

면역 알고리즘을 이용한 AGV의 조향 제어기 설계에 관한 연구

이창훈*, 이진우*, 이영진**, 이권순***
 *동아대학교 전기공학과(E-mail: bool@smail.donga.ac.kr, ikonote@orgio.net)
 **항공기능대 전기계측 제어과(E-mail: airlee@kopo.or.kr)
 ***동아대학교 전기전자컴퓨터공학부(E-mail: kslee@daunet.donga.ac.kr)

A Design of Steering Controller for AGV using Immune Algorithm

Chang Hoon Lee*, Jin Woo Lee*, Young Jin Lee**, Kwon Soon Lee***

*Dept. of Electrical Engineering, Dong-A University, Busan, Korea

**Dept. of Electrical Instrument and Control, Korea Aviation Polytechnic College, Sachon, Korea

***Dept. of Electrical Electronics Computer Engineering, Dong-A University, Busan, Korea

Abstract - Immune system is an evolutionary biological system to protect innumerable foreign materials such as virus, germ cell, and et cetera. Immune algorithm is the modeling of this systems response that has adaptation and reliability when disturbance occur.

In this paper, immune algorithm is proposed to control four wheels steering AGV(Automated Guided Vehicle) in container yard. The adaptive immune system is applied to the PID controller. For design the PID controller using immune algorithm, we tune PID parameters by off-line manner, in order to avoid the damage from abrupt control force. Repeatedly, the PID parameters are adjusted to be accurate by on-line fine tuner of immune algorithm. And then the computer simulation result from the viewpoint of yaw rate and lateral displacement, are analyzed and compared with result of conventional PID controller.

이 사용되는데 이러한 방어물질들은 항상 대기 상태에 있어 즉시 대응할 수 있는 특징을 가지고 있다. 한편, 특이적 방어는 좀 더 복잡하고 방어물질들이 준비되는데 일정한 시간이 필요하며, 이러한 방어체계를 일반적으로 면역 반응(Immune Response)이라 한다. 이러한 면역 시스템을 담당하는 기본요소는 B-cell(B림프구)과 T-cell(T림프구)이라고 하는 두 가지 형태의 림프구가 있다. B-cell은 항체를 분비하여 항체반응을 하는 것으로서 helper T-cell의 도움을 받아 클론선택 과정을 통하여 외부 침입물질에 대응하여 B-cell을 생성하며, 미래에 동일한 항원이 침투시 즉각 반응할 수 있는 기억세포의 역할을 하기도 한다.[1,2]

이러한, 면역시스템의 항원 항체반응에 기초한 면역 알고리즘은 외부에서 침입하는 여러 가지 항원을 인식할 수 있는 능력을 가지는 항체의 다양성과 항원 항체의 반응의 정도를 나타내는 척도로서 다양성을 구현하기 위한 기반이 되는 친화성을 주요 특징으로 하며, 기억세포(memory cell)를 이용하여 항원에 대한 기대치의 계산에 의하여 자기조절 기능을 수행하게 된다.[1,2,3]

1. 서 론

최근 공학분야에 생체정보처리 시스템의 적응성, 학습, 진화 및 기억능력 등을 활용한 연구가 활발히 수행되고 있다. 생체내의 정보처리 구조는 크게 뇌신경시스템(brain-nervous system), 유전시스템(genetic system), 면역시스템(immune system), 내분비시스템(endocrine system)으로 나누어 생각할 수 있다. 특히, 본 논문에서 다루고자 하는 면역 시스템은 생체내에 투입되는 항원(Antigen) 혹은 박테리아(Bacteria) 및 병원균세포(Germ cell)와 같은 외부 침투 물질을 인식하여 이를 방어함과 동시에 생체내부의 안정된 상태를 스스로 조절해 나가는 진화적 생체방어 시스템으로 알려져 있으며, 기억 및 인식등의 능력을 갖추고 있어 이를 활용한 공학적 응용사례가 점차 많아지고 있다.

본 논문에서는 이러한 면역알고리즘을 사용하여 자동화 항만의 야드내에서 운용되는 AGV의 조향시스템에 적용하고자 한다. 또한 PID제어기의 파라미터를 면역알고리즘을 이용하여 온라인으로 동조하는 구조의 적응 제어기를 설계하고자 한다.

