로보틱스의 개요 및 연구 동향

吳 世 泳
美國일리노이大 電氣 및 電算工學科 助敎授

I. 개 요

1. 정의

로보트 그 후로는 인간처럼 움직이는 기계를 의미하게 되었다. 로보트는 현재 산업계, 의학, 우주 및 해저 탐사, 광산 등에서 인간이 수행하기에는 너무 단조롭거나, 느리거나, 부정확하거나, 위험한 일 등을 해내고 있다.

SME(society of manufacturing engineers)가 정의한 로보트는 「반복하여 프로그램할 수 있는 다기능의 메니퓰레이터로서 프로그램에 따라 재료, 부품, 도구 등을 움직인다」라고 나와 있으나 이는 어디까지나 기계나 산업적 측면을 강조한 것으로 지금까지 개발되어 산업계에서 많이 쓰이고 있는 단순 반복형의 저지능 로보트를 두고 하는 말이다. 그러나 근래에는 전자공학 및 컴퓨터 과학의 급속한 발전에 힘입어 단순히 인간의 손발을 대신하는 것에서 나아가, 인간의 지능까지 겸비한 지능 로보트 연구개발에 관심이 집중되고 있다. 이 지능면을 극단적으로 강조하면, 컴퓨터 자체를 두뇌만 가진 로보트로 볼 수도 있을 것이다.

좀 색다른 정의는 다음 귀절에서도 찾아 볼 수 있다. 「컴퓨터가 발전하면 현재 그를 억매고 있는 굴레를 벗어던지고 로보트가 되어 세상을 다니게 된다. 로보트는 감각기관(sensor)을 보유한 지능적 기계가 되며 고도의 감지 및 인식능력을 가진다.」[1]

82, 83년에 열린 6차 및 7차 로보트 학술대회 및 전시회에서는 그전에 비해 센서를 중시하고 있다. 카메라를 이용한 비젼 시스템, 인간의 말을 듣고 이해한 후, 다시 말로 답하는 스피치 시스템등이 눈에 띄게 많이 전시되었다. 이와 같은 비젼 시스템이 불가결한 경우를 예시하자.

보통의 산업용 로보트는 사람이 teach box를 가지고 각 관절(joint)를 움직이며 작업 경로상의 각 점을 컴퓨터에 기억시켰다가 나중에 몇 번이고 재생하는 식으로 제어되고 있다. 예를 들어 로보트가 나사를 집어 통으로 집어 넣는 일을 반복하는 도중에 누군가 나사를 치웠다 할 때 감지기능이 없는 로보트는 나사가 아직도 그 자리에 있는 줄 알고 가서 허공을 집으려 할 것이다. 따라서 미래에는 인간처럼 주위의 환경을 인식한 후 그 상황에 따라 목표를 정하고 필요한 문제를 풀어 이를 수행하는 지능 로보트가 필요하게 될 것이다.

2. 역사

현재 로보트의 기원은 2차 대전 당시 방사성 물질 취급에 사용되었던 원격 작업장치(teleoperator)나 수치제어기계(numerical control machine)에서 비롯된다. 여기서는 사람이 visual feedback의 인도를 받아 실제로 모든 동작을 수행하고 원격작업장치는 단지 사람의 운동을 모방하는 slave 역할을 하기 때문에 엄격한 의미의 로보트라고는 볼 수가 없다. 수치제어기계 역시 인간의 형상을 하지 않아 엄밀한 로보트의 정의에서는 벗어난다. 그후 50년대 말 지금 세계 최대의 로보트 제조회사인 Unination의 전신인 CCC사에서 최초의 산업용 로보트(Unimate)를 개발했다. 비록 미국에서 발명되기는 했으나 기업 경영진이 로보트가 실업률을 증가시킬까 우려하여 개발을 보류하고 단지 몇몇 대학의 연구실에서 로보틱스 연구가 진행되어 왔다. 한편 일본에서는 Unimate를 들여다가 꾸준히 연구 발전시켜 산업계에서 생산성 향상, 품질 개선의 선봉으로 사용해 왔다. 이에 영향을 받아 미국에서는 뒤늦게나마 로보틱스의 중요성을 인식하여 최근 각 대학마다 로보틱스 프로그램이 생기고 우수한 회사들이 로보트 제조업체로 등장했다. 비록 사용 로보트의 숫적으로는 열세이나 로보틱스 연구에 있어서는 일본에 못지 않은 수준에 이르렀다고 한다.

