

Fuzzy Rule Base에 의한 Sinusoidal Rotatory Chair System의 구현

차인수
동신대학교

박해암
광주보건전문대학

백형래
조선대학교

Implementation of Sinusoidal Rotatory Chair System with Fuzzy Rule Base

In-Su Cha
Dongshin University

Hae-Am Park
Kwangju Health Jr. College

Hyung-Lae Baek
Chosun University

Abstract

A sinusoidal rotatory chair system using a self-tuning and following control by a fuzzy was designed to evaluate the vestibular function and to apply to a robot driving power system.

The experimental results by the sinusoidal rotatory chair system were pretty good, and which had smaller than ± 210 pulse error on the $\pm 810^\circ$ sinusoidal rotation at 0.12 Hz by using a 850W DC servo motor.

As a results, the sinusoidal rotatory chair system may be useful to evaluate the vestibular function in the field of medicine, and it can be used to robotics or a numerical control system (NC) on the industry if the the obtained control method and the system are adapted for a channel.

1 서론

인간이나 동물에 있어서 안구운동은 자세조절과 밀접한 관계가 있으므로 이에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으며 특히 자립형 로보트 분야에서 이를 응용하고자 하는 조짐이 있다.

자세조절과 관여하는 안구운동에는 前庭器官(vestibula system)과 頸部(neck)가 중요한 역할을 하고 있으며, 특히 두부와 체부가 동시에 회전하도록 회전자극을 가하면 전정안구운동이 발생되며 이러한 회전자극을 일상생활에서 전정기관이 자극을 받는 것과 근사하게 접근하기 위하여, 사람의 전정기관이 효과적으로 자극을 받을 수 있도록 피검자를 의자에 앉혀 각가속이 각 위치에 따라 다르게 가하면 보다 적절한 회전자극을 얻을 수 있다. 따라서 각가속이 다른 sinusoidal rotation이 되도록 의자를 회전시키면 일상생활에서와 유사한 양상으로 전정기관을 자극시킬 수 있다. 이는 회전범위와 한번 회전하는 주기를 결정 한 후 이를 세분화하고 수치화하여 세분된 위치점을 세분된 시간마다 위치점을 바꾸어 회전하도록 하면 sinusoidal rotation을 얻을 수 있다.

회전력으로는 제어가 용이하고 기동토크가 큰 DC servo motor에 의해 회전력을 얻고 세분된 위치점에서의 이동유 보다 정확하고 빠르게 이동하도록 제어하기 위하여 fuzzy에 의한 자기동조 PID제어에 의해 제어하고자 하였다.

한편 세분된 시간마다 새롭게 위치가 바뀌게 되면 어느 한 순간이라도 위치편차와 가속력이 같을 수 없고, 순간순간 변화하는 위치편차량에 따라 회전가속력을 바꾸어 motor가 회전하도록 제어하여야 하므로 이를 선형화하여 선형제어하기는 용이하지 않으므로 본 논문에서는 마이크로프로세서에 의한 자기동조제어인 PID제어로 위치추종 제어를 비선형 제어에 많이 이용되는 fuzzy를 이용하여 설계, 제작하고 실험하여 추종 제어특성에 대해 고찰하고 이를 임상에 적용하여 그 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 전정기관과 안구운동

회전운동시 전정기관은 자극을 받으면 안구는 반사작용으로 지금까지 주시하고 있던 방향을 계속 유지하기 위하여 회전방향과 반대방향으로 움직이게 된다. 그러나 반대방향으로 움직이는 상대작용이 한계를 넘게 되면 안구는 회전방향과 동일한 방향으로 급속히 움직여 새로운 주시점을 구축하는데 이러한 안구운동

을 眼振(nystagmus)이라 한다.[1, 2]

안구운동에는 회전방향과 같은 방향으로 빠르게 움직이는 速相(fast phase)과 회전방향과 반대방향, 즉 반사작용에 의해 주시하고 있던 방향을 계속 유지하고자 하는 徐相(slow phase)으로 구성되어 있다.

안구운동을 일으키는 유효한 회전자극은 회전속도 자체보다는 半規管(semicircular)내의 內淋巴液(endolymph)에 주어진 각가속에 의하므로 회전자극이 일정하게 가하여지면 안구운동은 발생하지 않는다.

