
이동물체 추적을 위한 퍼지제어 시스템 설계

강석범* · 김재기* · 양태규*

A Design of Fuzzy Control System for Moving Object Tracking

Suk-Bum Kang* · Jae-Gi Kim* · Tae-Kyu Yang*

요 약

본 논문에서는 추적시스템이 3차원 공간을 움직이는 이동물체를 추적한다. 오차없이 추적하기 위하여 제어 시스템은 인공지능을 가진 퍼지제어기를 사용하였다. 추적시스템은 요(yaw)운동과 롤(roll)운동을 통해 3차원 공간을 추적한다.

추적시스템으로는 2링크 매니퓰레이터를 사용하였고, 매니퓰레이터의 관절각 θ_1 는 0° 에서 360° 까지 회전할 수 있으며, 관절각 θ_2 는 0° 에서 180° 까지 회전할 수 있다. 퍼지제어기의 퍼지화 방법은 싱글톤방법, 제어 규칙은 25개, 추론법은 간략화된 Mamdani의 추론법, 비퍼지화방법은 간략화된 무게중심법을 사용하였다. 시뮬레이션은 퍼지제어기의 성능을 평가하기 위해 같은 조건하에 CTM제어기와 비교하였다. 매니퓰레이터에 외란 토크를 적용하지 않았을 때 두 제어기 모두 추적오차가 0에 가까웠으며, 외란토크가 0.4N 일 때 CTM제어기를 사용한 경우에는 퍼지제어기를 사용한 경우보다 시뮬레이션결과 절대오차합이 10배이상 큼을 알 수 있다. 퍼지 제어기가 CTM제어기보다 외란토크의 추가시 강함을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, when the moving object move to the three-dimensional space, the tracking system track the moving object using the fuzzy reasoning.

The joint angle θ_1 of the manipulator rotate from 0° to 360° , and the joint angle θ_2 rotate from 0° to 180° . The fuzzy singleton is used for fuzzification and the control rule is twenty five and the fuzzy inference method is simplified Mamdani's reasoning and the defuzzification is the SCOG(Simplified Center Of Gravity) of the fuzzy controller.

To measure of the performance of the designed system, the fuzzy controller is compared with the CTM(Computed Torque Method) controller at the same condition. when the disturbance torque is 0N, the both of CTM and fuzzy controller tracked object without error. However, the disturbance torque changed 0.4N, the CTM controller is 10 times greater than fuzzy controller at the sum of absolute error difference. The designed system is showed it's robustness against with disturbance.

Keywords: fuzzy controller, manipulator, tracking system, CTM controller

* 목원대학교 공과대학 전자정보통신공학부
접수일자: 2001. 7. 22

1. 서론

추적시스템인 매니플레이터는 각 링크와 링크사이 가 간섭된 복잡한 구조의 비선형 다변수 시스템이다. 매니플레이터의 제어를 위해 전제조건이라고 말할 수 있는 제어대상의 수학적 모델을 정확히 구하기는 쉽지 않다[1][2]. 또한 얻었다 해도 실제와의 모델링 오차는 생기기 때문에 수학적 모델로 설계한 제어가 실제 환경에서 설계성능을 만족하지 못하는 경우가 많다. 따라서 이런 점을 인식하여 모델링 오차를 고려한 강인한 제어기에 관한 연구가 있었다. 그 후 파라미터 감도의 영향분석의 난해함과 작업 환경의 다양함에 의한 현실적 적용에 따르는 문제점을 극복하기 위하여 적응 제어(Adaptive control), 가변구조제어(Variable structure control), 신경회로망(Neural network) 등의 다양한 제어이론이 개발되어 재조명되고 있다[3]. 그러나 이러한 제어 이론들은 많은 계산량이나 다양한 변화에 쉽게 대처하는 능력이 부족함으로 인해 활용의 유연성이 줄어들었다[4].

최근 많은 분야에서 복잡한 수학적 연산을 수행하지 않고 인간의 사고처럼 제어를 수행하는 지능제어 기법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 여러 지능제어 기법중에서도 퍼지 제어는 많은 분야에 걸쳐 관심을 끌고 있다. 퍼지논리 제어기는 사람의 생각과 지식을 언어적으로 표현하기 쉬워 전문가의 지식과 숙련자의 지식을 바탕으로 지식베이스를 구축하여 많은 수학적 계산없이 실제적인 제어에 응용이 용이하다. 또한 시스템에 대한 정확한 모델링없이 시스템의 응답에 대한 기본적인 정보만으로도 제어가 가능하여 비선형시스템의 제어에 적합하며 구현이 쉬워서 실용적인 면에까지 장점이 많다[5].

