

論文2002-39SC-1-1

면역 시스템을 이용한 에어컨의 온도 제어 시스템 설계

(On designing Temperature Control System of the Air-conditioner using immune system)

徐在龍*, 趙鉉讚*, 全洪兌**

(Jae-Yong Seo, Hyun-Chan Cho and Hong-Tae Jeon)

요약

본 논문에서는 제한된 센서를 이용한 에어컨의 온도제어용 실내·외 온도 추론 시스템을 제안하였다. 제안한 온도추론 시스템은 자연계의 면역 시스템의 네트워크 이론을 이용한 실내온도 추론과정과 실외온도 추론과정으로 구성되어 있으며, 실시간 온도추론이 가능하도록 설계하였다. 면역기법을 이용한 온도 추론 시스템은 과거의 정보를 효과적으로 이용함으로써 주어진 입력 데이터뿐만 아니라 학습되지 않는 데이터에 대해서도 온도 추론능력이 우수하다.

Abstract

In this paper, we propose temperature inference system for indoor and outdoor temperature of the Air-Conditioner with limited sensors. The proposed system based on the network theory of biological immune system consists of indoor and outdoor temperature inference process. It is designed that on-line temperature inference is possible. This system is admirable for unlearned data as well as given input data by making efficient use of previous information.

1. 서론

기존의 에어컨은 설정한 실내 온도를 유지하기 위한 온도 제어방식을 사용하기 때문에 외부온도에 비해 실내온도가 과냉되어질 가능성이 크다. 따라서 인체가 느낄 수 있는 쾌적한 온도를 유지하고 과냉을 방지하기 위해서 실내온도는 내부온도와 외부온도의 차이를 고려하여 설정하여야 한다. 그러나 에어컨의 설치환경과 창문이나 방문 개폐와 같은 실내온도 변화 등의 요인

이 존재하기 때문에 에어컨의 실내온도 추정이 어렵게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 정확한 실내의 온도를 측정할 수 있도록 필요한 곳에 온도센서를 직접 설치하는 방법이 있다. 그러나 센서를 통해 직접 실내의 온도를 얻을 경우 비용추가와 센서의 외란으로 인한 기술적인 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 제한된 숫자의 온도센서를 이용하여 에어컨의 실내·외 온도를 예측할 수 있는 시스템의 개발이 요구되고 있다.

본 논문에서는 외부환경이나 급격한 온도변화와 같은 환경변화에 강건하게 대응하여 효과적으로 온도제어를 수행할 수 있는 에어컨 온도제어 시스템을 개발하기 위해 면역시스템 이론을 도입한다.

면역화된 온도 제어 시스템은 크게 실내와 실외온도 추론 알고리즘으로 구성된다. 제안한 온도추론 알고리즘은 면역네트워크를 이용함으로써 손쉽게 과거의 정보를 사용하여 현재의 실내·외 온도를 예측함으로써 실내와 실외의 온도차를 고려하여 인체에 적당한 온도

* 正會員, 韓國技術教育大學校 情報技術工學部
(School of Info. Tech. Eng. Korea Univ. of Tech. and Edu.)

** 正會員, 中央大學校 電子工學科
(School of Electronics and Electrical Eng. Chung-Ang Univ.)

接受日字:2001年7月23日, 수정완료일:2001年11月16日

를 결정하고, 인간이 쾌적함을 느낄 수 있는 환경을 유지하며, 갑작스런 온도변화에도 강건하게 적응하도록 설계하였다.

II. 면역기법에 의한 실내·외 온도 추론 알고리즘

1. 면역 시스템의 동작 원리

자연계의 면역 시스템은 박테리아(bacteria), 균(fungi), 바이러스(viruses) 등과 같은 항원(antigen)이라고 통칭하는 매우 다양한 외부 유기체나 단백질에 대하여 인간의 몸을 방어할 수 있는 복잡한 시스템이다^[1-5]. 외부 단백질인 병원균이 몸에 침투하면 피부, 생물학적인 상태와 식작용(phagocytosis)과 같은 선천성 면역 시스템(innate immune system)이 초기 방어 시스템으로 동작하게 된다. 선천성 면역 시스템이 침입한 병원균을 제거하지 못하면 획득 면역 시스템(acquired immune system)이 동작하게 된다^[6-9].

