속시의 관성력은 마스터의 힘센서에도 발생하기 때문에 힘역송형에서 발생하는 문제가 해결된다. 마스터-슬레이브간의 위치 오차에 관한 정보는 슬레이브 서보 제어기의 명령으로 하여 마스터의 위치를 슬레이브가 추종하도록 하기 때문에 position force 방식이라고도 한다.

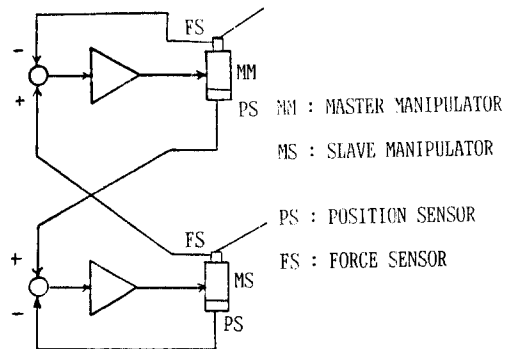


그림4. 힘케환형 쌍방향 서보
Fig 4. Position-Force type Bilateral Servo

힘센서를 이용하는 방식에서는 조작자가 작업감각을 민감하게 느낄 수 있어 보다 정교한 작업을 효율적으로 수행할 수 있다. 그러나 일반적으로 힘센서에서 출력되는

신호가 미약하여 환경의 영향을 받기 쉽고 특히 극한 작업 환경에서 동작의 안정성과 신뢰성에 문제가 있고 Encoder 등 위치 센서 이외에 힘센서 신호계를 부가하게 되므로 코스트가 증가한다. 또한 복수 축 방향의 힘을 검출하는 경우 센서의 구조가 복잡해지고 신호를 각 축방향으로 분리하기 위한 변환 계산이 필요해진다. 따라서 정밀 조립 작업 같이 높은 정도의 힘검출은 필요로하지 않는 작업에서는 힘센서의 이용이 그다지 유리한 방법이 아닌 것으로 보여진다.

이와같이 힘센서를 이용하는 방법이 실현상의 문제가 크기 때문에 이에 대한 대안으로 서보 모터의 전류를 측정하 모터의 토크를 관측하는 방법이 연구되고 있다.[5,7]

3. 쌍방향 서보 제어기의 구성

원격 조작기용으로는 cable volume 이 작아야 하고 안정성과 신뢰성이 중요하므로 힘센서를 쓰지 않는 서보방식을 채택한다. 그 대신 모터 전류로 조작력을 검출하여 소프트웨어 변경 만으로 간단히 상기 3 가지 서보 방식 중 하나를 선택할 수 있도록 하드웨어를 구성한다.

제어기 설계시 고려해야 할 다른 사항은 조작력 보조이다. 마스터-슬레이브형 원격조작기는 조작자가 마스터 조작기를 인력으로 직접 움직여서 작업 환경하의 슬레이브 조작기를 조종한다. 산업용 로봇트 특히 도장용 이나 용접용 로봇트에서도 조작자가 로봇트 팔 선단의 Gun 을 직접 쥐고 작업의 교시를 행하는 것이 있다. 이와같이 Manipulator 를 인력으로 직접 조작하는 경우 관성력, 마찰력, 중력 등에 의한 조작 저항을 경감시킬 조작력 보조가 필요하다.

조작력 보조의 방법으로 Manipulator 의 동특성 방정식으로부터 조작저항을 계산하는 방법이 있다. [8,9] 그러나 이 방법은 Manipulator 의 자유도가 증가함에 따라 계산량이 급격하게 많아지기 때문에 하드웨어 코스트가 커진다. 일반적으로 원격 조작기는 고속동작이 요구되지 않으므로 조작저항은 주로 마찰력과 중력에 의해 발생 한다. 이중 중력항은 기구적인 보상이 가능하기 때문에 마찰력 보상이 가장 중요한 요소가 된다. 경험적으로 원격조작기에서의 마찰력은 조작기 최대 용량의 1/50 이하로 줄여야 하는 것으로 알려져 있다. [10] 직접 구동식 모터가 아닌 일반 서보모터를 사용하는 경우 100:1 정도의 높은 감속비를 갖는 감속기를 사용하게 되므로 조작자에게 미치는

