

# ART와 퍼지를 이용한 메모리 관리 모델

## Memory Management Model Using Combined ART and Fuzzy Logic

김주훈 · 김성주 · 최우경 · 김종수 · 전홍태

Joo-Hoon Kim, Seong-Joo Kim, Woo-Kyung Choi, Jong-Soo Kim and Hong-Tae Jeon

중앙대학교 전자전기공학부

### 요약

인간은 외부로부터 새로운 정보를 입력받고 나서 시간이 지남에 따라 그 정보가 점차 잊혀져 가지만 그 정보를 반복적으로 학습하면 오래도록 기억에 남고 잘 잊혀지지 않게 된다. 우리가 처음 듣는 전화번호를 기억할 때 한번 듣고 나서 다시 생각하지 않는다면 곧 잊혀지게 되지만 반복하여 말하고 기억해내면 좀 더 오래 기억할 수 있는 것도 그와 비슷한 현상이다. 또한 인간이 강한 자극과 함께 새로운 정보를 입력받을 때에는 그것을 반복하여 학습하지 않는다 하더라도 기억에 오랫동안 남을 수 있다. 목숨을 잃을 뻔 했던 사고를 당한 적이 있거나 뜻밖의 큰 행운을 얻은 경험이 있는 사람은 누구나 그 순간을 쉽게 잊을 수 없을 것이다. 인간은 기억력의 한계가 있음에도 불구하고 위와 같은 과정에 의해서 기억을 오래 유지할 수 있게 된다. 본 논문에서는 이러한 과정을 신경 회로망과 퍼지를 이용하여 구현하고자 한다.

### Abstract

The human being receives a new information from outside and the information shows gradual oblivion with time. But the information remains in memory and isn't forgotten for a long time if the information is read several times over. For example, we assume that we memorize a telephone number when we listen and never remind we may forget it soon, but we commit to memory long time by repeating. If the human being received new information with strong stimulus, it could remain in memory without recalling repeatedly. The moments of almost losing one's life in an accident or getting a stroke of luck are rarely forgiven. The human being can keep memory for a long time in spite of the limit of memory for the mechanism mentioned above. In this paper, we propose a model to explain the mechanism mentioned above using a neural network and fuzzy.

**Key words** : Brain, Memory, ART(Adaptive Resonance Theory), Neural Network, Fuzzy.

## 1. 서론

여러 분야에서 다양한 목적으로 인간처럼 생각하는 시스템을 구현하고자 하는 연구가 이루어지고 있다. 인간의 뇌에서 기억을 담당하는 부분은 시각, 청각, 촉각 등의 감각 정보를 이용하여 새로 들어온 정보가 이미 기억된 정보와 같은가를 비교하여 기존 기억에 적용시키거나 새로운 정보로 기억시킨다. 기존의 모델은 ART(Adaptive Resonance Theory)를 사용하여 그것을 구현하고 반복 학습되지 않는 정보는 잊혀져 버리는 것과 강한 자극과 함께 입력된 정보는 반복 학습되지 않아도 잊혀지지 않는 것이었다.[9][10] 그 모델을 이용할 경우 모든 감각에 대한 정보들이 전부 한 번에 처리되었기 때문에 감각별로 정보를 차등적으로 조절하여 처리하기가 곤란하였다.

본 논문에서는 이 문제를 개선하기 위해 기존의 ART를 이용한 모델에서 감각 정보를 비교하는 과정을 퍼지 규칙을 도입한 방법으로 교체하고자 한다. 우선 입력받는 감각 정보의 여러 값들을 감각 별로 그룹화 한 후 그룹별로 퍼지 규칙을 이용하여 비교한다. 기억된 정보들을 퍼지 규칙으로 하고 입력된 정보를 이용하여 각각의 규칙에 대한 결과를 낸다.

이 모델에서는 퍼지를 사용하여 기억된 정보에 대한 이해가 쉽고, 기억된 정보를 이용할 때 규칙을 조절하여 적용하는 것으로 상황에 따라 필요한 감각 정보를 알맞게 적용할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 인간 두뇌의 정보처리 메카니즘에 대하여 2장에서 설명하고 3장과 4장에는 그것을 ART와 퍼지를 이용하여 모델링하고 모의 실험한다. 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대하여 논하고 끝을 맺는다.

## 2. 인간 두뇌의 정보처리 메카니즘[1-3]

### 2.1 생리학적 정보처리 메카니즘

#### 2.1.1 생리학적 정보처리 영역

알려진 바에 의하면 인간의 대뇌 피질은 감각 정보 처리, 추론 및 판단, 행동 명령의 기능을 수행하고 있으며, 이는 대뇌 피질을 기능에 따라 세 가지 영역(감각피질, 연합피질, 운동피질)으로 구분한다.

