

퍼지 적응 제어를 이용한 컴플라이언스 로봇에 관한 연구

노 홍 식 김 승 우 박 민 용

연세 대학교 공과 대학교 전자 공학과

ABSTRACT

This paper proposes a compliance robot control algorithm using fuzzy adaptive controller and fuzzy compliance vector generator. In the compliance robot control, we need more adaptivity because the linear modeling in robot dynamics is getting more difficult by contact with external environment.

Existing adaptive controllers have difficulty in realtime processing. So in order to overcome it, We adopt fuzzy adaptive controller and propose fuzzy compliance vector generator for flexible compliant motion.

We analyze and confirm the proposed algorithm by surface processing experiment with a control system implemented by VME system.

1. 서론

현대 산업의 발전과 더불어 최근에는 공장 자동화와 같은 여러가지 면에서 인간이 할 수 있는 작업의 대응으로 상당한 부분에 이르기까지 산업 로봇이 사용되고 있다 이러한 관점에서 로봇의 정밀 추적성에 관해 좀더 좋은 특성을 얻기 위하여 많은 모델링과 제어 기법들이 제시되어 왔다.

로봇 제어에서의 오차의 주된 요인은 로봇 역학의 비선형성에 있으며 또한 그것은 제어 한계를 나타내기도 한다. 특히 로봇이 외부 환경과의 접촉으로 인해 외부로부터 힘을 받는 어셈블리(Assembly)나 표면처리(surface processing)와 같은 정밀 작업을 해야 할 경우에는 역학의 모델링은 더욱 큰 오차가 발생한다.

이와 같은 이유로 외부로부터 받는 힘을 일정한 크기로 유지하려는 즉, 컴플라이언트(Compliant) 운동을 수행하려는 로봇 제어방식과 외부 환경으로 부터의 힘으로 인해 더욱 더 어려워진 로봇 역학의 모델링을 극복하는 방법으로서 로봇 역학에 무관한 적응 제어를 적용하려는 알고리즘이 필요하다. 그러나, 컴플라이언스 선택 벡터를 이용하는 엔코더 피드백과 힘 센서 피드백의 고정된 가중치로 구성되는 현재의 방법으로는 고속의 유연한 컴플라이언트 동작을 실현할 수 없다. 이것의 극복을 위하여 퍼지논리를 이용하여 적합한 가중치를 계속해서 수정 결정하는 방법을 제시하며, 로봇 역학의 비선형성의 극복을 위하여 실시간처리의 퍼지적응제어기법을 적용한다.

2. 퍼지 적응 제어기의 구조

적응 제어기의 퍼지 입력은 다음과 같이 정의되어 진다.

$$E_k(\text{output error}) = r - Y_k$$

$$\Delta E_k(\text{change value of output error}) = E_k - E_{k-1}$$

여기에서 r : desired output Y_k : real output.

퍼지 제어기는 구조적으로 미세한 시스템의 특성 변화에 대해서는 강건성(ROBUST)을 갖는다. 그러므로 퍼지적응 제어에서 미세한 시스템의 특성 변화에 따른 룰의 형태를 변화시킬 필요가 없으며 큰 변화에 대해서만 룰 구조를 변화시키면 된다.

이런 개념에서 그림.2-1과 같은 구조를 갖는 퍼지 적응 제어를 설계했다.

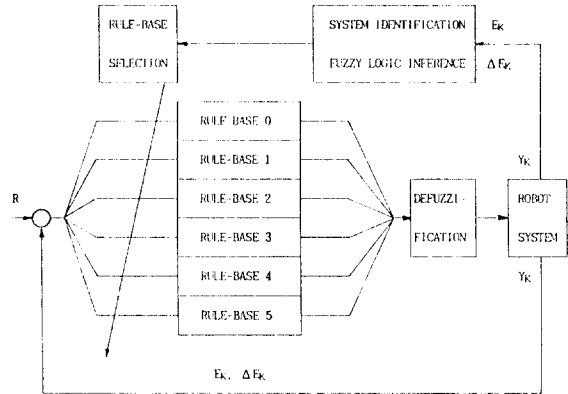


그림.2-1 Architecture of Fuzzy Adaptive Controller

R.B.1(Rule-Base)은 시작점(Starting Point)에서의 룰 베이스이며 R.B.2 - R.B.6는 정상상태에서의 시스템의 특성 변화에 따라 선택되어질 5개의 룰 베이스이다. 여기서 R.B.2가 기준 룰 베이스(REFERENCE RULE BASE)로 다음과 같은 구조를 갖는다.

ΔE	E	N	Z	P
N	NB	NS	PS	
Z	NS	PS	PB	
P	PS	PS	PB	

N:NEGATIVE P:POSITIVE Z:ZERO
PS:POSITIVE SMALL PB:POSITIVE BIG

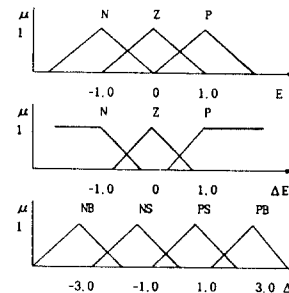


그림.2-2 Rule-Relation and Membership Function of R.B.2(Referencial rule-base)

나머지 4개의 룰 베이스는 퍼지한 영역과 멤버십 함수(MEMBERSHIP FUNCTION)을 이동시킨 구조로서 시스템의 특성 변화에 적용할 수 있도록 주적속도와 강건성에 있어서 각각의 다른 특성을 갖추고 있다.

