

세포성 면역 알고리즘을 이용한 AGV의 조향 성능 향상에 관한 연구

이영진\*, 손주한\*, 이진우\*, 조현철\*, 이권순\*\*  
 \*동아대학교 전기공학과, \*\*동아대학교 전기전자컴퓨터 공학부 교수

A Study on Steering Performance Improvement of the AGV using Cell-Mediated Immune Algorithm

Y. J. Lee\*, J. H. Sohn\*, J. W. Lee\*, H. C. Cho\*, K. S. Lee\*\*

\*Dept. of Electrical Eng., \*\*Dept. of Electrical, Electronic and Computer Eng., Dong-A Univ.  
 E-Mail : Kslee@daunet.donga.ac.kr

**Abstract** - In this paper, cell-mediated immune algorithm(CMIA) controller was proposed and applied for the autonomous guided vehicle(AGV) driving. It was based on specific immune response of the biological immune system which is the cell-mediated immunity.

To verify the performance of the designed CMIA controller, some experiments were performed for the control of steering and speed of AGV. And then the displacement and speed tracking error of the AGV was mainly investigated.

As results, the capability of realization and reliableness were proved by comparing the response characteristics of the classical controller with the proposed CMIA controller.

1. 서 론

최근에는 인간의 뇌를 모델링한 신경회로망이나 자연계의 진화의 속성을 이용한 GA 등과 같은 진화형 제어 알고리즘이 시스템의 동적 특성과 적응적 특성을 가지고 있다는 장점으로 많이 이용되고 있다. 그러나, 새롭게 변화하는 외부 환경이나 시스템의 변화에 대한 재학습 및 재진화 과정이 추가되어야 하는 어려움이 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 극복하고자 면역 시스템(Immune System)의 특징인 확률적 인식(Probabilistic Recognition), 학습과 기억 능력, 그리고 면역 네트워크(Immune Network)의 조절 이론을 공학적인 관점에서 적용하여, 외부 환경에 강인하면서도 적응적으로 대응할 수 있는 새로운 제어 시스템을 개발하고자 한다.

즉, 면역 시스템이 가지고 있는 두 가지 특이적 면역(Specific Immunity) 반응 중 세포성 면역(Cell-Mediated Immunity) 반응을 수학적으로 모델링하여 제어 시스템으로 설계하고자 하며, 이를 무인 운반차(Autonomous Guided Vehicle:AGV)의 주행제어에 적용하고자 한다. AGV는 생산성을 향상시키고, 안정성을 유지할 수 있도록 하기 위해 가급적 빠른 속도로 주행하여 물류 운반에 소요되는 시간을 줄이는 것이 요구된다. 이때, 각 제어기들은 부하 변동이나 주위의 환경 변화에도 적응성을 가질 수 있도록 설계되어야 한다.

따라서, 제안한 CMIA 제어기를 적용하여 AGV의 주행 제어 실험을 수행하여 종래의 PID 제어기 및 신경회로망 PID(Neural Network PID: NNPID) 제어기와 그 응답 특성을 비교함으로써 적응 제어기로서의 실현 가능성과 우수성을 입증하고자 한다.

2. AGV 시스템

2.1 AGV 시스템 하드웨어

AGV의 구성은 크게 제어부, 구동부, 통신부 및 센서부인 4개 부분으로 나눌 수 있다. 우선, 제어부는 다시, PC와 C196으로 나누어 AGV 시스템을 제어하도록 구성하였다. PC는 펜티엄 586Ⅲ로 구성하였으며, 영상 정보를 처리할 수 있는 메인 프로그램을 수행하도록 하였다. 또한, PC에서 취득된 영상으로부터 얻은 주행 변위 오차에 대한 정보는 RS232 통신을 통하여 C196으로 전송되어 제어기 구동에 필요한 정보를 교환하도록 구성하였다. C196에서는 각 제어 알고리즘과 조향, 속도 등의 센서 데이터를 처리하여 각 모터의 구동 신호를 발생시키도록 하였다. 표 1은 AGV 시스템의 사양을 나타낸다.