신경 생리학적으로는 47개의 영역으로 분류될 수 있는 대뇌 중에서 대뇌의 피질을 기능별로 분류한 것으로 그림 1과 같이 분류된다.

접수일자 : 2004년 11월 11일

완료일자 : 2004년 11월 29일

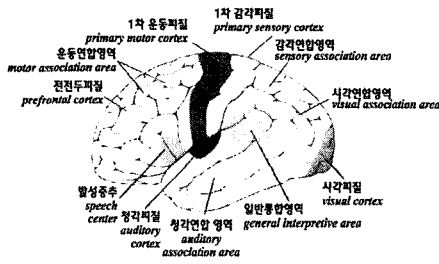


그림 1. 대뇌피질의 구조

Fig. 1. The structure of the cerebral cortex

파페즈 회로는 1차적으로 시각과 청각 기관에 의해 획득된 감각 정보로부터 행동을 판단하는 과정에서 기존의 기억 정보로 판단하지 못하는 새로운 감각 정보를 처리하는 대뇌의 일부분이다.

2.1.2. 감각정보의 인식 및 저장

대뇌의 정보처리 흐름은 그림 3과 같은 흐름을 지닌다. 대뇌 각 영역을 정의하면 다음과 같다.

감각에 대한 일차 분석을 수행하는 일차감각영역(V1:일차시각영역, A1:일차청각영역, S1:일차체감각영역)에서 일차로 분석된다. 분석된 감각은 과거의 경험과 비교 분석되어 각각의 감각에 대한 최종인식을 수행하는 감각연합영역(SA:체감각연합영역, VA:시각연합영역, AA:청각연합영역)으로 보내져 각 감각에 대한 독립적인 인식이 이루어진다. 인식된 감각들은 최종 분석된 시각자극, 청각자극, 체감각자극이 종합되는 다중감각연합영역(MA)으로 보내진다. 감각정보가 이 부분에 도달하면, 사물에 대한 인식이 이루어진다. 인식된 정보를 처리하는 부분으로 전전두엽피질(PF), 보완운동영역(SMA)과 전운동영역(PM)이 있다. 전전두엽피질에서는 행동에 대한 예지와 판단을 수행하며, 보완운동영역과 전운동영역에서는 운동에 대한 세세한 계획을 수립하는 영역이다. 각 영역을 거친 후에는 일차운동영역(M1)을 거쳐 반응으로 전환된다.

이런 일련의 과정은 기억되어 있는 정보가 있다는 조건에서 이루어지는 처리 과정이며, 기억에 저장되어 있지 않은 감각의 경우는 다음 절에서 설명하는 과정과 같다.

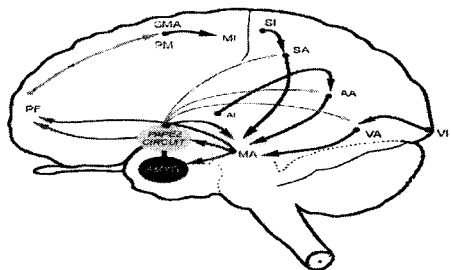


그림 2. 대뇌정보처리 흐름도

Fig. 3. The cerebrum information processing flow chart

다중감각연합영역에서 과거 경험에 없는 새로운 자극의 경우 변연계[11]의 파페즈 회로를 거쳐 새로운 기억회로를 통과하게 된다. 파페즈 회로를 통과한 내용은 기억회로에 저장되고 저장된 내용은 이후 감각정보에 대한 처리과정에 사용되게 된다.

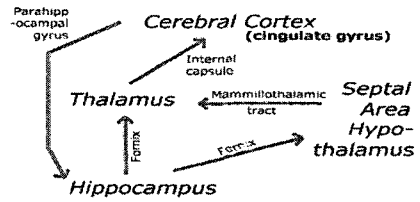


그림 3. 파페즈 회로에 의한 정보 흐름

Fig. 3. The information stream by the papez circuit

이런 과정을 통해 대뇌에서는 기억된 내용 이외의 새로운 정보에 대한 인식이 가능하며, 이는 갱신되어 누적되는 형태로 저장되며 새로운 자극에 대해 적응적인 학습이 가능하게 되는 것이다.

2.2. 심리학적 기억[4-6]

기억은 기존의 지식에 접근하여 이를 사용하거나 되살리는 정신과정으로서 기명, 보유, 재생, 재인의 4가지 단계를 나누어 볼 수 있다.

