

로봇제어에서의 인공지능 이용

최 병 오

Utilization of Artificial Intelligence to Robot Control Systems

Byung-Oh Choi



- 최병오 (한국기계연구원)
- 1953년생
- 로봇의 동역학 및 제어를 전공하였으며, 로봇을 이용한 기계가공 및 생산자동화 시스템 개발에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

산업에서 로봇을 이용한 작업은 제1세대 로봇에 의한 단순한 부품이송의 간이 자동화를 시작으로, 제2세대 로봇에 의한 단위 공정의 자동화를 거쳐, 보다 더 복잡한 환경에서 작업할 수 있는 다기능의 지능화된 제3세대 로봇에 의한 작업공정 전체의 자동화 시기를 맞이하고 있다. 복잡하고 정밀한 환경에서의 작업은 여러가지 정보를 동시에 복합적으로 수집, 처리, 분석하여 목적인 결론에 도달해야 그 결론을 실시간으로 작업 시스템에서 활용할 수 있다. 이에 인간의 사고와 판단을 대신할 수 있는 인공지능의 개념이 로봇 시스템의 여러가지 작업제어에까지 응용이 급속도로 확대되어 가고 있다. 인공지능을 활용한 로봇제어 시스템의 개발로 이제 로봇은 복잡하고 다양한 정보가 시간에 따라 변하는 여러 작업환경에 순응할 수 있게 되었다.

지금까지는 많은 노력이 로봇자체의 지능화 노력과 각종 센서의 개발과 활용기술의

발달로 로봇이 작업상황과 환경을 쉽게 인식할 수 있게 되었으며, 이러한 센서들의 원리와 응용⁽¹⁾에 대한 정보는 문헌에서 쉽게 찾아 볼 수 있다. 따라서 여기서는 로봇제어의 관점에서 본 인공지능의 활용측면에서 서술하고자 한다.

2. 로봇제어

로봇제어를 제어의 목적에 따라 분류하면 크게 궤적제어(trajjectory control)와 순응운동제어(compliant motion control)로 대별된다. 또 순응운동 제어는 임피던스 제어(impedance control)와 동적 복합제어(dynamic hybrid control)로 나눌 수 있다.⁽²⁾

궤적제어는 로봇의 끝점이 주위환경과 접촉이 없이 목적하는 궤적을 추적하도록 제어하는 것이다. 궤적제어의 작업 예를 보면 페인트 스프레이 작업, 부품이송, 점 용접 등이 단순한 위치제어 작업에 해당되고, 좀더 정교한 궤적 추적제어 능력이 요구되는 작업으로는 프라즈마 용접, 레이저 절단 등이 있다.

순응제어는 로봇이 작업환경과 접촉하고 있는 경우의 로봇제어를 말한다. 그림 1과 같이 칠판에 글씨를 쓰는 문제가 전형적인 순응제어 문제이다. 이 경우에 순수 위치제어는 바람직하지 않다. 왜냐하면, 수직방향의 작은 오차로도 분필과 칠판의 접촉이 일어나지 않을 수도 있고, 반대로 분필을 부러뜨릴 수도 있을 것이다. 그러므로 이 경우에는 수직방향의 접촉력제어가 필요하다. 순응제어에 해당되는 작업으로는 볼트/너트 체결, 트리밍, 버 제거, 그라인딩, 폴리싱 그리고 여러가지 특별한 조립 또는 기계가공 작업들이 있다. 순응작업을 수행할 수 있는 능력을 갖춘 로봇이 점점 많이 개발되어 산업현장에 투입되고 있다. 인간과 같이 작업대상 물체의 작업조건과 환경을 종합적으로 고려할 수 있는 로봇시스템의 개발로 보다 더 어렵고 정교한 작업에도 로봇의 활용이 점차 확대될 것이다.

임피던스를 제어하는 순응운동제어에서는 목표로 하는 힘 또는 위치가 명시되지 않고 힘과 위치 사이에서 요구되는 동역학적 관계로 명시된다. 즉, 다시 말하면 기계적 강성이나 임피던스로 표현된다. 그림 2는 가상 순응운동을 나타내고, 그림 3은 그림 2에 대한 가상 순응운동제어 시스템의 보기이다.

