

로봇 그래픽 시뮬레이터와 그 응용

成永輝, 申明鎬, 李榮眞, 鄭明振
韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

I. 서 론

다양하고 빠르게 변화하는 사용자들의 요구를 충족시키기 위하여 생산 현장에서는 상품의 고품질화, 고기능화 및 다품종 소량화 등이 절실히 요구되고 있으며 이는 산업용 로봇을 사용한 공장 자동화(Factory Automation), 더 나아가서 유연 생산 체계(Flexible Manufacturing System)의 도입을 촉진시키고 있다. 이에 따라 각 생산 현장에서는 복잡하고 다양한 형태의 로봇 시스템을 구축하는 것이 필요하게 되었으며 또한 이미 구축된 로봇 시스템을 수정 및 변경하여야 할 필요성도 자주 발생하고 있다. 한편 이러한 시스템의 가장 중요한 요소인 각각의 로봇이 담당해야 할 작업도 점차로 복잡해지고 있으나 현재까지의 로봇을 운용하는 형태는 주로 실제의 로봇을 작업하여야 할 위치에 이동시킨 후 이러한 위치들을 기억시키고 처음부터 다시 동작시키는 teach and play back 방식을 사용하고 있다. 이러한 방식들은 로봇에게 작업을 가르치는 동안에는 전체 생산 시스템을 정지시켜야 하므로 생산 비용면에서 상당한 손실이다. 또한 실제의 로봇을 직접 다루므로 작업자의 안전상의 문제를 야기시킬 우려가 있으며 복잡한 작업에서는 적용하기가 쉽지 않다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 실제의 로봇을 사용하지 않고 로봇에게 작업을 가르치는 방식이 오프-라인 프로그래밍 시스템(Off-line programming system)이다. 이 방식은 또한 프로그래머가 여러 가지 종류의 로봇 제어기의 고유한 특성을 고려하지 않고도 일관된 프로그래밍을 할 수 있도록 하여 주는데 이는 적절한 후처리 과정(postprocessing)이 그러한 특성을 내부적으로 처리할 수 있도록 하여주기 때문이다. 이외의 오프-라인 프로그래밍 시스템의 장점으로는 CAD/CAM과의 인터페이스(interface)를 가능하게 하여 제품의 설계 단계에서의 데이터를 그대로 사용할 수 있다는 것과 복잡한 작업을 상위 레벨 프로그래밍 언어(high-level programming language)를 사용하여 단순화 하여 프로그래밍할 수 있다는

것, 그리고 이미 만들어진 로봇 프로그램을 검증하는 도구로 사용될 수 있다는 것 등이 있다.

초기의 오프-라인 프로그래밍 방식은 텍스트(text) 방식을 사용하였는데 이러한 텍스트 방식에서는 실제의 작업 현장과 유리되어 프로그래밍이 이루어지기 때문에 다음과 같은 단점들이 있다. 우선, 프로그래머가 가정한 로봇의 배치가 실제로는 기하학적으로 실현 불가능하거나 비효율적일 수 있다. 즉 프로그램된 로봇의 위치가 서로 중첩되는 등의 일이 일어날 수 있다. 또한 로봇에게 지시된 경로가 로봇의 작업 반경을 벗어나거나, 다른 로봇 또는 주변 환경과의 충돌이 일어날 수 있다. 한편 기존의 방식보다는 편리해졌으나 텍스트 방식의 프로그래밍 방식도 여전히 숙련되지 않은 사용자에게는 프로그램 하기가 어려운 점이 있다. 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 방안의 하나로 강구된 것이 컴퓨터 그래픽스(computer graphics)를 사용하여 실제의 작업 현장을 컴퓨터 상에서 시각화하여 프로그래머가 이용할 수 있도록 한 것이다. 초기의 로봇 그래픽 시뮬레이터(robot graphic simulator)는 기존에 프로그래밍된 로봇 시스템의 동작 상황을 검증하는 역할에 그쳤으나 현재의 로봇 그래픽 시뮬레이터는 이에 더하여 역으로 컴퓨터 상에서 구현된 로봇 시스템을 사용하여 로봇의 프로그래밍을 수행하는 기능까지 갖추게 되었다. 이상에서 살펴본 바와 같이 로봇 그래픽 시뮬레이터는 오프-라인 프로그래밍 시스템에서 핵심적인 부분이다. 해외 선진국의 경우를 살펴보면 이미 이러한 로봇 그래픽 시뮬레이터를 개발하여 생산 현장에 적용하고 있을 뿐만 아니라 심해나 우주와 같이 작업자와 멀리 떨어진 환경에서의 로봇 작업, 원격지의 로봇을 사용한 수술 등의 의료분야에까지 그 응용 범위를 넓혀가고 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 이러한 그래픽 시뮬레이터에 대한 소개를 하고자 한다.