2. 본 론

2.1 면역 알고리즘

생체의 면역 시스템은 크게 1차 방어와 2차 방어로 구분할 수 있으며, 2차 방어는 다시 비특이적 방어(Nonspecific Defense)와 특이적 방어(Specific Defense)로 나눌 수 있다. 비특이적 방어는 직접적이고 즉각적이며, 화학물질과 특정한 백혈구(Leukocyte)들

2.2 AGV의 모델링

선진 항만에서 운영되는 AGV의 경우 two wheels steering(2WS) 혹은, Four wheels steering(4WS)의 조향 시스템을 가지며, 일반적으로 유압식에 의해 조향된다. 기구학적 차량(AGV)의 운동은 요우(Yaw) 각 속도, 측면 미끄러짐각, 차량의 상하운동인 롤(roll), 피칭(pitching), 차체의 질량등을 고려하여 고차원적 자유도를 갖는 모델로 표현될 수 있다. 그러나 차량운동에 큰 영향을 미치는 요레잇과 차량의 무게에 의한 미끄러짐을 고려하면, 2자유도 모델이 일반적이라 할 수 있다. 또한, 조향방식은 크게 4WS 방식과 2WS 방식이 있으나, 본 논문에서는 4WS시스템으로 가정하였다. 그림 1은 4WS 조향모델을 나타내고 있으며, 차량의 무게중심(CG)이 도로의 지면에 가깝고 CG에 작용하는 힘이 롤링과 피칭을 일으키지 않는다고 가정하면, 두 개의 전방휠(Front Wheel)을 하나로 묶고, 두 개의 후방휠(Rear Wheel)을 하나로 묶은 형태의 단일 트랙의 간단한 모델로 나타낼 수 있다. [4,5]

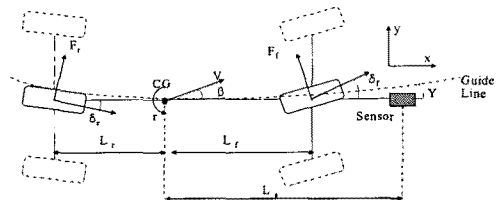


그림 1. 4ws AGV의 단일트랙 모델

AGV의 조향센서는 차량의 앞쪽에 부착된 것으로 가정하고 차량의 중심과의 거리는 LS, 전방휠과 후방휠로부터 CG까지의 거리는 각각 L_f , L_r 이다. 동적 모델링은 y축에 대한 힘의 평형관계와 z축 방향에 대한 모멘트 관계로부터 측면 미끄러짐각(β)과 요우 각속도(r)의 선형화된 동적 운동 방정식을 식 (1), (2)와 같이 얻을 수 있다. 여기서 C_i 는 각 타이어의 마찰계수이다. 차량의 조향을 조정하는 맥추에이터는 구속조건을 갖는 전방휠의 각도의 미분치로 결정한다.

$$\dot{\beta} = -\frac{(\overline{C}_r + \overline{C}_f)\beta}{M\overline{V}} - \gamma + \frac{(\overline{C}_r L_r + \overline{C}_f L_f)r}{M\overline{V}^2} + \frac{\overline{C}_f}{M\overline{V}}\delta_f + \frac{1}{M\overline{V}}F_w \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{(\overline{C}_r L_r - \overline{C}_f L_f)\beta}{J} - \frac{(\overline{C}_r L_r^2 + \overline{C}_f L_f^2)r}{J\overline{V}} + \frac{\overline{C}_f L_f}{J}\delta_f + \frac{L_w}{J}F_w \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \dot{\delta}_f &= u_f \\ \dot{\delta}_r &= u_r \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $\overline{\quad}$ 는 도로의 상태계수인 μ 를 고려한 $\cdot \times \mu$ 를 의미하며, 본 논문에서는 맑은날로 가정하여 μ 를 1로 하였다. 또한 도로를 직선으로 가정하면, 조향제어를 위한 동적모델은 식 (4)의 상태방정식으로 나타낼 수 있다.[4.5]

