

로봇의 실시간 제어에 대한 계층적 분석방법의 실현성에 대한 연구

진 현 수

천안대학교 정보 통신학부

A Study of The Problem of Implementation of Analytic Hierachy Process for Real-Time Robot Control

Hyun-Soo Jin

Devison of Information & Communication, Cheonan University

요 약

원격 조작기는 같은일을 반복적으로 수행하지 않는다는 점에서 산업용 로봇과는 구별된다. 같은 작업을 연속적으로 수행한다는 점에서 산업용 로봇은 실시간용 로봇과 구별된다고 할수 있다. 그런데 로봇의 제어용 프로세싱 방법은 여러 가지 요인들이 복합되어 하나의 출력으로 양상된다. 본 논문에서는 원격 제어기의 모델링 오차를 입력 요인으로 힘, 위치, 운동량이 문제가 되었을 경우에 이를 계층적 방식으로 대안을 제시하고 이를 해결하는 방식을 다속성 가치 평가 방식으로 평가 하였을 경우에 나오는 출력 방식을 PID 출력 방식과 비교하여 평가함으로써 유효함을 들어 실시간용 제어방식으로 계층적 제어방식이 적절하게 사용될수 있음을 증명한다

1.서론

특수한 작업 환경 아래에서 인간이 좀더 안전하고 효율적으로 작업을 수행하기 위해서 원격 조작이 요구된다. 일반적으로 원격 조작기는 마스터 조작기와 슬레이브 조작기의 한쌍으로 구성된다. 원격 조작기는 반복적인 일을 하지 않는다는 점에서 산업용 로봇과는 구별되어지며 조작사가 작업을 하는 동안 직접 판단을 내리며 조작기에 제어 명령을 내린다는 점에서 제어 루프에 포함된다. 원격 조작기의 제어방식인 단방향 제어방식과 양방향 제어 방식은 모두다 제어하는데 평가 요인으로 들어가는 힘,위치,운동량이 문제가 되어 이러한 문제가 함께 뒤섞인 모양의 입력이 제어량으로 쓰인후 결과 출력이 이루어 지는 조작기이다. 한편 기존의 PID 제어를 비롯한 고전제이 이론과 상태 공간(state space)을 이용하는 최적

제어(optimal control)같은 현대 제어 이론은 제어하고자 하는 시스템의 수학적인 모델에 의존하지만 이런 수학적 모델을 얻기가 어렵고 얻었다 하더라도 얻어진 모델은 항상 모델일 오차들 포함하기 마련이므로 실제 환경에서 설계 성능을 만족시키기 어려운 경우가 많다

1980년대 초반부터 이러한 기존 이론의 결집인 모델링의 어려움, 모델링의 오차에 대한 민감성과 비선형 시변 시스템에 대한 현실적 적용에 따르는 문제점을 극복하기 위하여 신경망 제어 및 퍼지 비선형 시변 시스템에 대한 다양한 제어 이론이 개발 또는 재조명 되고 있다. 본 논문에서는 힘,위치,운동량의 제어조건을 얼마만큼 원격조작기가 여러 가지 각도의 원격 조작기를 제어하는 입력사항으로 사용하는나에 따라 계층 분석 방법의 사용 여부가 달려 있다고 할 수 있다. 지금까지 실시간용 로봇제어의 연속성 제어구현에 다속

성 평가 방법인 계층 분석방법을 사용한 적은 없다고 할 수 있다. 특히 양방향제어기의 섬세한 제어 실현 방법에 이산 분석 방법인 계층적 분석방법을 사용하여 실시간용으로 사용을 하여 좋은 특성을 얻어 냈다는 것이 이논문의 특징이라고 할 수 있다.

2. 양방향 조작기

원격 조작기는 매우 광범위한 분야에서 연구 또는 이용되고 있다. 인간이 우주로 많은 유/무인 로켓을 발사하면서 우주 공간에서도 원격 조작기가 실험되고 있으며 해저 광물의 채취 및 동식물의 탐사, 원자력 발전소의 원자로 보수, 화재 진압, 건설이나 군사적인 용도에 이르기 까지 원격 조작기의 유용성은 앞으로 더욱 많아질 것이며 따라서 원격 조작기의 양방향 제어도 더욱 중요한 과제가 될 것이다. 하지만 원격조작기의 양방향 제어에 개입되어지는 다속성에 의한 불안정 제어 특성에는 효과적인 특정방법이 없었으나 AHP의 장점을 이용해서 더 안정 되고 좋은 성능을 가지는 양방향 제어를 구현하고자 한다

양방향 제어기는 off-line으로 출력을 미리 계산해둔 lookup table을 사용하여 실제 제어시의 계산시간을 줄여서 샘플링 타임을 최소화 하였다. IBM PC에서 소프트웨어로 구현 되었다. 원격 조작기는 인간의 오감과 같은 다양한 인지 능력이 필요하며 이러한 인지 특성이 양방향 제어의 정밀도를 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있다. 그러한 특성으로는 비전특성, 힘, 근접 감지성, 접촉성등의 요인이 적용 되어져야 하며 이런 요인을 확인하기 위한 센서들이 부착 사용되고 있다. 아래 그림은 양 방향 제어에 사용되는 원격조작기의 일반적인 구조를 나타내고 있다.

