

유전알고리즘에 의한 조준경 시스템의 신경망제어기 설계

Neuro-Genetic Controller Design of the Line of Sight System

이승수, 장준오, 전병균, 전기준

경북대학교 전자-전기공학부 제어계측신기술연구센터
(Tel: (053)950-5524; Fax: (053)950-5505; E-mail: gijeon@ee.kyungpook.ac.kr)

Abstract In this study, we propose a neuro-genetic controller combined with a linear controller in parallel to improve the tracking performance of the Line of Sight(LOS) stabilization system and reject the effect of disturbances. A Genetic Algorithm(GA) is used to optimize weights of the neuro-genetic controller since this algorithm can search a global minimum without derivatives or other auxiliary knowledge. The LOS system is very complex and has limited measurable output data. Under these specific circumstances GA solves many problems that other training methods have. Computer simulation results show that the proposed controller makes better tracking response and rejection of disturbance than a linear controller.

Keywords neuro-genetic controller, LOS system, Genetic Algorithm

1. 서론

PID 제어기나 진지상제어기와 같은 선형제어기들은 구조가 간단하고 설계가 용이하며 견실한 성능을 지니고 있기 때문에 실제 현장에서 많이 사용되고 있다. 이러한 고전적인 제어기들은 작은 범위내의 불확실성에 대해서는 견실한 성능을 보이지만 보다 넓은 영역의 불확실성을 가지는 파라미터 값과 환경 조건 등에 대해서는 견실한 성능을 보이지 못하므로 여러 가지 지능제어로서 넓은 영역의 불확실성과 비선형성을 가지는 시스템을 제어하려는 연구가 많이 진행되고 있다^[1]. 여러 가지의 지능제어중에서 신경회로망은 1943년 McCulloch 등에 의해 인간의 신경모델을 모방하려는 연구가 시작된 이래 많은 연구와 발전을 거듭하여 신호처리, 음성인식, 문자인식, 신경망 컴퓨터 등에 많이 응용되고 있다^[2]. 이러한 신경회로망에는 여러 가지 종류가 있으나 특히 다층신경회로망은 비선형대응을 통해 시스템의 특성을 학습할 수 있고, 결함극복, 불확정성, 강건성, 병렬 분산 등의 특성을 지니므로 플랜트 제어에 널리 이용된다.

최근에는 신경망을 이용한 병렬구조를 가진 제어기를 많이 사용하고 있는데, Kawato^[3]가 고전적인 제어기인 PD 제어기와 신경망제어기를 결합한 로봇 제어기를 제안한 이래로 병렬제어기의 우수한 성능으로 인해 여러 곳에 응용되고 있다. 고전적인 선형제어기는 선형시스템과 작은 범위의 불확실성이 존재하는 시스템에 대해서는 적당한 제어규칙을 구할 수 있으나 보다 넓은 영역의 모델의 불확실성과 비선형성이 존재하는 시스템에 대해서는 적당한 제어규칙을 구하는 것이 어렵다. 그래서 고전적인 선형제어기와 신경망제어기의 병렬제어기는 선형제어기가 기본적인 선형부분을 담당하고 넓은 범위의 모델링의 불확실성과 비선형 부분을 신경망제어기가 담당함으로써 전체적인 제어 성능을 향상시킬 수 있다.

신경망 학습방법으로 주로 오차역전달 방법을 이용하고 있다. 그러나 오차역전달방법은 오차의 합의 미분을 구하는 최대경사법을 이용하므로 지역적 해(local minima)에 빠지기 쉬운 단점과 특히 복잡한 시스템에 대해 수렴시간이 길다는 단점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 최근에는 미분가능성, 연속성 등의 수학적 정보 없이 적합도 값만으로 파라미터를 최적화 시키는 유전알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 신경망의 가중치를 학습시키려는 유전-신경망의 연구가 많

이 진행되고 있다^[4].