이와 같은 산업용 로보트 이외에도 걸어 움직이는 locomotion robot가 있는데 60년대에 University of Southern Cailfornia의 Quadraped, General Electric (GE)의 quadraped transporter(사람이 다리 네개가 달린 로보트 속에 들어가 손발로써 개개의 joint를 제어하여 움직였다.)가 특기할 만하다. GE의 wallcing machine은 장애물을 넘거나, 불균등한 대지를 걷는데는 좋은 성과를 거두었으나, 운전자를 훈련시키는데 오랜 세월이 걸리고 또 훈련된 사람이라 하더라도 온 신경을 집중하여야 하기 때문에 몇 분 이상 운전하기는 힘들어 실패로 끝나고 말았다. 이는 인간이 열두개의 joint를 제어하는 것이 수학적, 역학적으로 얼마나 어려운 문제인가를 단적으로 나타내는 예가 되었으며 컴퓨터 콘트롤의 시대를 열어 주었다.

3. 종류

로보트는 기능에 따라

1) 산업용 로보트
2) Locomotion robot
3) Prosthetic robot

첫째 산업용 로보트에 대하여는 대한전자공학회지 82년 12월호에 자세히 설명된 바 있다. 둘째로 locomotion robot는 걸어 움직이는 것으로 다리수에 따라 biped(두개), quadraped(네개), 곤충과 같이 여섯개인 hexapod 등으로 나뉘어진다. 다리수가 많아질수록 증가된 자유도(degree-of-freedom)를 서로 조정제어(coordination)하기가 힘들어진다. Hexapod의 경우 각 다리당 세 개의 joint를 가정하면 모두 18개의 자유도를 갖게 되며 이를 동시에 콘트롤하여 움직이는 것은 로보틱스 중 가장 어려운 문제중의 하나로 남아 있다. 오하이오 주립대(Ohio State University) 에서는 근래 십년간 미국립 과학재단(National Science Foundation), DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)등의 지원을 받아 6足 走行 로보트(six-legged vehicle)을 설계, 건조한 후 걷는 양식 연구(gait analysis), 컴퓨터 콘트롤, 센서를 사용한 콘트롤 등의 연구를 수행하고 있다. 한편 80년에 창립된 카네기멜런大 부설의 로보틱스연구소에서는 다리하나로 뛰어 다니면서 동적 안정성(dynamic stability)을 가지게 하는 연구가 진행되고 있다.

마지막으로 prosthetic device는 신체의 일부가 절단된 사람을 위해, 이를 로보트로 대치한 것으로, 사람의 의사에 따라 다양한 움직임을 보여야 하고 로보트 자체의 각 부분에 걸리는 힘등을 계산하여 설계하여야 하므로 kinematics, dynamics 해석이 필요하다. 주로 의료기관에서 이 분야의 연구를 하고 있다.

한편 로보트의 동력장치(actuator)를 분류하면 다음과 같다.

1) 전기 Actuator

간편하고 제어가 쉬워 정확도가 높으나 값이 비싸며 구동 power가 제한되어 있다.

2) 유압 Actuator(Hydraulic)

유압에 의해 움직이며 전기 actuator에 비해 정확도는 낮으나 값이 비교적 싸고 높은 power를 발생시킬 수 있어 산업용 로보트에 많이 사용되고 있다.

3) 압축공기 Actuator(Pneumatic)

압축공기의 힘으로 움직이며 동작이 smooth하지 못하고 jorlcy한 단점이 있다.

4) 직접구동(Direct Drive) Actuator

위의 actuator 대부분이 torque를 증대시키려고 gear reduction을 거쳐 joint에 가해지는데, gear 를 씀으로 무게 증가, 마찰 및 backlash등의 문제가 생겨 gear없이 직접 구동하는 연구가 카네기멜런大에서 진행되고 있다.