본 논문에서 매니플레이터는 2링크로써 첫 번째 관절각 θ_1 은 0° 에서 360° 까지 회전할 수 있으며, 두 번째 관절각 θ_2 는 0° 에서 180° 까지 회전할 수 있다. 그러므로 관절공간은 구의 방정식 $x^2 + y^2 + z^2 = L_2^2$ 의 상위 반구에 해당한다. Denavit-Hartenberg규약을 사용하여 매니플레이터의 기구학 모델을 얻었으며, Lagrange함수로부터 동력학 모델을 구했다.

매니플레이터를 제어하기 위한 퍼지제어기의 퍼지

화 방법은 싱글톤방법, 제어규칙은 정밀한 제어를 위해 25개의 규칙, 추론법은 시스템의 계산부담을 줄이기 위해 간략화된 Mamdani의 추론법, 비퍼지화방법은 간략화된 무게중심법을 사용하였다.

이 시스템의 성능을 알아보기 위해서 같은 조건하에 외란토크의 변화에 따른 최종오차와 절대오차합을 CTM(Computed Torque Method)제어기와 비교한다.

II. 매니플레이터의 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 2 링크 매니플레이터를 구성하였다. 이 매니플레이터에 대한 동력학(Dynamics)모델을 얻을 수 있다[6].

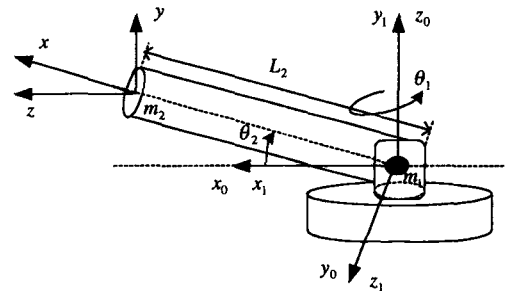


그림 1 매니플레이터 구조
Fig. 1 Manipulator structure

그림 1에서 θ_1 은 첫 번째 링크의 관절각, θ_2 는 두 번째링크의 관절각, x 는 말단장치의 x 좌표, y 는 말단장치의 y 좌표, z 는 말단장치의 z 좌표, L_2 는 링크 2의 길이, m_1 은 링크 1의 질량, m_2 는 링크 2의 질량을 나타낸다. 그리고 $\sin \theta_1$ 을 s_1 , $\cos \theta_1$ 을 c_1 로 표현했다.

동력학 기본 법칙은 가상일(Virtual work)의 개념과 결부된 Newton의 법칙, D'Alembert의 원리, Lagrange방정식, Hamilton방정식, 그리고 Hamilton의 원리 등을 이용하여 공식화한다. 이러한 모든 공식들은 모두 동등하며, 이들 모두 Newton의 법칙과 가상일의 원리로부터 유도된다. 동력학모델은 대부분 Newton-Euler 방정식이나 Lagrange 방정식으로부터 유도된다. Newton-Euler 방법에서는 매니플레이터의

각 링크를 차례로 다루어, 직선운동과 회전운동을 나타내는 방정식을 써서 내려가고 Lagrange 방법은 매니플레이터의 전체를 다루고 운동에너지와 위치에너지의 차이인 Lagrange 함수를 사용한다[7][8].

Lagrange 방법으로 동력학을 표현했다. 단, 각 링크의 관성모멘트는 질량중심만 고려하여 J_1, J_2 라 하면, 링크1의 토크는 식(1)와 같고, 링크 2의 토크는 식(2)과 같다.

$$\tau_1 = (m_2 L_2^2 c_2^2 + J_1) \ddot{\theta}_1 - 2m_2 L_2^2 c_2 s_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \dots\dots(1)$$

$$\tau_2 = (m_2 L_2^2 + J_2) \ddot{\theta}_2 + m_2 L_2^2 c_2 s_2 \dot{\theta}_2^2 + m_2 g L_2 c_2 \dots\dots(2)$$

III. 퍼지 추론을 이용한 추적제어

퍼지논리제어시스템은 현재의 조작량을 결정하는데 경험적 지식을 활용하여 시스템 제어에 필요한 제어규칙을 얻는다.