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\Delta\psi} \\ \dot{y} \\ \dot{\delta}_f \\ \dot{\delta}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & b_{11} & b_{12} \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 & 0 \\ V & L_r & V & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \\ y \\ \delta_f \\ \delta_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{11} \\ 0 & 0 & 0 & d_{21} \\ 0 & 0 & -V & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_f \\ u_r \\ \rho_{ref} \\ F_w \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$a_{11} = \frac{-2(C_r + C_f)}{M\overline{V}}, \quad a_{12} = -\gamma + \frac{(C_r L_r - C_f L_f)}{M\overline{V}^2},$$

$$a_{21} = -\frac{2(C_r L_r - C_f L_f)}{J\overline{V}}, \quad a_{22} = -\frac{2(C_r L_r^2 + C_f L_f^2)}{J\overline{V}},$$

$$b_{11} = \frac{2C_f L_f}{M}, \quad b_{12} = \frac{2C_r}{M},$$

$$b_{21} = \frac{2C_f L_f}{J}, \quad b_{22} = -\frac{2C_r L_r}{J},$$

$$d_{11} = \frac{1}{M\overline{V}}, \quad d_{21} = \frac{L_w}{J}$$

식 (4)의 파라미터는 표 1과 같다. 후륜의 조향은 비례식 4륜 조향 로직(proportional four wheel steering logic)에 약간의 지연을 둔 위상지연식 4륜 조향로직(phase delay four wheels steering logic)을 사용하였다.

$$\delta_f = K(V)\delta_f(t - \tau_D) \quad (5)$$

$$K(V) = -\frac{-L_r + \frac{ML_f}{C_f L_f} V^2}{L_f + \frac{ML_r}{C_f L_f} V^2} \quad (6)$$

여기서, $K(V)$ 는 전,후륜 조향각의 비로서 그 값이 양이면 동상조향이 되고, 음이면 역상조향이 된다.

표 1. AGV의 파라미터

파라미터	내용
δ_f	전방 휠의 조향각 [rad]
$L_r(L_r)$	전방(후방) axle 과 CG 까지 거리 [m]
\overline{V}	CG에서의 속도벡터 [m/s]
β	차량 중심선과 속도벡터간의 미끄러짐각 [rad]
$F_f(F_r)$	전방(후방) 타이어에 의한 측면 힘 [N/m]
y	측면 변위 [m]
F_w	측면 외란(바람) [kN]
L_w	CG와 F_w 간의 거리 [m]
L_s	조향 센서로부터 CG까지 거리 [m]
$\Delta\psi$	안내선의 절선으로부터 차량의 중심선까지거리 [m]
r	요우 각속도 $\Delta\psi \cdot = r$ [rad/s]
$C_f(C_r)$	전방(후방)축의 코너링 강성 [N/rad]
ρ_{ref}	참조 조향각 [rad]
M	차량의 무게 [kg]
\overline{M}	차량의 실제 무게 [kg]
J	관성 모멘트 [kg · m ²]

2.3 제어기의 설계

면역시스템은 항원의 인식, 초기항체의 생성, 친화도의 계산, 기억세포로의 분화과정, 항체생성의 촉진과 억제 그리고 항체의 생성과정으로 설명될 수 있다.[3] 항원의 인식은 항원을 입력정보로서 error를 인식함을 뜻하며 항체와 결합한 항원의 인식은 평가함수와 같이 정의 될 수 있다. 초기항체의 생성과정은 사전에 기억된 세포들로부터 항체를 선택하는 과정이다. 기억세포에는 우수한 항체들이 보존되어 있으며, 항원 항체반응에서 우수한 개체는 다시 기억 세포로 분화되기도 한다. 본 논문에서 항체는 PID 파라미터인 K_p , K_i , K_d 를 의미한다. 세 번째 과정은, 항원과 항체 또는 항체와 항체사이의 친화도를 계산하는 과정이다. 여기서 항원 a와 항체 b사이의 친화도 $aff_{a,b}$ 와 항체간의 친화도 $aff_{b,b}$ 는 각각 식(7),(8)과 같다.

