

면역 체계를 이용한 지능형 강건 제어기 설계

권혁창*, 김종원*, 서재용**, 조현찬*

*한국기술교육대학교 전기전자공학과, **한국기술교육대학교 정보기술공학부

초록

본 논문에서는 비선형 역학 시스템에서 복합적 지능 알고리즘을 이용하여 시스템의 제어 성능을 개선시키는 방법에 대하여 논의하였다. 기존의 비선형 제어를 위한 뉴럴 네트워크 및 유전자 알고리즘은 학습이 종료된 후에 고정된 상태에서는 훌륭한 제어를 보여주지만, 환경 변화와 같은 변이 인자가 발생되면 제어가 제대로 되지 않으며 재학습을 해야만 한다. 이때 재학습에 드는 시간이 많이 걸리는 문제점이 있다. 제안하는 시스템에서는 변이 인자가 발생되었을 때의 상황을 항원으로 하는 면역 시스템을 기존 제어시스템에 추가하여 사용함으로써 보다 안정적이며 빠른 제어 수행이 가능함을 보일 것이다. 또한 기존에 하드웨어로 구성하기 어려웠던 유전 알고리즘을 하드웨어로 구성하기 쉽도록 유전 인자를 메모리 주소로 하는 알고리즘을 만들게 되었다.

1. 서론

현재의 역학 시스템들은 나날이 복잡해지고 있으며 정밀성을 요하고 있다. 이러한 역학 시스템들은 인간이 할 수 없는 어려운 환경에서 임무를 수행하고 정밀성과 지속성을 요구하는 부분에서 수요가 날로 늘어가고 있다. 역학 시스템을 이용한 작업을 원활히 수행하기 위해서는 시스템에 대한 모델링이 이루어져야 하며 제어의 정확성을 위해 수학적 방식이 요구된다. 하지만 역학 시스템들이 갖는 비선형성을 정확히 측정할 수 없거나 수식화가 불가능하기도 하다. 이와 같이 실제 물리 시스템을 수학적 모델로 표현할 때 정확히 측정할 수 없거나 수식화 할 수 없는 물리적 특성들을 고려하기 위하여 불확실성(uncertainty)이란 용어를 사용한다. 이와 같은 불확실성이 존재하는 시스템에 대한 기존의 수학적 제어 이론으로는 강건한 제어기(robust controller)의 구성이 어렵다. 따라서 최근에는 이것을 해결하기 위해 기존의 수학적 접근 방식보다는 인간의 사고능력과 적응 능력을 모방한 지능형(Intelligent controller)이 제안되고 이를 응용한 제어기의 구성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여기에는 신경망 제어와 유전 알고리즘 제어 기법 등이 있다. 이와 같은 지능형 기법은 고도의 비선형 시변 시스템(nonlinear time-varying system)에 대한 제어기 설계에 적용시, 강건하고 적응성이 있는 장점을 발휘 할 수 있다. 그러나 인간의 뇌를 모방한 신경망, 자연계의 진화의 속성을 이용한 유전 알고리즘 등과 같은 지능형 제어 알고리즘은 동적인 시스템과 제어 환경과의 상호 작용을 통해서 얻어진 정보를

바탕으로 제어 변수를 조정하는 공통점을 가지고 있지만, 새롭게 변하는 외부 환경이나 시스템의 변화에 대한 재학습 및 재진화가 필요하다.

본 논문에서 제안할 제어시스템은 기존의 시스템이 갖지 못했던 안정성과 빠른 적응성을 가지며 하드웨어로 구현하기가 용이해 실제 제어 시스템에서의 사용이 평이하도록 고안했다. 이 제어 시스템은 우선 기존의 불확실성이 없는 상태에서의 제어 안정성이 이미 검증된 신경망을 이용하여 기본적인 제어를 수행하며 불확실성 환경에 의해 발생된 에러를 줄이기 위해서 면역 시스템을 도입하게 된다. 여기에 면역 시스템의 immune bank 의 검색에 유전 알고리즘을 사용하였다. 지금까지 유전 알고리즘은 하드웨어로 구성하기 어렵다고 생각되어 왔는데, 여기에 적용된 유전 알고리즘은 유전 인자로 immune bank 의 메모리 번지를 사용함으로써 하드웨어 구성을 용이하도록 설계하였다.