4. 로보트 콘트롤의 2대 목표

현존하는 로보트는 고속으로 움직이는데 필요한 high power를 발생시키는데 문제가 있고 또 power가 해결된다 하더라도 고속운동에서는 servo control 의 안정도가 나빠지므로 대부분 저속으로 움직이고 있다.

한편 서어보 시스템, 센서, 메카니칼 모델의 정확도에 한계가 있어 움직임이 정밀하지 못하다. 따라서 궁극의 목표인 고속으로 정밀하게 움직이는 로보트를 개발하려면,

1) 고출력 actuator
2) 고속운동에서의 dynamic analysis 및 servo 안정도
3) 정밀한 센서의 개발등의 연구가 선행되어야 한다.

Ⅱ. 로보틱스 연구분야 및 동향

초기의 로보틱스는 kinematics, dynamics 및 control 등 주로 로보트를 움직이는 연구로 시작했으나 그 후 전자공학, 컴퓨터 과학의 발전으로 인공지능(artificial intelligence;AI), 컴퓨터 비젼, speech processing 등이 로보틱스로 응용되고 있으며 고도의 감지 기능을 가진 로보트에 관심이 집중되며 센서 개발등도 포함하기에 이르렀다. 또한 산업계 응용으로서 로보트를 한 구성요소로 하는 CAD/CAM, integrated intelligent manufacturing system등의 연구가 무인자동화 공장을

목표로 활발히 진행되고 있다.

여기서는 로보틱스 전 분야를

1. 로보트 콘트롤(low level)
2. 로보트의 두뇌부분(high level)
3. 로보트의 감각기관인 센서 연구
4. 1, 2, 3의 시스템을 효과적으로 구현하는 컴퓨터 기술
5. 로보트의 산업응용 분야 등으로 나누어 서술하기로 한다.

각 분야의 유기적 연관이 그림 1에 도시되어 있다.

1. 로보트 콘트롤

일반으로 로보트가 수행할 운동이 주어지면 이를 joint의 운동으로 변환하여 실제로 필요한 힘을 계산한 후 이들을, joint actuator를 콘트롤하는 서어보 시스템에 입력으로 가해 주어야 한다. 또한 로보트가 주어진 작업을 수행하기 위해 로보트 자체의 기계적 설계 또는 동력 시스템인 actuator 설계등이 필요하다. 이를 연구하는 분야들은 다음과 같다.

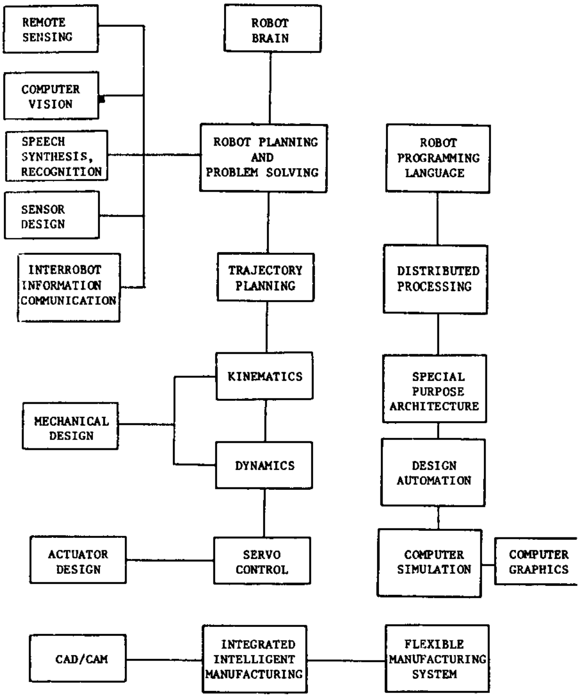

그림 1. 로보트 콘트롤

1) Kinematics

이는 역학중 힘을 고려하지 않고 운동만 다루는 분야이다. 로보트 콘트롤에서는 일반으로 end-effector (로보트의 손에 해당)의 운동을 cartesian 좌표계에서 준후 이를 joint의 운동으로 변환하여 joint에 있는 서어보 시스템을 움직이도록 되어 있다. 로보틱스에서 정의된 kinematics는 cartesian 좌표계 운동과 joint 운동 사이의 변환관계를 의미한다. Joint의 운동은 각 joint에서의 각이나 위치의 변위로 구성된 비직교좌표계(nonorthogonal coordinate system)에서 정의된다.