동적 복합순응제어는 케적제어에서 사용되는 계산된 토크기법을 활용한 순응제어이다.

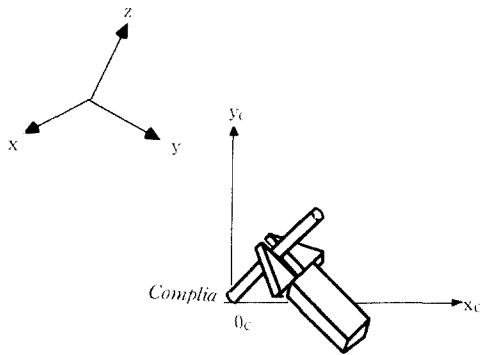


그림 1 칠판에 글씨 쓰기⁽²⁾

즉, 동역학을 관절각 좌표계 대신 작업공간 (working space) 좌표계로 변환시켜서 위치와 힘 또는 기계적 임피던스를 제어한다. 그림 4와 5는 동적 복합 순응문제와 그 제어시스템의 물력선도를 각각 보여준다.

그러나 이러한 로봇제어 시스템들은 설계자가 제어목표를 설정하고 이를 만족하도록 제어대상에 대한 모델링 및 선형화 작업, 목

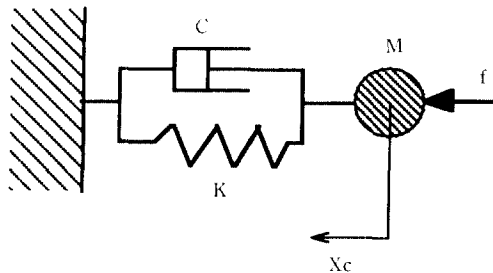


그림 2 가상 순응 운동⁽³⁾

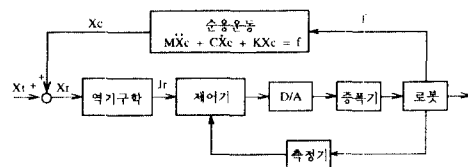


그림 3 가상 순응 운동 제어시스템⁽³⁾

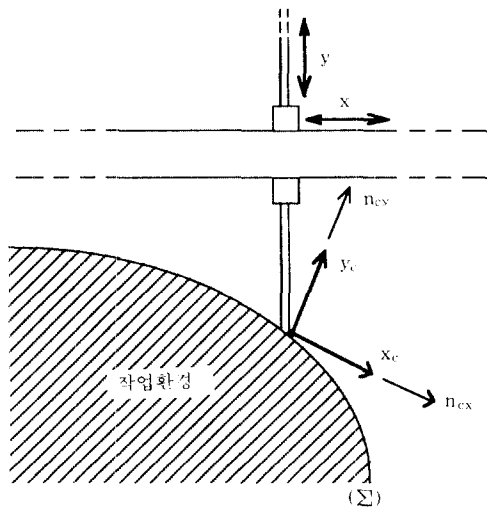


그림 4 동적 복합 순응운동⁽²⁾

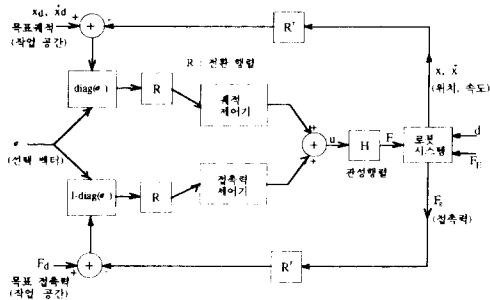


그림 5 작업 좌표계에 있는 로봇시스템의 복합 제어기⁽²⁾

표값과 제어기 구조, 제어상수 등을 결정하여 제어기를 설계한다. 또 제어기는 고정된 평가함수에 의해 목표값과 상태의 편차를 평가하면서 로봇시스템을 목표값에 도달시켜야 한다. 그러나 로봇시스템의 동역학의 불확실성과 비선형성, 시변성 등이 로봇제어를 어렵게 하고 있어서 이를 극복하기 위해서는 이미 개발되어 사용하고 있는 많은 제어 알고리즘에 인간의 사고와 판단기능을 인공화시켜서 로봇제어에의 적용이 요구되고 있다.

