

활선 작업을 위한 원격 조종 인터페이스 개발

Systemic Development of Tele-Robotic Interface for the Hot-Line Maintenance

김창현*, 김민성, 이주장
(Chang-Hyun Kim, Min-Soeng Kim, and Ju-Jang Lee)

Abstract : This paper describes the development of tele-robotic interface for the hot-line maintenance robot system. One of main issues in designing human-robot interface for the hot-line maintenance robot system is to plan the control procedure for each part of the robotic system. Another issue is that the actual degree of freedom (DOF) in the hot-line maintenance robot system is much greater than that of available control devices such as joysticks and gloves in the remote-cabin. For this purpose, a virtual simulator, which includes the virtual hot-line maintenance robot system and the environment, is developed in the 3D environment using CAD data. It is assumed that the control operation is done in the remote cabin and the overall work process is observed using the main-camera with 2 DOFs. For the input device, two joysticks, one pedal, two data gloves, and a Head Mounted Display (HMD) with tracker sensor were used. The interface is developed for each control mode. Designed human-interface system is operated using high-level control commands which are intuitive and easy to understand without any special training.

Keywords : telerobotics, virtual reality, redundant manipulators, human supervisory control

I. 서론

현대 사회에서 전기는 거의 모든 생활에서 사용된다고 해도 과언이 아니다. 전기는 사회에 있어서 필수적인 요소라고 할 수 있다. 따라서, 전력공급의 차질은 필연적으로 많은 불편과 경제적 손실로 이어지게 된다. 전력회사들은 전력공급의 끊김 없이 안정된 전력 공급을 위한 활선작업 방법들을 연구해 왔다. 그러나, 활선작업은 그만큼 많은 위험을 가지게 된다. 이와 관련하여 전 세계적으로도 많은 노동자가 활선작업 중에 사망하거나 다친다는 보고가 있다. 이런 이유로 몇몇 선진국에서는 비용절감, 효율성 향상, 노동력 대체를 위한 활선작업 로봇을 개발하였다. 이 분야의 대표적인 것이 일본 큐슈전력의 Phase 시리즈라 할 수 있다[1,2]. 또한 스페인에서도 ROBTET이라는 로봇이 개발된 바 있다[3].

활선작업뿐 아니라 작업을 수행하게 되는 환경이 복잡하기 때문에 로봇이 전자동으로 작업을 수행하기는 매우 어려우며 따라서, 반자동이나 원격조작 시스템이 많이 사용되고 있다[4,5]. 전자동과 원격조작의 가장 큰 차이는 제어루프에 사람이 포함되는지 여부이다. 원격조작 시스템을 통해 조작자를 위험한 환경에 노출시키지 않으면서 복잡하고 구조화되지 않은 환경에서의 활선 작업이 가능하게 된다.

본 논문에서는 활선작업 원격조종 로봇시스템의 설계 및 개발에 관해 설명하고 있다. 또한 제어관점에서 작업을 수행하게 될 작업기를 위해 필요한 신경망을 이용한 경로 계

획법이 적용되었다. 아직 실제적인 전체적인 시스템이 없기 때문에 주로 시뮬레이션을 위한 모델과 시스템이 만들어졌으며 조작기와 카메라 일부에서는 테스트 되었다. 개발된 모델에서 원격조종을 위해 Head Mounted Display (HMD), 자이로 센서, 데이터 장갑, 조이스틱 등의 다양한 장치가 사용되었으며 이를 위한 인터페이스 시스템이 제안 되었다.

본 논문은 다음 차례로 구성되었다. II장에서는 개발된 가상 환경에서의 활선 작업 로봇과 환경 모델이 주어진다. III장에는 사용되는 다양한 인터페이스 장치에 대한 설명과 원격조종 활선 작업 시스템으로의 적용에 대해 설명할 것이다. 마지막으로 IV장에서 결론을 내릴 것이다.

II. 활선작업 로봇 시스템 모델의 구성

사용자 인터페이스 개발을 위해서는 먼저 인터페이스의 대상이 되는 활선 작업 로봇 시스템의 모델이 구축되어야 한다.