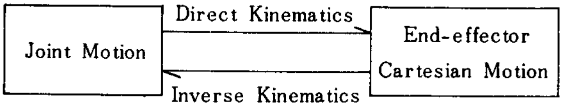

그림 2. Kinematics 정의도

2) Dynamics

이는 역학중 운동과 그의 원인인 힘의 관계를 연구하는 분야이다. 로보트 콘트롤에서는 로보트가 수행할 운동이 주어지면, 그를 구현하는데 필요한 힘을 dynamic analysis를 거쳐 계산한 후 각 joint actuator 에 가해주게 된다.

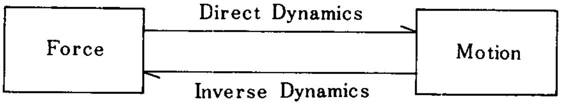

그림 3. 다이나믹스 정의도

3) 서어보 콘트롤

로보트 시스템 각 부분의 정확한 모델을 알고 있고 컴퓨터의 정확도가 무한대일 경우는 open loop 콘트롤이 가능하다.

그러나 실제로는 모델 에러나 컴퓨터의 제한된 정확도 등으로 생기는 에러를 보상하기 위해 closed loop 콘트롤이 필요하다. 로보트 시스템은 각 링크들이 복잡한 비선형 dynamics 방정식에 의해 서로 영향을 미치므로 그만큼 서어보 시스템 설계가 복잡해진다.

4) 컴퓨터 시뮬레이션

로보트 시스템을 설계할 때는 기계적 시스템, actuator 시스템, 서어보 콘트롤 시스템등을 생각하게 된다. 이들을 설계하여 실제로 구성한 성능을 테스트하는데는 대개 몇 번의 반복과정이 필요하다. 그 때마다 일일히 실제로 만들어 테스트한다면 비용, 시간상의 손실이 매우 크게 된다. 따라서 이들 설계 파라메

터를 가지고 컴퓨터로 시뮬레이션하여 원하는 결과가 나온 후 해당 파라메터를 가지고 실제 시스템을 구성하는 것이 바람직하다. 이 시뮬레이션은 컴퓨터 graphics 기술을 사용하여 visual display를 거쳐 테스트하는 것이 매우 효과적이다.

2. 로보트의 Decision Making

이는 로보트의 high level process에 해당하며 인간의 두뇌작용에 해당한다. 이 분야의 연구는 아직 시뮬레이션 단계에 머물러 있다. 그 이유중 하나는 대부분의 AI 프로그램이 대형 컴퓨터를 써도 몇 시간이 걸리는 등 실제적인 면에서 문제가 많은 것이다.

1) Robot Planning and Problem Solving

이는 주로 AI의 기법을 로보틱스에 응용하며 인간이 로보트에게 목표나 수행할 업무를 준 후 로보트 자신의 내장된 프로그램에 의해 그 해결 방책을 구하는 brain 기능을 실현한다.

2) Trajectory Planning

전술한 로보트 플랜닝의 출력이 로보트가 지나야 할 공간상의 점들이라 할 때 실제로 이 점들을 연결하는 경로는 무수히 많다. 이중에서 어떤 criterion 함수를 (예로 운동의 smoothness, power 소비등) 최적화(optimization)하는 경로를 찾는 분야이다.

3) 센서 정보처리(Information Processing)

여러 센서에서 얻은 신호는 신호처리, 패턴 인식등을 거쳐 적절히 변환한 후 그 해석된 결과를 planning 이나 decision making 그룹에 넘겨주어야 한다. 예를 들어 각 마디마다 접촉 센서가 붙어 있는 finger 몇개로 구성된 로보트 핸드가 있을 때 이 센서들의 정보를 종합하면 로보트 핸드가 집은 물체의 형상을 짐작할 수 있을 것이다.