퍼지논리제어시스템은 그림 2와 같이 제어기가 경험적 지식과 제어전문가의 지식을 제어규칙으로 가지며, 또한 제어기가 제어규칙을 활용하고 주어진 편차에 대해 조작량을 판단결정하여 시스템의 입력으로 사용한다.

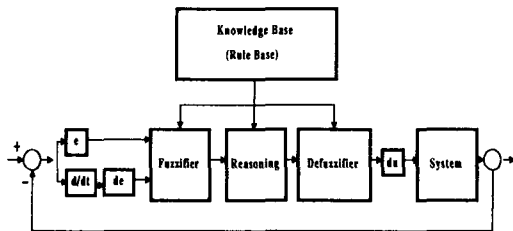


그림 2 퍼지논리 제어시스템
Fig. 2 Fuzzy Logic Control System

시스템에 외란토크를 추가하였을 때 퍼지제어기를 포함한 전체시스템을 그림 3에 나타내었다.

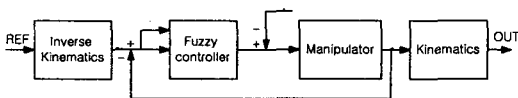


그림 3 제어 시스템의 구조
Fig. 3 System block diagram

본 논문에서 사용한 퍼지제어기는 그림 4와 같이 세 부분 즉, 퍼지화, 퍼지제어규칙, 디퍼지화로 구성된다.

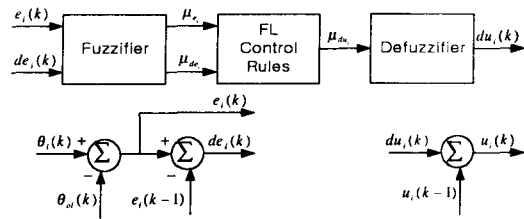


그림 4 퍼지 논리 제어기의 구조
Fig. 4 The structure of a fuzzy logic controller

2입력 신호 오차와 각속도오차를 퍼지논리제어기의 입력으로 받아 퍼지화기에서 퍼지화하였다. 그때 그들은 출력 제어 신호의 퍼지수를 결정하는 테이블에서 사용된다. 결과적으로 제어기의 출력을 추적하는 퍼지수들은 새로운 값으로 전환된다. $i=1$ 일 때 θ_1 , $i=2$ 일 때 θ_2 를 나타낸다.

제어대상의 입력변수는 토크이기 때문에 퍼지제어기의 출력은 토크가 되고, 제어대상의 출력과 기준입력의 차와 미분오차를 식(3)과 같이 입력변수로 한다.

$$\begin{aligned} e_1 &= \theta_{11} - \theta_{o1} \\ de_1 &= \dot{\theta}_{11} - \dot{\theta}_{o1} \dots\dots\dots(3) \\ e_2 &= \theta_{22} - \theta_{o2} \\ de_2 &= \dot{\theta}_{22} - \dot{\theta}_{o2} \end{aligned}$$

오차의 언어값(퍼지값)은 NB(Negative Big), NS(Negative Small), ZZ(Zero), PS(Positive Small), PB(Positive Big)의 다섯 개의 퍼지값으로 퍼지분할하였다. 소속함수의 모양은 종형을 사용하였다.

표 1은 $e_1, e_2, de_1, de_2, du_1, du_2$ 의 소속함수의 퍼지값을 나타낸다.

어디서나 X는 새로운 값 $e_1, e_2, de_1, de_2,$

du_1, du_2 의 하나를 추적할 수 있다. $w = \frac{\pi}{X_{max}}$ 는 사인, 코사인 함수의 주파수 순환운동으로 식(4)과 같다[9].