안구운동의 일반적인 형태는 그림 1과 같으며 기울기의 절대 값이 큰 상이 속상이고 작은 상이 서상이다.

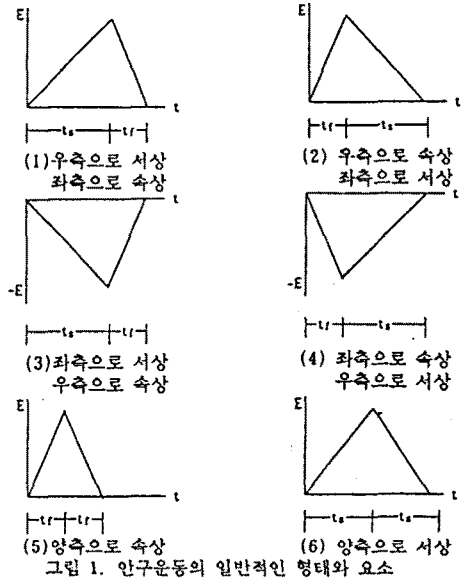


그림 1. 안구운동의 일반적인 형태와 요소

3. 서보시스템 구성

자기동조 제어기 설계과정 중 가장 중요한 모델의 매개변수를 추정하는 과정이 요구되며 매개변수 추정 방법으로는 RLS매개변수를 추정하기 위하여 매개변수 벡터P와 데이터 벡터D(k)를 정의하면

$$P^T = [a_1, a_2, b_0, b_1, h]$$

$$D_i^T(k) = [-dy(k-1), -dy(k-2), u(k-1), u(k-2), 1] \quad (1)$$

정의된 벡터를 사용하여 표현하면 식2와 같다

$$dy_i = P_i^T \cdot D_i(k) + \xi_i(k) \quad (2)$$

반복 최소 자승 매개변수 추정 알고리즘은 아래와 같다.

$$\hat{p}(k) = \hat{p}(k-1) + \left[\frac{R(k-1)D(k)}{\sigma + D^T(k)R(k-1)D(k)} \right]$$

$$\cdot [dy(k) - \hat{P}^T(k)D(k)] \quad \text{---(3)}$$

$$R(k)\sigma^{-1} \left[R(k-1) - \frac{R(k-1)D(k)D^T(k)R(k-1)}{\sigma + D^T(k)R(k-1)D(k)} \right] \quad \text{---(4)}$$

여기서, 방각요소는 $0.9 < \sigma \leq 1$ 이며, \hat{P} 는 추정된 모델의 매개변수이다. 이 추정된 매개변수는 계수 비교 과정에서 제어기 매개변수를 결정 하는데 사용되며, 식5의 제어입력 $u(k)$ 가 결정된다.

$$U_i(k) = \frac{R(z^{-1})}{S(z^{-1})} dy_i(k) \quad \text{---(5)}$$

여기서 제어입력 $u(k)$ 는 끝점에서 각 방향에 가해지는 가상적인 힘으로 각 관절에 가해 주어야 할 토크는 Jacobian 변환 행렬에 의해 변환되는 각 관절에 가해 주어야 한다.

매니플레이터 제어를 위한 전체 자기동조 PID제어 계통은 그림 2에 나타내었다.

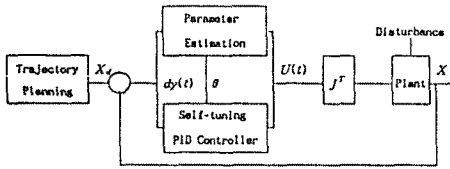


그림 2. 자기동조 PID 제어계통

4. Fuzzy의 구성

본 논문에서 사용한 fuzzy의 모형은 사다리형이며 멤버십 함수 관계에 의해 정한 명제의 범위는 표1과 같이 실험에 의해 얻어진 범위를 추정하여 PID 입력함수값의 근사치에 적용하도록 fuzzy규칙을 정의하여 이를 그림 3과 같은 block 으로 구현하였다.