2. 제어 시스템 구조 및 실험 방법

2.1 제어 시스템의 구조

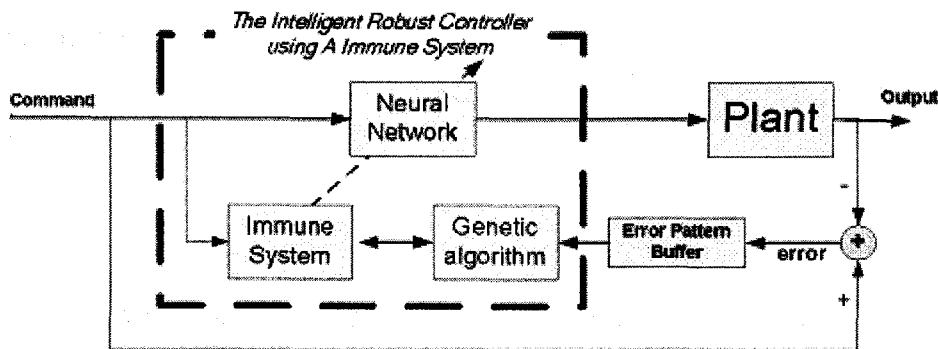


그림 1 면역 체계를 이용한 지능형 강건 제어 기의 블럭도

제안한 제어 시스템의 블럭도는 그림 1에 보여지는 것과 같다. 우선 Plant의 중추적 제어는 신경망 제어를 사용하여 비선형 제어가 가능하게 했다. 여기에 면역 체계 시스템을 추가하여 불확실 변이 인자에 대응하도록 설계되었다. 또한 면역 체계 시스템의 항체 저장소인 immune bank에 저장된 항체의 검색에는 유전 알고리즘을 사용하여 전역적 해를 구할 수 있도록 하였는데, 이 유전 알고리즘의 유전 인자를 메모리 주소를 사용함으로써 하드웨어적 구성이 쉽게 구현되었다.

2.2 immune bank

2.2.1 항체 구성

immune bank에 저장되는 항체의 구성 요소의 첫번째는 특정 상황에 대한 학습을 마쳤을 때의 신경망의 weight 집단이고, 두번째는 에러패턴이다. 이 두요소를 짝을 이루어 메모리에

저장시킨다. 항체의 첫번째 구성요소인 신경망의 weight 집단은 신경망의 Backpropagation 방법을 이용한 학습을 통하여 얻어낸다. 그리고 두번째 구성요소인 에러패턴은 시스템의 초기 설정 항체를 기준으로 삼아 제어를 수행했을 때 발생된 error 패턴을 저장한 것으로, 에러가 발생되었으므로 재학습을 하여 새로운 weight 값을 도출하고 이 값과 error 패턴을 짝지워 저장하게 된다.

2.2.2 항체 저장

항원에 대한 항체를 immune bank 에 저장하는데 있어 중요한 것은 근접한 항체끼리 유사성을 가지도록 저장하는 것이다. 이것은 항체를 생성하는데 무작위로 생성하는 것이 아니고 순차적으로 생성함으로써 이루어진다. 예를 들면 무게가 항원으로서 작용할 때 이 항원을 1kg 에서 20kg 까지 1kg 의 간격을 가지고 학습을 시키는데 순서대로 1kg, 2kg, ..., 20kg 의 순으로 항체를 생성하여 저장함으로써 근접한 항체끼리는 비슷한 성질을 갖도록 한다.

2.3 제어 알고리즘

Plant 에 에러가 발생되면 우선 에러 패턴을 만들고 이 에러 패턴을 immune bank 에 이미 저장되어 있는 에러 패턴과 유전 알고리즘을 이용하여 비교한다. 그래서 발생된 에러 패턴과 맞아 떨어지는 에러 패턴이 있다면 이것과 짝을 이루는 신경망 weight 집단을 신경망에 적용하여 제어를 수행함으로써 에러가 제거된다. 그러나 발생된 에러 패턴과 맞아 떨어지는 것이 없을 경우 유전 알고리즘에 의해 적합도가 높다고 판단된 항체를 선택한다. 여기서 적합도는 발생된 에러 패턴과 기존의 에러 패턴간의 \sim xor 연산을 수행한 결과를 가지고 판별하게 된다.