Table 1 Specifications of AGV system

Contents	Specification	
Overall Length	1(m)	
Overall Width	0.3(m)	
Overall Heigh	0.3(m)	
Wheel Radius	0.05(m)	
Weight(kg)	Dead weight	Payload
	30(kg)	25(kg)
Steering Part	Gear rate $\Rightarrow$ 1 : 35 (10((rpm))	
	Max. Steering Angle $\Rightarrow$ 30 $\pm$ 4( °)	
	Rated Voltage $\Rightarrow$ 20(V)	
Speed Part	Gear rate $\Rightarrow$ 1 : 16	
	Max. Speed $\Rightarrow$ (211(rpm))	
	Rated Voltage $\Rightarrow$ 20 (V)	
Sensor Part	Potentiometer	0~2[k $\Omega$ ], $\pm$ 10[%]
	Ultrasonic	Polaroide 650 series
Batteries	7(AH), 12 (V) $\times$ 3 (EA)	

2.2 CCD 카메라를 이용한 경로오차 생성 시스템

본 논문에는 설계 제작된 AGV의 주행경로 상의 위치 정보를 얻기 위하여 CCD 카메라(Camera)를 이용하였다. 즉, 가이드라인(Guideline)과 AGV와의 상대적 위치와 각도에 대한 오차를 얻기 위한 센서로 활용하였다.

실험에 사용된 바닥면은 약간의 잡음 성분을 가지는 흑색 배경에 백색의 가이드 라인으로 구성하였다. 영상 처리를 위하여 80 $\times$ 60 사이즈의 영상을 이용하여 중심으로부터 우측은 양, 좌측은 음의 부호로 설정하였다. 획득된 영상 정보는 초당 20 프레임(Frames)의 처리 속도로 윤곽선 검출 등의 처리과정을 통하여 AGV의 상태를 C196에 전송시키도록 하였다.

3. CMIA 제어기의 설계

3.1 면역 시스템의 구조

생체의 면역 시스템은 생체 내에 투입되는 항원(Antigen) 즉, 박테리아(Bacteria) 혹은 병원균 세포(Germ Cell)와 같은 외부 침투 물질을 인식하여 이를 방어함과 동시에 생체 내부의 안정된 상태를 스스로 조절해 나가는 진화적 생체 방어 시스템으로 알려져 있다.

이러한 생체의 면역 시스템의 면역 반응이라 함은 특이적 면역 반응을 일컫으며, 크게 체액성 면역(Humoral Immunity) 반응과 세포성 면역 반응으로 나뉘어 질 수 있다.

특히, T 세포(T Cell)에 의한 세포성 면역 반응은 Killer T 세포( $T_k$ ), Helper T 세포( $T_h$ ), Suppressor T 세포( $T_s$ )인 세가지 세포에 의한 항원 제거(Killing), 다른 세포 생성의 촉진(Help), 및 억제(Suppression)가 주요 역할로서 최근 이를 모델링하여 제어 분야에서 많은 관심이 집중되고 있다.

### 3.2 세포성 면역 알고리즘(CMIA)

세포 및 분자의 동력학(Cellular Molecular Kinetics) 모델은 모든 면역 반응의 기초가 되는데, 이는 보존 법칙이나 화학의 질량 작용 원리에 근거한 것으로서 이를 기초로 하여 면역 반응의 관계를 모델링할 수 있다. 즉, 세포성 면역 반응에서 가장 핵심적인 역할을 하는 요소인 T 세포에 대한 반응 메카니즘만을 고려하여 보면 식 (1)과 같은 모델을 얻을 수 있다[1,2].

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= p_1 x_1 - \frac{x_1}{\tau_1} - p_{31} x_1 \\ \frac{dx_2}{dt} &= p_2 x_2 - \frac{x_2}{\tau_2} - p_{31} x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} &= p_3 x_3 - \frac{x_3}{\tau_3} - p_{33} x_3 \\ \frac{dx_4}{dt} &= p_4 x_4 - \frac{x_4}{\tau_4} - p_{24} x_4 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $x_1, x_2, x_3$ 는 각각  $T_h, T_k$  및  $T_s$  세포를 나타내고,  $x_4$ 는 항원을 나타낸다. 또한,  $p_i$ 는 각 세포 및 항원의 성장 계수이고,  $p_{33}$  및  $p_{24}$ 는 각각 다른 세포에 대한  $T_s$ 의 억제요소와  $T_k$ 가 항원을 제거하는 반응의 정도를 나타내는 세포 활성화 계수로서 이들 모두 면역 반응의 정도를 조절하는 역할을 한다.

### 3.3 CMIA 제어기

본 논문에서는 세포-분자 동력학 이론으로부터 얻어진 식 (1)의 세포성 면역을 바탕으로 한 몇 가지 가정을 통하여 CMIA 제어기를 설계하였다. 먼저, 실제 면역 시스템의 세포성 면역에서 항원에 직접 작용하여 이를 소멸 및 제거하는 역할을 하는 것이  $T_k$ 라 한다면, 나머지  $T_h$  및  $T_s$ 는 이를 도와주거나 억제하는 역할을 한다고 볼 수 있다.

