

DC 모터 파라미터 변동에 대한 면역 알고리즘 제어기 설계

Immune Algorithm Controller Design of DC Motor with parameters variation

*박진현, **전향식, ***이민중, ****김현식, ****최영규

* 진주산업대학교 산업자동화공학과

** 한국항공우주산업주식회사

*** 부산대학교 전자전기정보컴퓨터공학부

**** 국방과학연구소

Jin-Hyun Park, Hyang-Sik Jun, Min-Jung Lee, Hyun-Sik Kim, Young-Kiu Choi

Dept. of Industrial Automation Engineering

E-mail : jh-park@jinju.ac.kr

Abstract

The proposed immune algorithm has an uncomplicated structure and memory-cell mechanism as the optimization algorithm which imitates the principle of humoral immune response, and has been used as methods to solve parameter optimization problems. Up to now, the applications of immune algorithm have been optimization problems with non-varying system parameters. Therefore, the effect of memory-cell mechanism, which is a merit of immune algorithm, is without.

this paper proposes the immune algorithm using a memory-cell mechanism which can be the application of system with nonlinear varying parameters. To verified performance of the proposed immune algorithm, the speed control of nonlinear DC motor are performed. Computer simulation studies show that the proposed immune algorithm has a fast convergence speed and a good control performances under the varying system parameters.

Key Words : Immune Algorithm, memory-cell mechanism

1. 서론

60년대 중반부터 지속적으로 연구가 진행되어 온 진화 알고리즘(Evolutionary Algorithms : EAs)은 최적화 문제에 있어서 매우 유용한 기법으로 자연선택의 원리를 모방한 비결정론적 탐색 알고리즘이다 [1,2]. 특히, 기존의 최적점 탐색방법에서와 같은 국부탐색(local search)이 아닌, 여러해를 동시에 탐색하는 전역탐색(global search)방법이므로 국부수렴의 가능성이 줄어든다는 장점을 갖는다. 이러한 비결정론적 알고리즘과 유사한 또 다른 하나인 면역 알고리즘(Immune Algorithm : IA)이 최근 들어 연구가 되어지고 있다. 인간의 면역체계는 생체의 방어 및 유지를 수행하는 자율분산시스템으로, 시스템의 요소들은 뇌의 명령을 따르는 것이 아니라 각 요소가 자율적으로 환경에 대응한다. 이러한 면역 시스템

을 여러 공학 분야에서 체액성 면역 반응(Humoral Immune Response)과 세포성 면역 반응(Cell-Mediated Immune Response)으로 나누어 연구되고 있다[3-5].

특히, 체액성 면역 반응에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 체액성 면역 반응은 최적화 기법[3, 5] 및 로봇의 행동 선택기[5] 등과 같은 적용 방법으로 연구가 진행되고 있다. 최적화 기법의 적용에서는 지금까지 연구되어진 진화 알고리즘 특히, 유전 알고리즘의 연산자와 면역 시스템의 연산자를 결합한 방법이 연구의 주를 이루고 있다[3].

세포성 면역 반응은 면역 시스템의 T-cell에 세포 분자 동역학을 바탕으로 연구되어지며, 개체의 제거(Killer), 촉진(Helper), 억제(Suppress)와 같은 3가지 세포성 면역반응에 기초하여 제어기의 파라미터 및 제어기 구조를 결정하는 방법으로 연구가 진행되

고 있다[4].

본 연구에서는 활발히 연구가 진행되는 체액성 면역 반응 중 최적화 기법으로의 적용을 고려하려 한다. 지금까지 제안된 면역 알고리즘에 비하여 복잡성이 덜하며, 시스템 파라미터의 변동에 대하여 기억세포 메카니즘을 적용한 최적화 알고리즘을 제안하고자 한다. 그리고 제안된 최적화 알고리즘의 성능 평가를 위하여 직류 모터의 속도제어에 적용하고자 한다. 즉, 제안된 최적화 알고리즘이 비선형 직류 모터 시스템의 파라미터들이 변화할 경우, 기억세포 메카니즘에 의하여 빠르게 최적의 PID 제어기 이득을 구하고자 한다.