명제 X	Error PULSE
ZO	± 1
PS, NS	± 10
PM, NM	± 100
PL, NL	± 300
PB, NB	± 500

(1) 추종오차범위 명제

명제 Y	Motor Speed Yn	명제 Y	Motor Speed Yn
ZO	8192	ZO	8192
PS	8392	NS	7991
PM	8592	NM	7791
PB	9192	NB	7191

(2) Motor 속도의 범위 명제

표 1. Fuzzy 규칙

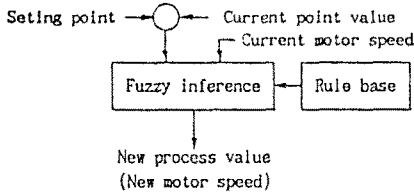


그림 3. Fuzzy block diagram

5. 제어 시스템의 구현

본 논문에서 구현한 제어 프로그램의 block diagram과 flow chart는 그림4와 그림5와 같으며 PIO는 8255를 사용하였고 port A는 data출력용, port B는 data 입력용으로 사용하였고 port C는 driver의 각 element unit를 제어하는 port로 할당하였다.

Key board로부터 회전 범위와 회전 주기를 입력받아 회전각으로는 motor가 회전하여 도착하여야 할 좌표값들을 sinusoidal 하게 발생시켜 memory에 기억시키고, 주기로는 다음의 목표 좌표값으로 다시 지령할 시간을 결정하여 이 값을 CTC에 설정하고 CTC는 이 주기마다 microprocessor에 interrupt를 걸어 새로운 목표 좌표로 바꿀 수 있도록 한다.

CTC에서 interrupt가 걸린 때마다 변경할 위치값은 memory에 기억되어 있으므로 이 값들은 차례로 읽어 들여 변경하므로, 새로이 변경된 값과 register C에서 읽어 들인 값의 차이로 fuzzy 규칙에 의해 motor가 추종해야 할 위치 편차에 대한 추종 가속

값을 PID 제어 값으로 계산되어 출력하게 된다. 따라서 이 값은 motor가 새로이 추종해야 할 vector값으로서 microprocessor가 계산하여 최종적으로 register B에 출력하게 된다.

본 논문에서 사용한 DC servo motor는 SANYO 회사의 CN-800(850W)이며, microprocessor로는 IBM PC/AT 286을 사용하여 그림5와 같은 구조로 구성하였다.

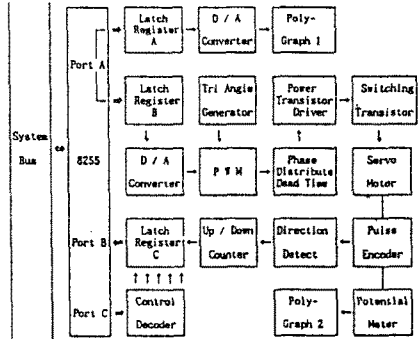


그림 4. 제어시스템 구성

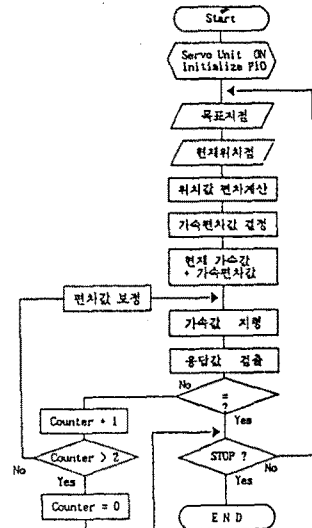


그림 5. 시스템 제어흐름선도

6. Rotatory Chair System의 실험과 임상 적용 결과

이를 실제 구현하여 의학 분야에서 평형검사법의 일종인 전정 기관 기능 진단 system에 적용하였다.

두부와 체부가 동시에 회전하여 전정기관을 효과적으로 자극하기 위하여 sinusoidal rotation하는 motor의 동축에 의자를 설치하고 microprocessor는 세분화된 위치를 CTC가 interrupt를 요청할 때마다 실시간에 따라 새로운 위치로 지령하고 이를 D/A converter A에 polygraph A를 연결하고 이를 추종하는 servo motor의 추종객체와 위치를 비교, 직독하기 위하여 servo motor의 축과 potential meter를 timing gear를 1:2의 비율로 감속시키고 potential meter의 양끝에 $\pm 1V$ 를 가하여 이동점을 polygraph B에 연결한 후 motor가 회전하는 범위를 2배까지 측정할 수 있도록 하였다. 각 Polygraph의 기록은 10 mm/sec로 이동하고 회전좌표 측정은 90° 회전시 5.25 mm로 하여 polygraph에 그렸다.