기억체계의 기본 구조를 여러 개의 기억 저장고로 이루어진 것으로 보는 관점을 중다 기억 이론이라고 한다. 기억의 구조에는 감각기억, 단기 기억 그리고 장기기억이 있다.

사용되지 않는 정보는 통상 시간이 경과할수록 망각된다. 이러한 관계에 주목한 이론이 쇠잔 이론이다. 기억은 중추신경계에 어떤 변화를 일으켜 기억흔적을 남기고 사용하지 않으면 점차 사라지게 된다.

3. ART를 이용한 인공 모델

ART(Adaptive Resonance Theory)구조는 단기기억과 장기기억을 포함하고 있으며, 입력과 기억을 비교하여 새로운 정보는 새로운 기억공간에 추가하기 때문에 인간의 기억 과정과 매우 유사하여 본 논문에서 제안하는 구조를 나타내는 데 이용하기 가장 적합한 구조이다.

3.1 ART[7-8]

ART는 기존에 학습되었던 것이 새로운 학습에 의해 지워지지 않도록 새로운 지식을 자동적으로 전체 지식 베이스에 일관성 있는(self-consistent) 방법으로 통합한다. 즉 적절하게 매치(match) 되는 새로운 정보를 이용하여 이미 배운 내용들을 정제하며(refine), 새로운 인식 카테고리의 학습을 위하여 새로운 유니트를 선택하고, 기억용량을 넘어서는 과다한 새로운 입력에 의해 기존에 취득한 내용이 지워지는 것을 방지한다.

ART 모델의 전형적인 예를 그림 5에 나타냈다. 이 그림에서 알 수 있듯이 ART 모델은 2 개의 층으로 이루어져 있으며 입력 층과 출력 층 사이에는 상향(bottom-up)과 하향(top-down)의 양방향 연결이 있고 출력 층에는 유니트 간에 억제성 측면연결이 형성되어 있어 출력 유니트들 중에서 최대값을 출력한 유니트를 선택해 내는 역할을 담당한다.

상향 연결강도  $b_{ij}$ 와 하향 연결강도  $t_{ij}$ 는  $j$  클러스터의 대표패턴을 기억한다는 점에서 근본적으로는 동일하지만 그 목적은 다르다.  $b_{ij}$ 는 입력  $X$  에 가장 유사한 대표입력을 기억하고 있는 출력 유니트의  $u_j$ 를 결정하는 데에 사용된다. 그러나 입력벡터  $X$  가 새로운 클러스터의 패턴인 경우에도 하

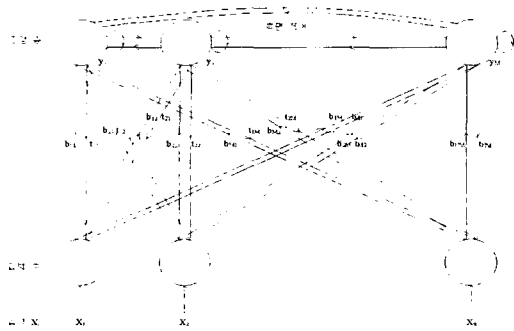


그림 5. ART 모델  
Fig. 5. ART Model

나가 반드시 최대값으로 되기 때문에  $u_j$ 가 최대값을 출력하더라도  $X$ 가  $j$  클러스터의 패턴이 아닐 수도 있으므로 이에 대한 검증이 필요하다. 이러한 검증은 식 (7)을 이용한다.

$$\hat{b}_{ji} = d(x_i - b_{ji}) \tag{1}$$

$$\hat{t}_{ij} = d(x_i - t_{ij}) \tag{2}$$

$$\hat{t}_{ij} = \hat{b}_{ji} = 0 \quad \text{for } j \neq J, \quad 0 < d < 1 \tag{3}$$

$$u_j = \sum_i \hat{b}_{ji}(t) x_i, \quad 0 \leq i \leq M-1 \tag{4}$$

$$[X] = \sum_i x_i \text{ (입력패턴)} \tag{5}$$

$$[TX] = \sum_i t_{ji} - x_i \tag{6}$$

$$\rho > \frac{[TX]}{[X]} \tag{7}$$

여기서  $\rho$ 는 경계변수 (vigilance parameter)로 임의의 입력패턴과 저장된 패턴과의 불일치(mismatch) 허용도가 결정된다.