2. 인체 면역 시스템

및 면역 알고리즘의 구현

면역 시스템은 생체의 방어 및 유지를 수행하는 자율분산시스템으로, 시스템의 요소들은 뇌의 명령을 따르는 것이 아니라 각 요소가 자율적으로 환경에 대응한다. 면역 시스템은 인간의 피부와 점막 같은 1차 방어 시스템과 특이적 방어(specific defence)와 비특이적 방어(nonspecific defence)인 2차 시스템으로 나뉜다. 2차 시스템의 특이적 방어를 일반적인 면역 반응으로 알려져 있다[4].

따라서, 면역시스템은 생체 내로 침입한 항원을 인식하고 과거에 배제한 항원에 대해서는 기억세포에서 직접 항체를 만들며, 새로운 항원에 대해서는 세포 유전자의 재구성에 의해 항원에 대응하는 항체 생산세포를 만들고 이것을 증식하여 항원에 대응하는 항체를 만든다. 또한 면역시스템은 자기에 대해서도 면역성을 나타내고 생체 내에 대량으로 발생한 항체의 생산을 억제해서 정상상태로 돌아가는 기구를 가지고 있다.

본 연구에서는 인체 면역계에서의 작용을 면역 알고리즘으로 설계하고, 설계된 면역 알고리즘을 최적화 문제에 적용하고자 한다. 면역 알고리즘을 최적화 문제에 대응시켜 보면 다음과 같이 대응될 수 있다. 면역 알고리즘의 항원은 최적화 문제의 제약조건과 목적함수로 대응되며, 항체는 최적화 문제의 해집단 후보가 된다. 그리고 면역 알고리즘의 기억 세포는 최적화 문제의 해집단이 되며, 면역계에서의 항원과 항체간의 친화도는 최적화 문제에서의 적합도로 계산된다. 또한 항원 제시 세포의 크기는 시스템을 구분하는 인자로 사용하며, 항체 사이의 항원 제시 세포 크기의 친화도는 최적화 문제에서 해의 유사도로 사용할 수 있다. 따라서 제안된 면역 알고리즘의 성능 평가를 위하여 비선형 직류 모터의 속도제어에 적용하고자 한다. 또한 시스템의 파라미터들이 변화할 경우, 기억세포 메카니즘에 의하여 빠

르게 최적의 PID 제어기 이득을 구하고자 한다.

최적의 PID 제어기 이득을 선정하기 위하여 면역 알고리즘의 i 번째 항체를 다음과 같은 파라미터 벡터로 정의한다.

$$Antibody_i = [PID_{P,i}, PID_{I,i}, PID_{D,i}, APC_{1,i}, APC_{2,i}]^T \quad (1)$$

여기서, $PID_{P,i}$ 는 i 번째 항체의 PID 제어기 비례 이득, $PID_{I,i}$ 는 i 번째 항체의 PID 제어기 적분이득, $PID_{D,i}$ 는 i 번째 항체의 PID 제어기 미분이득을 나타내었다. 그리고 $APC_{1,i}$, $APC_{2,i}$ 는 i 번째 항체의 항원 제시 세포(Antigen Presenting Cell: APC)들을 나타내었다.

또한 면역 알고리즘의 최적화를 위한 항원과 항체 사이의 친화도 계산은 다음과 같이 정의하였다.

$$c_{finitivity}_v = \frac{1}{(1 + cpt_v)} \quad (3)$$

단, cpt_v 는 최적화시키고자 하는 함수이다.

cpt_v 는 아래와 같이 정의하였다.

$$opt_v = a \sum_{k=0}^N |error(k)| \quad (4)$$

여기서, $error(k)$ 는 k step에서의 속도오차를 나타내며, N 은 전체 시간샘플링 횟수, a 는 상수값이다.

그리고 항원과 항체, 항체와 항체 사이의 친화도 계산은 항원 제시 세포 사이의 친화도로 계산한다. 따라서 항원과 항체간의 친화도는 항원 제시 세포와 항체 v 의 항원 제시 세포 크기의 친화도로 계산하며, 다음과 같이 정의하였다.

$$c_{finitivity}_v = \frac{1}{1 + ED_{APC_v}} \quad (5)$$

단, ED_{APC_v} 는 항원 제시 세포와 항체 w 의 항원 제시 세포 크기의 유클리디안 거리(Euclidean distance)이다.