생체 내에 한 셀(set)으로 존재하는 항체의 분자나 B-림프구는 모두 서로 반응하여 생체 내에서의 동적인 평형 상태(dynamic equilibrium)에 있다고 생각하는 이디오타입 네트워크 이론은 면역 반응을 조절하는 면역 네트워크의 조절 이론이며 Jerne가 제창하였다. Jerne는 항원에 의해 만들어진 각각의 항체는 면역 시스템에 의해서 독특한 유전형인 이디오타입(idiotype)을 소유한 항원으로 또 다시 간주된다고 생각했다. 이디오타입 네트워크 이론에 따르면 항원과 항체, 항체와 항체 사이의 자극과 억제를 통해 대규모 폐쇄 루프 형태로 네트워크가 형성되며, 이러한 네트워크 구조를 바탕으로 항원의 인식은 시스템 레벨에서 수행된다^[4].

면역 네트워크의 방정식을 일반화시킨 항체의 농도를 C_i 로 정의할 경우 항체 농도 식은 다음과 같다^[2-4]

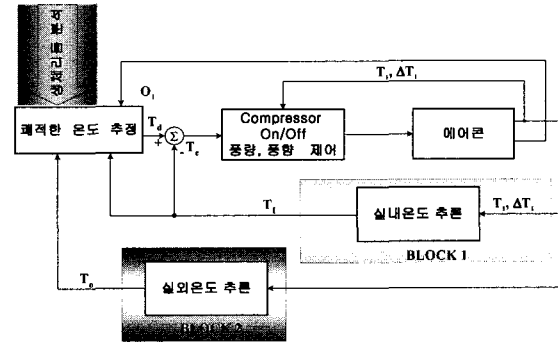
$$C_i = \left[a_i + \sum_{j=1}^M a_{ji} C_j - \sum_{k=1}^N a_{ik} C_k + k_i \right] \cdot K_c \quad (1)$$

여기서, a_i 는 항원에 대한 친화력, a_{ji} 는 i 번째 항체와 j 번째 항체의 친화력으로 자극에 대한 성분을 나타내며, a_{ik} 는 k 번째 항체와 i 번째 항체의 친화력으로 억제 성분을 나타낸다. 또한, k_i 는 자연사한 항체를 의미하고, K_c 는 항체농도의 크기를 조정할 수 있는 상수이다.

2. 면역기법을 이용한 에어컨의 실내온도 추론 알고리즘

본 논문에서 제안한 실내·외 온도추론 알고리즘은 흡입온도와 운전시간으로 ON/OFF 시간을 얻어 면역네트워크를 구성하고, 실내·외 온도추론을 수행한다. 각각의 추정온도가 항체로 정의되며, 항체는 특정 농도값으로 초기화된다.

면역 네트워크의 항원과 항체의 자극과 억제과정을 통해 농도가 가장 높은 항체가 선택되어 추론온도로 결정된다. 그림 1은 면역기법을 이용한 에어컨 온도 제어 시스템의 블럭도를 나타낸 것이다.



T_1 : 흡입온도	ΔT_1 : 흡입온도의 변화량
T_2 : 추정된 실내온도	T_0 : 추정된 외부 온도
T_c : 온도 오차	O_1 : 냉방 운전 시간
T_d : 결정된 쾌적한 실내온도	

그림 1. 면역기법을 이용한 에어컨의 온도 제어 시스템 Fig. 1. The temperature control system of the air-conditioner with immune system

에어컨의 온도제어는 실내온도가 설정온도에 도달되도록 Compressor의 ON/OFF 제어와 풍량, 풍향 제어를 최종적으로 수행하게 된다.

실외온도에 따른 에어컨의 실내온도 제어는 다음과 같은 과정으로 수행된다.