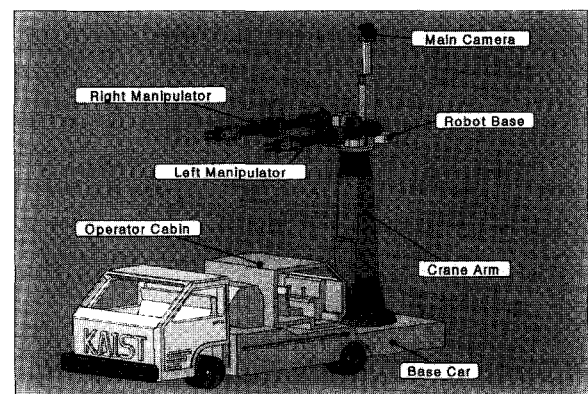


그림 1. 개발된 활선작업 로봇 모델.

Fig. 1. Developed hot line maintenance robot model.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 10. 25., 채택확정 : 2004. 11. 11.

김창현, 김민성, 이주장 : 한국과학기술원 전자전산학과
(sunnine@odyssey.kaist.ac.kr/mibella@odyssey.kaist.ac.kr/jjlee@ee.kaist.ac.kr)

※ 본 논문은 산업자립부 전력산업연구개발과 정보통신부 대학 IT 연구센터 육성 지원사업에서 지원하여 연구하였습니다.

실제의 로봇 제작에 앞서 3차원 모델을 먼저 구축하고 시뮬레이션을 기반으로 여러 작업을 수행하는 한편 이에 적합한 조작 방법들을 검토해 보면 실제 활선 작업에 적합한 활선 로봇 시스템 구조를 찾아낼 수 있으며 실제 시스템의 설계 및 제작의 바탕을 이룰 수 있을 것이다. 이를 위해서는 먼저 활선 작업에 사용되고 있는 로봇 시스템의 형태를 파악할 필요가 있으며 본 연구에서는 현재 선진국에서 상용화되어 있는 활선 로봇을 바탕으로 하여 가상 모델의 기본적인 구조를 설계하였다.

기존의 Phase III와 ROBTET의 관찰을 기초로 우선적으로 활선작업에 필요한 요소들이 결정되었다. 활선작업에 필요한 첫 번째 요소는 다양한 작업을 수행하게 될 두 개의 로봇 조작기이다. 사용자가 로봇 부분을 제어하게 될 조종실이 작업환경으로부터 먼 거리에 있게 되므로 최소한 작업환경을 볼 수 있는 카메라 한 대가 필요하다. 이외에도 다른 여러 다양한 장치가 활선작업에서 유용할 수가 있지만 본 논문에서는 가장 간단한 형태의 로봇 시스템을 고려하였다. 전체 시스템의 모든 부분들은 3D CAD 소프트웨어를 이용하여 모델링 되었으며 3D 프로그래밍 환경에서 로봇 시스템을 재구성하기 위해 VRML파일들로 변환되었다[6].

개발된 활선 작업 로봇 모델이 그림 1에 나타내었다. 먼저 작업 차량 위에 조종실이 있고, 로봇 조작부는 크레인 암을 통해 차량과 연결되었으며 크레인 암은 두 로봇 조작기와 한 대의 카메라를 가지는 로봇 베이스를 원하는 높이와 방향을 가지도록 움직이는 역할을 한다. 이러한 로봇 모델에 추가로 도로와 전선, 전봇대를 포함하여 3D 환경에서 작업환경이 생성된다. 카메라는 원하는 작업영역을 볼 수 있도록 팬/틸트가 가능하다.

로봇 시스템에서 가장 중요한 부분은 조작기이며 본 논문에서는 자유도가 7인 여유자유도 형태의 로봇 조작기가 고려되었다. 왜냐하면 복잡한 환경에서 여유자유도 로봇 조작기는 다양한 자세를 통해 장애물을 회피하며 움직일 수 있어 효율적인 작업을 가능하게 해주기 때문이다. 국내의 한 연구 결과에 따르면 직접 활선 작업의 주 내용은 전선 및 관련 자재를 잡는 기능, 전선을 끊는 기능, 전선 연결을 위한 슬리브 압착기능, 전선 피복을 벗기는 기능으로 나타났으며 이 중 전선이나 물체를 잡는 클램프 기능이 약 60-70% 정도로 가장 많으며 다음으로 필요한 기능이 활선 절단 기능으로 나타났다. 따라서, 그리퍼 형태의 엔드 이펙터가 채택되었다. 이러한 시뮬레이션 환경 구축을 통해 가상환경에서 다양한 형태의 활선작업 로봇 시스템이 테스트 될 수 있었다. 또한 개발된 모델을 기초로 하여 다양한 인터페이스 기술을 이용한 원격조종 시스템을 테스트하고 그 유용성을 입증할 수 있다.