또한 항체와 항체 사이의 친화도는 항체 v 의 항원 제시 세포와 항체 w 의 항원 제시 세포 사이의 친화도를 계산한다. 친화도 계산과정은 아래와 같다.

$$c_{finitivity}_{v,w} = \frac{1}{1 + ED_{APC_{v,w}}} \quad (6)$$

단, $ED_{APC_{v,w}}$ 는 항체 v 와 w 의 항원 제시 세포 크기의 유클리디안 거리(Euclidean distance)이다.

그림 1은 제안된 면역 알고리즘의 전체 순서도를 나타내었다. 이를 단계별로 설명하면 다음과 같다.

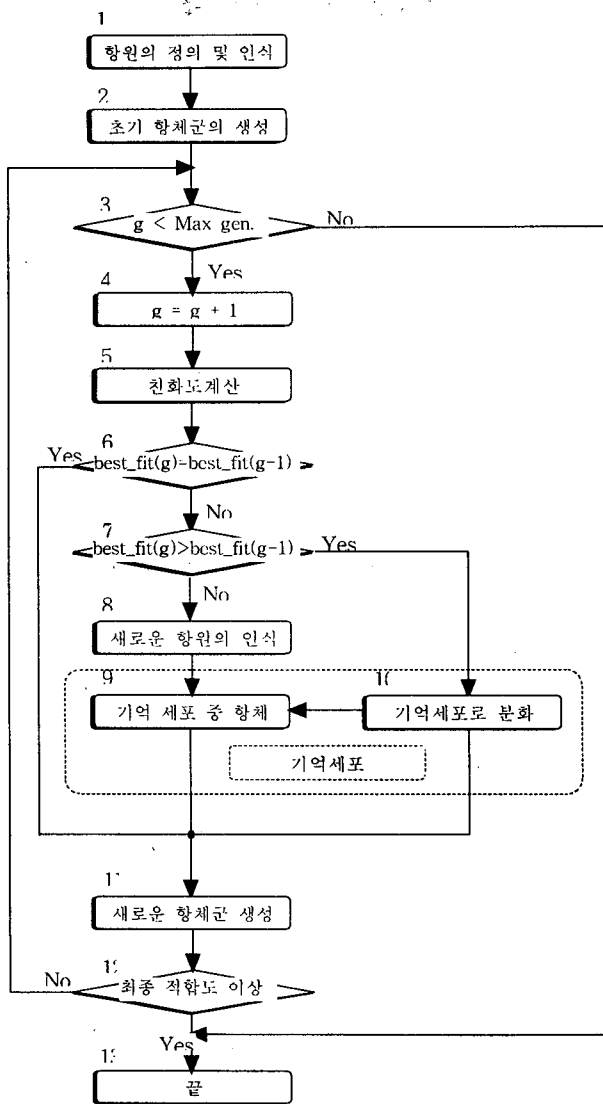


그림 1. 면역 알고리즘의 순서도
Fig. 1. Flow Chart of Immune Algorithm

3. 비선형 직류 모터 시스템 구성

앞에서 제안한 면역 알고리즘을 비선형 직류 모터의 속도제어에 적용하여, 그 타당성과 유용성을 본절에서 보이고자 한다. 시뮬레이션을 위한 직류 모터 방정식은 다음 식과 같다.

$$K\omega_p(t) = -R_a i_a - L_a \frac{di_a(t)}{dt} + V_t(t) \quad (7)$$

$$Ki_a = J \frac{d\omega_p(t)}{dt} + D\omega_p(t) + T_L(t) \quad (8)$$

단, 부하토크 $T_L(t)$ 은 다음과 같은 비선형 형태로 두고, μ 는 상수이다.

$$T_L = \mu \omega_p^2(t) \text{sign}(\omega_p(t)) \quad (9)$$

그림 2는 비선형 직류 모터 제어시스템을 나타내었다. 면역 알고리즘에 의하여 직류 모터 제어 시스템의 제어 이득을 최적화하고자 한다. 직류 모터 시스템 제어를 위한 샘플링 시간은 2(msec)로 하였

으며, 속도 명령은 $\pm 30(\text{rad/sec})$ 를 인가하였다.