표 1 소속함수의 퍼지값
Table 1 Fuzzy value of membership function

	NB	NS	ZZ	PS	PB
e_1	-2π	$-\pi$	0	π	2π
e_2	$-\pi$	$-\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{\pi}{2}$	π
de_1	$-\frac{\pi}{25}$	$-\frac{\pi}{50}$	0	$\frac{\pi}{50}$	$\frac{\pi}{25}$
de_2	$-\frac{\pi}{50}$	$-\frac{\pi}{100}$	0	$\frac{\pi}{100}$	$\frac{\pi}{50}$
du_1	-1	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	-1
du_2	-15	$-\frac{15}{2}$	0	$\frac{15}{2}$	-15

$$\mu_{NB}(X) = \begin{cases} 1 & \text{if } X \leq -X_{\max} \\ |\cos(wX)| & \text{if } -X_{\max} < X \leq -X_{\max}/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\mu_{NS}(X) = \begin{cases} |\sin(wX)| & \text{if } -X_{\max} < X \leq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\mu_{ZZ}(X) = \begin{cases} |\cos(wX)| & \text{if } -X_{\max}/2 < X \leq X_{\max}/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\mu_{PS}(X) = \begin{cases} |\sin(wX)| & \text{if } 0 < X \leq X_{\max} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

$$\mu_{PB}(X) = \begin{cases} 1 & \text{if } X \geq X_{\max} \\ |\cos(wX)| & \text{if } X_{\max}/2 < X \leq X_{\max} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

오차 e_1 와 미분오차 de_1 를 각각 5개로 퍼지분할 하였다. 그러므로 제어규칙은 25개가 된다. du_1 도 5개로 퍼지 분할 하였으므로 규칙 표는 다음과 같다.

표 2 규칙 결정 표
Table 2 The rule decision table

de \ e	NB _{de}	NS _{de}	ZZ _{de}	PS _{de}	PB _{de}
NB _e	NB _{du} ¹	NB _{du} ²	NS _{du} ³	NS _{du} ⁴	ZZ _{du} ⁵
NS _e	NB _{du} ⁶	NS _{du} ⁷	NS _{du} ⁸	ZZ _{du} ⁹	PS _{du} ¹⁰
ZZ _e	NS _{du} ¹¹	NS _{du} ¹²	ZZ _{du} ¹³	PS _{du} ¹⁴	PS _{du} ¹⁵
PS _e	NS _{du} ¹⁶	ZZ _{du} ¹⁷	PS _{du} ¹⁸	PS _{du} ¹⁹	PB _{du} ²⁰
PB _e	ZZ _{du} ²¹	PS _{du} ²²	PS _{du} ²³	PB _{du} ²⁴	PB _{du} ²⁵

규칙결정 표를 If - then - 형식의 언어 조건으로 표현하면 다음과 같다.

- Rule 1 → IF NB_e AND NB_{de} THEN NB_{du} ELSE
 Rule 2 → IF NB_e AND NS_{de} THEN NB_{du} ELSE
 Rule 3 → IF NB_e AND ZZ_{de} THEN NS_{du} ELSE

 Rule 25 → IF PB_e AND PB_{de} THEN PB_{du}

본 논문에서는 추론법으로 Mamdani의 추론법을, 비퍼지화방법으로는 SCOG방법을 사용하였다. 표 2에 있는 i -번째 제어규칙을 R_i 는 다음과 같이 표현하면,

$$R_i = \text{If } e \text{ is } A_i \text{ and } de \text{ is } B_i \text{ then } du \text{ is } C_i$$

i -번째 제어규칙 R_i 에 의한 군사추론 결과를 C_i' , C_i' 을 COG 방법으로 비퍼지화한 값을 du_i , 전체 제어규칙에 의한 비퍼지화 추론결과를 du 라 하면 du_i 와 du 는 다음과 같이 구한다.

i -번째 제어규칙 R_i 의 적합도 w_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$w_i = \mu_{A_i}(e^0) \wedge \mu_{B_i}(de^0) \dots\dots\dots(5)$$

i -번째 제어규칙 R_i 에 의한 퍼지추론 결과 C_i' 은 다음으로 구하고

$$\mu_{C_i'}(du) = w_i \wedge \mu_{C_i}(du) \dots\dots\dots(6)$$

C_i' 을 COG 방법으로 비퍼지화한 추론결과 du_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$du_i = COG(C_i') \dots\dots\dots(7)$$

표 2에 있는 25개의 제어규칙에 의한 비퍼지화된 추론결과 du 는 식(8)로 구한다.

$$du = \frac{\sum_{i=1}^{25} w_i du_i}{\sum_{i=1}^{25} w_i} \dots\dots\dots(8)$$

IV. 시뮬레이션 및 결과 고찰

퍼지제어기와 비교하기 위하여 일반적으로 많이 사용하고 있는 CTM제어기를 그림 5에 나타낸다.