III. 원격조종 시스템 개발

1. 일반적인 설명

이 절에서는 인터페이스 장치와 각 장치의 역할에 대해 설명할 것이다. 사용된 장치는 다음과 같다.

HMD, 자이로 센서 [7], 2개의 5개 손가락 입력을 받는 데이터 장갑, 2개의 조이스틱, 페달, 특히 HMD와 자이로 센

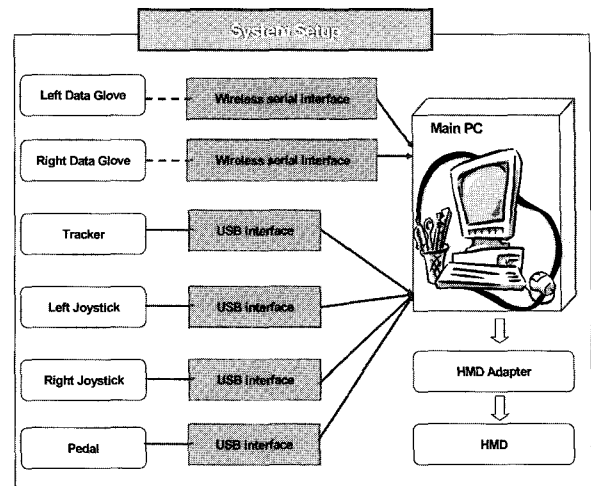


그림 2. 인터페이스 시스템 구성.
Fig. 2. Interface system configuration.



그림 3. 시스템 조작.
Fig. 3. System operation.

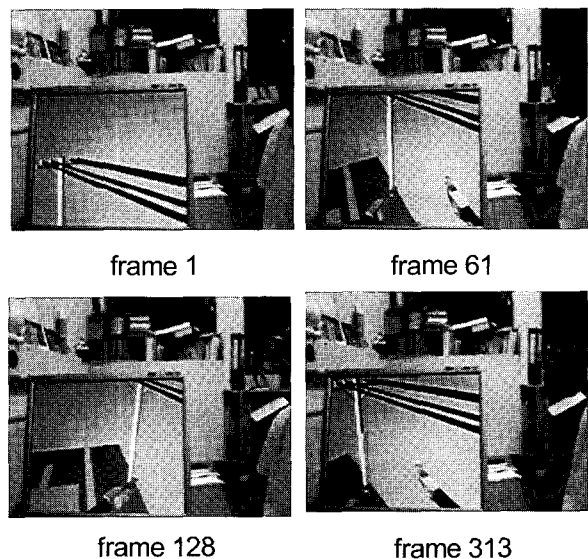


그림 4. 주 카메라 뷰.
Fig. 4. Main camera view.

서는 카메라와의 인터페이스를 위해 사용되며, 나머지 장치들은 두 조작기와 크레인 암과의 인터페이스를 위해 사용된다. 모든 장치는 그림 2에 보여 지듯이 주 PC에 연결이 되어지며 이들 장치들로부터 들어오는 입력들을 이용해 다양한 작업들이 수행되고 테스트 된다. 그림 3에는 실제 사용자가 모든 장치를 착용하고 로봇 시스템을 조종하는 장면을 나타내고 있다.

2. 카메라를 위한 인터페이스

조작자가 조종실에서 실제로 가상 환경에 있는 것처럼 느낄 수 있도록 HMD가 사용되었다. 개발된 소프트웨어 환경은 스테레오 영상을 만들어내어 조작자가 3차원 환경을 느낄 수 있도록 해준다. 본 논문에서는 조작자가 두 가지 모드로 작업환경을 볼 수 있다. 바로 주 카메라 뷰와 조감도 뷰이다. 주 카메라 뷰 모드에서는 카메라로부터 보이는 영상이 생성된다. 실제 활선작업 로봇 시스템에서는 주 카메라를 통해 보이는 작업영역이 디스플레이 패널을 통해 표시되게 된다. 주 카메라 뷰를 위해서는 3차원 카르테시안 공간에서의 원점으로부터의 카메라의 위치가 필요하며 이는 로봇의 순방향 기구학을 이용해 계산되어진다. 카메라의 팬/틸트 동작을 HMD에 붙어 있는 자이로 센서를 이용해 구현된다. 조작자가 머리를 움직이면 자이로 센서가 각도 정보를 USB를 통해 주 PC로 전송하게 된다. 이 각도 정보에 따라 카메라의 팬/틸트 동작이 이루어지게 된다. 주 카메라 뷰에서 조작자가 머리를 움직일 때 생성되는 영상의 예가 그림 4에 나와 있다.