$$aff_{a,b} = 1/(1 + H(2)) \quad (7)$$

$$aff_{b,b} = 1/(1 + H(2)) \quad (8)$$

$$expt_i = \frac{aff_{a,b}}{c_i} \quad (c_i = \frac{N_{Same}}{N_{Total}}) \quad (9)$$

$H(2)$ 는 항체 및 항원이 가지는 정보 엔트로피로서 이 값이 0이면 항체간 혹은 항원 항체간 에 유전자 가 완전히 일치하는 것을 의미한다. 식(7)의 친화도는 평가함수의 정도로서 나타내어지며, 기억세포로의 분화과정 또한 식(7)에 의존한다. 만약 기억세포로의 분화로 인하여 기억세포 공간의 제약이 따르게 되면, 식(8)의해 분화되는 항체와 가장 높은 친화도의 항체를 제거하게 된다. 항체생성의 촉진과 억제과정은 항원 · 항체간의 친화도 및 항체의 농도에 근거한 식(9)의 기대치를 계산함으로써 이루어진다. N_{Same} 은 i번째 항체와 동일한 친화도를 갖는 항체의 수이며, N_{Total} 은 항체의 총 수를 나타낸다. 식 (9)로부터 항원과 항체의 친화도가 높은 항체일수록 차세대에 남은 확률이 높고, 농도가 높은 항체일수록 차세대에 남은 확률이 낮다는 것을 알 수 있다. 마지막 과정인 항체의 생성과정은 항체를 새로이 생성하는 것으로서, 본 논문에서는 유전자 복제 및 돌연변이 연산을 이용하여 새로운 항체를 생성한 후 교배과정을 이용하여 생성하였다. 그리고 최적조건이 만족 될 때 까지 친화도의 계산과정부터 되풀이 하게 된다.

본 논문에서 구성한 제어기는 그림 2에서 보는 바와 같이 PID controller를 주제어기로 하며, 이를 온라인으로 동조하는 Immune algorithm on-line tuner, 그리고 신경회로망을 이용한 시스템 동정기와 4ws로 구성된다.

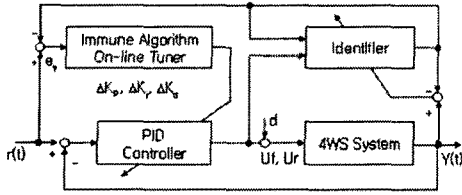


그림 2. 제어기의 블럭도

면역알고리즘으로 PID제어기를 온라인으로 동조하기 위해서는 4WS system에 대한 여러 가지 많은 정보를 바탕으로 설계되어야 하기 때문에 오프라인으로 제어기의 파라미터를 사전에 어느정도 동조하였다. 또한 온라인 파라미터 동조의 개념은 매 샘플링 주기마다 최적의 파라미터를 탐색하는 것이나, 본 논문에서는 매 5샘플링 주기마다 온라인 동조기를 구동하여 시스템의 특성변화에 따라서 면역 알고리즘에서 온라인으로 동조된 제어변화방으로서 기존의 고정된 제어 파라미터의 보상된 신호인 식(10)과 같이 입력되도록 하였다.

$$\begin{aligned}
 u(t) &= u_{pid}(t) + \Delta u(t) \\
 &= (K_p + \Delta K_p)e(t) + (K_i + \Delta K_i) \int e(t) dt \\
 &\quad + (K_d + \Delta K_d) \frac{de(t)}{dt}
 \end{aligned} \quad (10)$$

면역알고리즘 온라인 Tuner의 세대는 100, 각 세대 당 개체수는 40, 기억세포에 저장되는 개체수는 10으로 하였다. 또한 새로운 개체 생성은 무작위 추출 50(%), 기존 개체의 복제 50(%), 교배를 통하여 생성하였고, 25(%),의 돌연변이 확률을 적용하였다.

2.4 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 제어기의 성능평가를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 표 2는 시뮬레이션에 사용된 AGV의 파라미터 값을 나타낸다.