본 연구에서는 유전-신경망제어기를 기존의 선형제어기와 병렬구조로 연결하여 조준경 시스템의 제어성능을 향상시키고자 하는데 조준경 시스템은 입출력 정보가 매우 한정되어 있어서 제어기 입력의 제약조건이 많고 시스템이 매우 복잡하므로 복잡한 수학적 정보를 필요로 하지 않고 기존의 학습방법의 문제점을 극복할 수 있는 유전알고리즘을 학습방법으로 하였다.

2 장에서는 조준경 시스템의 구성과 동작을 간단히 설명하고 3 장에서는 유전알고리즘과 제안된 병렬구조의 유전-신경망제어기에 대해 설명하였으며 4 장에서는 모의 실험을 통해 제안한 제어기의 성능을 알아보고 마지막으로 5 장에서 결론을 맺고자 한다.

2. 조준경 시스템

전차의 안정화 시스템은 전차가 이동간에도 이동하는 목표물을 안정적으로 관측하여 사격할 수 있도록 함을 목적으로 하며 두가지의 안정화 시스템으로 구분된다. 첫째는 포 및 포탑의 안정화 시스템인데 이는 기준 자이로를 이용한 독립적인 안정화 패루프가 구성되어있고 큰 관성력을 가지는 포 및 포탑을 제어하기 위하여 피드 포워드 자이로스코프를 이용하는 위치 제어 서보루프이다. 둘째는 조준경 안정화 시스템으로 자이로스코프를 이용하여 나쁜 주위 환경에서도 목표물을 떨림 없이 지향하도록 하는 속도제어 루프이다.

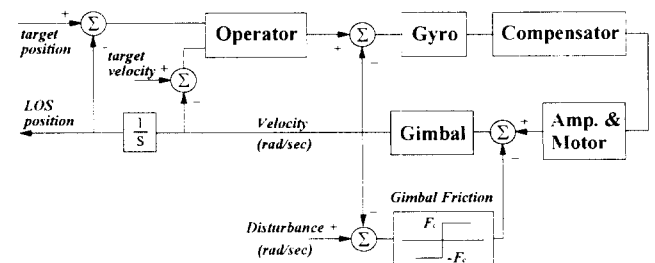


그림 1 조준경 시스템의 구성도
Fig. 1 structure of LOS system

조준경 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 외란 감지기, 신호 증폭기, 구동 모터 및 안정거울이 부착된 김벌로 구성되며 김벌에 선회방향과 고저방향의 운동을 감지하는 자이로스코프가 부착되어 있다. 이 서보시스템에는 피드백 루프에 높은 주파수대역을 가지는 속도 적분 자이로스코프가 사용된다.

전체적인 제어 신호의 흐름은 포수가 조준경으로 목표물을 관측하면서 위치 오차를 제거하기 위해 자이로스코프에 속도명령을 인가하면 그 속도명령은 정밀하게 스케일링되어 자이로스코프 전류증폭기로 입력되고, 이 전류증폭기에서는 전압을 발생시킨다. 이 전압신호가 필터를 거친 후 보상기의 입력으로 들어가서 김벌의 모터를 구동시키는 신호가 발생된다. 그리고 거울이 부착된 자이로스코프가 김벌의 각 운동량의 변화를 통해 거울의 이동 속도를 감지하며 이 신호를 피드백하게 된다. 또한 조준경 시스템은 제어성능 뿐만 아니라 외란에 대한 안정화 성능도 시스템의 성능지수가 된다. 안정화란 시스템에 한정된 입력이나 외란이 가해졌을 때 그 응답의 크기를 일정 범위 내에 존재하게 만드는 것을 의미하는데, 조준경 안정화의 경우 포수가 움직이는 목표물을 정확하게 추적하고 조준하고 있을 때 전차의 기동 등으로 인한 외란이 발생한다. 이러한 외란이 조준경의 구조물에 작용하여 조준경의 구조물과 김벌사이에 마찰력이 발생하여 외란이 김벌에 전달된다. 김벌이 움직이면 자이로스코프가 이를 감지하여 전압신호를 발생시키고 이 신호가 다시 피드백되어 제어신호로 된다.