그림7에서 위의 도표는 지령하는 목표지점용 D/A converter 1에 의하여 polygraph 1에, motor가 추종하는 객체는 polygraph 2에 의하여 기록하였다. 이는 30° 회전에서 1.75mm로 하여 $\pm 180^\circ$, $\pm 120^\circ$, $\pm 90^\circ$, $\pm 60^\circ$ 로 회전 시켰으며 이 때 1주기의 빈도를 0.15Hz, 0.2Hz, 0.27Hz, 0.4Hz로 설정하였으며 이는 servo motor가 추종할 때 목표지점과의 편차가 너무 크면 motor에 너무 큰 순간 전압이 가하여져서 switching transistor가 파손 되거나

servo motor에 심한 충격이 가하여지므로 정격이 손상을 입을 수 있어 over current와 over rush를 sensing하여 동작을 중지시키기 때문에 servo motor의 정격이 허용하는 범위 안에서 최대한으로 동작시켰다.

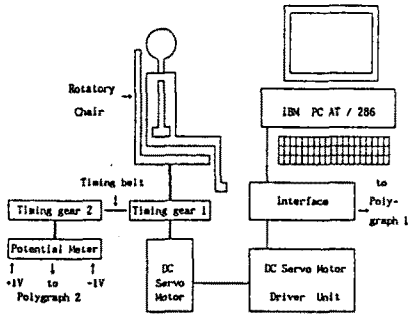


그림 6. Chair System의 구성

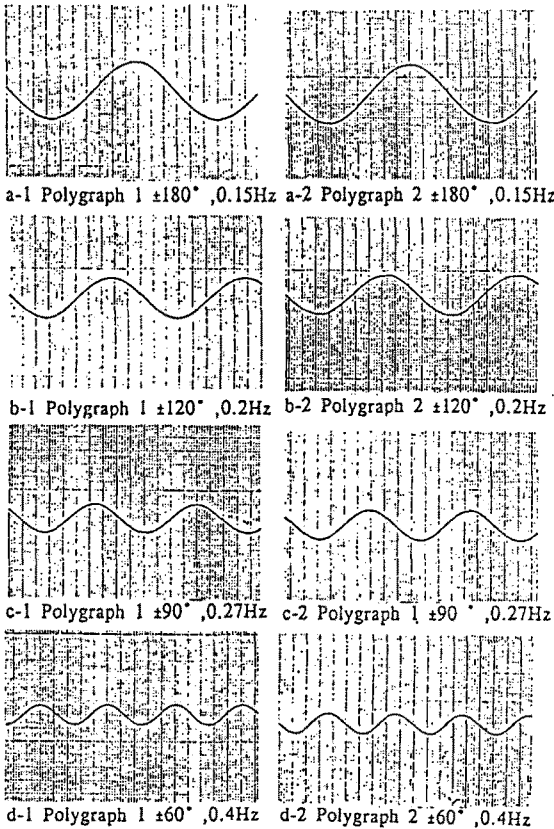


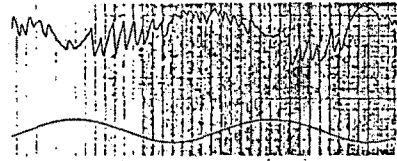
그림 7. 추종 실험결과 graph

이 두가지의 polygraph만으로는 그 오차를 검출하기 어려웠고 추종편차를 계산하여 display시킨 결과, 회전각이 최대로 크고 1 주기의 빈도가 클 때에 ($\pm 810^\circ$, 0.12Hz) 순시 추종오차는 ± 210 pulse이내로 아주 만족할 만한 결과를 얻었다.

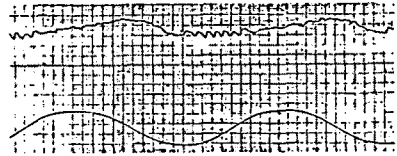
또한 전정기관 진단을 위해 임상에 적용하였던 결과, 안구운동이 정상적인 사람으로부터는 속상과 서상이 정확히 구별되고 우측과 좌측방향의 회전자극에 의하여 병형을 이루는 안구운동을 얻을 수 있었고 전정기관의 이상이 있는 환자로부터는 속상과 서상이 구별하기 힘들고, 양측 방향으로의 회전자극에 의하여 비대칭적인 안구운동이 출현할 뿐 아니라 정상인 보다 느린 안구운동을 얻을 수 있었다.