3. 지능제어

변화에 대한 적응은 생체조직의 근본적 특성으로 속해 있는 환경조건의 변화안에서 생리학적 균형을 유지하기 위한 자구적인 노력이다. 그러므로 적응시스템의 설계방법은 인간 또는 동물의 행동이 환경변화에 적응해가는 것을 모방하거나 그와 유사한 작용을 하는 시스템을 개발하는 것이다. 그것의 첫 시도로 원하는 목적을 달성시키기 위하여 외부에서 강제적으로 힘을 시스템에 가하기 시작했고, 최적의 방법들이 제시되어 개회로 제어에서부터 시작한 노력이 귀환회로(폐회로) 제어, 최적제어, 적응제어 그리고 최근에는 지능제어(신경 회로망, 퍼지제어)에까지 이르렀다. 그래서 이제는 시스템에서 요구하는 목적달성이 어려울 경우, 지능을 갖고 있는 인간과 같이 사고하여 판단할 수 있는 지

능과 스스로 배울 수 있는 능력을 갖춘 제어시스템의 구현이 끊임없이 추구하고 있다.

일반적으로 지능제어 시스템이 갖는 특성은 ① 제어대상의 수학적 모델링에 대한 의존도가 낮고, ② 많은 제어변수를 간단히 조직적으로 다룰 수 있으며, ③ 자체 구성력이 있어야 하고, ④ 불분명한 정보를 처리할 수 있어야 하며, ⑤ 경험과 학습등에 의해 성능이 개선되어야 한다.

3.1 적응제어

모든 실제적인 제어시스템은 변화에 적응하기 위한 학습과정을 포함하고 있다. 이러한 학습은 기본적인 제어 알고리즘에 논리적 표현으로 나타난다. 적응 시스템은 안정된 논리안에 많은 선언적 자체 학습법을 갖고 있다. 그림 6은 자기동조 적응제어기를 나타내며, 이러한 자기동조 제어시스템은 시스템의 변화에 대응하여 이득값을 적응시켜 나아가는 제어시스템이다.

적응제어를 위한 기법들의 사용에는 액츄에이터의 제약과 모델의 불확실성을 정확하게 처리할 수 있는 기술개발과 조직화되지 않은 불확실성을 추정할 수 있는 방법을 개발하는 것이 매우 중요하다. 그러나 아무리 좋은 제어알고리즘도 초기 추정이 실제값과 너무 동떨어져 있으면 소용이 없다. 초기의 빈약한 자료가 심지어는 불안정한 귀환회로

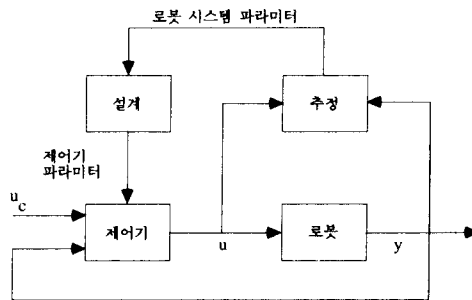


그림 6 자기동조 제어 시스템⁽⁶⁾

시스템을 유발시킬지도 모르기 때문이다.

3.2 전문가 시스템

전문가 시스템에서는 지식의 표현이 주요 인자이다. 전문가 시스템은 시스템에서 필요로 하는 지식과 과정을 전문가가 문제를 풀어가는 과정을 활용하여 모델링하도록 하는 것이다. 전문가 시스템에서는 지식의 표현이 중요한 인자이며 지식을 표현하는 방법으로는 예측연산, 지식의 순차적인 표현, 언어적 회르망, 생산법칙, 생산 틀 등이 있다. 또한 지식 베이스 전문가 시스템은 결론 또는 안정된 목표에 도달하기 위한 법칙을 수행해 나가는 추론엔진, 사용자 연결 등으로 구성되어 있다. 그림 7과 8은 전문가 시스템을 이용한 로봇 시스템의 제어 개념도와 전문가 시스템에서 복합적인 지식 표현방법을 각각 나타낸다. 그리고 그림 9는 로봇이 환봉을 구멍에 삽입하는 작업의 경우 지식 베이스에 의한 로봇시스템의 행동인식 사이클을 보여주고 있다.