3. 유전-신경망제어기

3.1 유전알고리즘

유전알고리즘은 1970년대 John holland에 의해 연구가 시작된 것으로서 자연계의 자연선택설을 기반으로 하는 최적화 알고리즘이다²³. 그리고 재생산(reproduction), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)와 같은 연산자로서 알고리즘이 수행되는데 여러 가지의 해를 동시에 코딩한 해집단을 이용하고, 미분가능, 연속성 등의 수학적 정보가 필요 없으며 확률적인 과정으로 알고리즘이 수행되는 등 다른 최적화 알고리즘과는 다른 점이 많다²⁴. 그림 2는 유전알고리즘의 진화과정이고 유전알고리즘의 수행 과정은 다음과 같다.

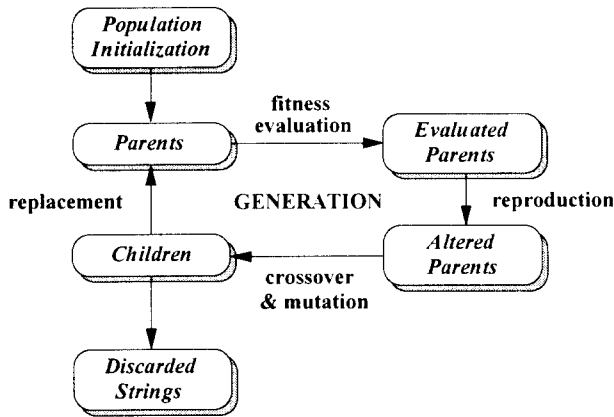


그림 2. 유전알고리즘의 진화 과정

Fig. 2. Evolutional procedure of Genetic Algorithm

단계 1. 최적화 문제의 파라미터들을 2진 스트링으로 코딩한다.

- 단계 2. 단계 1에서 얻은 스트링을 이용하여 임의의 초기 집단을 구성한다.
- 단계 3. 집단의 각 스트링에 대한 적합도를 계산한다.
- 단계 4. 사용자의 요구 조건이 만족되면 중단한다.
- 단계 5. 스트링의 적합도에 따라 진화시킴으로써 새로운 집단을 구성한다.
- 단계 6. 단계 3이하의 과정을 반복한다.

3.2 병렬구조 신경망제어기

본 연구에서 제안된 조준경 시스템의 제어기는 병렬구조의 제어기로서 PI/Lead 제어기와 유전알고리즘에 의한 신경망제어기로 구성되어 있는데 시스템의 구성은 그림 3과 같다.

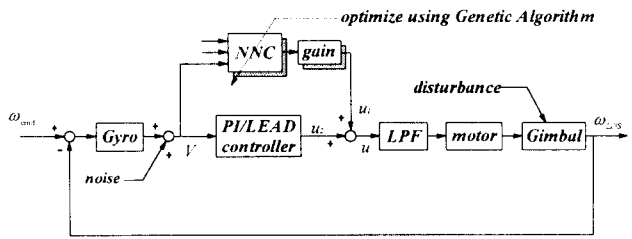


그림 3. 신경망제어기가 병렬로 연결된 조준경 시스템.

Fig. 3. LOS system with NNC combined in parallel.

그림 3에서 시스템의 자이로, 제어기, 김벌의 전달함수는 다음과 같다.

자이로스코프:

$$G_g(s) = \frac{8.4246 \times 10^{12}}{s(s^3 + 2419.29s^2 + 4544462.78s + 4.9168 \times 10^9)} \quad (1)$$

PI/LEAD 제어기:

$$G_c(s) = 127.9 \times \frac{(s + 6.28)(s + 8.23)}{s(s + 4317.26)} \quad (2)$$

플랜트(모터와 김벌):

$$G_p(s) = 27 \times \frac{1}{(4.5002s + 8.13)} \quad (3)$$

또한 조준경 시스템은 잡음신호 제거를 위해 83Hz와 200Hz의 저역통과여파기(LPF)와 시스템의 안정성을 위해 리미터(limiter) 등이 부착되어 있다.