II. 로봇 그래픽 시뮬레이터

1. 로봇 그래픽 시뮬레이터의 기능

일반적인 로봇 그래픽 시뮬레이터의 주요 역할

을 살펴보면 다음과 같다. 첫째 사용될 로봇 및 툴(tool), 작업 대상물 등에 대하여 기존에 모델링되어 있는 것을 사용하거나 또는 새로 모델링을 하여 로봇 시스템을 설계할 수 있도록 하여 준다. 둘째 이와 같이 설계된 로봇 시스템을 운용하기 위한 계획의 수립을 도와준다. 셋째 수립된 계획에 따른 로봇 시스템의 성능을 평가할 수 있도록 하여 준다. 넷째 만족할 만한 성능을 가진 것으로 확인된 로봇 시스템에 대하여 실제 로봇 시스템으로 구현할 수 있도록 관련된 로봇의 프로그래밍을 할 수 있도록 한다. 한편 이와 같은 작업들을 하는데 있어서 프로그래머가 실제 환경을 직접 다루는 것에 가깝도록 현실감 있는 3차원 그래픽을 제공해야 한다.

이러한 역할을 할 수 있도록 그래픽 시뮬레이터가 제공해야 할 기능을 세부적으로 살펴보면 대략 다음과 같다. (1) 외부의 CAD/CAM 시스템과의 데이터 교환을 위한 인터페이스(interface) (2) 로봇 시스템을 구성하는 요소들에 대한 상호 대화식의 3차원 모델링 (3) 모델링된 요소 또는 시스템의 저장 및 로드(load) 기능 (3) 로봇 시스템의 설계 방법의 제공 (4) 로봇 경로의 생성 방법 제공 (5) 로봇의 도달 가능 영역(reachability)의 확인 및 충돌, 간섭 회피 경로의 생성 기능 (6) 로봇의 관절값 제한의 고려 (7) 사이클 타임(cycle time)의 측정 (8) 다양한 방법의 시뮬레이션 기능 (9) 로봇 시스템에 대한 다양한 방법의 관찰 기능 (10) 로봇에 대한 오프-라인 프로그래밍 기능 (11) 실제 제어를 위한 로봇 제어기로의 프로그램 다운로드(download) (12) 프로그램의 수정을 위한 제어기로부터의 업로드(upload) (13) 시뮬레이션 환경과 실제 로봇 시스템과의 오차를 보정하기 위한 교정 기능(calibration) (14) 여러 가지 장치로의 출력 기능 (15) 편리한 사용자 인터페이스(user interface) 등이다.

2. 그래픽 시뮬레이터의 연구 현황

로봇 그래픽 시뮬레이터에 관한 보고는 1980년 경부터 나오기 시작했으나 위에서 열거한 많은 기능들을 제대로 갖춘 로봇 그래픽 시뮬레이터는 근

래에 들어서야 발표되기 시작했다. 다음에는 기존에 발표된 시뮬레이터들에 대하여 간략히 살펴본다.

(1) PLACE

Positioner Layout and Cell Evaluator의 약자로 McDonnell Douglas의 McAuto Div.에서 개발된 것으로 로봇 시스템의 배치 및 로봇과 툴에 대한 비교적인 평가를 수행할 수 있는 기능을 가졌다. 이 시뮬레이터는 로봇 시스템을 구성, 분석 및 변경 가능하게 하였으며, 로봇의 동작을 정의하고, 동작 순서를 생성하고 컨베이어 등과 같이 움직이는 물체를 추적하는 시뮬레이션이 가능하였다. 이외에도 오프-라인으로 프로그램을 생성, 수정할 수 있으며 캘리브레이션 기능도 있었다. Ford 자동차 회사의 플라즈마 아크(plasma arc) 절단 공정 등에 성공적으로 적용되었으며, 로봇의 관절 제한, 잘못된 작업 순서의 시정, 절단 지점에 토치(torch)를 위치시킬 수 있는지 여부의 판별 그리고 토치의 자세에 대한 평가 등에서 효과적이었다.

(2) Robot-SIM

General Electric사의 자회사인 Calma사에서 로봇 시스템의 설계와 시뮬레이션을 위하여 개발하였다. 이 시뮬레이션 패키지(package)는 로봇 시스템의 설계 및 요소들에 대한 정의, 로봇의 작업 지점에 대한 정의, 충돌이 없는 경로의 정의, 싸이클 타임의 추정, 로봇에 대한 동력학적인 분석 데이터와 로봇의 특이점(singularity)에 대한 경고 등이 가능하였다. 또한 각 링크(link)의 관성(inertia)과 모터의 토크 특성, 로봇의 속도, 정확도(accuracy), 가속도 등과 같은 동력학적 데이터가 시뮬레이션시에 사용되었다. 이러한 동력학적인 데이터를 사용하여 주어진 작업에 대해 최적의 로봇을 선정하는 것과 싸이클 타임을 추정하는데 정확도를 높였다.