이러한 방식으로 조작자가 보고 싶은 방향으로 단지 머리를 움직임으로써 관심 있는 작업영역을 볼 수 있다. 이러한 인터페이스 방법은 실제 로봇에 적용할 때는 단지 카메라로부터 들어오는 영상을 보여줌으로써 쉽게 구현 될 수 있으며 복잡한 활선 작업 로봇 시스템을 조종하는데 용이하다.

3. 크레인 암을 위한 인터페이스

우리가 사용하고 있는 조이스틱에서는 단지 3자유도 입력력 (x, y축 조작, 레버의 비틀기)만을 받을 수 있기 때문에 전체 작업을 몇 가지 모드로 나누어 수행을 하게 된다. 각각의 작업 모드에서는 로봇 시스템의 각 부분을 조작자가 주는 입력에 따라 움직이게 된다. 크레인 암은 로봇 파트가 놓여진 로봇 베이스를 작업하게 될 전선 높이 수준으로 맞춰주는 역할을 하기 때문에 활선작업에서 우선적으로 조종되어야 한다. 그림 5에 나와 있는 대로 차량과 연결되는 축과 로봇 베이스와 연결되는 축은 수평을 맞추도록 움직이게 된다. 크레인 암은 그림 3에 나와 있는 두개의 조이스틱과 페달을 이용해 움직이게 된다.

4. 로봇 조작기를 위한 인터페이스

본 논문에서 사용되는 로봇 조작기는 여유자유도를 가지는 형태이다. 로봇 조작기의 제어는 보다 세부적으로 윗팔과 엔드 이펙터의 제어로 나누어진다. 이 절에서는 위쪽 4자유도를 가지는 부분에 대해 설명한다. 팔의 제어가 활선작업에서 가장 중요하기 때문에 조작법은 직관적이고 이해하기 쉬워야 한다. 로봇 조작기 제어는 조이스틱을 이용해 이루어진다. 위쪽 조작기의 이동 명령이 표 1에 주어진다.

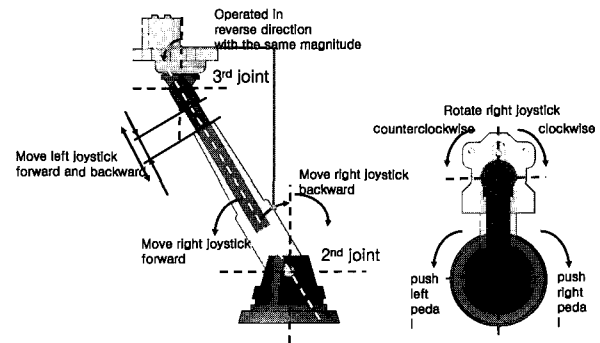


그림 5. 크레인 암의 인터페이스.
Fig. 5. Interface detail for the crane arm.

표 1. 윗 팔의 이동 명령.

Table 1. Motion command for the upper arm.

Joystick input	Motion of the robot arm
forward/backward	$\pm y$ position
left/right	$\pm x$ position
twist clockwise/counterclockwise	$\pm z$ position

표 1에 주어진 움직임을 하기위해 실제 조인트로 가게 되는 명령이 생성되어야 한다. 사용자가 조이스틱을 움직임으로써 일정한 증감값을 가지고 이산적으로 목표 위치가 움직이게 된다. 원하는 위치로 움직이기 위한 경로 계획이 제안된 방식에 따라 이루어지게 된다. 이 방식은 신경망과 동적 계획법을 이용하여 각각 역기구학 문제와 최적화 문제를 풀게 된다. 자세한 설명은 다음절에서 하도록 한다.

4.1 경로 계획

여유자유도 형태의 조작기가 사용되었기 때문에 작업 공간상의 같은 위치에 대해 조인트들이 다른 여러 가지 자세를 이룰 수 있다. 이러한 많은 자세들 중에 하나를 선택하면서 원하는 지점으로 이동하기 위해서는 다른 기준이 필요하게 된다. 이를 위해 조작기의 에너지와 추종 오차를 줄이는 두 가지의 기준을 제시하였다[8]. 따라서 여유자유도 조작기의 경로 계획 문제는 최적화 문제로 바뀌게 되며, 이 최적화 문제를 풀기 위하여 동적 계획법이 사용되었다.