선형제어기인 PI/Lead 제어기는 Ziegler-Nichols 방법과 주파수 해석에 의해 안정한 성능을 가지도록 설계되어 있으나 50%정도의 큰 오버슈트(overshoot)와 느린 안정시간(settling time) 때문에 성능의 개선이 필요하다. 그래서 PI/Lead 제어기가 전체적인 시스템의 안정성을 유지시키고 병렬로 연결된 신경망제어기가 전체적인 제어성능과 안정성을 보완하는 역할을 하도록 제어기를 구성하고 그 제어입력은 다음 식과 같다.

$$u = u_l + u_n \quad (4)$$

조준경 시스템은 김벌과 자이로스코프가 기계적으로 연결되어 있고 출력인 출력인 ω_{LOS} 와 기준 입력인 ω_{cmd} 가 자이로스코프 내부에 존재하는 신호이므로 외부로 신호를 끌어내기가 어렵다. PI/Lead 제어기는 자이로스코프의 출력을 이용하고, 신경망제어기의 입력으로는 4개의 신호가 이용된다. 기준신호와

출력의 오차를 바로 사용할 수 없으므로 적분형 자이로스코프의 차분식($V(k) - V(k-1)$)을 이용하여 오차에 가까운 정보를 얻는다. 제어입력의 차분식($u(k-1) - u(k-2)$)을 이용함으로써 과도응답의 특성의 개선을 기대할 수 있고, 또한 PI/Lead 제어기와 전체 제어입력의 지연된 값($u_2(k-1), u(k-1)$)도 사용한다.

신경망제어기를 학습시키는 방법으로서 대부분 오차역전달방법을 이용하는데 이 방법은 기본적으로 최대 경사법을 이용한다. 최대 경사법의 기본 개념은 오차의 제곱의 합이 줄어드는 방향으로 가중치가 조절되도록 오차의 제곱의 합의 미분을 이용하는 것이므로 여러 개의 지역적 극값이 존재하는 경우에 지역적 해에 빠지기가 쉽다. 특히 신경회로망과 같이 많은 지역적 해가 존재하는 경우 큰 문제점이 된다. 또한 오차역전달방법은 시스템이 복잡할 경우 수렴속도가 느린 단점이 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 다른 여러 가지의 학습방법을 연구하고 있는데, 최근에 유전알고리즘을 이용하여 신경망을 학습시키려는 연구가 많이 진행되고 있다. 유전알고리즘을 이용할 경우 오차역전달방법을 이용할 때보다 인식신경망 없이 신경망제어기만으로 제어하는 직접제어방법이 용이하다.

4. 모의 실험

본 연구에서 제안한 병렬구조의 유전-신경망제어기의 조준경 시스템에 대한 성능을 평가하기 위해 모의 실험을 하였다.

신경망제어기는 4 개의 입력정보를 받아들이는 노드, 9 개의 은닉노드를 가지는 1 개의 은닉층, 1 개의 출력노드로 구성되어 있으며, 유전알고리즘으로 가중치를 조정할 경우 신경회로망의 많은 가중치들을 일정한 길이의 2진 스트링으로 코딩한 후 그 코딩된 파라미터들을 하나의 스트링으로 합쳐서 진화 시켜나가면서 적절한 가중치들을 구한다. 유전알고리즘에 사용된 데이터는 주로 Dejong의 실험데이터를 이용하였는데 파라미터의 개수가 많아서 교배율과 돌연변이율을 큰 값으로 하였다. 총 파라미터의 개수는 47 개이고 해상도를 높이기 위해 각각의 파라미터들을 10 비트의 2진 스트링으로 코딩하였다. 그리고 유전알고리즘에서 목적함수에 따라 최적합한 가중치들이 크게 다를 수 있고 시스템의 성능도 크게 다르므로 목적함수의 형태가 매우 중요하다. 그러므로 적합도 값을 구하는 목적함수는 식 (5)와 같이 하였다.

$$f = \frac{P_1}{\left(\sum_i (\exp(-0.005 \times i) \times |e(i)|) + p_2 \times \sum_i |\omega_{LOS}(i) - \omega_{LOS}(i-1)| \right)^2} \quad (5)$$

과도응답에서의 오버슈트가 작고 안정시간도 빠르게 하려면 전체 오차가 적어야 하고 입력의 떨림이 크면 시스템에 나쁜 영향을 주므로 입력과 출력의 떨림이 적은 것이 적합도 함수값이 크도록 하였다. P_1 과 P_2 는 스케일링 값으로 적당한 상수로 둔다.