- 실내온도 추론(BLOCK 1)
- 실외온도 추론(BLOCK 2)
- 실외온도에 따른 설정온도 계산

만약 이들 온도가 추정될 수 있다면 생체 리듬의 정보와 함께 인체의 쾌적한 온도를 결정할 수 있으며, 이 온도가 실내온도의 최종 목표 값이 되어 Compressor를 제어하게 된다.

냉각기의 흡입구에 흡입 공기 온도를 측정하는 센서

(SI)를 장착하고 측정된 흡입 공기온도, 실내에 설치된 온도 센서의 실내온도, 냉각기의 작동 여부와 실험 중에 부가적인 부하를 추가하였을 경우의 온도의 변화를 관찰하여 측정 데이터를 얻는다. 측정 데이터를 분석해보면 흡입모드와 실내온도 변화의 패턴이 유사함을 확인할 수 있다. 따라서 흡입온도를 실내온도로 채택할 수 있으며 면역 네트워크 시스템을 이용하여 온도차이를 보상해 줄 추론 시스템을 구성한다. 여기서 흡입온도의 특성을 항원으로 흡입온도와 실내온도와의 차이를 항체로 정의하고, 적절한 항체를 선택함으로써 온도차를 보상할 수 있다.

이러한 추론 시스템의 특성을 자연계의 면역시스템과 비교하여 본다.

- 식균세포의 일단계 대응 : 흡입온도에 의한 추론
- 항원 : 설정온도, 냉각기 작동 여부
- 항원전달세포 : 3종류(설정온도, 압축기 가동 후 및 동작 중지 후 시간) 입력의 분류
- 항체 : 흡입온도와 실내온도의 차이

현재 흡입온도와 흡입온도 특성을 항원으로 간주하고 특정 항원이 존재할 경우 가장 적합한 항체를 선택하여 실내온도를 정확히 추론하게 된다.

이를 위해 먼저 에어컨 운행 중 5가지의 설정온도(25℃, 26℃, 27℃, 28℃, 29℃)를 결정하여 실내 측정온도와 흡입온도 사이의 온도 차이를 심볼화 시키고, 비트 표현 방법을 이용하여 설정온도의 자극 테이블을 구성한다. 또한 압축기는 설정온도 이하에서 OFF되며 설정온도 이상에서 ON된다. 따라서 ON 또는 OFF된 이후의 동작시간을 심볼로 정의하여 비트표현을 사용하면 ON/OFF 시간의 자극 테이블을 구성할 수 있다. 그리고 일정온도 변화에 걸리는 시간은 기울기를 구하는 대신 일정온도인 0.3℃ 만큼의 시간변화로 기울기 값을 대신하여 시간 값을 측정할 수 있다. 측정 시간 값은 현재 냉각기 가동 여부에 따라 두 종류로 나눌 수 있고, 심볼을 사용하여 정의할 수 있으며, 비트표현을 사용하여 일정온도에 대한 변화 시간 자극 테이블을 구성할 수 있다.

위에서 구성한 3개의 자극 테이블을 사용하여 항체 40개의 농도값 중 자극을 받은 농도 값은 100을 증가시키고, 자극을 받지 않은 경우에는 아무런 변화를 주지 않는다. 또한, 다음의 입력이 들어와서 자극을 받을 경우에는 현재 농도 값의 10분의 1배를 더하게 된다. 이러한 처리과정은 이전의 농도 값이 현재 같은 자극

횟수를 받은 항체 사이에서 최고 농도 값을 갖는 항체를 구별하는 역할을 하게 된다. 이러한 작업으로 항체간 자극 억제 테이블을 구성하고, 각 행을 백분율로 표시해 줄 경우 다음과 같은 테이블을 구성할 수 있다.

표 1. 항체간 자극 억제 테이블 구성 결과
Table 1. The Constructed result of stimulation-suppression table among antibodies.