(3) Robographix

Computervision사에서 개발하였으며 로봇 시스템의 구성, 로봇의 작업 경로의 생성, 기구학적 모델을 사용한 시뮬레이션 그리고 실제 로봇을 구동하기 위한 출력 등이 가능하며 로봇과 그 외의 구동 장치 그리고 툴과 픽스처(fixture) 등의 요소들을 데이터 베이스로 저장하고 있으며 새로운 3차

원 모델들을 추가할 수 있도록 되어 있다. 또한 관절값 제한 감지 및 충돌 감지 기능도 갖추고 있다.

(4) AutoMod와 AutoGram

AutoSimulations사에서 제공한 두 가지 시뮬레이션 패키지로 AutoMod는 시뮬레이션 언어인 GPSS를 바탕으로 하여 개발되었으며 텍스트를 사용하는 시뮬레이션 패키지로 여러 가지 관련된 데이터를 제공함으로써 로봇 시스템이 어떻게 동작하는지를 기술하여 준다. AutoGram은 AutoMod의 데이터 파일(data file)을 사용하여 스크린 상에 3차원의 그래픽으로 시뮬레이션 과정에서 발생하는 로봇 팔의 움직임, 컨베이어의 동작 등과 같은 로봇 시스템의 구성 요소들의 동작과 상태를 보여준다.

(5) IGRIP

Interactive Graphics Robot Instruction Program의 약자로 Deneb사에서 개발한 것으로 CIM(Computer Integrated Manufacturing)을 구성하는 기기들 사이의 통신을 시뮬레이션 할 수 있고 프로그래머가 지정하는 특정 로봇을 위한 제어 코드를 생성할 수 있으며 3차원 그래픽 화면 상에서 링크의 길이, 관절값의 제한 등을 변경하면서 로봇을 설계하는데 이용할 수 있다. 기구학, 동력학적인 시뮬레이션이 가능하며 로봇의 경로 계획, 싸이클 타임의 해석, 충돌 감지, 캘리브레이션 등을 수행할 수 있다. 또한 특정 응용 작업을 위하여 아크/스폿(arc/spot) 용접, 핸들링(handling), 밴딩(banding), 연삭(deburring/grinding/polishing) 등의 응용 패키지도 함께 제공하고 있다. Mercedes Benz사의 트럭 생산 라인의 스폿 용접 공정 등 많은 분야에서 사용되고 있다.

(6) ROBCAD

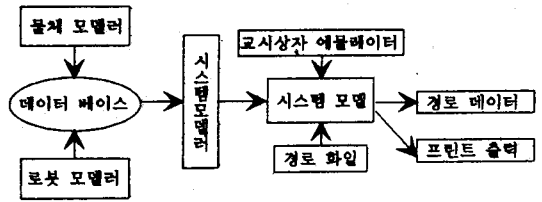
Technomatix사의 제품으로 자체의 CAD 시스템을 가지고 있으며 ROBFACE라는 유틸리티(utility)를 사용하여 외부의 CAD 시스템과의 인터페이스가 가능하다. 주어진 작업 지점들에 도달할 수 있도록 로봇을 자동으로 위치시키는 기능 등의 여러 가지 로봇 시스템을 설계하는 기능이 있으며 싸이클 타임의 측정, 센서 시뮬레이션, 캘리브레이션 등이 가능하다. 산업체에서 사용하는 거의

대부분의 로봇에 대한 데이터 베이스를 가지고 있으며 아크/스폿 용접, 드릴링/리벳팅(drilling/riveting), 도장, 모니터링 및 원격조작(teleoperation) 등의 특수 목적용 패키지도 함께 제공하고 있다. BMW사의 스폿 용접 라인을 비롯하여 Siemens, Volkswagen 등 많은 산업체에서 사용하고 있다.

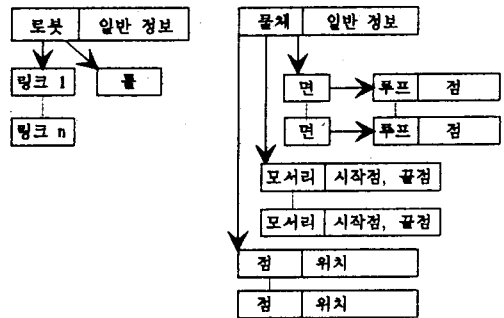
이외에도 SILMA사의 CimStation 그리고 PC에서 사용되는 Robot Simulations사의 WORKSPACE 등 많은 그래픽 시뮬레이터 들이 있다.

한편 국내에서의 그래픽 시뮬레이터에 관한 연구는 그다지 활발하지 못한 형편이고 연구 결과가 발표된 경우도 매우 드물다. 다음에는 본 연구실에서 개발된 그래픽 시뮬레이터에 대하여 간략히 소개한다. 본 연구실에서는 1980년대 중반부터 로봇 그래픽 시뮬레이터에 관한 연구를 진행해 왔으며 그간 몇 가지의 시뮬레이터를 개발하였는데 가장 최근의 것에 대하여 설명하도록 하겠다. 우선 하드웨어(hardware)환경으로는 SUN4 workstation을 사용하였고 그래픽 라이브러리(library)로는 SUN사에서 제공하는 SUNPhigs를 사용하였으며 전체 프로그램은 C 언어로 구현되었다. 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface)를 위하여 X 윈도즈에 기초한 OpenLook을 사용하였는데 이는 SUN사에서 제공하는 XView를 이용하여 구현되었다. 우선 전체적인 구조를 살펴보면 <그림 1>과 같다.

