

면역화된 귀환 신경망을 이용한 로봇트 매니퓰레이터 제어 시스템 설계

(On Designing a Robot Manipulator Control System
using Immunized Recurrent Neural Network)

원 경 재*, 김 성 현**, 전 흥 태*
(Kyoung-Jae Won*, Seoung-Hyung Kim**, Hong-Tae Jeon*)

*중앙대학교 전자공학과
**동원공업전문대학 전자과
(*Dept. of Electronic Eng. ChungAng Univ., Seoul, Korea
**Dept. of Electronic Tongwon College of Technology)

ABSTRACT

In this paper we will develop the immunized recurrent neural network control system of a robot manipulator with high robustness in dynamically changing environment conditions. Immune system detects and eliminates the non-self materials called antigen such as virus, bacteria and so on which come from inside and outside of the living system, so plays an important role in maintaining its own system against dynamically changing environments. We apply this concept to a robot manipulator and evaluate the effectiveness of the above proposed system.

1 서론

첨단 제어 기법은 지능화와 더불어 예기치 않은 환경변화에 대처할 수 있어야 하고, 예측할 수 없는 내부 및 외부 외란을 스스로 제거할 수 있는 강건성을 필요로 하고, 다양한 외란에 대해 대처하는 자기 조정 능력을 필요로 한다. 상기의 문제점들을 해결할 수 있는 방법으

로 최근에 연구되고 있는 면역 체계(immune system)이론을 적용한다. 생물학적 측면에서 면역 시스템이란 불확실한 바이러스의 침입에 대한 자기 방어 체계를 의미한다. 이를 제어 측면에서 보면 예측할 수 없는 외부 외란을 자동적으로 제거할 수 있는 시스템을 말한다.

본 논문에서는 불확실한 외부환경에 스스로 대처하는 강건한 지능 제어 기법을 개발하

본 연구는 포항공과대학교 공정산업의 지능자동화연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

기 위해서 새로이 연구되고 있는 방어체계 알고리즘인 면역 체계 이론을 적용한다.

2 본론

2.1 생물학적 면역 시스템

생물학적 측면에서 볼 때 면역 시스템은 외부의 병원체에 대하여 방어하기 위한 체계를 가진 매우 복잡한 시스템이다. 면역 시스템은 신체 내부의 모든 세포(또는 분자)를 인식하고 이러한 세포들을 자기(self)와 비자기(nonsel)로 분류하며 이러한 분류과정을 통해 자기세포로 분류가 되지 않는 세포나 물질을 제거한다.

면역 반응을 주도적으로 조정하는 세포는 림프구(lymphocytes)이다. 림프구는 외부의 물질을 인식하는 역할을 하며, 이 때 몸 속의 조직은 인식하여 반응하지 않는다. 림프구는 항원·수용기(antigen receptor)라 불리는 림프구 표면의 분자에서 외부의 물질을 인식한다.

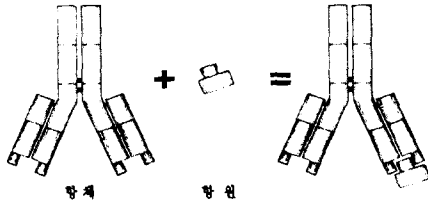


그림 1 항원과 항체

이러한 인식이 자기(self)와 비자기(nonsel)의 인식과 결합에 의해 수행되기 때문에, 외부의 항체 유전자는 여러 개의 library에 저장되어 있으며, 하나의 림프구 수용기는 이들 library에서 임의로 선택된 항체 유전자들의 조합으로 생성된다. 또한 이들 항체 유전자 사이의 재조합(recombination), 돌연변이(somatic mutation)로 인해 더욱더 많은 수의 수용기를 생성할 수 있게 한다. 이를 면역 시스템의 다양성이라 한다.