원하는 최고농도 항체 항체	...	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...
:															
14	...	0	1	1	3	6	6	7	12	29	18	9	0	0	...
15	...	0	0	0	1	3	5	6	12	30	22	12	1	0	...
16	...	0	0	0	0	2	4	4	11	32	24	13	2	0	...
17	...	0	0	0	0	0	1	3	9	34	28	16	3	0	...
18	...	0	0	0	0	0	1	2	9	33	29	16	4	1	...
:															

위에서 생성된 항체간 자극-억제 테이블(표 1)을 사용하여 아래와 같은 식 2(자극)과 식 3(억제)로 농도 값을 조절하게 된다.

$$C_i = C_i + C_i * \frac{ExIn_{ij}}{30} \tag{2}$$

$$C_j = C_j - C_j * \frac{ExIn_{ij}}{30} \tag{3}$$

여기서, C_i 는 항체 i 의 농도값, $ExIn_{ij}$ 는 항체간 자극 억제 테이블의 항체 i 행과 항체 j 열의 요소 값이 된다.

3. 면역기법에 의한 실외온도 추론 알고리즘

실외온도는 실내온도의 변화에 영향을 주게 된다. 실외온도가 높아지면 실외온도가 실내온도를 상승시키기 때문에 에어컨 동작시 상대적으로 OFF 시간(에어콘 정지 시간)을 감소시키게 되며, 또한 상대적으로 ON 시간(에어콘 가동 시간)을 증가시키게 된다. 정해진 특정 공간에서는 실외온도에 따라 ON/OFF 시간에 변동이 있게 되며 이 정보를 이용하여 실외온도를 예측할 수 있다.

일반적으로 에어컨이 동작하는 실내의 크기나 기타 열원과 같은 실내환경 또한 ON/OFF 시간에 영향을 준다. 따라서 에어컨의 ON/OFF 시간은 동작공간을 고려하여 얻어야 한다. 그림 2에서 실내환경은 에어컨이 설치된 공간에 따라 공간1, 공간2, 공간3으로 과대공간, 표준공간, 과소공간을 구분하고, 설정온도 26℃에 대한

ON /OFF 시간을 나타낸 것이다.

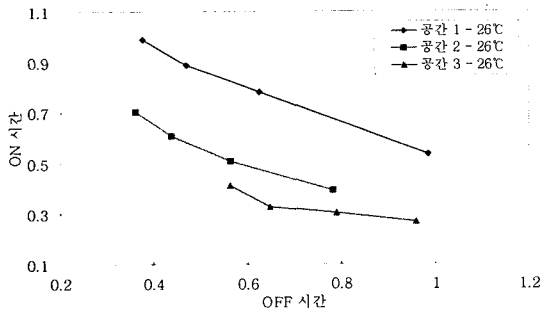


그림 2. 설정온도 26°C에서 ON/OFF 시간

Fig. 2. ON/OFF times when each temperature is 26°C.

실외온도를 추론하기 위해 설정온도를 정하고 실내 부하 정도를 계산한다.

- 실내 부하 정도 계산 : 에어컨 제어 도중 입력받은 ON/OFF 시간 데이터와 각각의 기준 데이터와의 거리를 계산하여 실내부하의 정도 계산

- 실외온도 추론 : 항원을 에어컨의 ON/ OFF 시간, 항체를 실외온도로 정의하고 해당온도에 대한 초기 농도값(식 1)을 부여한다. 항원의 주입에 대해 농도값이 가장 큰 항체를 선택하고 이 항체를 실외온도로 선택한다.

식 1에서 친화도인 a_i 는 항체의 항원에 대한 인식 정도를 의미하기 때문에 각각의 온도 데이터와 입력된 ON/OFF 시간과의 함수로 나타내어진다.

$$\text{친화도} = 100 / (\text{데이터의거리}) \quad (4)$$

데이터와의 거리가 0인 경우의 친화도는 100으로 정의한다. 항원을 인식한 항체는 식 5와 식 6과 같이 자극과 억제과정을 통해 농도를 조절하게 된다.

$$\begin{aligned} \text{자극정도} 32^\circ\text{C} = \\ \alpha \times 31^\circ\text{C의친화도} + \alpha \times 33^\circ\text{C의친화도} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{억제정도} 30^\circ\text{C} = \\ \beta \times 32^\circ\text{C의친화도} + 2\beta \times 33^\circ\text{C의친화도} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 α, β 는 임의의 상수 값이다. 그림 4는 실외온도 추론에서의 자극 억제 관계를 나타낸 것이다. 자기자극은 30°C 이하와 33°C 이상의 입력에 대해 일어나도록 설정하였다.