따라서,  $t$ 번째 시간에 외부로부터 침입물질인 항원  $\varepsilon(t)$ 가 발생되면, 생체내의 항원제시세포에 의하여 외부물질의 발생을 면역 세포에 알리게 되고, 이로부터  $T_h$  및  $T_s$ 는 다음의 식 (2)와 (3)에 의한 활성화 함수에 따라 자극 및 억제하여 면역 반응이 이루어진다[2].

$$P(\varepsilon) = H_{\max} + \frac{H_{\min} - H_{\max}}{1 + \left(\frac{\varepsilon(t)}{C_h}\right)^{g_h}} \quad (2)$$

$$TSF(\Delta T_k) = S_{\max} + \frac{S_{\min} - S_{\max}}{1 + \left(\frac{\Delta T_k}{C_s}\right)^{g_s}} \quad (3)$$

여기서,  $P(\varepsilon)$ 와  $TSF(\Delta T_k)$ 는 각각 세포 활성화 함수 및 세포 억제 함수를 나타낸다.  $\varepsilon(t)$ 는 외부 침입물질인 항원,  $H_{\max}, H_{\min}, S_{\max}$  및  $S_{\min}$ 은 각각 세포 성장에 필요한 최대·최소 반응량을 나타내는 것으로서 외부 침입량과  $\Delta T_k$ 에 따라 비례적으로 증감한다. 또한,  $C_h, g_h, C_s$  및  $g_s$ 는 세포의 성장 속도에 관한 파라미터이다.

이상의 두 식 (2)와 (3)에 의하여 각 세포( $T_h, T_s, T_k$ )들은 상호 자극 혹은 억제를 받아 면역 반응이 이루어진다. 또한, 면역 반응시 항원에 직접 대항하여 작용하는 것이  $T_k$ 라는 사실에 초점을 둔다면,  $T_k$ 는  $P(\varepsilon)$  및  $TSF(\Delta T_k)$ 에 의하여 조절되므로 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_k(t) = K_k \{P(\varepsilon) - TSF(\Delta T_k)\} \quad (4)$$

여기서,  $T_k$ 는 항원 제거 세포로서  $\varepsilon(t)$ 의 변화량과  $T_h$  및  $T_s$ 의 조절량에 의존하며,  $K_k$ 는  $T_k$ 의 성장요소를 나타낸다. 다음 그림 1은 T 세포들의 조정 메카니즘을 나타낸다.

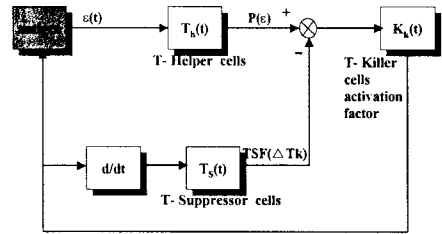


Fig. 1 The T-cells regulation mechanisms based on the CMI

따라서, 이상과 같은 면역 반응은 생체 내부에서 능동적으로 조절되어 외부로부터 침입한 항원을 제어하여 생체 내를 안정한 상태로 유지시켜 나가는 역할을 한다고 할 수 있다. 또한, 식 (2)와 (3)의 세포 활성화 함수 및 억제 함수는 제어기의 성능을 결정하는 설계 파라미터로서 고려되어야 할 수 있으며, 식 (4)의  $T_k(t)$ 는 항원과 직접 싸워 이를 제거하는 역할을 하므로 공학분야에서 시스템을 제어하는 제어량  $U(t)$ 로 고려될 수 있다.

이때,  $\Delta T_k$ 는 제어기의 제어량 변화인  $\Delta u(t)$ 로 생각할 수 있고,  $\varepsilon(t)$ 는 시스템 출력 오차인  $e(t)$ 로 나타낼 수 있으며,  $T_k$ 의 성장 요소인  $K_k$ 는 제어기 스케일 요소(Controller Scale Factor)로 고려될 수 있다.

지금까지의 세포성 면역 반응과 PID 제어기와 유사성으로부터 세포성 면역을 이용한 제어기의 설계는 식 (5)와 같은 형태로 나타낼 수 있다[2].

$$\begin{aligned} U_{CMIA}(t) &= K_1 \{P_F(e) - TSF_F(\Delta u)\} e(t) \\ &+ K_2 \left\{ P_A \left( \int e \right) - TSF_A(\Delta u) \right\} \int e(t) \\ &+ K_3 \left\{ P_D(\Delta e) - TSF_D(\Delta u) \right\} \frac{de(t)}{dt} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,  $K_1, K_2, K_3$ 는 제어 이득의 스케일 요소이고, 비례, 미분 및 적분의 각 요소에 대하여  $P(\cdot)$ 는 제어량의 활성화 요소,  $TSF(\cdot)$ 는 억제 요소를 나타낸다.