항원에 의해 유도된 항체는 면역 시스템 내에 기억된다. 기억된 항체는 항체를 생성할 때 작용하게 되는데, 항체 유전자로부터 생성되는 과정에서 기억된 항체와 유사한 특성을 지닌 항체를 생성시키게 된다.

면역 시스템은 초기 방어체계와 적응 방어체계의 두 가지로 구분된다. 초기 방어체계는 기존에 생성된 항체를 이용하여 항원에 대항할 경우에 발생하며 적응 방어체계는 초기 방어체계로 항원에 대응하지 못할 경우에 일어나게 된다. 적응 방어 체계 동작 중에 항원에 대한 정보를 학습하여 항체를 만들어내게 된다. 따라서 이후 같은 항원이 침투할 경우엔 초기 방어체계로써 항원에 대응할 수 있게 된다. 따라서 항원에 대한 학습을 수행할 필요가 없어지므로 항원에 대해 빠른 대처능력을 보인다.

2.2 면역 제어 시스템

면역 제어 시스템(immunized control system)은 생물학적 면역 시스템의 특성을 모방하여 제어기법으로 응용한 것으로 불확실성을 미리 예측하고 그에 따른 항체를 만들어 놓은 후, 시스템에 불확실성이 가해졌을 때 주어진 항체 또는 항체들의 조합을 사용하여 적응적으로 제어 입력을 바꿔주는 시스템을 말한다.

면역 시스템의 관점에서 볼 때, 시스템 내 외부의 불확실성은 시스템에 에러를 유발하여 시스템을 불안정하게 하는 원인이 되므로 항원으로 생각할 수 있으며, 이러한 불확실한 요소에 강건하게 대처할 수 있는 제어 입력을 항원에 대응하는 항체라 볼 수 있다. 각각의 불확실성에 대한 제어 파라미터들은 항체 유전자의 역할을 하여 새로운 항체를 만드는 재료가 된다. 면역 시스템에서 항체 유전자는 생성하는데 시간이 오래 걸리지만 한 번 생성된 후에는 병원체에 즉각적으로 대응할 수 있다. 실제 제어기를 설계함에 있어서도 각각의 환경에 대한 항체 재료는 생성하는데 시간이 소요되며 이것은 기존의 지능제어 기법으로 이루어진다. 생성된 제어 파라미터는 새로운 제어 파라미터를 생성하기 위해 저장되며, 시스템에 들어오는 불확실성이 학습된 것일 경우 저장된 파라미터들로 빠르게 불확실성에 대처하게 된다.

2.3 항체 생성

항체 생성과정은 항체 유전자를 생성하는 과정으로 모든 시스템에 유발될 수 있는 모든 불확실성에 대한 정보를 기억하여야 어떠한 불

확실성에도 대처가 가능하다.

그림 2와 같은 면역 제어 시스템에서 면역 제어기(Immunized Controller)는 적응 학습을 통해 제어 대상 시스템의 역동력학 특성을 모델링하여 기준 입력에 대한 제어 입력을 생성한다. 학습을 마친 이후 제어기 파라미터는 하나의 항체가 된다. 각각의 항체를 생성해야 하므로 이 과정은 오프라인으로 수행이 되며, 시스템에 일어날 수 있는 모든 불확실성을 고려할 때까지 계속된다.

생성된 제어 파라미터는 면역 제어를 수행할 때, 항체 유전자로 사용되며, 따라서 제어 파라미터들은 각각 하나의 library이다. 이들 항체 유전자를 재조합(recombination)하고 돌연변이(somatic mutation)시켜 새로운 항체를 만드는 과정에서 유전 연산자를 사용한다.

2.4 면역 제어

면역 제어과정은 유전 연산자를 사용하여 기존의 항체 유전자로부터 새로운 항체를 만들어 내는 과정이다. 불확실성이 가해지면 현재의 제어기로 원하는 제어를 수행하기 어려우며, 또한 기존 학습방식의 한계점 때문에 학습을 통해 제어를 수행하기도 어렵다.