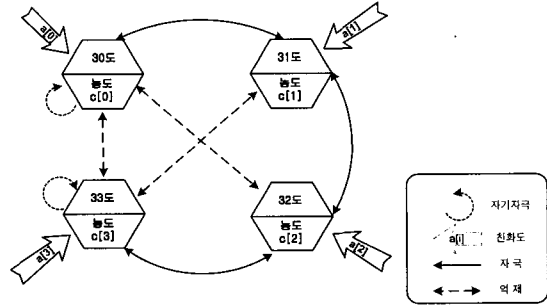


그림 3. 실외온도 추론을 위한 자극 억제 구성도

Fig. 3. Stimulation-suppression diagram for inferring outdoor temperature.

이러한 항체사이의 자극과 억제를 ON/OFF 시간에 대해 각각 수행한다.

4. On-Line 실외온도 추론 알고리즘

실외온도 추론 시스템을 실제 에어컨에 적용하는 데는 실제 에어컨에 장착되는 프로세서의 연산 능력과 메모리 용량의 한계 때문에 어려움이 많다. 따라서 실제 외부온도 추론 시스템을 구현하기 위해서 실외온도 추론을 참조형 테이블 형태로 구성하고, 식 7과 같은 간략화된 자극-억제 농도식을 이용하여 실제 온라인상의 실외온도 추론 시스템을 구현함으로써 급격한 외부온도 추론의 등락을 방지할 수 있도록 추론 시스템을 구현하였다. 항체에 해당하는 외부온도(30°C, 31°C, 32°C, 33°C)의 농도값(C_i)을 정의해 줄 수 있다.

$$C_i(t+1) = C_i(t) + \Delta C_i(t), \quad i = 30, 31, 32, 33 \quad (7)$$

여기서 C_i 는 외부온도 $i^\circ\text{C}$ 에 대한 농도(0~255의 정수값, 초기값=128)이고, ΔC_i 는 외부온도 $i^\circ\text{C}$ 에 대한 농도 변화량이다. 각 농도 값은 항원의 자극과 항체 상호간의 자극에 의해서 그 값이 변화하게 되므로, 아래와 같은 방법으로 변화량을 결정할 수 있다.

$$\Delta C_{30} = \frac{(255 - C_{30})}{10} \times s_{30} - \frac{C_{30}}{20} + \frac{C_{31}}{40} \quad (8)$$

$$\Delta C_{31} = \frac{(255 - C_{31})}{10} \times s_{31} - \frac{C_{31}}{20} + \frac{C_{30} + C_{32}}{40} \quad (9)$$

$$\Delta C_{32} = \frac{(255 - C_{32})}{10} \times s_{32} - \frac{C_{32}}{20} + \frac{C_{31} + C_{33}}{40} \quad (10)$$

$$\Delta C_{33} = \frac{(255 - C_{33})}{10} \times s_{33} - \frac{C_{33}}{20} + \frac{C_{32}}{40} \quad (11)$$

여기서 s_i 는 항원 자극 테이블 출력이 $i^\circ\text{C}$ 가 나올 경

우 1이나 0으로 정의한다. 위의 식에서 생성한 규칙 테이블에서 외부 온도값 $i^{\circ}\text{C}$ 가 선택될 경우, 그 온도값 i 에 해당하는 s_i 의 값이 1이 된다.

III. 모의실험

1. 실내온도 추론

본 모의실험에서는 실내온도 추론을 위해, 항체간 자극 억제 테이블을 사용하여 항체의 농도 값을 조절하게 된다. 항체의 자극과 억제는 식 2와 식 3에 의해서 이루어진다. 항체간 자극 억제 테이블에 의해 농도 값이 상호 증가 감소하여 농도 값이 최대로 되는 항체의 개수가 줄어들고, 입력 조건에 더욱 민감한 시스템을 구성할 수 있다.