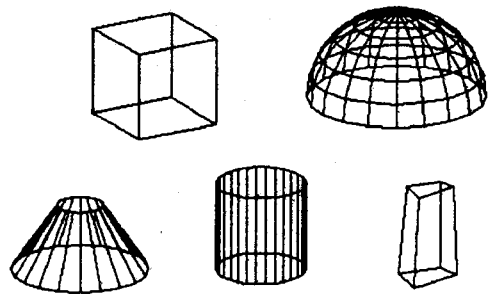
로봇 그래픽 시뮬레이터는 모델링과 시뮬레이션의 두 부분으로 크게 나눌 수 있는데 우선 모델링 부분에서는 로봇 시스템을 구성하고 있는 물체, 작업 대상물, 로봇 등과 같은 요소들을 컴퓨터 상에 적절한 형태로 표현하여 저장할 수 있어야 한다. 이를 위하여 각각의 물체, 로봇 등에 대하여 이중 연결 리스트(double linked list)의 데이터 구조(data structure)를 정의하였다. 3차원 물체와 로봇의 데이터 구조를 <그림 2>에 나타내었다. 여러 가지 형태의 3차원 물체를 일관적인 방법으로 모델링 하기 위하여 본 그래픽 시뮬레이터에서는 몇 가지의 기본 물체들을 정의하고 모든 물체를 기본 물체들을 더하여서 구성하도록 하였다. 사용된 기



<그림 1> 로봇 그래픽 시뮬레이터의 전체 구조

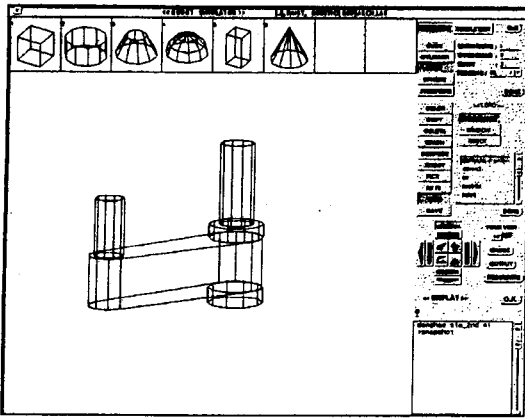


<그림 2> 로봇 및 물체의 데이터 구조

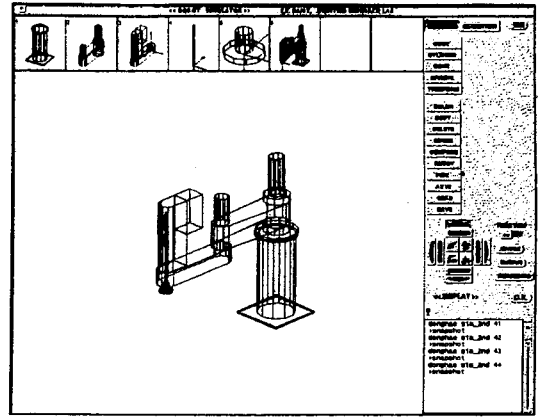


<그림 3> 모델링에 사용되는 기본 물체들

본 물체들은 입방체, 원기둥, 원뿔대, 구, 반구, 그리고 사용자가 정의하는 자유형으로 구성되어 있으며 이들의 형태는 <그림 3>과 같다. 프로그래머는 컴퓨터 화면상에서 이러한 기본 물체들을 서로 더하거나 삭제함으로써 로봇 시스템을 구성하는 복잡하고 다양한 요소들을 모델링할 수 있다. <그림 4>는 이러한 기본 물체들을 사용하여 복잡한 물체들을 구성하는 과정을 나타내었는데 윗부분의 조그만 윈도우들에 기본 물체 또는 합성된 물체들