4) 컴퓨터 비젼

카메라로 얻은 상에서 물체의 edge를 찾아내고, 각 세그먼트로 나눈후, 여러 비젼 알고리즘을 거쳐 물체의 위치나 모양, 또는 전체적으로 그림을 이해하는 분야로 로보트 콘트롤, visual inspection, 또는 flexible assembly 등에 응용된다.

5) Speech 처리

사람이 컴퓨터 터미널에 가서 로보트의 움직임을 명령하는 것보다는 직접 말로 로보트에게 지시를 하는 것이 하고 있던 일을 중단하지 않고 편리하다. 로보트는 지시하는 사람이 누구인지 안 다음, 그 지시를 이해하고 다시 말로 사람에게 답하게 된다. 예를 들어 비상시에는 말로써 즉시 로보트의 동작을 정지시킬 수도 있다. speech 인식(recugnition) 및 speech 합성(synthesis)등의 분야를 포함한다.

6) 로보트간의 상호협동에 있어서의 지식 및 정보교환(interrobot information communication)

이는 로보트와 로보트사이 혹은 로보트와 인간사이의 협력을 이해 및 실현하는 것이 목표이다. 협력을 두 가지로 나누어 보면

(1) 단일 supervisor가 업무 수행 및 그에 관련된 knowledge base를 수정내지 확충하는 것을 통제하는 경우와,

(2) Supervisor없이 관련된 knowledge가 여러 주체에 분산이 된 경우가 있다. 예를 들어 사람이 두손을 두뇌의 명령에 따라 움직여 오렌지의 껍질을 벗기는 경우는 전자에 속하고, 두 사람이 협력하여 한 개의 오렌지 껍질을 벗기는 경우는 후자에 해당한다. 주된 과제는 각 주체(로보트이나 인간)간의 협력을 가능하게 하기 위한 knowledge base의 형성, 수정 및 상호교환 등이다.

3. 센서 연구

일반으로 로보트 시스템은 여러 센서를 통해 주위환경을 인식하고 자신의 위치를 판단하여 앞으로의 행위를 결정하게 된다. 센서는,

1) 접촉 센서 : 접촉(tactile) 센서, 힘(force) 센서

2) 비접촉 센서 : 시각(vision), 청각(speech), 온도, 위치(proxinity) 센서 속도 센서(tachometer), 가속도 (acceleration) 센서 등으로 구분한다. 이같은 센서는 transducer와 그 신호처리 회로로 구성된다.

4. 로보틱스에 응용된 컴퓨터 Technology

1) Special Purpose Architecture

1, 2절에 설명된 여러 계산을 특수 하드웨어로 구성하여 general purpose 컴퓨터보다 빨리 할 수가 있다. 이를 위해서 parallel architecture, bit-sliced 또는 pipelined architecture를 이용할 수 있다.

2) 자동화된 설계(Design Automation)

컴퓨터 소프트웨어로써, special purpose processor나 센서정보처리장치, VLSI 로보트 두뇌 (대규모 집적회로 : Very Large Scale Integrated Circuit) 등을 자동 설계하는 소프트웨어를 연구한다. 이는 로보틱스나 integrated manufacturing을 위해 보조적인 역할을 하고 있다.

3) Distributed Processing

로보트 시스템의 planning 및 콘트롤은 많은 계산을 소요한다. 궁극적으로 real-time 콘트롤을 위하여는,

한 개의 컴퓨터를 여러가지 계산용으로 쓰는 것 보다는 개개의 계산 양이나 성격에 따라, 콘트롤은 마이크로 컴퓨터에, 비젼이나 speech processing은 special processor에, planning이나 전 프로세스의 감독용은 대형 컴퓨터(mainframe)에 각각 분산시키는 것이 훨씬 많은 throughput을 낼 수 있다. 이같은 distribution의 한 예가 그림 4 에 도시되어 있다.[2]