전문가 제어의 개념은 전문가 시스템에 의해 관장되는 제어, 관측, 적응 등을 표현하기 위한 알고리즘의 집합을 갖기 위한 것이다. 그러므로 한편으로는 전문가 제어시스템은 자기동조 조절기의 자연적인 연장선에 있다고 할 수 있다.

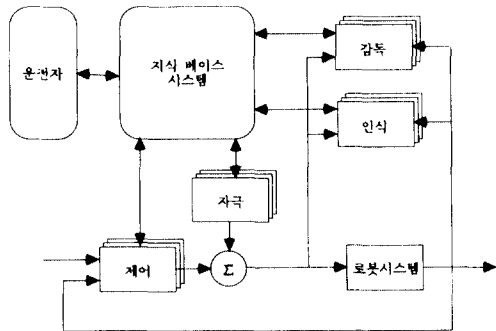


그림 7 지식 베이스 전문가 제어 시스템⁽⁶⁾

3.3 학습 제어시스템

학습시스템은 인공지능, 인공두뇌, 생물학의 분야에서 발전되었다. 학습시스템은 인간의 학습능력을 모방하거나 표현하려고 노력하고 있다. 이러한 목적의 달성은 아직도 요원하지만 실제로 적용된 학습 제어시스템은 적응제어와 매우 밀접한 관계가 있는 간단한 시스템들로, 신경회로망, 퍼지 논리 등의 이름으로 표현된다.

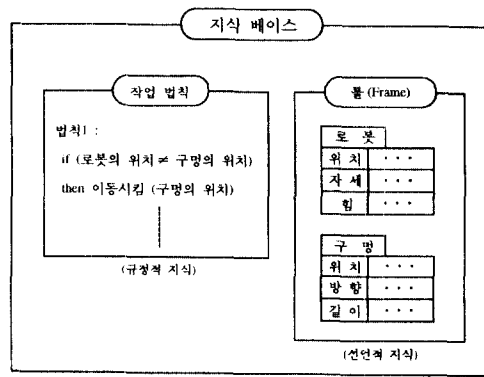


그림 8 복합적인 지식 표현⁽⁶⁾

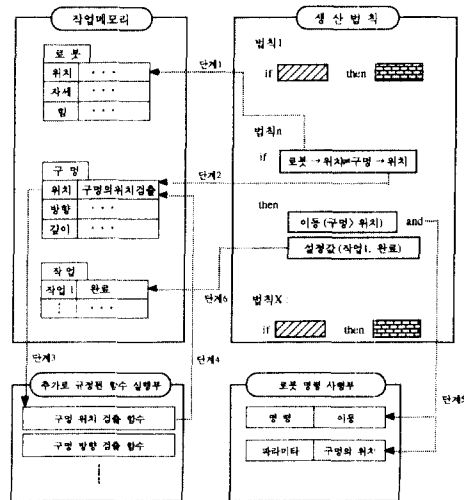


그림 9 지식 베이스 로봇 시스템의 행동인식 사이클⁽⁶⁾

3.3.1 퍼지제어

퍼지제어기는 숙련된 인간 조작자의 제어 방식을 퍼지알고리즘으로 전개하여 실현한 제어기로서, 모델링이 불가능한 대단위 계통 및 복잡한 시스템과 모델링의 수립이 가능하더라도 특성변화가 심한 비선형 또는 시변성을 갖는 시스템에 직접 적용이 가능하다. 정확한 수학적 모델링이 불가능하거나 가능하더라도 심한 비선형 특성의 계통을 제어할 수 있는 제어이론으로 전문가 지식을 기본으로 한 퍼지논리 제어기들이 개발되고 있다.

동적 시스템을 제어하기 위한 퍼지제어 규칙을 구하는 대표적인 방법은 다음과 같다.⁽⁵⁾

- (1) 전문가의 경험이나 제어공학의 지식을 이용하여 규칙을 구하는 방법
- (2) 제어조작자의 동작을 모델링 함으로써 구하는 방법
- (3) 제어대상의 퍼지모델을 구하고, 퍼지 시스템 이론을 적용하거나 시뮬레이션을 통해 구하는 방법
- (4) 자기구성 제어기에서와 같이 학습에 의해 규칙을 얻는 방법

그림 10은 퍼지이론을 이용한 제어시스템의 구성을 나타낸다. 퍼지화기는 수치적 정보를 퍼지집합으로 전환하는 연산자로 퍼지하지 않은 시스템 출력으로부터 얻은 출력오차를 퍼지집합으로 변환시킨다. 퍼지추론 장치는 퍼지법칙에 의해 결론을 추론해내며, 비퍼지화기는 추론결과로서 얻어지는 자료가 퍼지집합 형태이므로 로봇시스템을 제어하기 위해서 비퍼지화한 출력을 발생시킨다.