또한, 제어기가 안정적인 영역 내에서 동작하기 위해서는 다음의 조건들을 만족해야 하며,  $K_1, K_2, K_3 > 0$ , 및  $P(\cdot) \geq 0$  이고,  $TSF(\cdot) \geq 0$ 의 조건을 만족하기 위해 각 항에 대하여  $H_{\max}, S_{\max} > 0, H_{\min}, S_{\min} = 0$  및  $C_h, C_s > 0$ 이 되어야 한다. 즉, 이러한 조건하에서 제어 시스템은 수렴성과 안정성이 보장될 수 있다.

### 3.4 신경회로망 동정기를 이용한 CMIA 제어기 최적설계

본 논문에서는 비선형 구조를 갖는 AGV의 모델시거의 정보를 학습하여 미래의 출력을 예측할 수 있는 기능을 가진 신경회로망 동정(Neural Network Identification)기법을 이용함으로써 기존의 복잡한 수학적 모델링 과정을 거치지 않고도 AGV의 동적 시스템

을 보다 실제 시스템에 근사적으로 모델링할 수 있도록 설계하고자 한다.

신경회로망 동정기의 구조는 다음 식 (5)와 같은 병렬 모델 구조(Parallel Modeling Structure)를 이용하였다(3).

$$\hat{y}_b(k+1) = N^2 [\hat{y}_b(k), \dots, \hat{y}_b(k-n+1)] + N^1 [u(k), \dots, u(k-m+1)] \quad (5)$$

병렬구조는 플랜트에 대한 학습이 완료되면 플랜트와 독립적으로 플랜트의 출력을 예측할 수 있는 기능을 가지고 있다.

AGV에 대한 신경회로망 동정은 조향 시스템과 속도 시스템에 대해 각각의 동정기를 구현하였다. 조향 및 속도 시스템에 대한 입력은 입력 전압 12[V]에 대한 PWM 신호로 하였고, 출력은 A/D 및 카운터 값을 이용하였다. 신경회로망 학습에 사용된 구조는 다층 신경회로망을 이용하였다. 또한, 학습시 뉴런의 반응 정도를 결정하는 함수인 활성화 함수(Activation Function)는 항등 함수(Identity Function)를 사용하였다. 학습에 사용된 패턴 수는 700개로 하였으며, 층수는 입력이 5층, 은닉이 7층, 출력은 1층으로 설계하였다. 학습에 사용된 학습률은 0.9, 모멘텀값은 0.3으로 하였다.

이상과 같이 설계된 신경회로망 AGV 모델에 대하여 제안한 CMIA 제어기에 필요한 파라미터는 면역알고리즘(Humoral Immune Algorithm: HIA)을 이용하여 자동동조 하였다. 그림 2는 HIA를 이용한 CMIA 제어기 파라미터의 자동동조 구조를 나타낸다.

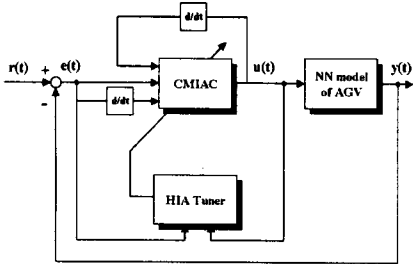


Fig. 2 The HIA tuned CMIA Control system

제어기 파라미터 자동 동조를 위하여 HIA의 세대는 100 세대로 하였고, 각 세대 당 개체 수는 40, 기억세포에 저장되는 개체의 수는 10으로 하였다. 아울러 새로운 개체의 생성 방법으로는 무작위 추출법 50(%), 기존개체의 복제 50(%)를 수행한 후 유전자적 교배를 통하여 생성시켰으며, 0.25(%)의 돌연변이 확률을 적용하였다. 기타 HIA에 대한 자세한 내용은 지면상 기술하지 않았지만, 문헌 [4,5]에 자세히 기술되어 있다.