유전 연산자에 의해 선택된 항체의 신경망 weight 집단을 신경망 제어기에 적용시킨 후 완벽한 제어가 가능하도록 재학습이 한다. 적합도가 높은 항체를 가지고 신경망 학습을 시킴으로써 기존 학습보다 빠른 학습이 가능하다. 이처럼 유전 연산자로 전역적 해의 추적이 가능한 것은 근접한 항체끼리 유사한 특성을 갖고 있기 때문이다.

2.4 실험 방법

제안한 면역 체계를 이용한 지능형 강건 제어 기법의 성능을 검증하기 위해 Matlab 과 Visual C++로 직접 코딩한 Robot Arm Simulator 에 면역 체계를 이용한 강건 제어를 추가한 시뮬레이션을 사용하였다.

시뮬레이션에서 Plant 로 Robot Arm 을 사용하여 Robot Arm 이 미리 정의된 경로를 지나가도록 한다. 여기서 항원은 중력의 변화로 정하였다. 중력을 기본값에서 +10%, +20%, ..., +50%로 변화시키고 이 항원에 의해 발생하는 시스템의 에러를 제거하기 위해 신경망 학습을 통해 얻어진 weight 집단이 항체가 된다.

제안된 제어기의 성능 평가를 위해서 다음과 같은 단계로 실험을 진행하였다.

단계 1 : Matlab 시뮬레이션에서 중력을 +10%, +20%, ..., +50%으로 변화시키면서 이 출력을 가지고 예러 패턴의 근접유사성을 확인한다.

단계 2 : Matlab 시뮬레이션에서 중력을 +20%로 변화시키고 이것에 대한 신경망 학습을 할 때 초기 weight 값을 random 하게 한 것과 +10% 변화에서 학습된 weight 값을 가지고 학습한 것을 비교하여 근접한 항체를 가지고 학습하는 것이 빠름을 확인한다.

단계 3 : 제안된 기법의 제어기를 사용한 Robot arm 시뮬레이션을 통해 동작을 확인한다.

3. 실험결과 및 고찰

단계 1 : Matlab 을 이용한 예러 패턴 근접 유사성 확인

그림 2 에서 파란색 선은 desire 한 관절각을 나타내며, 녹색 선은 실제 출력된 관절각을 나타낸다.

그림 2 에서 보여 지는 것과 같이 근접한 변화기리는 예러 패턴화를 위한 좌우 에러 폭이 좁고 멀수록 에러 폭이 넓다. 즉, 근접할수록 에러 패턴이 비슷함을 알 수 있다.