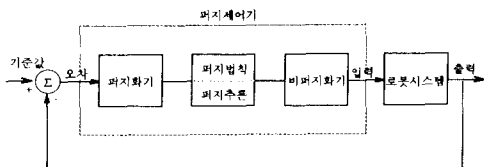


그림 10 퍼지제어 시스템의 구성⁽⁵⁾

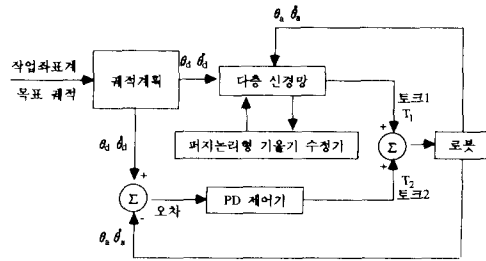


그림 11 다층 신경망을 이용한 로봇제어 시스템⁽⁴⁾

3.3.2 신경회로망

신경회로망은 인간의 사고능력을 컴퓨터에 적용하기 위해 고안되었다. 인간의 신경망 형태는 ① Perception model, ② Hopfield model, ③ Hamming model, ④ Neocognitron 등으로 분류된다. 이러한 신경회로망은 비선형 동역학 시스템에 대한 지식을 코드화시키고, 학습자료에 의해 시스템 파라미터를 조절하고, 수학적 연산기능과 평행형 구조로 되어있다. 그림 11은 다층 신경망을 이용한 로봇 제어 시스템을 나타낸다.

4. 로봇의 지능화

로봇의 지능화는 로봇의 활용범위가 확대되면서 다양한 작업환경에 인간을 대신하여 작업에 투입시키기 위한 것이다. 지능화는 각종 센서를 이용하여 주어진 작업환경에서 정보를 얻어 로봇이 작업수행에 필요한 자료를 얻어내는 것이다. 주로 사용되는 센서는 인간의 오감에 해당되는 시각, 촉각, 후각, 미각, 청각과 감각 기능 그리고 기억과 사고 및 판단 등의 인공적으로 대신할 수 있는 것들이다. 센서는 한 형태의 에너지를 다른 형태로 바꾸는 기능을 갖는 기기로 오늘날 로봇과 함께 사용되는 센서를 용도에 따라 분리하면 다음과 같다.

- (1) 부품검출 센서

- (2) 추적센서
- (3) 힘 반응센서
- (4) 영상 센서
- (5) 거리측정센서

이러한 센서들은 일반적으로 압력, 힘, 속도, 가속도, 흐름, 임피던스 또는 다른 형태의 물리적 양을 측정한다. 주로 많이 사용되는 센서는 주로 시각센서인 카메라에 의한 영상센서와 촉각센서인 힘제어용인 힘/토크센서가 있다. 이와 더불어 로봇을 움직일 수 있는 이동기능, 자료의 기억기능, 그리고 사고 및 판단기능을 갖게 하여 로봇의 지능화를 달성할 수 있을 것이다.

5. 적용사례

로봇시스템의 지능제어에 관한 많은 연구 중에서 최근에 발표된 몇 가지 연구를 간략하게 소개하고자 한다.

박경택⁽⁷⁾은 기존 산업용 로봇의 디버링작업에 적용하는데 필요한 로봇시스템의 지능화를 화상처리기술, 힘센서 응용기술 및 통합제어 기술을 통하여 실현시켰다. 화상처리로 작업 부위, 버의 유무, 크기, 위치 등을 인식하고 절삭력에 따른 이송속도를 제어할

수 있는 기능을 부여하여 디버링 환경에 적용할 수 있도록 로봇시스템의 지능화를 달성하였다. Jin⁽⁸⁾은 고무인공근을 이용한 2자유도 로봇의 궤도추종제어를 비선형모델에 근저한 토크 산출제어에 퍼지보상기를 병렬로 배치하는 방법을 제안하였다. 심귀보⁽⁹⁾는 시각정보를 이용한 로봇의 끝점위치와 자세를 신경회로망을 이용하여 제어하는 시스템을 그림 12와 같이 제안하였다.