〈그림 4〉 기본 물체들을 사용하여 보다 복잡한 물체들을 구성하는 과정



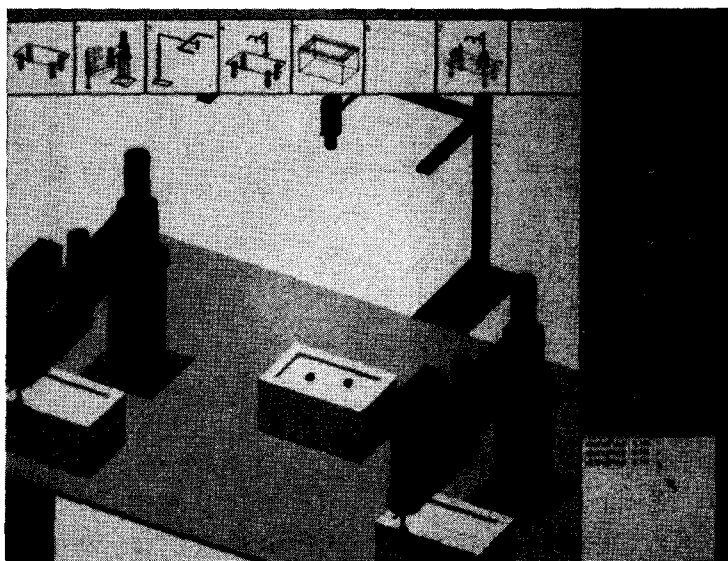
〈그림 5〉 모델링된 로봇과 그 로봇을 구성하고 있는 물체들

이 들어있으며 이들을 사용하여 중앙의 큰 윈도우에서 여러 가지 모델링 기능을 사용하여 더욱 복잡한 물체들을 구성하는 과정을 보이고 있다. 모델링하는 과정에서는 어느 순간이라도 중간 결과물을 파일의 형태로 저장할 수 있다. 이와 같이 모델링된 물체, 로봇 또는 로봇 시스템은 파일의 형태로 컴퓨터 상에 저장되어 전체적인 데이터 베이스를 구축하게 된다. 구성된 데이터 베이스를 사용하여 로봇과 물체들을 적절히 배치하여 전체적인 로봇 시스템을 구성하거나 또는 간단한 로봇 시스템들을 사용하여 더욱 복잡한 로봇 시스템을 구축할 수도 있게 된다. 〈그림 5〉에서는 모델링된 로봇과 이 로봇을 구성하고 있는 물체들을 보여주고 있다.

이러한 모델링 부분에서 사용할 수 있는 기능들을 살펴보면 (1) 물체의 색을 지정하는 기능 (2) 물체의 복사 및 이동, Grouping 기능 (3) 물체의 지우기 (4) 물체의 좌표 설정 및 이동 기능 (5) 물체의 결합 기능 (6) 로봇 모델링 기능 (7) 물체 및 로봇의 좌표축 표시 기능 (8) 파일의 저장 및 불러 들이기 기능 등이 있으며 프로그래머가 효율적으로 작업을 할 수 있도록 하는 보조 기능으로써 (1) 관찰 위치의 변경 기능 (2) 화면의 확대 및 축소 기능 (3) 관찰자의 시선 방향의 변경 기능 (4) 미리 설정된 평면도, 사용자 정의, 정면도, 측면도의 4개의 방향에서 본 화면을 동시에 보여 주

는 기능 (5) 렌더링(rendering)기능들이 있다. 렌더링 기능에서는 물체를 선분만으로 표시하는 기능과 입체감을 주기 위한 은선/은면(hidden line/surface) 제거 기능, 입체감 및 현실감을 주기 위한 면에 대한 채색 기능 그리고 광원에 의한 빛의 반사/음영의 효과가 나타나는 기능 등이 있다. 〈그림 6〉은 프로그래머에게 현실감을 주기 위하여 렌더링이 되어 있는 로봇 시스템의 한 예를 보여주고 있다.

다음으로 시뮬레이션에서는 두 가지의 방법으로 시뮬레이션이 가능한데 그 첫째는 작업 교시 상자에물레이터(teach pendant emulator)를 사용하는 것이다. 이 방법에서는 컴퓨터 화면 상에서 구현되어 있는 교시 상자를 사용하여 모델링된 로봇의 각 관절을 개별적 혹은 복합적으로 움직이면서 화면 상에서 로봇의 움직임을 시각적으로 관찰할 수 있다. 한편 이와 같은 로봇의 움직임을 다시 로봇의 경로 파일로 저장할 수 있는 기능도 갖추어져 있다. 다음으로는 로봇의 경로 파일이 주어진 경우로 로봇 시스템을 구성하고 있는 각각의 로봇에게 경로 파일을 할당한 후 로봇의 움직임을 관찰하는 방법이다. 이 방법에서는 복수개의 로봇의 움직임을 동시에 관찰할 수도 있다. 또한 로봇의 이동 상황을 전체적으로 또는 단계별로 관찰 할 수 있는 기



〈그림 6〉 현실감을 주기 위해 렌더링된 상태의 로봇 시스템의 예

능이 있다. 그 외에 시뮬레이션에 관련된 기능으로는 로봇 손끝의 경로를 표시하는 기능과 위치 및 방향, 각 관절값을 표시해 주는 기능이 있다.

III. 그래픽 시뮬레이터의 응용

2장에서 기술한 바와 같이 로봇 그래픽 시뮬레이터는 현재까지는 주로 산업체에서 사용되고 있으나 그 응용 범위를 넓히고자 하는 연구가 꾸준히 진행 중이다. 이 장에서는 로봇 그래픽 시뮬레이터의 발전적 응용 분야에 대해서 살펴본다.