그림 4는 유전알고리즘이 수렴해가는 과정을 보여주는 최대 적합도 값과 평균 적합도 값을 나타내고, 그림 5는 유전알고리즘이 최종적으로 수행한 후의 기존의 제어기만을 사용할 경우와 유전-신경망제어기를 함께 사용한 경우의 각속도의 추적성능을 비교하였다. 그림 6은 알고리즘이 수행된 후 가중치를 고정시키고 여러 가지의 다른 기준입력에 대한 각속도의 출력을 나타내고 있는데 (a)는 기준입력과 기존의 제어기만을 사용할 경우의 각속도의 추적성능을 나타내고, (b)는 병렬로 제어기

를 구성할 경우의 기준입력과 각속도 추적성능을 나타내었다. 그리고 그림 7은 김벌에 sin 함수 형태의 외란이 가해질 때 각각의 각속도 출력을 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 기존의 제어기만을 사용했을 때보다 추적성능도 향상되고 외란의 영향도 감소되었음을 알 수 있다.

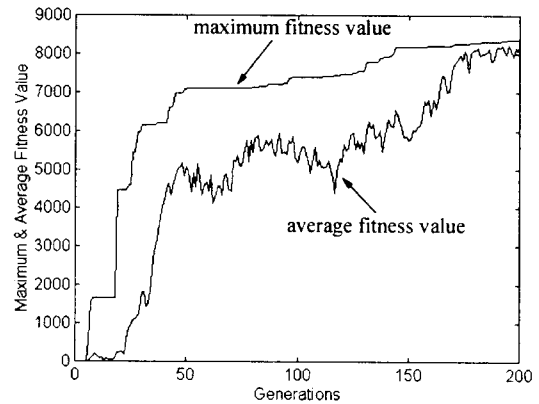


그림 4. 각 세대의 최대 적합도 값과 평균 적합도 값
Fig. 4. Maximum and average fitness values of each generation

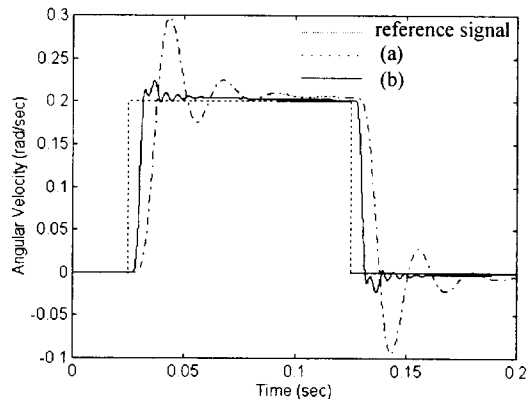
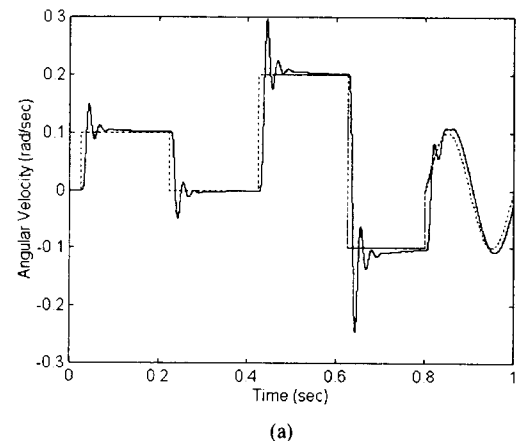
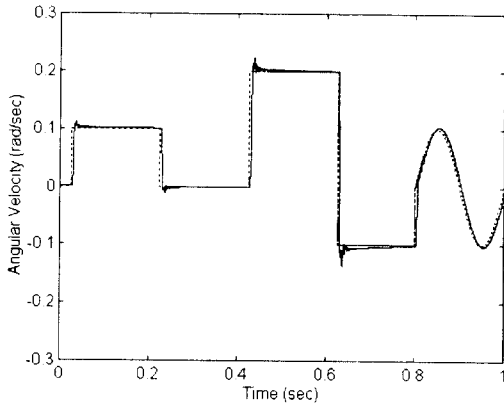