또한 로봇 조작기를 인터페이스에 따라 제어를 하기 위해서는 역기구학을 풀어야 하는데, 설계된 로봇의 경우 기구학식이 복잡하기 때문에 분석적으로 역기구학을 구하기가 어렵다. 우리는 조작기의 역기구학을 근사화 해주는 신경망을 이용하였다. 이렇게 하게 되면 복잡한 역기구학 문제를 풀 필요가 없고 임의의 조인트 명령과 기구학 식을 이용한 간단한 데이터 수집방법으로 신경망을 학습시킬 수가 있어 쉽게 역기구학 문제를 풀 수가 있다. 이 때 같은 위치에 대해 여러 근이 존재하기 때문에 하나의 신경망을 통해서 역기구학이 모두 학습 될 수 없기 때문에 여러 개의 신경망이 사용되었다. 4자유도 중 하나를 고정시켜 하나의 근을 구하게 되고 다양한 위치에서의 데이터를 가지고 하나의 신경망

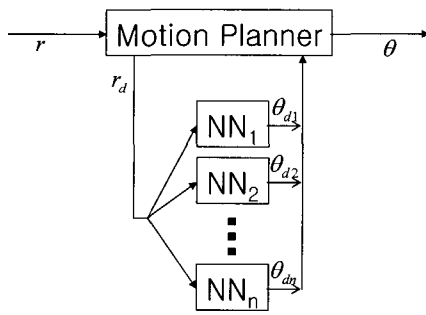


그림 6. 경로 계획기 구조.
Fig. 6. Structure of motion planner.

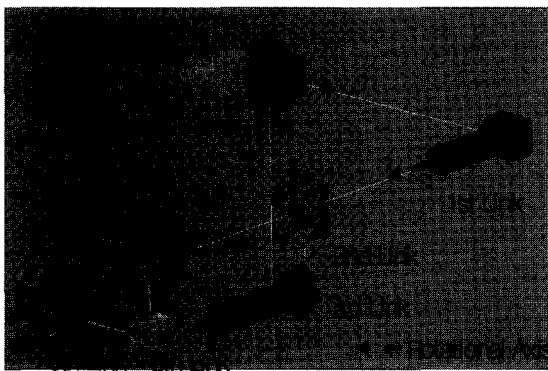


그림 7. 여유자유도 조작기.
Fig. 7. Redundant manipulator.

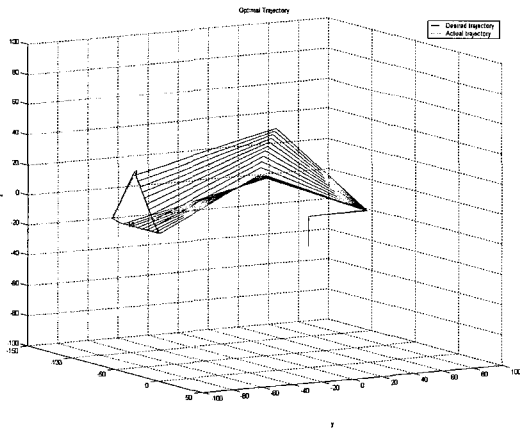


그림 8. 에너지 최소화 기준만 고려한 결과.
Fig. 8. Result with energy minimization criteria.

을 학습하게 된다. 따라서, 고정 시킬 조인트의 각도가 몇 개인가에 따라 신경망의 개수가 결정된다. 그림 6에 사용된 경로 계획기의 구조가 설명되어 있다. 각각의 신경망이 각 자세에서의 역기구학을 담당하게 된다.