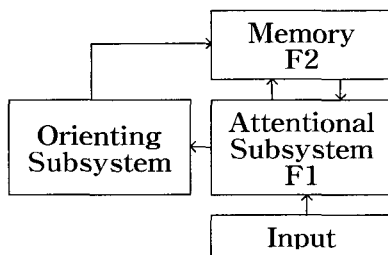


그림 6. ART 시스템의 구조  
Fig. 6. The structure of an ART system

그림 6은 ART 모델의 시스템 구조를 나타낸다. 주의 서브 시스템(Attentional Subsystem)은 상향적 입력패턴과 하향적 기대패턴을 구별하고 이 패턴들을 매치시키는 작업을 수행할 수 있도록 한다. 적응 서브 시스템(Orienting Subsystem)은 입력패턴과 기대패턴의 불일치가 충분히 클 때 기억(Memory, F2)에 리셋(reset) 신호를 보내어 억제한다.

3.2 ART를 이용한 인공 모델

ART로 본 논문에서 설명하고자 하는 과정을 표현하기 위해서는 약간의 수정이 필요하다. 먼저, ART에서는 새로운

정보는 무조건적으로 장기 기억에 저장하여 영원히 잊혀지지 않는다. 그러나 인간은 처음 본 것을 한 번에 오래 기억하지 못한다. 그것이 잊혀지기 전에 반복적으로 그 기억이 활성화 되어야만 오래 기억할 수 있다. 단, 강한 자극과 함께 입력된 정보는 한 번에 장기 기억이 되어 오래도록 잊혀지지 않는다. 제안된 모델은 다음과 같은 처리 과정을 갖는다.

- 기억된 모든 정보는 그 정보에 대한 기억 정도가 얼마나 강할가를 나타내는 값이 함께 있다.
- 장기 기억은 기억 정도가 최대치이고, 단기 기억은 아니다.
- 단기 기억은 각 단계에서 그 것과 같은 정보가 입력되면 기억 정도가 증가하고 그렇지 않으면 감소한다.
- 단기 기억이었던 것이 기억 정도가 최대값에 도달하면 장기 기억이 되고, 기억 정도가 감소하여 0이 되면 잊혀진다.
- 장기 기억은 기억 정도가 증가하지도, 감소하지도 않는다.
- 모든 입력은 각각의 입력 값들과 자극 입력을 함께 받는다.
- 강한 자극과 입력된 정보는 한 번에 장기 기억이 된다.
- 기존에 단기 기억에 있던 정보와 같은 것이 강한 자극과 입력될 경우 그 기억이 한 번에 장기 기억이 된다.

기존의 ART에서는 F1이 단기 기억, F2가 장기 기억의 역할을 하였으나, 새로운 모델에서는 F1은 단지 입력된 정보가 들어오는 과정일 뿐이고, F2를 '기억'으로 하여 그 안에 단기 기억과 장기 기억의 역할을 모두 주었다. 기억 속에 들어있는 정보에 기억 정도를 부여하여 기억된 내용 중 단기 기억과 장기 기억이 구분 될 수 있도록 하였다.

3.3 모의실험

3.3.1 감각정보의 이용

인간이 물체를 기억하는 모델을 실험하기 위하여 불체로부터 감각기관이 얻어낸 정보의 몇 가지 예를 표2에 제시하였다.

표 1. 감각 정보의 예  
Table 1. An example of the sensory information

	시각						청각	촉각	
	색깔			모양				표면 마찰	강도
	R	G	B	사각 형	원형	크기			
사과	24E	61	88	x	o	72.38	35	71	50
농구공	24E	10E	69	x	o	314.16	57	23	79
책	29	72	22C	o	x	131.25	78	50	19
디스크	0	0	0	o	x	21.5	22	33	30

- 시각은 색깔, 모양, 크기의 세 가지의 정보를 입력받았다.
- 색깔은 RGB로 각 값을 0부터 255까지의 값으로 나타내었다.
- 모양은 제한적으로 원형과 사각형만을 구분하였다.
- 크기는 일정 거리에서 카메라로 물체를 포착하여 화면을 30cm\*21cm의 크기로 조정하였을 때 그 화면 내에서의 물체의 넓이로 나타내었다.
- 청각과 촉각은 실험자의 느낌에 의해 0부터 100까지의 값으로 나타내었다.
- 소리는 물체를 두들겼을 때 나는 소리의 크기를 나타내었다.
- 촉각에 대해서는 물체 표면의 마찰과 물체의 딱딱한 정도

를 나타내었다.

표 1에서 각 감각정보의 절대적인 크기가 차이가 있으므로 이 값들을 동등하게 0부터 1까지의 값을 가지도록 조정하여 표 2에 나타내었다.

- 색깔은 각 RGB 값을 최대값인 255로 나누어주었다.
- 모양은 1이면 원형이고 0이면 사각형으로 하였다.
- 크기는 화면의 전체 크기인 630cm<sup>2</sup>내에 차지하는 물체의 비율을 나타내었다.
- 청각과 촉각의 범위는 0~100이므로 100으로 나누었다.