CMIA 제어기 설계를 위하여 우선, 억제량과 자극량을 결정하는 요소들 중 비선형적 요소를 가급적 줄이기 위하여  $g_s$ 와  $g_h$ 는 모두 1로 두었으며, 최적 조정이 요구되는 CMIA 제어기 파라미터로는  $P_f(e)$ ,  $P_f(\int e)$ , 및  $P_D(\Delta e)$ 와 각 함수의  $H_{max}$  및  $C_h$ 와  $TSF(\Delta u)$ 함수의  $S_{max}$  및  $C_s$ 를 포함하여 모두 12개의 파라미터를 최적 조정하여 제어기를 설계하였다.

#### 4. 실험 및 결과 고찰

AGV의 주행 실험을 위하여 사용된 경로는 바탕이 흑색이고 폭이 2.5[cm]인 흰색 주행 경로를 추종하도록 하였으며, 반경이 1[m]인 정현파 한주기 경로를 실제 제작하여 실험하였다. 그림 3은 약 25[kg]의 부하가 인가된 상태에서 주행 속도를 0.5[m/sec]로 하였을 때의 PID, NNPID, CMIA 제어에 대한 주행 변위 오차를

각각 나타낸다.

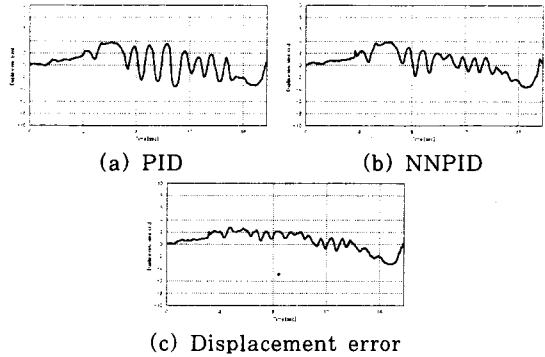


Fig. 3 Experiment results(constant load)

일정한 부하가 인가되는 상태에서 실험을 수행해 본 결과, 최대 변위 오차의 경우, 제안한 CMIA 제어기 PID 및 NNPID 제어에 비하여 각각 17(%), 16(%) 정도 우수한 것을 알 수 있었다. 또한, 주행시 평균적으로 발생된 변위 오차도, CMIA 제어가 PID 및 NNPID 제어에 비하여 각각 27(%), 20(%)가 개선되었다. 주행 속도의 경우는 그림으로 나타내지 않았지만 PID 제어가 약 5.5(%)의 오버슈트가 발생한 반면 제안한 제안한 제어기는 약 2.5(%) 이내로서, 약 60(%) 이상 개선됨을 알 수 있었다.

#### 5. 결 론

생체의 면역 시스템은 외부 침입 물질인 항원에 대하여 즉각적으로 반응하는 능력과 항시 생체 내부의 안정성을 유지하기 위한 자기 조절 기능을 수행하는 것이 특징이다. 본 논문에서는 이러한 면역 시스템의 특징을 수학적으로 모델링하여 공학분야의 제어기로 설계하였다. 또한, AGV의 모델링시 신경회로망 동정기를 이용함으로써 과거와 미래의 입력력 정보를 이용한 예측기능을 활용하여 종래의 수학적 기법이 표현하기 어려웠던 시스템의 다양한 동특성을 보다 쉽게 학습할 수 있었다.

실험결과, CMIA 제어기의 제어량이 종래의 제어기 보다 약 20(%)이상 적게 입력되면서도 응답 특성이 개선된 것을 알 수 있다. 이러한 결과는  $\Delta u$ 를 이용한 제어량 억제 기능의 활용함으로써 적은 제어 에너지로서 효율성을 보다 향상시킬 수 있었던 것으로 분석된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] R. R. Mohler, K. S. Lee, A. L. Asachenkov, and G. I. Marchuk, "A Systems Approach to Immunology and Cancer," *IEEE Trans. on Systems, man, and Cybernetics*, Vol. 24, No. 2, pp. 632-642, 1994.
- [2] 이영진, 이권순, "면역반응 알고리즘을 이용한 구조물의 진동제어," 한국항공학회지, 제13권, 제2호, pp. 389-398, 1999.
- [3] C. T. Lin and C. S. George Lee, *Neural Fuzzy Systems*, Prentice Hall, 1996.
- [4] K. Mori, M. Tsukiyama, and T. Fukuda, "Immune Algorithm with Searching Diversity and its Application to Resource Allocation Problem," *Trans. IEE Japan*, Vol. 113-C, No. 10, pp. 872-878, 1997.
- [5] S. Endoh, N. Toma, and K. Yamada, "Immune Algorithm for n-TSP," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 4, pp. 3844-3849, 1998.