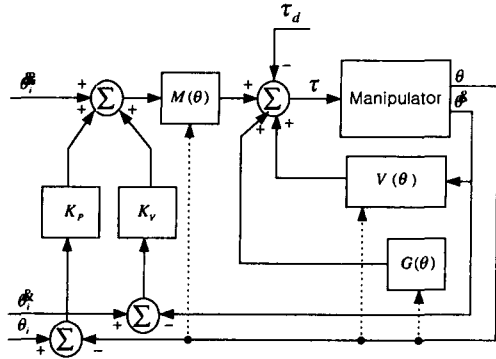


그림 5 CTM제어기
Fig. 5 CTM Controller

원하는 관절의 궤적을 추종하기 위해 필요한 입력 토크를 로봇 매니플레이터의 역동력학 모델로부터 직접 계산하는 방법이다. 이러한 역동력학 모델의 계산은 관절의 원하는 위치, 속도, 가속도를 완전히 알아야 구할 수 있다. 2링크 매니플레이터의 동력학 모델은 식(1), 식(2)와 같다. CTM 제어는 규정된 속도, 위치와 제한된 속도, 위치의 오차에 대한 선형 결합과 원하는 가속도를 더하여 역동력학 모델에 대한 입력을 산출하는 것이다.

즉, 식(9)과 같다.

$$\ddot{\theta}_j = \ddot{\theta}_{ij} + K_{vj}(\dot{\theta}_{ij} - \dot{\theta}_{oj}) + K_{pj}(\theta_{ij} - \theta_{oj}), \quad j = 1, 2 \quad (9)$$

여기서, K_{vj} 와 K_{pj} 는 각각 속도와 위치 게환이득이다. 원하는 입력토크는 식(10), 식(11)과 같다.

$$\tau_1 = (m_2 L_2^2 c_2^2 + J_1)(\ddot{\theta}_{ij} + K_{v1}(\dot{\theta}_{i1} - \dot{\theta}_{o1}) + K_{p1}(\theta_{i1} - \theta_{o1})) - 2m_2 L_2^2 c_2 s_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \quad (10)$$

$$\tau_2 = (m_2 L_2^2 + J_2)(\ddot{\theta}_{ij} + K_{v1}(\dot{\theta}_{i1} - \dot{\theta}_{o1}) + K_{p1}(\theta_{i1} - \theta_{o1})) + m_2 L_2^2 c_2 s_2 \dot{\theta}_2^2 + m_2 g L_2 c_2 \quad (11)$$

그림 1의 2링크 매니플레이터를 CTM제어기와 퍼지제어기를 사용하여 시뮬레이션을 위한 파라미터를 표 3에 보였다.

표 3. 2 링크 매니플레이터 파라미터
Table 3. 2 Link manipulator parameter

	질량(kg)	관성모멘트 (kg · m ²)	링크길이(m)
링크 1	5.0	0.05	0
링크 2	3.0	0.09	0.5

이동물체는 자유로이 움직일 수 있으며 속도를 가지므로 시뮬레이션을 위하여 이동물체의 움직임을 그림 6과 같이 하였다.

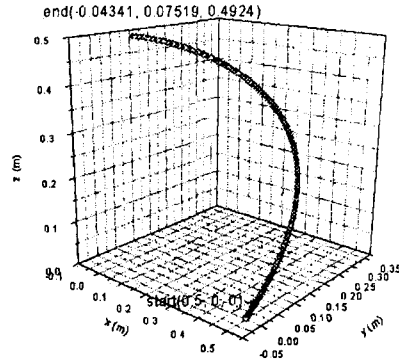


그림 6 이동물체 $x^2 + y^2 + z^2 = L_2^2$
Fig. 6 Moving objects

시작점을 말단좌표(0.5, 0, 0)에서 끝나는 점을 말단좌표(-0.04341, 0.07519, 0.04924)로 하였다. 매니플레이터의 관절공간은 $x^2 + y^2 + z^2 = L_2^2$ 을 만족하는 x, y, z 좌표이다. 이동물체가 어떻게 움직이든지 이 공간 안에 포함된다.

퍼지제어기와 CTM제어기를 사용하였을 때 각각의 성능을 비교하기 위하여 최종오차와 절대오차의합을 표 4에 대하여 나타내었다.