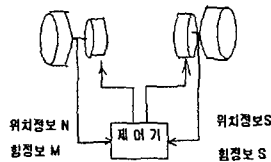


그림 1 원격 조작기 구조

제어기는 마스터 조작기와 슬레이브 조작기로부터 현재의 위치와 힘정보를 읽어 들인 다음 적절한 제어 알고리즘을 사용하여 각 조작기를 구동시키기 위한 토크를 출력한다

본문에서는 위치와 힘을 계층적 다속성 대상으로 통합한 방식을 사용한다

3. 계층분석 방법 제어기

3.1 AHP의 개요

계층분석 방법은 정량적 분석법의 일종으로 1970년대 초에 Satty에 의해 개발되었다. 이 기법은 대안의 평가 및 채택을 위한 의사결정기법의 하나로써 이미 이 기법에 대하여 많은 연구가 진행되어 있다. 일반적인 대안 평가방법인 다속성 가치방법(multi-attribute value method)은 각 대안들이 가지는 속성의 범주를 추출하여 각 속성의 값을 구하고, 소정의 과정을 통하여 각 속성의 가중치를 가정한 후에, 각 속성 값을 가중치로 보완한 총합계를 기준으로 대안을 평가하는 의사 결정기법이다. AHP는 다수의 목표, 다수의 평가기준, 다수의 의사결정 문제를 계층화하여 상위 계층에 있는 한 요소의 관점에서 직계 하위 계층에 있는 요소들의 상대적 중요도(weight : 행렬식에서는 가중치)를 쌍별 비교(pairwise comparison)에 의해 평가한 후, 궁극적으로 최하위 계층에 있는 대안들의 중요도를 구하는 것이다.

AHP 기법은 의사결정자의 오랜 경험이나 직관 등을 평가의 바탕으로 하고 있기 때문에 수치로 표현할 수 있는 객관적 평가기준은 물론, 흔히 의사결정 문제에서 다루기 힘든 주관적인 평가기준들도 비교적 쉽게 처리할 수 있다.

3.2 AHP의 적용 절차

AHP를 이용하여 의사 결정 문제를 해결하고자 할 경우에는 일반적으로 다음과 같은 4단계를 갖는다.

(단계 1) 주어진 의사결정 문제를 계층 구조로 분해한다.

(단계 2) 같은 계층 구조에 있는 요소들 대상으로 쌍별 비교를 한다.

(단계 3) 계층의 고유치(eigenvalue)를 구하고, 쌍별 비교된 요소들의 중요도를 추정한다.

(단계 4) 최하위 계층에 있는 대안들의 중요도를 구하기 위하여 각 계층에서 구해진 평가 요소들

의 중요도를 종합한다.

3.3 의사결정 문제의 계층화

AHP의 적용 절차 중 가장 중요한 단계인 계층화 단계는 주어진 의사 결정 문제를 상호 관련된 의사 결정 요소들로 계층화하여 문제를 분석하는 과정으로, 최상위 계층에는 가장 포괄적인 의사 결정의 목표가 놓여지고, 최하위 계층에는 선택의 대상인 대안들로 구성되며, 하위 계층으로 갈수록 평가요소가 구체적이어야 한다. 계층화 분석을 위한 계층 구조의 일례는 그림 3.1과 같다

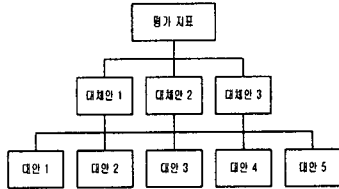


그림 2 계층화 분석을 위한 계층구조

3.4 평가 기준의 쌍별 비교

AHP에서 쌍별 비교는 어떤 계층에 있는 한 기준의 관점에서 직계 하위 계층에 있는 기준들의 상대적 중요도를 추정하기 위하여 평가 요소들간에 서로 비교하는 것으로 행렬로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 어떤 계층의 비교기준을 C_1, C_2, \dots, C_n 이라 하고, C_j 에 비해 C_i 의 중요한 정도를 a_{ij} 라는 수치로 표현할 때, 이들 n 개의 기준들간 쌍별 비교 결과는 다음과 같이 $n \times n$ 행렬로 나타낼 수 있다.

$$A = (a_{ij}) \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

여기서, 행렬 A 의 성분 a_{ij} 는 다음과 같은 규칙을 따른다.

규칙1. $a_{ij} = \beta$ 이면 $a_{ji} = 1/\beta$ 단, $\beta \neq 0$

규칙2. C_i 와 C_j 가 똑같은 중요한 정도로 중요하다면 $a_{ij} = a_{ji} = 1$ 이 된다. 특히 모든 i 에 대해 $a_{ii} = 1$ 이다. 따라서 행렬 A 는 다음과 같이 정립될 수 있다.