시스템의 특성 변화의 측정으로부터 어떤 룰을 선택할 것인가를 추론하는 방법은 퍼지 입력 E, ΔE로부터 다음과 같은 추론 원리를 갖는다.

IF E IS POSITIVE BIG AND ΔE IS POSITIVE BIG
THEN SELECTION IS POSITIVE BIG
IF E IS NEGATIVE BIG AND ΔE IS NEGATIVE BIG
THEN SELECTION IS NEGATIVE BIG

실제로 사용한 룰 관계(RULE RELATION)는 다음과 같다.

ΔE E	NC	ZC	PC
NC	NH	NL	ZC
ZC	NL	ZC	PL
PC	ZC	PL	PB

NC:NEGATIVE CHANGE PC:POSITIVE CHANGE
ZC:ZERO CHANGE

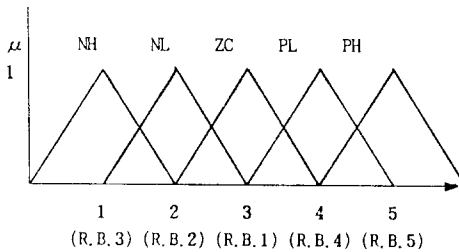


그림.2-3 Inference Logic for Rule-Base Selection

퍼지 입력의 에러와 에러의 변화율의 멤버십 함수에서 ZC는 퍼지 제어기의 룰 베이스를 전 단계(STEP)의 룰 베이스로 유지하려는 성질을 갖고 있으며 NC, PC는 룰 베이스를 바꿀려는 성질을 갖는 멤버십 함수로 구성되어 있다. 각 단계에서 룰 베이스 선택 추론을 거친 후 결정된 룰 베이스가 그 단계에서의 퍼지 제어를 수행하게 된다.

3. 퍼지 컴플라이언스(Fuzzy Compliance)

컴플라이언트 동작을 하는 로봇트의 각 조인트에 가해지는 제어 신호는 힘 피드백 루프와 위치 피드백 루프가 컴플라이언스 선택 벡터에 의해서 결정되는 각 자유도의 성분으로 구성되는 N개의 제어 성분을 갖는다.

$$\tau_i = \sum_{j=1}^N \{T_{ij} [S_j \Delta f_j] + \psi_{ij} [(1-S) \Delta x_j]\}$$

여기서 τ_i = Torque applied to ith actuator
 Δf_j = Force error in jth DOF of {C}
 Δx_j = Position error in jth DOF of {C}
 T_{ij} & ψ_{ij} = compensation function of force and position for jth output
 S_j = a component of compliant selection vector

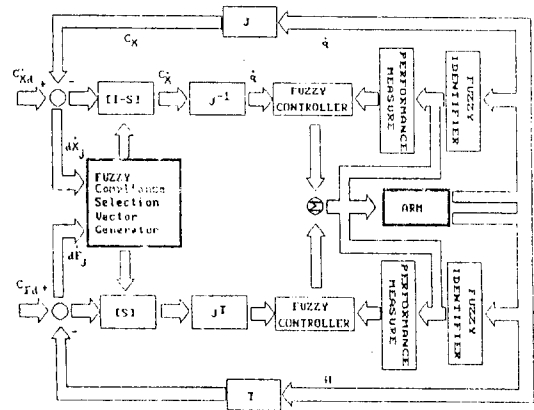
기존에 사용되어진 선택 벡터 S는 {C}에서의 자유도가 힘 제어에 속하는가 또는 위치 제어에 속하는가를 미리 결정해서 구성되는 2진 값이었다. 이렇게 구성된 고정형 컴플라이언스 선택 벡터는 힘 제어와 위치 제어를 적합하게 할당치 못하는 문제점을 갖고 있다. 이 문제를 위하여 컴플라이언스 선택 벡터를 매 단계마다 새로이 구성하는 퍼지 컴플라이언스 선택 벡터 발생기를 새로이 적용한다. 힘 오차와 위치 오차의 변화값을 퍼지 입력으로 선택 벡터의 성분을 추론하는 방법으로 그것의 룰 구성은 그림.3-1과 같다.

ΔE _p ΔE _r	PB	Z	NB
PB	M	L	M
Z	B	M	B
NB	M	L	M

PB: POSITIVE BIG
Z: ZERO
NB: NEGATIVE BIG
M: MEDIUM
L: LOW
B: BIG

그림.3-1 Fuzzy Relation of Compliance Selection Vector

4. 퍼지 적응 제어를 이용한 컴플라이언스 로봇트 제어 퍼지 컴플라이언스 선택 벡터 발생기를 이용한 컴플라이언트 로봇트 제어 시스템과 퍼지 적응 제어를 결합한 전체적인 로봇트 제어 시스템의 블럭도는 그림.4-1과 같다.



[S]: Selection vector J: JACOBIAN
Cpd Cxd : DESIRED SET POINT

그림.4-1 Fuzzy Adaptive Compliance Robot Controller

5. 시스템의 하드웨어 구성

그림.5-1에서는 로봇트 제어기의 하드웨어 구성도를 보여 준다. 퍼지추론과 실시간 처리를 위하여 VME버스에의한 병렬 처리를 사용했으며 메인 보드, TP(Trajectory Planning) 그리고 서보 제어로 각각을 구분하여 3개의 VME제어 보드를 사용했다.