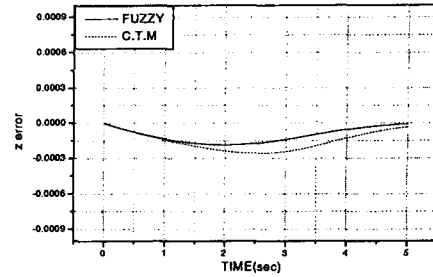
표 4 외란토크에 따른 CTM제어기와 퍼지제어기의 추적오차

Table 4 Tracking error of CTM controller and fuzzy controller by disturbance torque

외란토크		CTM제어기			퍼지 제어기		
		x	y	z	x	y	z
0	최종 오차	-0.00061	-0.00012	-0.00003	-0.00002	0.000041	-0.000008
	절대 오차합	1.37307	1.38190	0.78207	0.57643	0.66044	0.53118
0.2	최종 오차	-0.00766	-0.05657	0.011404	0.001257	-0.00382	0.000712
	절대 오차합	38.3897	65.9297	63.0435	4.39189	7.51944	4.93537
0.4	최종 오차	-0.00766	-0.05657	0.011404	0.002666	-0.00860	0.001635
	절대 오차합	76.4055	130.371	130.175	10.5603	17.58356	11.74804

각각의 오차를 비교하였을 때 퍼지제어기가 CTM 제어기 보다 오차가 적음을 알 수 있다. 그리고 표 4에서 추적오차의 절대합을 보면 외란이 증가함에 따라 퍼지제어기에 비해 CTM제어기가 절대오차합이 크다.

외란토크를 추가하지 않았을 때에 퍼지제어기와 CTM제어기에 대하여 그림 7은 (a) x의 추적오차, (b) y의 추적오차와 (c) z의 추적오차를 나타내었다. 외란토크가 추가되지 않았을 때 퍼지제어기나 CTM제어기 모두 오차가 거의 없음을 알 수 있다.

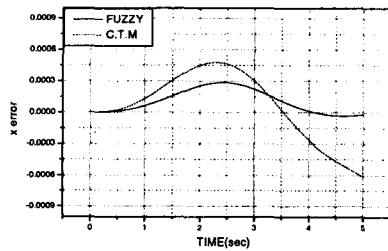


(c) z 추적오차

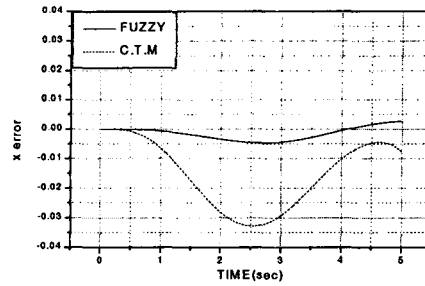
그림 7 외란토크=0 일 때 추적오차

Fig. 7 Tracking error in disturbance torques=0

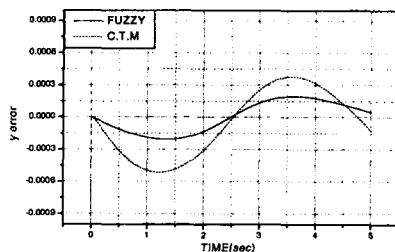
0.4N의 외란토크를 추가하였을 때 퍼지제어기와 CTM제어기에 대하여 그림 8은 (a) x의 추적오차, (b) y의 추적오차와 (c) z의 추적오차를 나타내었다. 시간에 지남에 따라 CTM제어기를 사용한 경우에는 오차가 커짐을 알 수 있다. 퍼지제어기를 사용한 경우는 추적오차가 거의 없다.



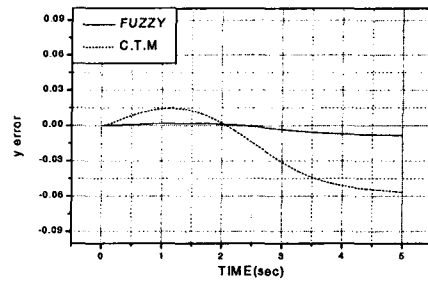
(a) x 추적오차



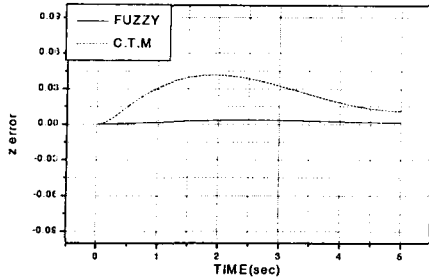
(a) x 추적오차



(b) y 추적오차



(b) y 추적오차



(c) z 추적오차
 그림 8 외란토크=0.4 일 때 추적오차
 Fig. 8 tracking error in disturbance torques=0.4

x, y, z 의 공간에 나타낸다면 외란토크를 추가하였을 때에 CTM제어기를 사용하면 오차가 더욱더 커질 것이다. 그림 7과 그림 8를 보면 알 수 있듯이 퍼지 제어기를 사용하므로 외란토크에 큰 영향을 받지 않았다.