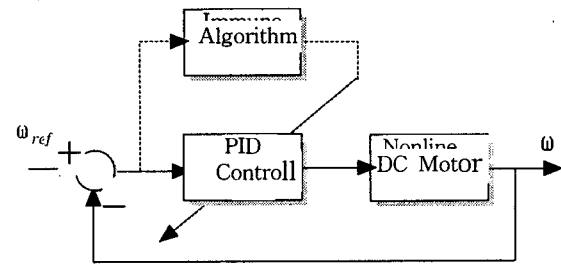


그림 2. 비선형 직류 모터 제어 시스템
Fig. 2. Nonlinear DC Motor Control System

비선형 직류 모터 시스템의 파라미터 변화에 대한 성능 비교는 표 2와 같이 선정된 파라미터 J, D, μ 를 $\pm 25\%$ 변화시켜 표 3과 같이 선정하였다. 이렇게 선정된 직류 모터 시스템 파라미터에 대하여 제안된 면역 알고리즘과 유전 알고리즘의 성능을 비교하고자 한다. 성능의 비교는 첫 번째 세대의 평균 적합도와 최대 적합도, 그리고 최종 세대가 지난 후의 최대 적합도를 비교하였다. 모의 실험의 공정성을 보이기 위하여, 파라미터 변동에 대하여 각기 10번씩 성능을 구하여 이를 평균하여 계산하였다.

표 2. 직류 모터의 파라미터
Table 2. Parameters of DC Motor

cases	파라미터들의 변화 (J, D, μ 의 $\pm 25\%$) 설정값 : J=0.068, D=0.03475, μ =0.0039		
	J (Kg m ²)	D (Nm s)	μ (Nm s ²)
case (1)	0.051	0.03475	0.0039
case (2)	0.085	0.03475	0.0039
case (3)	0.068	0.026063	0.0039
case (4)	0.068	0.043438	0.0039
case (5)	0.068	0.03475	0.002925
case (6)	0.068	0.03475	0.004875
case (7)	0.051	0.026063	0.0039
case (8)	0.051	0.043438	0.0039
case (9)	0.051	0.03475	0.002925
case (10)	0.051	0.03475	0.004875
case (11)	0.085	0.026063	0.0039
case (12)	0.085	0.043438	0.0039
case (13)	0.085	0.03475	0.002925
case (14)	0.085	0.03475	0.004875
case (15)	0.068	0.026063	0.002925
case (16)	0.068	0.026063	0.004875
case (17)	0.068	0.043438	0.002925
case (18)	0.068	0.043438	0.004875
case (19)	0.051	0.026063	0.002925
case (20)	0.051	0.026063	0.004875
case (21)	0.051	0.043438	0.002925
case (22)	0.051	0.043438	0.004875
case (23)	0.085	0.026063	0.002925
case (24)	0.085	0.026063	0.004875
case (25)	0.085	0.043438	0.002925
case (26)	0.085	0.043438	0.004875

그림 6은 경우 (1)-(26)까지의 파라미터 변동에 대하여, 제안된 면역 알고리즘과 유전 알고리즘의 초기 세대의 평균 적합도를 10번 시행한 후 평균값을 도시하였다. 그림의 결과에서와 같이 평균 적합도의 평균값은 면역 알고리즘이 유전 알고리즘에 비하여 매우 양호한 특성을 보였다. 이는 실제 실험에 있어 유전 알고리즘이 초기 세대의 랜덤하게 발생되므로 랜덤하게 발생한 제어기 이득이 시스템에 치명적인 영향을 미치게 된다. 그러나 제안된 면역 알고리즘에 의해서는 항원의 친화도에 의하여 선택된 항체에 평균이 '0'인 가우시안 랜덤 분포를 발생시켜 새로운 항체군을 생성하므로 랜덤하게 항체를 생성하여 발생하는 문제를 막을 수 있다.