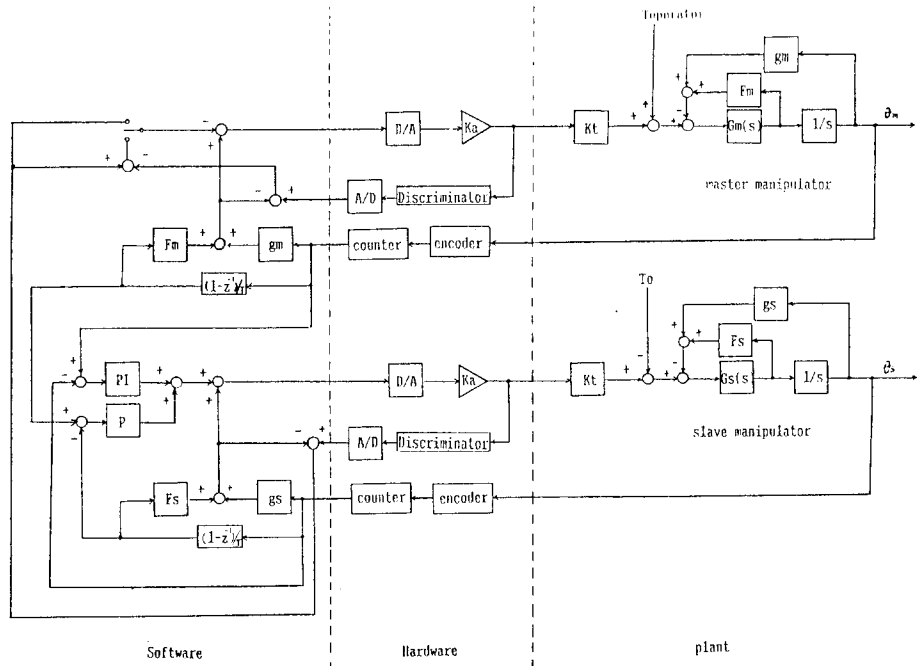


그림5. 실험용 쌍방향 서보제어기
Fig 5. Experimental Bilateral Servo System

마찰력이 매우 커지게 되어 마스터 조작기를 조종할 수 없게 되기도 한다. 또한 마찰력은 서보제어계의 안정도에도 영향을 끼치기 때문에 마찰력 보상은 반드시 이루어야 할 사항으로 본 연구에서는 Kubo [11]의 방법을 이용하였다. 중력보상은 기구적으로 Balance Weight와 스프링을 써서 보상하는 수동적 방법이 있으나 Balance Weight에 의해서 관성력이 증가 하기 때문에 제한이 있다. [8,10] 따라서 제어기에서 이를 보상할 필요가 있다. 이의 보상 방법으로는 [8]에서와 같이 계산에 의할 수도 있으나 조작기의 수식 모델이 정확하지 않고 계산시간도 줄이기 위해 본 연구에서는 중력 기억 방식에 의해 보상하기로 하였다. 이것은 Manipulator 최초 운전시 주 3 관절의 각 위치에서 정지시의 모터 전류의 크기를 기억하며 차후 중력 보상치로 이용하는 방법이다. 이상과 같이 고려할 점들을 감안하여 제작할 쌍방향 서보 제어기는 그림 5와 같이 구성한다.

이 구성도로 부터 실제 작업에 필요한 순조작력 T_0 는

$$T_0 \cong Kt \cdot I_a - \hat{F} \text{sign}(\dot{\theta}) - \hat{g}(\theta)$$

가 된다.

4. 결론

마스터-슬레이브형 원격조작기에 적용할 쌍방향 서보 제어기를 제작하기 위하여 쌍방향 서보제어의 기본방식을 소개 하였고 제어기 설계시 고려해야 할 사항들을 알아 보았으며 이를 감안한 제어기의 구성도를 제시 하였다. 추후 원격 조작기와 관련하여 보다 정밀하게 순조작력을 추정하는 방법과 주제어기와 관련한 관리 제어 기술, 신호전송 체계, 유지 관리를 용이하게 할 수 있는 기구 설계 기술 등이 계속 연구 되어야 할 것이다. 끝으로 본 연구는 과학기술처 특정 연구 과제인 '원격 조작 Manipulator 개발' 과제의 일부로 수행된 것임을 밝혀둔다.

참고문헌

1. 김영길, "원격 매니플레이터의 관리 제어에 관한 연구" 한국과학기술원 석사논문, 1986.

2. Inoue H., "소프트웨어에 의한 로봇 제어" 일본기계학회지 81권 713호, 1978. pp.105 - 111
3. Nakamura Y., "A Necessary and Sufficient Condition for Manipulation Force Applicability of Robot Manipulators" (in Japanese) 일본 로봇학회지 4권 1호, 1986, pp.3 - 8
4. 谷江和雄 외 "콤플라이언스 역송형 바이레이터럴 원격제어 (제1보)" 제3회 일본 로봇학회 학술 강연회, 1985.11. pp.231 -2
5. Inadama S. et. al, "A Bilateral Servo System for Robot Hand Based on Torque Observer" (in Japanese) 소화 62년 전기학회 산업응용부문전국대회, 1987. PP.787-792
6. Vertut J. and Coiffet P., Teleoperation and Robotics, vol.3A Prentice-Hall Inc. 1986.
7. 穂坂重孝 外, "바이레이터럴 제어의 힘 보상 방법" 일본 공개 특허 공보(A) A-7502-3F, 1987. 6.
8. Arai H. and Tachi S., "Handling Force Detection and Active Power Assistance in Human Handling of Direct Drive Manipulator" (in Japanese), 일본 로봇학회지 4권 3호, 1986. 6., PP.3-13.
9. 平井洋武 外, "Power Assist 형 조작기구의 개발", 제22회 SICE 학술 강연회, 1983, pp.547-548.
10. Goertz, R., "Some Work on Manipulator Systems at ANL Past, Present, and a Look at the Future", Proc. 1964 Symp. Remotely Operated Special Equipment, 1964. 5. pp.27 - 74
11. Kubo T. et. al., "Application of Nonlinear Friction Compensation to Robot Arm Control", IEEE, 1986, pp.722-727.