조인트 중의 하나를 고정시키고 작업공간상에서 균일하게 분포된 점들에 대해 학습 데이터를 취득하였다. 주어진 데이터를 가지고 신경망을 학습시키게 되며, 신경망의 입력은 작업공간상의 좌표, 즉 x, y 좌표이며 출력은 각 조인트들의 각도가 된다. 이런 방식을 계속 적용해 최종적으로 여

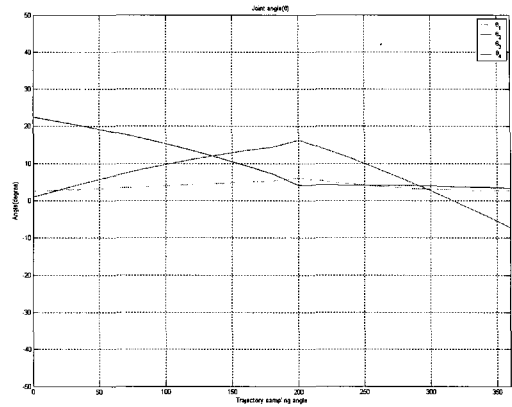


그림 9. 에너지 최소화 기준만 고려한 조인트 각.
Fig. 9. Joint angle with energy minimization criteria.

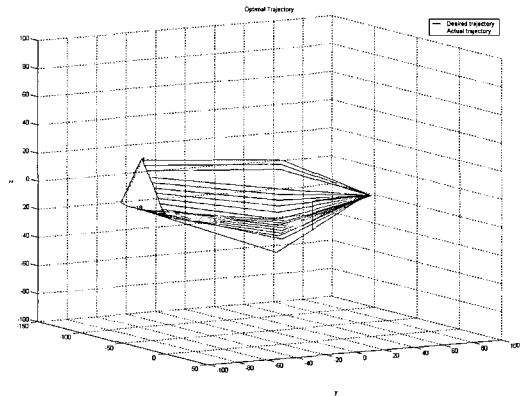


그림 10. 에너지 최소화 및 추종 에러 기준을 고려한 결과.
Fig. 10. Result with energy minimization and tracking error criteria.

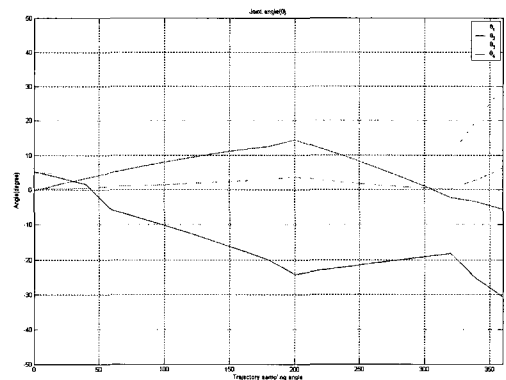


그림 11. 에너지 최소화 및 추종 에러 기준을 고려한 조인트 각.
Fig. 11. Joint angle with energy minimization and tracking error criteria.

러 각도에서의 역기구학을 학습한 여러 신경망 모델을 얻을 수가 있다. 다음으로 각 시간에서 얻어진 여러 신경망 중 어떤 것을 선택해야 하는지 정해야 한다. 이를 위해 동적 계획법이 이용 되었으며 주어진 문제에 대해 최적의 해를 찾을 수가 있다.

4.2 경로 계획 실험

사용된 로봇 조작기의 구조가 그림 7에 나타나 있다. 우선 신경망이 역기구학을 제대로 학습할 수 있는지 실험하였다. 실험에서는 사람의 팔꿈치에 해당하여 장애물 회피에 중요한 역할을 하게 되는 세 번째 조인트를 고정을 하였다. 신경망은 많이 쓰이는 feedforward multilayer perceptron을 사용하였으며 하나씩의 입, 출력층과, 두 개의 은닉층을 가지는 구조이다. 각각은 3, 4, 20, 20개의 노드를 가지도록 하였다. 총 343개의 위치에서 학습 데이터가 취득되고 사용되었다. 생략하였지만 신경망의 일반화 능력 때문에 우리는 학습데이터에 속하지 않은 새로운 좌표에 대해서도 신경망이 역기구학 문제를 풀 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

또한 실제 경로 계획기를 테스트 하였다. 그림 8과 그림 9에 에너지 최소화 기준만 쓴 것이 나온다. 이 그림들에서는 세 번째 조인트가 변하지 않는 것을 볼 수 있는데 이는 하나의 신경망만이 계속해서 선택이 되었다는 것을 뜻한다.

다음으로 에너지 최소화뿐 아니라 추종 오차 기준도 같이 사용한 것이 그림 10과 그림 11에 나타내었다. 이 경우에서 다양한 조인트 값들이 선택이 됨을 알 수 있다. 추가로 세 번째 조인트가 0에서 5도사이의 값을 가지는데 이는 팔이 거의 펴져있는 상태라는 것을 나타낸다.