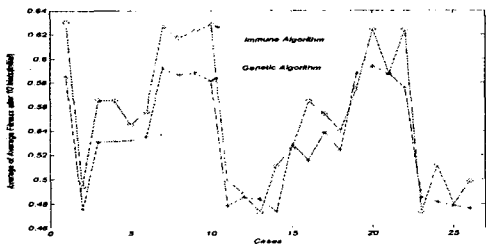


그림 3. 10번 시행 후, 초기 세대에서 평균 적합도의 평균값
Fig. 3. Average of Initial Average Fitness after 10 trials

그림 7은 경우 (1)-(26)까지의 파라미터 변동에 대하여, 제안된 면역 알고리즘과 유전 알고리즘의 초기 세대의 최대 적합도를 10번 시행한 후 평균값을 도시하였다. 결과에서와 같이 초기 세대의 최대 적합도의 평균값은 제안된 면역 알고리즘이 유전 알고리즘 보다 항상 더 좋음을 알 수 있다. 이는 제안된 면역 알고리즘이 최적화 탐색을 항원의 친화도에 기초하여 항체를 생성하므로 유전 알고리즘의 개체 생성이 랜덤한 것에 비하여 더 좋은 성능을 보임을 나타낸다.

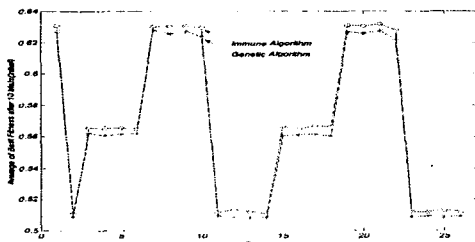


그림 4. 10번 시행 후, 초기 세대의 최대 적합도의 평균값
Fig. 4. Average of Initial Best Fitness after 10 trials

그림 8은 경우 (1)-(26)까지의 파라미터 변동에 대하여, 제안된 면역 알고리즘과 유전 알고리즘을 50세대 진화 후, 최대 적합도를 구하고, 이를 10번 시행한 후의 평균값을 도시하였다. 결과에서와 같이 최종 세대의 최대 적합도의 평균값 역시 제안된 면역

알고리즘이 유전 알고리즘에 비하여 좋음을 알 수 있다.

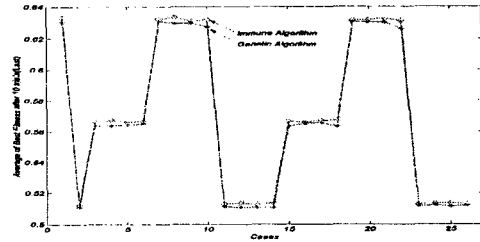


그림 5. 10번 시행 후, 최종 세대의 최대 적합도의 평균값
Fig. 8. Average of Final Best Fitness after 10 trials

5. 결론

본 연구에서는 체액성 면역 반응을 묘사한 최적화 기법으로 지금까지 제안된 면역 알고리즘에 비하여 복잡성이 덜하고, 시스템 파라미터의 변동에 대하여 기억세포 메카니즘을 적용한 최적화 알고리즘을 제안하고자 하였다. 이를 비선형 직류 모터의 속도제어에 적용하여 그 유용성을 확인하고자 하였다. 즉, 제안된 최적화 알고리즘을 비선형 직류 모터 시스템의 파라미터들이 변화할 경우, 기억세포 메카니즘에 의하여 유전 알고리즘 보다 빠르게 최적의 PID 제어기 이득을 구하고, 제어시스템이 안정한 상태에서 동작하도록 하였다.

6. 참고문헌

- [1] Zbigniew Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, 1994.
- [2] Tomas Bäck, Evolutionary Algorithms in Theory and Practice : Evolution Strategied, Evolutionary Programming and Genetic Algorithms, Oxford University Press, 1996.
- [3] Kazuhiko Takahashi and Takayuki Yamada, "Application of an Immune Feedback Mechanism to Control System," JSME International Journal, Series C, Vol. 41, No. 2, 1998.
- [4] 이영진, 이진우, 이권순, "세포성 면역 알고리즘을 이용한 AGV의 조향 제어기 설계에 관한 연구," 제어 자동화 시스템 공학회 논문지, 제7권, 제10호, pp.827-836, 2001.
- [5] A. Ishiguro, Y. Watanabe, and Y. Uchikawa, "An Immunological Approach to Dynamic Behavior Control for Autonomous Mobile Robot," Proceeding of IROS'95, Vol. 1, pp.495-500, 1995.