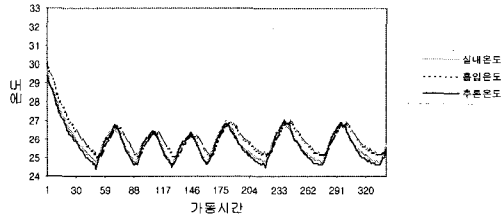


그림 4. 흡입온도와 실제 실내온도 및 추론온도
Fig. 4. Inhalation temperatures, actual indoor temperature and inference temperatures.

또한 이 방법은 면역 네트워크의 항체 균형을 유지하는 방법과 유사함을 알 수 있다. 결과적으로 그림 4와 같은 추론 결과를 얻을 수 있다.

2. 실외온도 추론

실외온도 추론을 위한 모의실험은 설정온도가 주어지고, 주어진 설정온도에서 ON/OFF 시간이 주어졌을 때 실외온도가 어떻게 추론되는지를 검증하였다.

그림 5는 설정온도가 26°C 일 때 ON/OFF 시간에 대한 실외온도를 보인 것이다. 그림에서 열은 색부터 차례대로 실외온도 30°C , 31°C , 32°C , 33°C 를 나타낸다. 또한 각각의 라인은 위에서부터 공간 1, 공간 2, 공간 3을 의미하는 기준 데이터이다. 그림 6은 설정온도 28°C 일 때 ON/OFF 시간에 대한 실외온도를 보인다.

모의실험 결과에서 알 수 있듯이 면역 네트워크를 이용한 실외온도 예측은 주어진 데이터를 이용하여 효과적으로 실외온도를 예측하며, 현재 주어진 데이터에 생성한 데이터가 들어와도 면역 네트워크를 이용하여

실외온도를 예측할 수 있음을 확인할 수 있었다.

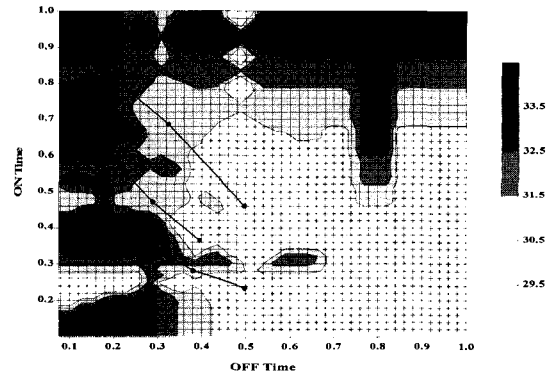


그림 5. 설정온도 26°C 일 때 ON/OFF 시간에 대한 실외온도
Fig. 5. ON/OFF time vs. outdoor temperature when setting temperature is 26°C .

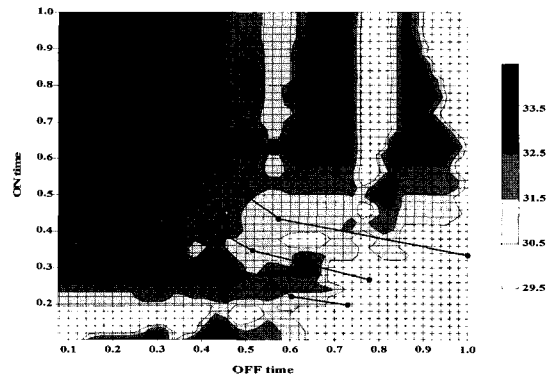


그림 6. 설정온도 28°C 일 때 ON/OFF 시간에 대한 실외온도
Fig. 6. ON/OFF time vs. outdoor temperature when setting temperature is 28°C .