면역 제어 시스템은 오차가 생길 경우 즉각적으로 대응하여 제어기를 새로운 환경에 맞도록 바꾸어준다. 제어 환경의 변화는 원하는 출력과의 오차에 의해 판별한다. 현재 제어기로 동작이 원활히 이루어지지 않을 경우 항체 생성과정에서 얻은 항체 유전자들의 정보를 사용하여 새로운 제어 입력을 생성한다.

이 과정에서 생물학적 면역 시스템의 재조합(recombination), 돌연변이(somatic mutation) 과정을 수행하기 위해 교배(crossover)와 돌연변이(mutation) 등의 진화 연산자를 이용한다.

실제적인 제어는 자손(offspring)들의 친화도를 평가함으로써 이루어진다. 좋지 못한 자손들은 제어에 악영향을 미치게 되므로 이 영향을 줄이고 생성된 항체들의 부모 집단(population)에 빠른 변화를 주어 수렴 속도를 높이기 위해 자손은 2개로 삼으며, 그중 하나는 친화도가 가장 높은 것을 항상 선택한다. 제어 수행중 선택된 항체 유전자가 부적격하거나 연산

자들의 확률적 특성으로 인해 우수한 제어 파라미터 값을 찾지 못할 경우, 항체뱅크에서 새로이 항체 유전자를 선택하여 새로운 제어 파라미터를 찾아나간다. 그림 3에 면역 제어 시스템의 동작과정을 보인다.

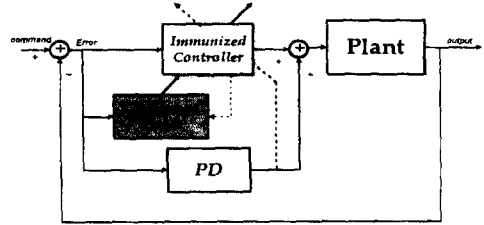


그림 2 면역 제어 시스템

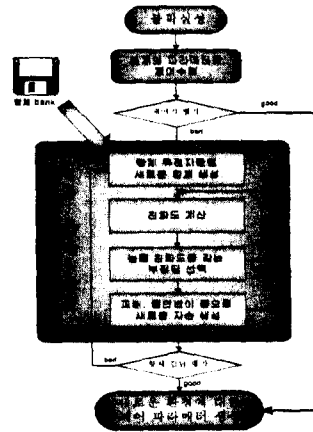


그림 3 면역 알고리즘의 흐름도

3 모의 실험 및 제어 성능 고찰

로봇 매니플레이터의 경우 질량 m_1 과 m_2 의 변동, 그리고 마찰항 등을 불확실 요소(항원)로 볼 수 있으며, 이들의 변동이 시스템의 제어 성능에 영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 불확실 원인을 항원으로 규정하고 그에 상응하는 제어 파라미터를 항체라 규정할 수 있다. 각각의 환경에 대하여 오차 역전파 알고리즘을 통해 귀환 신경망을 학습시키고 이를 항체뱅크에 저장한다. 저장된 귀환 신경망의 가중치들은 각각의 환경에 대한 최적의 값으로 이루어지며 이들이 항체 유전자가 된다.

항체 유전자들은 면역 제어 과정에서 교배와 돌연변이를 거쳐 새로운 가중치들을 생성하는데 사용되며, 학습되지 않는 환경이라도 가중

치들의 조합으로 새로운 항체를 찾아내어 제어를 수행한다.