1. 원격 로봇(Telerobot)에의 응용

심해에서의 자원 탐사나 우주 탐험 등과 같이 인간이 직접 접근하기 힘든 환경에서 작업을 수행함에 있어, 작업자에게 보다 안전한 작업환경을 제공하고 상황 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 지능형 로봇의 개발이 필요함에 따라 원격 로봇

(Telerobot)의 개념이 도입되었다. 원격 조작이란 인간의 감각이나 능력을 먼 거리까지 확장하는 것으로, 작업자는 안전한 곳에서 작업환경의 변화를 감시하며 상황 변화에 따른 적절한 대응을 교시하고, 실제 작업장에서 작업하는 로봇이 그 교시대로 반응하도록 함으로써 작업자에게 안전한 작업환경을 제공함과 동시에 보다 효과적인 작업을 수행할 수 있게 하는 것이다.

원격 로봇에서 조작자와 원격 로봇 시스템간의 안전하고 효율적인 제어를 위해서 로봇 그래픽 시뮬레이터를 바탕으로 한 그래픽 인터페이스 기법을 도입하고 있다. 실시간 3차원 컴퓨터 그래픽스(real-time 3D computer graphics)와 계층적 구조의 그래픽 인터페이스(hierarchically structured graphic user interface)의 발달은 원격 로봇을 위한 효율적인 그래픽 원격 조작 환경을 가능하게 한다. 그래픽스 조작자 인터페이스(graphical operator interface) 기법은 (1) 오프-라인 작업 분석 및 계획(off-line task analysis and planning), (2) 조작자 훈련(operator training),

(3) 온-라인 작업 수행 (on-line task execution) 등과 같은 원격 로봇의 세 가지 단계에서 사용된다.

(1) 오프-라인 작업 분석 및 계획

오프-라인 작업 분석과 계획을 위해서는 먼저 작업장의 그래픽스 시각화(graphics visualization)가 선행되어야 한다. 이 작업은 원격 조작의 목적에 충분할 정도의 정밀도를 보장하기 위해서 필요하다. 작업장 모델링은 여러 단계의 정밀도를 가질 수 있게 시각화되고 현실감을 향상시키게 하기 위해서 텍스처(texture)와 같은 그래픽 기법을 사용하기도 한다. 오프-라인 작업 분석과 계획은 충돌 감지를 통한 이동 계획, 시각 정보 획득을 위한 카메라의 위치 계획, 여유 자유도의 해석을 통한 최적 경로 계획, 그리고 그래픽스 디스플레이를 이용한 전체적인 시뮬레이션으로 구성되어 있다. 시뮬레이션을 거쳐 최종적으로 검증된 작업 계획의 순서와 각 작업의 시뮬레이션은 온-라인 작업 수행 동안 각 작업의 수행에 앞서 시연(preview)된다.

(2) 조작자 훈련

그래픽스 조작자 인터페이스 기법은 완전한 훈련 환경을 제공하는 것을 목적으로 한다. 보다 완전한 훈련을 위해서는 원격 로봇의 정확한 시뮬레이션뿐만 아니라 힘과 같은 비시각적인 형태의 시뮬레이션이 필요하다. 시각적 가상 현실을 구현하기 위해서는 모노, 스테레오, 분리된 시각 등의 카메라 기능을 시뮬레이션할 수 있는 고해상도의 실시간 그래픽스 디스플레이를 해야 한다. 또, 힘의 가상 현실을 구현하기 위해서는 시뮬레이션 도중의 접촉에 의해 계산되는 가상의 힘과 토오크를 훈련자에게 전달할 수 있어야 한다. 가상 현실감은 원격 로봇 시뮬레이션을 보다 실제적이게 한다. 음성, 힘 피드백 등이 훈련을 위한 로봇의 작업 시뮬레이션에 포함되어 가상 현실감을 이용한 훈련이 훨씬 더 효율적이다. 또한, 컴퓨터의 데이터 베이스를 기초로 한 학습 및 명령 시스템으로 확장 가능하다.

(3) 시연(preview) 및 온-라인 시각화

시연은 조작자가 먼 거리에 있는 로봇에게 실제적인 작업 수행 명령을 전송하기 전에 이동 계획을 그래픽스 시뮬레이션 해보는 것을 가능하게 하고, 온-라인 시각화는 조작자가 실제 작업을 관

찰하고 감시하는 것을 가능하게 한다. 시연은 '원격 조작', '자동 조작', '기록', '재실행'이라는 네 가지 모드를 가지고 있어야 한다. 원격 조작 모드에서 먼 거리의 작업장에 명령을 보내기 전에 그래픽스 시뮬레이션을 이용하여 원격 조작의 작업을 연습한다. 원격 조작 작업의 연습 동안 기록 모드와 재실행 모드에서 조작자가 지시할 일련의 명령들이 기록되고 실제의 원격 로봇에 재실행 된다. 그리고, 오프-라인 작업 분석 및 계획을 통해 만들어진 일련의 명령들은 시연의 자동 조작 모드를 통해 원격 조작 작업에 이용될 수 있다.