V. 결론

본 논문에서는 추적시스템이 3차원 공간을 움직이는 이동물체를 추적한다. 요운동과 롤운동을 통해 3차원공간을 추적하는 추적시스템은 인공지능을 가진 퍼지제어기를 사용하므로써 관절오차와 추적오차가 0에 가까웠다.

또한 외란토크를 추가하지 않았을 때 CTM제어기를 사용한 경우 추적오차가 0에 가까웠다. 그러나 외란토크가 0.4N일 때 CTM제어기를 사용한 경우 x 의 절대오차합이 76.4055, y 의 절대오차합이 130.371, z 의 절대오차합이 130.175이고, 퍼지제어기를 사용한 경우 x 의 절대오차합이 10.58356, y 의 절대오차합이 17.58356, z 의 절대오차합이 11.74804이다. CTM제어기를 사용한 경우에 퍼지제어기를 사용한 경우보다 절대오차합이 10배이상 크다. 관절각, 관절속도, 추적속도에서도 절대오차합이 퍼지제어기를 사용한 경우보다 크다.

퍼지제어기를 사용하므로써 이동물체를 큰 오차없이 추적함을 보였다. 또한 외란토크가 추가되었을 때에는 CTM제어기를 사용한 경우에 비해 퍼지제어기를 사용한 경우가 큰 오차없이 이동물체를 추적함을 보였다.

참고문헌

- [1] Clarence W. de Silva, "Application of Fuzzy Logic in the Control of Robotic Manipulators", Fuzzy Sets and Systems Vol 70, pp223-234, 1995.
- [2] K. Ebaturo, O. Kaynak, I. Rudal, "A Study of Fuzzy Schemes for Control of Robotic Manipulators", IECON'95 Intl. Conf. on Industrial Electronics, Control and Inst. pp63-68, 1995.
- [3] F. L. Lewis, C. T. Abdallah, and D. M. Dawson, "Control of Robot Manipulators", Macmillan. Inc, New York. 1993.
- [4] M. Tarokh, H. Seraji, "a Multivariable Control Scheme for Robot Manipulators", Journal of Robotic Systems Vol 8(1) pp.1-19, 1991.
- [5] M. Mizumoto, "Realization of PID controls by fuzzy control methods", Fuzzy Sets and Systems Vol 80, pp171-182, 1995
- [6] COLSON, J. C., and PERREIRA, N.D., "Kinematic Arrangements Used in Industrial Robots," Proc. 13th International Symposium on Industrial Robots, 1983.
- [7] ASADA, H., and YOUCEF-TOUMI, K., "Analysis and Design of A Direct-Drive Arm With a Five-Bar Link Parallel Drive Mechanism", ASME J. Dyn. Syst. Meas. Contr., Vol. 106, No. 3, 1984.
- [8] BEJCZY, A. K., "Robot Arm Dynamics and Control," Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, TM 33-69, 1974.
- [9] Ismail H. ALTAS, "A Fuzzy Logic Controlled Tracking System For Moving Targets", Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on Intelligent Control, pp. 43-48, 1997.



강석범(Suk-Bum Kang)
1998년 2월 목원대학교 전자공학과
졸업(공학사)
2000년 2월 목원대학교 전자 및
컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2001년 목원대학교 공과대학 전자및컴퓨터공학과 박사과정

※관심분야 : 로봇제어, 퍼지제어



김재기(Jae-Gi Kim)
1995년 2월 목원대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1998년 2월 목원대학교 전자 및
컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2001년 목원대학교 공과대학 전자및컴퓨터공학과 박사과정

※관심분야 : 로봇제어, 신경회로망



양태규(Tae-Kyu Yang)
1982년2월 광운대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1984년 2월 광운대학교 전자공학과
졸업(공학석사)

1989년 광운대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

1991년 - 현재 목원대학교 전자공학과 부교수

※관심분야 : 로봇제어, 퍼지제어, 신경회로망