은닉층이 완전 귀환신경망으로 이루어진 신경회로망을 구성한다. 본문에서는 입력층, 출력층, 은닉층이 각각 4개, 2개, 8개의 뉴런으로 구성한다. 따라서 가중치 스트링은 112개로 이루어진다. 항체를 생성하기 위해 로봇 매니플레이터가 원하는 경로를 따라가도록 신경회로망을 학습시킨다. 이 때 여러가지 불확실한 항(항원)들을 넣은 후 역전파 알고리즘으로 신경회로망을 학습하여 최적의 가중치들을 얻는다. 부과될 수 있는 모든 불확실성을 고려한다. 본 논문에서는 로봇 매니플레이터 시스템의 파라미터 m_1 과 m_2 가 30 kg ~ 50 kg 사이에서 변하고, 마찰력도 부가된다고 고려한다. 각각의 가중치를 저장하여 50개의 가중치 벡터를 얻는다. 면역 제어를 위해 샘플링 시간을 0.01로 삼고, 하나의 표본을 평가하는데 0.3초가 경과된다고 두었다. 자손의 수는 항상 2로 두었으며, 자손 중 하나는 항상 최고의 친화도를 가진 표본을 선택하도록 한다. 항체 유전자들로부터 초기 가중치를 얻는다. 이 유전자들로부터 생성된 가중치로 제어가 잘 된다면 이 항체들로 제어를 유지하며, 환경에 적응하지 못할 경우에는 새로이 항체뱅크로부터 항체 유전자 정보를 읽어들이어 새로운 항체 집단을 형성한다. 불확실성의 여부는 시스템의 오차로 판별한다. 시스템의 오차가 원하는 경계를 넘게 되면, 파라미터 변화나 외란이 생긴 것이라 가정하고 항원뱅크에서 임의로 항체 유전자 정보를 꺼내 돌연변이, 교배, 선택 연산자 등을 통해 새로운 항체를 생성하여 변화한 환경에 대처한다.

IV. 결론

외부환경에 스스로 대처하는 강건한 지능 제어 기법을 위해 면역 체계 이론을 적용한 면역 제어 시스템(Immunized Control System)을 구성하여 외부환경 변화에 강건하고 적응적인 로봇 매니플레이터 제어를 수행하였다. 면역 제어 기법은 동특성이 급격히 변하는 환경에서 효율적으로 제어를 수행한다.

참고 문헌

1. N. K. Jerne, "The generative grammar of the immune system," *EMBO Journal*, vol.4, no.4, 1985.
2. N. K. Jerne, "Toward a network theory of the immune system," *Ann. Immunol.(Inst. Pasteur)*, vol.125C, pp.373-389, 1974.
3. J. E. Hunt, D. E. Cooke, "An Adaptive, Distributed Learning System based on the Immune System," pp.2494-2499, 1995.
4. A. Ishiguro, Y. Watanabe, Y. Ychikawa, "A Gait Acquisition of 6-Legged Walking Robot Using Immune Networks", *Journal of Robotics Society of Japan*, vol.13, no.3, pp.125-128, 1995.
5. Y. Ishida, N. Adachi, "An Immune Algorithm for Multiagent: Application to Adaptive Noise Neutralization," *Proc. of IROS 96*, pp.1739-1746, 1996
6. K. KrishnaKumar, "Immunized Neurocontrol - Concepts and Initial Results," *International Workshop on COGANN-92*, pp.146-168, 1992

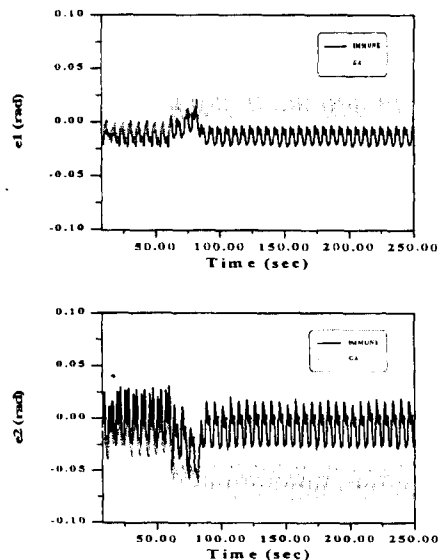


그림 4 $m_1=38\text{ kg}$, $m_2=38\text{ kg}$ 에서 $m_1=48\text{ kg}$, $m_2=48\text{ kg}$, $F_d=50$ 으로 변화할 때 GA와 IMMUNE의 비교