3. 온라인 실외온도 추론 시스템

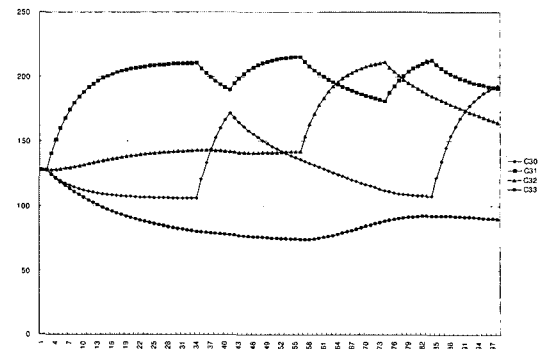


그림 7. 항체 농도의 변화
Fig. 7. Variations of the concentration of antibodies.

그림 7은 On-Line 상의 항체 농도식을 사용하여 모의 실험한 결과를 나타낸 것이다.

각 항체의 농도 값은 자극을 받아 농도가 급격히 증가하거나 자극을 받지 않아 극단적으로 감소하는 양상을 보이지 않고 일정한 수준을 유지하며 균형을 맞추어 가는 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 에어컨 온도제어를 위해 면역 알고리즘을 이용한 실내, 실외온도 추론 시스템을 제안하였다. 제안한 온도 추론 시스템은 온도추론 과정에서는 면역 시스템의 네트워크 이론을 도입하여 항체간 자극-억제 방식으로 실내온도의 추론을 위한 흡입온도 보정 값을 예측함으로써 실제 실내온도에 근접한 온도를 추론한다.

또한 실외온도 추론과정에서는 적당한 실내부하가 존재하는 환경에서 각 에어컨의 동작결과를 현재 온도 추론 시스템에 적용한다. 그리고 온도 추론 시스템의 실제구현을 위해 자극 테이블과 계산식을 간략화함으로써 온라인 추론을 가능하게 했다.

결국 면역 네트워크를 이용한 실내·외 온도 추론 시스템은 주어진 입력 데이터에 대해 효과적으로 실내온도와 실외온도를 추정할 수 있었고, 학습되지 않은 입력에 대해서도 면역 네트워크 연산에 의해 온도 추론이 가능함을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Alan S. Perelson, "Immune network theory," Immunological Reviews, Vol. 10, pp. 5-36, 1989.
- [2] N. K. Jerne, "The immune system," Scientific American, Vol. 229, No.1, pp. 52-60, 1973.
- [3] N. K. Jerne, "The generative grammar of the immune system," EMBO Journal, Vol. 4, No. 4, 1985.
- [4] N. K. Jerne, "Toward a network theory of the immune system," Ann. Immunol.(Inst. Pasteur), Vol. 125C, pp. 373-389, 1974.
- [5] 서재용, 원경재, 김성현, 조현찬, 전홍태, "면역 알고리즘을 이용한 강건한 제어 시스템 설계", 한국 퍼지 및 지능 시스템학회 논문지, Vol. 8 No. 6, pp. 12-20, 1998.
- [6] 원경재, 서재용, 연정흠, 조현찬, 전홍태, "면역화된 귀환 신경망을 이용한 지능형 제어 시스템 설계", 대한전자공학회 논문지, 제35권 S편 제12호, pp. 27-35, 1998.
- [7] Gerard Weisbuch, "A shape space approach to the dynamics of the immune system," Journal of Theoretical Biology, Vol. 143, No. 4, pp. 507-522, 1990.
- [8] H. Bersini and F. J. Varela, "The immune recruitment mechanism: A selective evolutionary strategy," In Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithm, pp. 520-526, San Diego, July 13-16, 1991.
- [9] Franco Celada and Philip E. Seiden, "A computer model of cellular interactions in the immune system," Immunology Today, Vol. 13, No. 2, pp. 56-62, 1992.

저 자 소 개

徐在龍(正會員) 第37卷 SC編 第4號 參照
1969年 7月 21日生 1996년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(학사). 1998년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년 8월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2000년 8월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 객원교수. 주관심분야 : 퍼지, 유전알고리즘, 신경망, FNN, 웨이블릿 신경망 등임

趙 鉉 讚(正會員)
현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수

全 洪 兌(正會員)
현재 : 중앙대학교 전기전자공학부 교수