그림 5. 거울의 각속도
(a) PI/Lead 제어기 (b) 유전-신경망제어기
Fig. 5. Angular velocity of the mirror
(a) PI/Lead controller, and (b) neuro-genetic controller





(b)

그림 6. 다른 기준입력에 대한 거울의 각속도

(a) PI/Lead 제어기 (b) 유전-신경망제어기

Fig. 6. Angular velocity of the mirror with another command signal

(a) PI/Lead controller, and (b) neuro-genetic controller

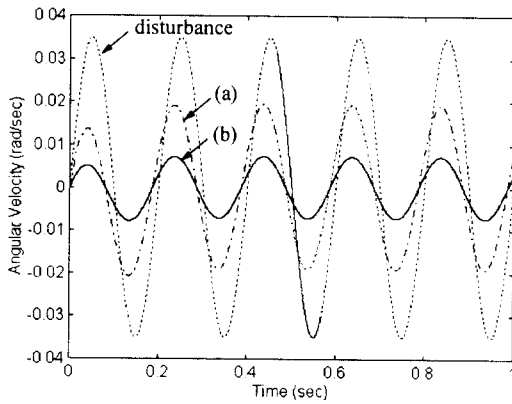


그림 7. 외란에 대한 거울의 각속도

(a) PI/Lead 제어기 (b) 유전-신경망제어기

Fig. 7. Angular velocity of the mirror with disturbance

(a) PI/Lead controller, and (b) neuro-genetic controller

V. 결론

본 연구에서는 조준경 시스템에 신경망제어기와 선형제어기의 병렬구조의 제어기를 제안하였고, 신경망의 가중치를 유전 알고리즘을 이용하여 결정함으로써 오차역전달방법의 문제점인 긴 수렴시간과 지역적 극값에 빠지기 쉬운 문제점을 극복하였다. 또한 유전알고리즘은 복잡한 수학적 정보가 필요하지 않으므로 조준경 시스템과 같이 복잡하고 제한된 입출력 정보로도 적절한 가중치를 찾을 수 있었다. 모의 실험 결과로써 기존의 선형제어기보다 제안한 병렬구조의 유전-신경망제어기가 우수한 명령추적성능의 과도응답을 보이고 외란에 대한 영향도 적음을 확인하였다.

유전알고리즘의 특성상 오프라인으로 신경망을 학습시키기 때문에 모델링이 정확할수록 더 효율적이지만 실제 시스템에 적용했을 때 적응성이 떨어질 가능성이 있으므로 이러한 문제에 대한 연구가 계속 진행되어야 하겠다.

참고문헌

- [1] Behnam Bavarian, "Introduction to Neural Networks for Intelligent Control", *IEEE Contr. Syst. Mag.*, Vol. 8, pp. 3-7, April, 1988.
- [2] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison Wesley, 1989.
- [3] L. Davis, *Handbook of Genetic Algorithms*, Von Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [4] M. Kawato, Y. Uno, M. Isobe and R. Suzuki, "Hierarchical Neural Network Model for Voluntary Movement with Application to Robotics", *IEEE Contr. Syst. Mag.*, pp. 8-15, April, 1988.
- [5] S. B. Park, L. J. Park, C. H. Park, "A Neuro-Genetic Controller for Nonminimum Phase Systems", *IEEE Trans. on Neural Network*, Vol. 6, No. 5, Sept., 1995.
- [6] S. Y. Kung, *Digital Neural Network*, Prentice-Hall Inc., 1993.