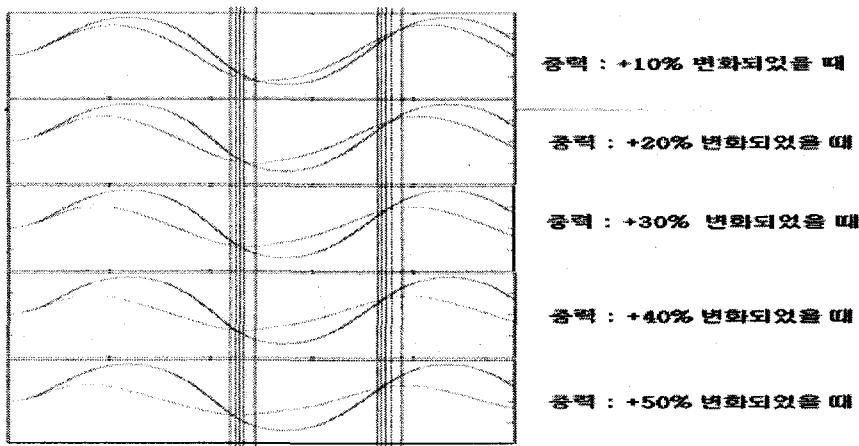


그림 2 중력 변화에 따른 Matlab 출력 그래프

단계 2 : Matlab 을 이용한 근접한 항체 weight 를 이용한 신경망 학습이 빠름을 확인

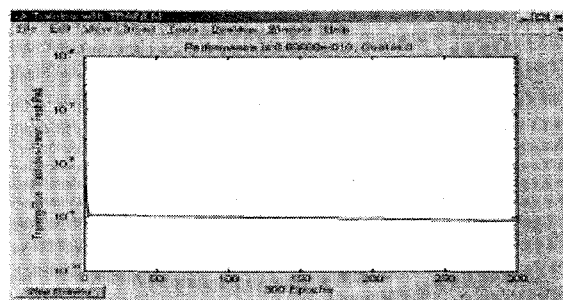


그림 3 random 한 weight 값을 초기값으로 한 중력 +20% 일 때의 신경망 학습 그래프

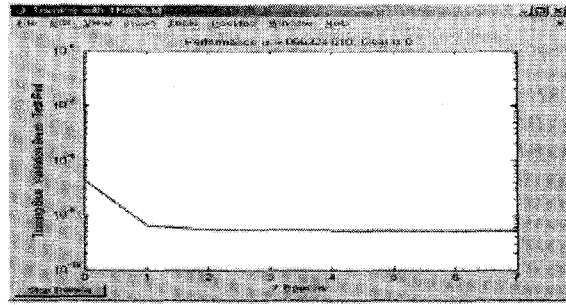


그림 4 중력 +10% 항체 weight 값을 초기값으로 한 중력 +20% 일 때의 신경망 학습 그래프

그림 3 과 그림 4 를 비교해보면 근접한 항체 weight 값을 이용한 신경망 학습이 최초 에러도 작고, 학습 종료도 빠르게 진행됨을 알 수 있다.

단계 3 : 제안된 기법의 제어기를 사용한 Robot arm 시뮬레이션을 통한 동작 확인

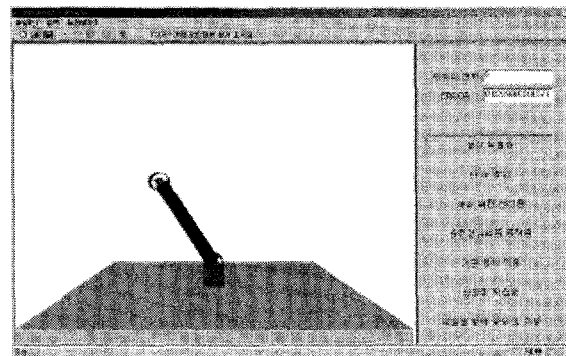


그림 3.12 Robot Arm Simulation Program

면역 체계를 이용한 지능형 강건 제어 기법은 이미 예측된 항원에 대해서 빠르게 대처하고, 새로운 항원에 대해서도 기존 제어기에 비해 짧은 시간 안에 대처가 가능하며, 이렇게 생성된 새로운 항체는 저장되어 항원에 대해 빠른 대응을 할 수 있다. 이러한 동작은 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 불확실한 외부환경에 스스로 대처하는 강건한 지능 제어 시스템을 개발하기 위해서 신경망 제어 기법, 유전 알고리즘, 면역 체계 이론들을 사용하였다. 신경망과 유전 알고리즘을 이용한 제어의 효율성은 지금까지 많이 검토되어왔다. 여기에 최근에 연구가 많이 이루어지고 있는 면역 체계 이론을 적용하여 변화하는 불확실성에 대한 강건한 제어 성능을 보유하도록 제어시스템을 설계하였다. 또한 기존에 하드웨어로 구현하기 어려웠던 유전 알고리즘을 손쉽게 하드웨어로 구현하는 방식을 택하여 실제 제어에 적용할 수 있는 계기를 마련했다.