7. 결론

병형감각 상실 환자에서 전정기관의 기능을 검사할 목적으로 fuzzy에 의한 추종제어 rotatory chair system을 설계, 제작하여



(A) 정상인의 안구운동



(B) 병형감각을 상실한 환자의 안구운동

그림 8. 임상에 적용한 안구운동 측정 결과

실험한 결과 polygraph으로는 그 오차를 검출할 수 없었고 추종편차를 계산하여 display시킨 것을 직독한 결과로는 최대 회전 좌표각도와 빈도가 $\pm 810^\circ$, 0.12Hz에서 최대 순시 추종오차는 ± 210 pulse이내로 추종 좌표각과 빈도가 작을수록 추종오차가 감소하여 아주 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

이를 구현하기 위하여 자기동조 PID제어와 위치 추종제어를 fuzzy에 의해 IBM PC/AT 286과 PIO로는 8255를 사용하여 대용량 급인 850W DC servo motor에 적용한 제어기를 구현하였다.

또한 전정기관 진단을 위해 임상에 적용하였던 결과 안구운동이 정상적인 사람으로부터는 속상과 서상이 정확하게 구별되고 우측이나 좌측으로의 회전자극에 의하여 대칭적인 안구운동을 얻을 수 있었고 전정기관의 이상이 있는 환자로부터는 속상과 서상이 구별하기 곤란하거나 양측방향으로의 회전자극에 의하여 비대칭적이고, 정상인보다 느린 안구운동이 기록됨으로써 정상인과 환자를 구별할 수 있는 전정기관 기능검사에 충분한 적용 가능성을 제시할 수 있었다.

위와 같은 결과를 토대로 제어기를 channel화 한다면 정밀하게 병렬 운전이 필요로 하는 다관절 로봇이나 산업현장에서의 생산기에 충분한 활용가치가 있다고 사료되며, 또한 안구운동을 안진기록법에 의해 검출하고 이 신호를 고속 sampling이 가능한 A/D converter를 채용하여 graphic 처리와 이산치 신호처리의 과정을 거쳐 의사에게 진단하는 자료로 제공된다면 의학분야에서 충분한 활용 가치가 있다고 판단된다.

8. 참고문헌

1. BRAIN R, CHAMERS, MBBS, MABEL MAI, MSC, and HUGH O, BARBER, MD, "Bilateral Vestibular loss, Oscillopsia, and the Cervico-ocular reflex", Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Vol. 93, No. 3, June, 1985
2. 김 재협, 박 병림, 박 철순, "가로 및 가측에 있어서 전정반 규관과 외안근의 상관성에 관한 연구", 대한생리학회지 제21 권 제1호, pp. 81~101, 1987.
3. F. Radke, "Microprocessor-based Adaptive PID Controllers", ISA Transactions, Vol. 27, No. 2, 1988, pp. 43~50.
4. M. Maeda and S. Murakami, "A Self-tuning fuzzy controller", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 51, pp. 29~40, 1992.
5. F. Bouslama and A. Ichikawa, "Application of limit fuzzy controllers to stability analysis", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 49, pp. 103~120, 1992.
6. Y. F. Li and C. C. lau, "Development of fuzzy algorithms for servo system", IEEE Control System magazin., Vol. 9, No. 4 pp. 65~72, 1989.
7. 菅野道夫, ファジィ制御, 東京: 日刊工業新聞社, 1989, 17. Chuen Chien Lee, "Fuzzy Logic in Control System: Fuzzy Logic Controller-Part I", IEEE Trans. Sys. and Cyber., Vol. 20, No. 2, 1990, pp. 405~418.
8. 三矢直城, 田中一男, C言語による 実用ファジィブック, 東京: ラッセル社, 1989.
9. Chuen Chien Lee, "Fuzzy Logic in Control System: Fuzzy Logic Controller Part II", IEEE Trans. Sys. and Cyber., Vol. 20, No. 2, 1990, pp. 419~435.