시연 후 조작자는 실제의 원격 조작 작업을 수행하는 데, 실제의 원격 조작 작업에도 '원격 조작', '자동 조작', '재실행'이라는 세 가지 모드가 있다. 원격 조작 모드에서는 조작자는 작업 수행을 직접 원격 조작한다. 자동 조작 모드에서는 오프-라인 작업 분석 및 계획을 통해 만들어진 일련의 명령들을 실제 작업장에 수행할 수 있다. 재실행 모드에서는 원격 조작 연습 동안에 기록된 명령들을 작업 수행을 위해 먼 거리의 작업장에 보낸다.

실제 원격 조작 작업을 수행하는 동안에 조작자가 원하는 임의의 각도에서 로봇의 작업하는 현재의 모습을 시각화하기 위해 온-라인 시각화 기법을 사용한다.

2. 의료 로봇에의 응용

엄밀한 정확도가 필요하거나 반복적인 작업을 계속해야 하는 수술의 경우, 의사에 의해서 원격 조작되는 로봇을 사용한다. 컴퓨터 X선 단층 촬영(CT), 핵자기 공명 촬영(NMR), 초음파 진단(US) 등을 통해 얻어진 이미지를 이용하는 (1) 이미지 기반 수술과 (2) MIS(Minimal Invasive Surgery) 등에서 로봇이 이용된다.

(1) 이미지 기반 수술

비전 기반 수술은 일종의 로봇 CAD-CAM 시스템으로 볼 수 있다. CT, NMR, US 등의 의학적 진단 결과를 토대로 시뮬레이션을 거쳐 수술을 위한 오프-라인 계획을 세운다. 로봇은 정밀한 절단(cutting), 연삭(milling), 드릴링(drilling) 등과 같은 작업을 CNC 기계와 같은 방식으로 수행한

다. 정확도와 반복적인 작업의 용이성이 의사의 수동적인 수술 방법보다 향상된 수술 결과를 보장한다. 기하학적으로 정밀한 수술을 수행하는 데 있어서 의사가 컴퓨터를 이용해 오프-라인 수술 계획을 세워 수술에 로봇을 이용하는 것은 의사가 수동으로 하는 수술보다 훨씬 우수한 결과를 얻는다. 보다 정교한 수술에 로봇과 의사가 공동 작업을 하기 위해서는 인간의 실제 몸과 거의 유사한 3차원 모델링과 수술의 시뮬레이션이 필요하다. 따라서, 힘정보 및 다른 비시각적인 정보를 포함한 고감도 인터페이스가 수술의 시뮬레이션과 의사의 훈련을 위해서 사용되어야 한다.

(2) MIS(Minimal Invasive Surgery)

MIS는 '내시경 수술(endoscopic surgery)'로 불려지는 것으로, 환자가 회복에 걸리는 시간과 수술 후 회복에 드는 비용을 줄일 수 있는 것으로 밝혀졌다. MIS는 수술하는 부위의 정확한 3차원 이미지를 얻을 수 없고, 수술이 행해질 수 있는 부위가 제한적이고, 의사가 수술하는 동안에 수술 부위로부터 얻을 수 있는 힘이나 압력과 같은 감각이 없기 때문에 고성능의 비디오 내시경(video endoscopy), 초정밀 수술 로봇, 내시경 수술을 잘 수행할 숙련된 의사 등이 필요하다. 인간 몸의 정확한 3차원 모델링과 시뮬레이션, 힘 되먹임 센서 등을 이용해서 의사에게 내시경 수술에 필요한 감각을 학습시킬 수 있다.

V. 결 론

최근의 산업 경제적인 현황을 살펴보면 공장 자동화 또는 유연 생산 체계에 대한 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라 로봇 또는 로봇 시스템의 설계 및 평가, 변경 및 유지 보수 등을 편리하고 효율적으로 수행할 수 있는 도구에 대한 요구도 증가하고 있으며 이러한 것을 가능하게 하는 하나의 방법으로 로봇 그래픽 시뮬레이터를 이용하는 것이다. 본 논문에서는 로봇 그래픽 시뮬레이터에 대한 필요성에 대하여 고찰하였고 그래픽 시뮬레이터의 역할