김정식⁽¹⁰⁾은 슬라이딩 제어기 적용시에 발생하는 떨림현상을 감소시키기 위하여 퍼지이론을 슬라이딩모드 제어기에 적용시켰다. 김재희⁽¹¹⁾는 이동로봇의 바퀴의 미끄러짐을 탐지하고 바퀴의 선속도를 추정하는 방법을 신경회로망을 이용하여 제안하였다.

6. 맺음말

로봇이 작업장에 출현하면서 생긴 분명한 질문중 하나는 노동력에 무슨 일이 일어날 것인가? 였다. 로봇과 새로운 기술이 노동력에 미치는 전체적인 영향이 지속적으로 조사 평가되고 있지만 단정적으로 말할 수가 없다. 그러나 분명한 사실은 로봇이 많은 작업자를 대신해 나아가고 있으며, 그 속도는 경제와 노동환경의 영향이 얼마나 빨리 산업 현장에서 로봇과 신기술을 요구하느냐에 달렸다. 이제 로봇이 단순한 기계의 개념을 벗어나고, 제어에 대한 새로운 기법들이 개발되고 실용화됨으로써, 로봇은 더 많은 기능과 인공지능에 준하는 지능을 갖게 될 것이며, 궁극적으로 단순작업에 이용되던 로봇이 앞으로는 사고하고 판단을 필요로 하는 작업까지 수행할 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) 정광조, 임선중, 1993, "로봇 제어기술의 지능화," 기계와 재료, 한국기계연구원, 제10권 제3호, pp. 55~68.

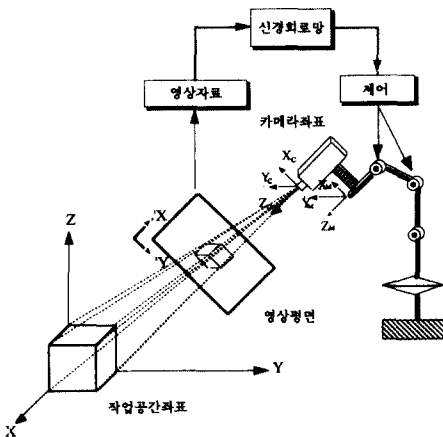


그림 12 시스템 개략도⁽⁹⁾

- (2) Asada, H. and Slotine, J. E., 1985, *Robot Analysis and Control*, John Wiley and Sons.
- (3) Shimizu, T., 외, "Intelligent Assembly Operation by a Compliance Robot," NOK 주식회사.
- (4) 강 훈, 1992, "Fuzzy 논리의 Control 응용," Tutorial 교재, 제2회 인공지능/신경망 및 퍼지 시스템 종합학술대회, pp. 87~168.
- (5) 김성환, 1992, "차세대 컨트롤 시스템 (EIC System)," '92 공장자동화기술 세미나, (주)첨단.
- (6) Astrom, K. J. and Wittenmark, B., 1989. "Adaptive Control," Addison-Wesley Publishing Co..
- (7) 박경택 외, 1993, "디버링용 지능 로봇 시스템에 관한 연구," '93 한국자동제어 학술회의논문집, pp. 256~263.
- (8) Jin, S., 외, 1993, "고무 인공근 매니퓰레이터의 퍼지제어에 관한 연구," '93 한국자동제어 학술회의논문집, pp. 1047~1051.
- (9) 심귀보, 1993, "시각정보에 의한 로봇 매니퓰레이터의 위치·자세 제어(신경회로망 이용)," '93 한국자동제어 학술회의논문집, pp. 1042~1046.
- (10) 김정식, 최승복, 1994, "퍼지-슬라이딩 모드를 이용한 로봇의 강건추적제어," 대한기계학회 94 춘계학술대회논문집(I), pp. 758~761.
- (11) 김재희 외, 1993, "신경회로망을 이용한 이동로봇의 위치 추정제어에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제10권 제3호, pp. 141~151. 