표 2. AGV의 파라미터 값

파라미터	파라미터값	파라미터	파라미터값
V	10 [m/s]	C_r	198000 [N/rad]
L_r	3.67 [m]	C_l	470000 [N/rad]
L_s	1.93 [m]	M	16000[kg]
L_w	6.12 [m]	μ	1(باطون)
i^*	0.565 [m]	J	$i^2 \times M$ [kg·m ²]
i^*	10.85 [m ²] (i =관성 반경)		

AGV의 속도와 무게는 각각 10[m/s], 16000[kg]으로 하였다. 최고 9.4[N]의 일정한 주기를 갖는 바람이 시뮬레이션 시간동안 불고 있으며, 처음 0[m]에서 3초 후 가이드라인의 위치가 4[m]로 이동하는 것으로 가정

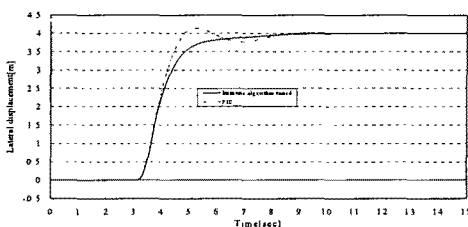


그림 3. 측면 변위(m)

하였다. 또한 안전을 위하여 앞,뒤 바퀴의 조향각 및 조향입력을 각각 $|\delta_f, \delta_r| \leq 0.5$ [rad], $|u_f, u_r| \leq 0.4$ [rad/s]로 제한하였다.

그림 3은 AGV의 측면 변위를 나타낸다. 정정시간은 제안하는 제어기의 경우 약 2.8초(3.81[m]), PID제어기의 경우 약 4.3초(3.80[m])로 나타났다.

그림 4와 5는 각각 요레이트(Yaw rate)과 측면 미끄러짐각을 나타낸다. 제안하는 제어기의 경우 각각 최고 49(%), 45(%),의 개선된 특징을 보인다.

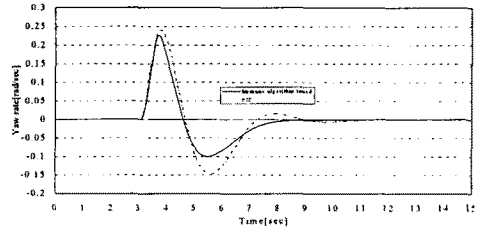


그림 4. 요레이트(Yaw rate)[rad/sec]

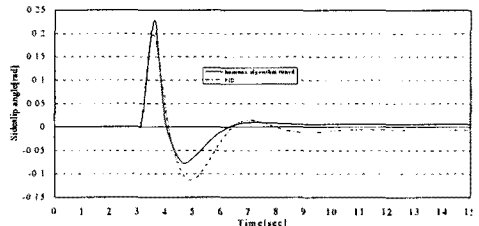


그림 5. 측면 미끄러짐각(rad)

3. 결 론

본 논문에서, AGV의 조향 제어를 위하여 PID 파라미터를 면역알고리즘을 이용하여 동조하는 제어기를 설계하고, 지속적인 외란과 가이드라인의 갑작스런 변화에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과 AGV의 4륜 조향 시스템에서, 제안하는 제어기가 일반적인 PID제어기보다 측면변위, 요레이트 및 측면 미끄러짐각에 있어서 향상된 특성을 보였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Y. J. Lee, D. H. Song, S. U. Choi, J. W. Lee and K. S. Lee, "An Implementation of HIA(Humoral Immune Algorithm) PID Controller using Neural Network Identifier", Proc. of SICE2001, Fri. July 27, Intelligent Control, 312A-4.
- [2] 이영진, 이진우, 손주환, 이권순, "면역 알고리즘을 이용한 시소의 적응제어에 관한 연구", 제어자동화 시스템공학회 부산경남울산지부 학술대회, pp. 99-102, 1999.
- [3] Dipankar Dasgupta, Artificial immune system and their application Springer, 1998
- [4] Ronald, K. Jurgen, "Active Control of Drive Motion of Four Wheel Steering Car with Neural Network", Electronic Steering and Suspension Network, pp. 79 - 92, 1999.
- [5] 손주환, 최성욱, 이진우, 이영진, 이권순, "신경회로망 2 자유도 PID 제어기를 이용한 4륜 차량의 조향제어", 제어자동화 시스템공학회 부산경남울산지부 학술대회, pp. 27-32, 2000.