한국반도체및디스플레이장비학회 2005년도 춘계학술대회용 논문집

자기 동조 면역 시스템을 이용한 제어 시스템은 신경망과 유전 알고리즘의 장단점을 보완하여 기존의 제어 알고리즘처럼 새로운 정보를 학습해나가기도 하며, 특히 과거의 학습정보를 이용하여 빠르게 주어진 환경에 적응해 나간다. 각각의 환경에 대한 항체를 생성해 놓으므로 다른 지능제어 비법과 비교해 볼 때, 제안한 기법은 동특성이 급격히 변하는 환경에서 효율적으로 제어를 수행한다. 면역 시스템 특히 네트워크 가설의 면역 시스템의 기억 능력에 대해 외국에서도 많은 연구가 이루어지고 있으며, 면역 네트워크와 신경망과의 접목을 이루려는 시도들이 이루어지고 있다. 앞으로 생물학적 면역 시스템의 연구, 개발과 더불어 지속된 공학적 방향으로의 접근이 이루어진다면 좀 더 효율적인 시스템의 개발이 이루어지리라 예상된다.

Acknowledgement

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTIO4-01-02) 지원으로 수행되었음

참고문헌

- [1] 권오국, 주영훈, 박진배, 초타원 가우시안 소속함수를 사용한 퍼지 추론 시스템의 혼합 자기 동조 기법
- [2] 도용태, 김일곤, 김종완, 박창현, 인공지능: 개념 및 응용, 9장. 신경회로망
- [3] 서재용, 다층 신경망과 면역 알고리즘을 이용한 로봇 매니플레이터 제어 시스템 설계, 1997
- [4] 최영길, 면역화된 귀환 신경망을 이용한 로봇 매니플레이터 제어 시스템 설계, 1997
- [5] A. Guez, J.L. Eilbert, and M. Kam, "Neural network architecture for control", IEEE Control Syst. Mag., pp.22-25, Apr., 1988
- [6] Akio ISHIGURO, Shingo ICHIKAWA, Yoshiki UCHIKAWA, A Gait Acquisition of a 6-Legged Robot Using Immune Networks
- [7] Akio ISHIGURO, Yasuhiro SHIRAI, Toshiyuki KONDO, Yoshiki UCHIKAWA, Immunoid : An Architecture for Behavior Arbitration Based on the Immune Networks
- [8] C. W. Anderson, "Learning to control an inverted pendulum using neural networks", IEEE Control Systems Magazine, vol.9, no.3, pp.31-37, 1989
- [9] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learnings, pp.1-58, Addison-Wesley, 1988
- [10] John J. Craig, Introduction to Robotics : Mechanics & Control, 1986
- [11] K. S. Narendra, and K. Patharathy, "Identification and Control of Dynamic System Using Neural Networks", IEEE Trans. on Neural Networks, vol.1, no.1, pp.4-27, 1990
- [12] Kenin Zbou, Robust and Optimal Control, pp.449-476, Prentice-Hall, 1996
- [13] M. Kawato, Y. Uno, M. Isobe, R. Suzuki, "Hierarchical Neural Network Model of Voluntary Movement with Application to Robotics", IEEE Control Syst. Mag., pp.8-16, Apr, 1988
- [14] Martn T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark Beale, Neural Network Design, 2001
- [15] Naoki MITSUMOTO, Toshio FUKUDA, Koji SHIMOJIMA, Akio OGAWA, Micro Autonomous Robotic System and Biologically Inspired Immune Swarm Strategy as a Multi Agent Robotic System
- [16] P. J. Angleline, G. M. Sauners, and J. B. Pollack, "An evolutionary algorithm that constructs recurrent neural networks", IEEE Tran. on Neural Networks, vol.5, no.1, Jan, 1994
- [17] Stephanie Forrest, Alan S. Perelson, Computation and the Immune System
- [18] T. Back, F. Hoffmeister, and H.P. Schwefel, "A Survey of Evolution Strategies", Proc. of the Fourth Int. Conf. on Genetic Algorithms, pp.2-9, 1991
- [19] T. Yabuta, and T. Yamada, "Neural Network Controller Characteristics with regard to Adaptive Control", IEEE Trans. on SMC, vol.22, pp.170-177, 1992
- [20] Z. Michalewicz, Genetic algorithms + Data structures = Evolution Programs, pp.1-115, Springer-Verlag, 1994