및 갖추어야 할 기능 등과 함께 현재까지의 외국에서의 연구 결과 등에 대하여 개략적으로 기술하였고 국내의 연구 결과의 한 예를 살펴 보았다. 또한 로봇 그래픽 시뮬레이터의 한 가지 발전 방향으로 제시되고 있는 원격 조작에의 응용 사례들을 살펴 보았다. 외국의 예에서 보듯이 이 분야에 대해서 많은 투자와 연구가 진행되고 있으며 실제 산업체에서도 많이 적용되고 있는 상황이다. 현재 국내에서도 많은 기관들이 상업용 로봇 그래픽 시뮬레이터를 도입하여 사용하고 있으나 실제 생산 현장에 적용한 경우는 거의 없는 실정이며 이에 대한 연구 개발에도 상대적으로 소홀하고 있다. 국내에서도 이미 생산 현장에서 많은 로봇이 도입되어 활용되고 있으며 그 수는 점차 증가할 것이다. 따라서 로봇 시스템의 효율적인 구축을 위해 로봇 그래픽 시뮬레이터 개발에 대한 체계적인 투자가 있어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R. R. Schreiber, "How to teach a robot," Robotics Today, June, 1984.
- [2] M. L. Hornick and B. Ravani, "Computer-aided off-line planning and programming of robot motion," Int. Journal of Robotics Research, Vol. 4, No. 4, 1986.
- [3] R. N. Stauffer, "Robot System Simulation," Robotics Today, June, 1984.
- [4] K. S. Fu, R. C. Gonzalez, and D. S. G. Lee, "Robotics : control, sensing, vision, and intelligence," McGraw-Hill, 1987.
- [5] J. J. Craig, "Anatomy of an off-line programming system," Robotics Today, Feb. 1985.
- [6] R. N. Stauffer, "Designing the robotic workcell," Robotics Today, June, 1987.
- [7] 고중협, "다중 로봇 시스템을 위한 그래픽 시뮬레이터 개발에 관한 연구," KAIST 전기 및 전자공학과 석사 논문, 1989

- [8] 정명진, 성영휘, 이형기, 박상호, “다중 로봇 시스템용 off-line programming system의 개발,” 상공부, 1993
- [9] W.S.Kim, P.S.Schenker, A.K.Bejczy, and S.Hayati, “Advanced Graphics Interfaces for Telerobotic Servicing and Inspection”, Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.303~309, 1993.
- [10] A.K.Bejczy, “Recent Developments in Advanced Teleoperation at JPL”, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.217~218, 1991.
- [11] A.K.Bejczy, W.S.Kim, and S.C.Venema, “The Phantom Robot : Predictive Displays for Teleoperation with Time Delay”, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.546~551, 1990.
- [12] A.K.Bejczy, “Sensors, Controls, and Man-Machine Interface for Advanced Teleoperation”, Science, vol.208, pp.1327~1335, 1980.
- [13] T.B. Sheridan, “Telerobotics”, Automatica, vol.25, No.4, pp.487~507, 1989.
- [14] L.Stark, et al., “Telerobotics : Display, Control, and Communication Problems”, IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.3, No.1, pp.67~75, 1987.
- [15] J.Vertut and P.Coiffet, “Teleoperations and Robotics”, Robot Technology, vol.3, Kogan Page Ltd. 1985.
- [16] A.K.Bejczy and W.S.Kim, “Predictive Displays and Shared Compliance Control for Time-Delayed Telemanipulation”, Proc. IEEE Int. Workshop. on Intelligent Robots and Systems, pp.407~412, 1990.
- [17] W.S.Kim, “Graphical Operator Interface for Space Telerobotics”, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1993.
- [18] N.E.Miner and S.A.Stansfield, “An Interactive Virtual Reality Simulation System for Robot Control and Operator Training”, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1994.
- [19] P.U.Lee, D.C.Ruspini, and O.Khatib, “Dynamic Simulation of Interactive Robotic Environment”, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1994.
- [20] P.Dario, E.Gudlielmi, and B.Allotta, “Robotics in Medicine”, Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.862~869, 1994.
- [21] T.Wang, M.Fadda, M.Marcacci, S. Martelli, and P.Dario, and A.Visani, “A Robotized Surgeon Assistant”, Proc. IEEE /RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.862~869, 1994.

저 자 소 개



鄭 明 振

1973년 2월
1977년 12월
1983년 8월

서울대학교 전기공학과(학사)
미시간대학교 ECE학과(석사)
미시간대학교 CICE학과(박사)

1983년~현재

한국과학기술원 전기전자공학과 교수

주관심분야 : 지능 로봇 시스템, 지능제어, 비선용제어



成 永 輝

1962年 5月 20日生

1988年 8月 고려대학교 전자공학과(학사)

1991年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)

1991年 3月~현재

한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

주관심분야: 여유 자유도 머니플레이터, 오프라인 프로그래밍 시스템, 지능제어



申 明 鎬

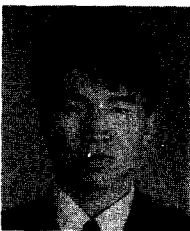
1971年 3月 19日生

1994年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(학사)

1994年 3月~현재

한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사과정

주관심분야: 오프라인 프로그래밍 시스템, 그래픽 시뮬레이터, 비선형 제어



李 榮 眞

1970年 10月 12日生

1994年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(학사)

주관심분야: 센서퓨전, 이동로봇