5. 엔드 이펙터를 위한 인터페이스

본 논문에서 채택된 엔드 이펙터는 그림 12에 나와 있는

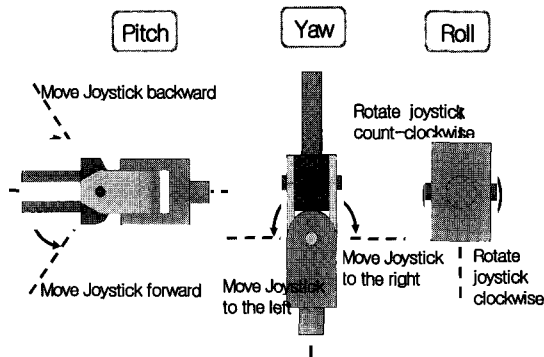


그림 12. 엔드 이펙터의 인터페이스.

Fig. 12. Interface detail for the end effector.

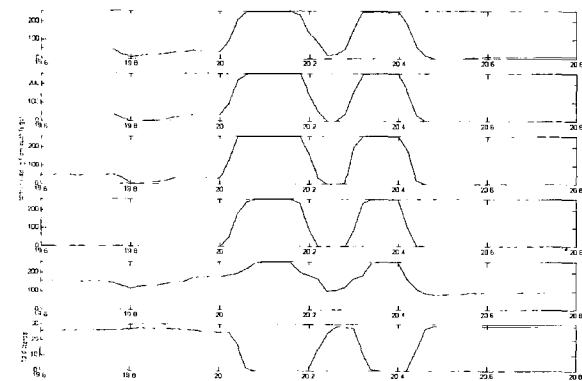


그림 13. 손가락 센서 값과 툴팁의 거리.

Fig. 13. Finger sensors' value and the tooltip distance.

대로 3 자유도를 가진다. 또한 엔드 이펙터에는 그리퍼가 달려 있다. 엔드 이펙터들 또한 두개의 조이스틱을 이용해 조작되며 각각이 양 팔을 담당하게 된다. 엔드 이펙터의 방향 또한 조이스틱을 이용해 조절 된다.

엔드 이펙터의 그리핑 동작은 데이터 장갑에 의해 제어 가 된다. 데이터 장갑의 손가락 센서들로부터 신호가 수집 되기 때문에 신호에는 많은 외란이 포함되기 때문에 그냥 사용하기에는 문제가 있으며 이를 필터링 해주기 위해 퍼지 모델이 사용 되었으며 결과적으로 다섯 손가락을 이용하여 하나의 출력을 내도록 하였다. 다섯 손가락의 센서 값과 거기에 따르는 툴 팁의 거리 명령이 그림 13에 나타나 있으며 이를 이용해 실험 하는 장면이 그림 14에 나타나 있다.

이상 실험들로부터 경로 계획기가 최적 경로를 생성하며 추종을 잘 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 원하는 이 동패턴을 가지도록 각각의 가중치들을 조절 할 수 있다.

6. 실제 로봇 팔을 이용한 실험

실험을 위해 제작된 활선 작업 로봇 시스템은 총 17개의 관절로 구성되며 각 관절의 효율적인 제어를 위해 본 연구에서는 모터 제어 전용 IC인 LM629를 사용하였다. 또한 실제 모터를 구동하는 부분은 브리지 IC인 LMD18200을 사용 하였다. 이렇게 제작된 각 보드는 외부 회로에서 데이터를

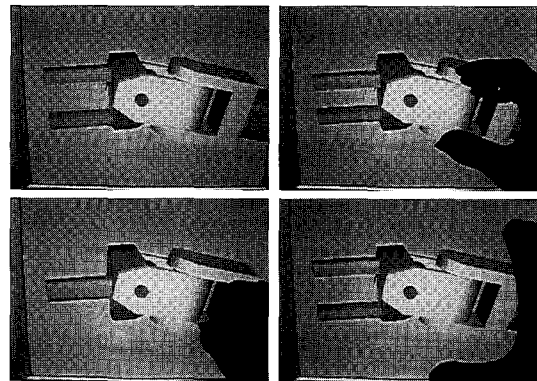


그림 14. 그리핑 실험 결과.

Fig. 14. Experiment results for gripping.



그림 15. 오른쪽 로봇 팔 실험 결과.

Fig. 15. Experiment results for right arm.