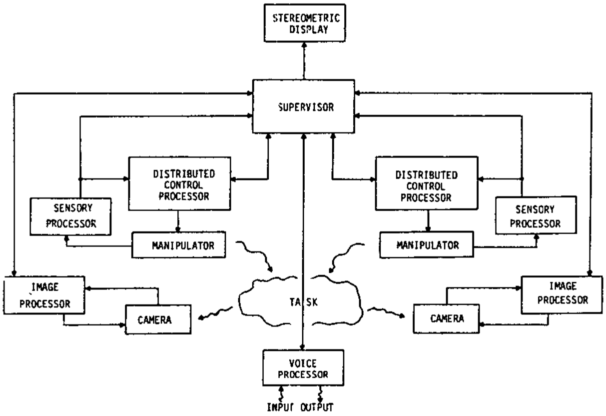

그림 4. Distributed robotic system의 한 예

4) 로보트 프로그래밍 언어

이는 일반으로 user가 로보트 콘트롤 시스템에 관한 지식이 없이도 로보트를 편리하게 사용할 수 있도록 만든 도구이다.

이 언어는 로보트가 수행할 업무를 로보트 콘트롤에 필요한 모든 파라메이터로 바꾸는 역할을 한다. 근래는 센서와 밀접하게 인터페이스가 되어 로보트 주위 환경의 변화에 real time으로 대처할 수 있는 언어 연구가 진행되고 있다.

5. 종합적 지능적인 생산체제(Integrated Intelligent Manufacturing System)를 위한 산업계 응용 분야

1) CAD, CAM

CAD(computer-aided-design)는 컴퓨터를 사용하여 엔지니어링 시스템이나 컴포넨트를 효과적으로 설계하는 것이며, 설계자의 생산성을 향상시키고, 생산 데이타 베이스 형성등을 목표로 한다. 한편 CAM(computer-aided-manufacturing)은 컴퓨터를 사용하여 회사의 생산시설을 관리, 통제, 가동하는 것으로 이때 컴퓨터는 인적, 물적자원 현황과 긴밀하게 연결되어야한다.

2) Flexible Manufacturing System

일반으로 부품들이 만개 이상으로 대량생산 될때는 고정된 자동화 설비를 쓰는 것이 경제적으로 유리하나, 100개 이하의 소량생산의 경우는 이와 같은 설비를 가설하는 비용이 더 많이 든다. Flexible automation은 이 두 가지 생산방식을 절충하는 것으로서 제품의 획일성을 높이는데 뿐만 아니라 수요에 따라 여러 스타일이나 선택을 할 수 있는 다양성까지 자동화 시킨다.

6. 미래의 로보틱스 연구동향

이상 서술한 바와 같이 로보틱스는 기계공학, 전자 및 전기공학, 컴퓨터 공학 및 과학, 산업 및 시스템 공학, 전자 및 전기공학, 컴퓨터 공학 및 과학, 산업 및 시스템 공학, 생물의료공학 등을 포함하는 광범위하고 종합적인 학문이다. 현재까지는 로보트를 어떻게 움직이느냐 하는 콘트롤이 주요 연구대상이었으나 앞으로는,

(1) 콘트롤면에서는, 궁극적으로 빠르면서도 정밀도를 가지고 움직이는 로보트 연구개발

(2) 지능면에서는 여러 센서를 부착하여 인간과 같이 주위 환경 및 상황을 감지, 인식한 후 자발적으로 행위를 결정내리는 기능을 보유한 로보트 연구개발

(3) 산업응용면에서는 단일 또는 복수의 로보트를 구성요소로 하는 integrated intelligent manufacturing system의 연구등이 활발히 진행될 전망이다. *

♣ 用 語 解 說 ♣

Data Base에 관한 用語

- Volume : 補助記憶裝置의 하나의 실제적 장치 (physical unit)
- Module : Volume을 담고 있는 하아드웨어 부분
- "실제적"(physical) : Data가 실제 기억장치에 저장되어 있는 모양을 일컬을 때 씀.
- "논리적"(logical) : 使用者가 data를 보는 모양을 일컬을 때 씀.
- Data 항목(또는 field) : Data의 최소 단위, 이것은 COBOL에서의 기본 항목(elementary item)이다.
- Data 집합(dataaggregate) : Data 항목의 집합으로써 이는 COBOL에서의 집단항목(group item)이다.
- Record : Data 집합(data aggregate)의 모임
- Segment : Data 집합이나 record를 가리킴.
- File : 특정한 종류의 논리적 record만을 모은 것.