표 1 Satty의 9점 척도

어의 비교	정 수	역 수
Equal (동등)	1	9/9=1.00
-	2	9/8=1.13
Moderate (약간차이)	3	9/7=1.29
-	4	9/6=1.50
Strong (큰차이)	5	9/5=1.80
-	6	9/4=2.25
Very Strong (매우큰차이)	7	9/3=3.00
-	8	9/2=4.50
Extreme (절대적차이)	9	9/1=9.00

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

쌍별 비교의 과정에는 평가기준들에 대한 의사결정자의 선호 정도를 어의적인 표현에 의해 나타내고, 이에 상응하는 적절한 수치를 부여하는 수량화 과정이 포함되는데, Satty가 제안한 9점 척도가 기준이 되며, 표 1과 같다.

4. 계층 분석방법의 로봇제어의 구현의 타당성

4.1 단방향 위치제어

단방향 위치 제어 실험은 원격 조작기의 END EFFECT finger를 적당히 벌린다음 sine함수 형태의 주어진 궤적을 따라 finger를 여닫게 하였다. sine함수의 주기는 2초이며 그동안 finger는 5.5cm를 여닫게 하였다. PID제어기를 사용한 결과와 계층 분석 제어기를 사용한 결과를 그림3에 나타내었다

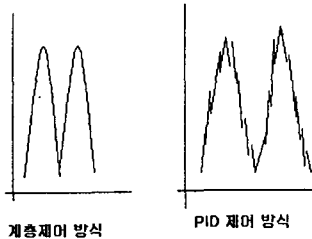


그림 3 제어기의 출력 곡선

4.2 단방향 힘 제어

단방향 힘 제어 실험에서는 슬레이브 조작기는 움직이지 않고 매스터 조작기가 발생 시키는 힘이 sine 함수 형태의 궤적을 쫓아가게 하였다. 처음 실험에서 sine 함수의 주기는 0.4초이며 두 번째 실험에는 주기를 0.8초로 하였다, 첫 번째 실험 결과는 그림4에 두 번째 실험 결과는 그림 5에 나타 내었다

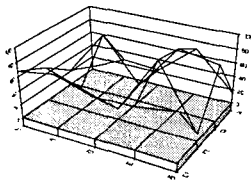


그림 4 힘제어 방식 PID 제어출력

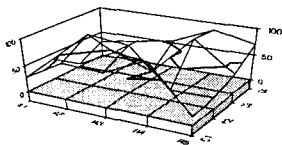


그림5 힘제어방식 계층분석방법제어 출력

4.3 양방향 힘, 위치, 운동량 제어방식

양방향 제어 실험에서는 매스터 조작기로 슬레이브 조작기를 움직이면서,물건을 집었을 때, 슬레이브 조작기에 가해지는 힘과 매스터 조작기가 발생시키는 힘 그리고 매스터 조작기와 슬레이브 조작기 사이의 위치 오차에 대하여 퍼지 제어기와 PID 제어기의 성능을 비교 하였다

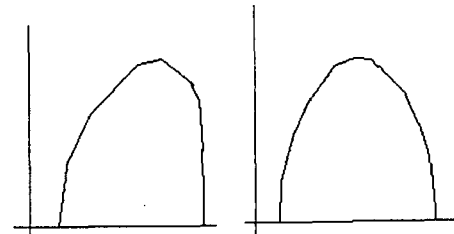


그림 6 양방향제어시 제어출력곡선

5. 결론

본논문에서는 로봇 핸드의 양방향 제어를 위한 퍼지 제어 알고리즘을 제안하고 필요한 하드웨어를 제작하여 구현하였다, 그리고 단방향 위치, 힘 제어, 양방향 제어 실험을 통해서 제안한 계층분석방법제어기와 일반적으로 많이 사용되고 있는 PID 제어기의 성능을 비교하였다. 위치-위치 제어와 위치-힘 제어 두가지 양방향 제어 방식중에서 위치-힘 제어방식이 위치-위치 제어방식에 비해 더 자연스럽게 우수하지만 안정성 문제로 실제로는 많이 사용되지 않고 있는데 본 논문에서는 불확실한 정보를 다루기에 적절하고 비선형 시스템의 제어에 우수한 성통을 가지고 있는 계층 분석 방법 제어기를 힘-위치 제어에 이용하여 보다 안정되고 빠른 응답을 가지는 원격 조작기를 구현 하였다.

참고 문헌

1. T.B. Sheridan, "Telerobotics", Automation, vol.25.no.4, pp.487-507, 1987.
2. C.C. Lee, "Fuzzy Logic Control systems: Fuzzy Logic controller, Part I", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol.20, no.2, pp.404-418, 1990.
3. C.C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part II", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol.20, no.2, pp.419-435, 1990.