인계받아 지정된 PWM (Pulse Width Modulation) 파형을 출력하여 모터의 위치 제어를 수행하게 된다. 그림 15에서는 오른쪽 조작기의 엔드 이펙터 조작 후 로봇 팔을 조작하는 모습을 나타내었다.

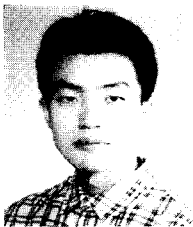
IV. 결론

본 논문에서는 활선작업 로봇 시스템의 원격 조종 인터페이스의 개발에 대해 설명하였다. 가상의 활선작업 로봇과 환경에 대한 모델이 3차원 환경에서 이루어 졌으며 이를 통해 다양한 형태의 로봇 플랫폼과 인터페이스 기술들을 테스트 할 수 있었다. 활선작업 로봇 시스템을 위한 인간-로봇 인터페이스의 또 다른 문제로 각 로봇 시스템의 제어를 다루었다. 활선작업 로봇의 작업을 몇 개의 모드로 나누어 수행하였다. 각각의 모드에서 인터페이스 방법은 제한된 입력 장치들을 가지고 이루어진다. 개발된 조작 방법은 저수준 제어는 숨겨진 형태를 가지며 직관적이고 간단하다. 또한 로봇 조작기의 경로 계획 방법이 소개되고 테스트 되었다. 최종적으로 이 방법을 적용하여 실제 로봇 팔을 이용하여 실험을 수행 하였다.

참고문헌

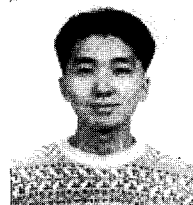
[1] S. Y. Tanaka, Maruyama, and K. Yano, "Work automation with the hot-line work robot system phase II", *Proc.*

IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, Minnesota, pp. 1261-1267, 1996.
 [2] K. Takaoka. et. al., "Development of fully-automatic live-line maintenance robot-Phase III", *Proc. IEEE Int. Symp. On Assembly and Task Planning*, Fukuoka, Japan, pp. 423-428, 2001.
 [3] P. L. F. et. al., "Telerobotic system for live power lines maintenance: ROBTET", *Proc IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Leuven, Belgium, 1998.
 [4] Faucher D. et al., "Ground operated teleoperation system for live power line maintenance", *IEEE. Int. Conf. System, Man, Cybernetics*, vol. 1, pp. 792-798, 1996.
 [5] N. S. and Y. Maruyama, "Remote-operated robotic system for live-line maintenance work", *Proc. ESMO-93*, pp. 425-535, 1993.
 [6] J. Wernercke, *The Inventor Mentor: Programming Object-Oriented 3D Graphics with Open Inventor*, Addison Wesley, 1994.
 [7] InterSense Company Home Page, <http://www.intersense.com>
 [8] K. C. H., M. S. K. and J. J. Lee, "Intelligent motion planner for redundant manipulators controlled by neurobiological signals", *Proc. of the Int. Conf. on Control, Automation and Systems*, Gyeongju, Korea, pp. 845-848, 2003.



김 창 현

2000년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업. 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사(2002). 2002년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 박사과정. 관심분야는 인공지능, 지능제어, 로봇틱스. ICASE 학생회원.



김 민 성

1997년 한양대학교 전자공학과 졸업. 한국과학기술원 전자전산학과 석사(1999). 현재 한국과학기술원 박사과정. 관심분야는 퍼지 모델링 및 진화 연산 기법.



이 주 장

1973년 서울대학교 전기공학과 졸업. 서울대학교 석사(1977). 미국 위스콘신 대학 전기공학 박사(1984). 1977년~1978년 전자통신 연구소 근무. 1978년~1979년 G.T.E. Automatic Electric Co., Waukesha, WI 근무. 1983년 Research and

Development Department of the Wisconsin Electric Power Co, Milwaukee, WI 근무. 1984년~현재 한국과학기술원 교수 재직. 관심 분야는 이동 로봇의 지능제어, 노약자 및 장애인을 위한 서비스 로봇 개발, 우주 로봇, 진화 연산, 가변 구조 제어기, 혼돈 제어 시스템, 자동차 전자 부품 개발 및 전력 시스템 안정화. IEEE의 senior member이며 IEEE Robotics and Automation Society, IEEE Evolutionary Computation Society, IEEE Industrial Electronics Society, KIEE, KITE와 KISS의 멤버이며 현재 한국 ICASE의 부회장직 및 일본 SICE의 이사직 역임.