표 2. 조정된 감각 정보의 예

Table 2. An example of the adjusted sensory information

	시각					청각	촉각	
	색깔			모양 (사각형/ 원형)	크기		표면 마찰	강도
	R	G	B					
사과	0.961	0.239	0.345	1	0.115	0.35	0.71	0.50
농구 공	0.973	0.412	0.271	1	0.499	0.57	0.23	0.79
책	0.114	0.282	0.863	0	0.208	0.78	0.50	0.19
디스 켓	0	0	0	0	0.034	0.22	0.33	0.30

※ 본 논문에서는 물체에 대해서 감각 정보들을 얼마나 정확히 얻어낸 것 인가 하는 것보다 물체에 대하여 이미 얻어진 감각 정보를 기억 속에 저장하는 과정에 중점을 두었다. 저장 과정에 대하여 3.2절, 3.3.2절과 3.3.3절에 구체적으로 설명하였다.

### 3.3.2 감각의 영향

강한 자극과 함께 입력된 정보가 곧바로 장기 기억으로 저장되도록 하기 위하여, 감각정보가 입력될 때의 감정에 대한 정보를 함께 입력받고, 강한 자극을 받은 경우에는 감정의 수치가 높아진 것이라고 가정하였다.

### 3.3.3 장기 기억과 단기 기억

한 물체에 대한 정보가 한번 입력이 될 때마다 기억 정도가 5씩 증가하여 15가 되면 장기 기억이 된 것으로 보고 수치가 줄지 않도록 하였으며, 기억 정도가 15 이하인 것은 단기 기억으로 보고 입력이 되지 않는 단계에서는 1씩 감소하여 0이 되면 기억에서 완전히 삭제된다. 강한 자극이 함께 들어올 경우에는 강하게 기억되어 한 번에 장기 기억이 될 수도 있도록 하였다.

그림 7에서 어떤 한 물체에 대한 감각 정보들과 자극에 대한 값을 수정된 ART 네트워크에 입력받고, normalize된 입력 값과 기억 속에 들어있는 내용과 현재 입력이 몇 번째 기억과 같은 것으로 판단되었는지, 그리고 각 기억에 대한 기억 정도를 나타내었다. 그림 6의 ART 구조와 연관지어 생각하면 입력 층이 입력을 받아 normalize하는 부분이고, 저장된 기억들의 번호는 기억 층이다. 유사도와  $\Delta I$ 에 따른 결정을 내리는 작업은 적응 서브 시스템, 그리고 입력 값을 받아 그것과 가장 유사한 기억 값을 찾아내어 적응 서브 시스템에 보내는 작업이 주의 서브 시스템에 의해 이루어진다.

### 3.3.5 결과 및 분석

그림 7은 시뮬레이션 결과 화면이다. 입력 데이터 앞부분 9개의 값은 감각 정보이고, 마지막 1개의 값은 자극에 대한 값이다. 각 단계에서 기존의 기억된 내용과 유사하다고 판단

되거나 새로운 기억으로 추가되어 출력으로 지정된 기억은 진하게 표시되었다.

- 단기 기억 1단계에서 6단계까지 1번 기억을 보면, 1단계에서는 새로 입력된 1번 기억의 기억 정도가 5였다가 2단계부터는 입력이 반복되지 않아 1씩 줄어들어 결국 6단계에서는 기억에서 지워지게 되었다.
- 장기 기억 5단계에서 3번 기억이 기억 정도 15로 장기 기억이 되었다. 6단계 이후 3번 기억이 다시 입력되지 않았지만 기억 정도가 감소하지 않았다.
- 강한 자극 6단계에서의 입력에서 자극에 대한 값이 1이기 때문에 새로 기억된 4번 기억이 한 번에 장기 기억이 되었다.

이 모델에서는 입력 데이터를 0과 1사이의 값을 사용해야 한다는 것과 그 값들을 normalize해야 한다는 번거로움이 있으며, normalize되어 저장되어 있는 데이터들을 보았을 때 그 각각의 값이 무엇을 의미하는지 알 수가 없다. 그리고 각 입력 값들을 기억 값들과 비교하는 부분에서는 모든 값들이 단 한 번에 하나의 수식으로 처리되었기 때문에 자연스럽게 항목이 많은 데이터 분류가 유사성 판단에서 높은 비중을 차지하게 되었고 데이터의 각 요소별 유사성 여부 또한 확인할 수가 없다. 다음 장에서 이러한 문제를 해결하기 위해 퍼지를 혼합한 모델을 제시한다.

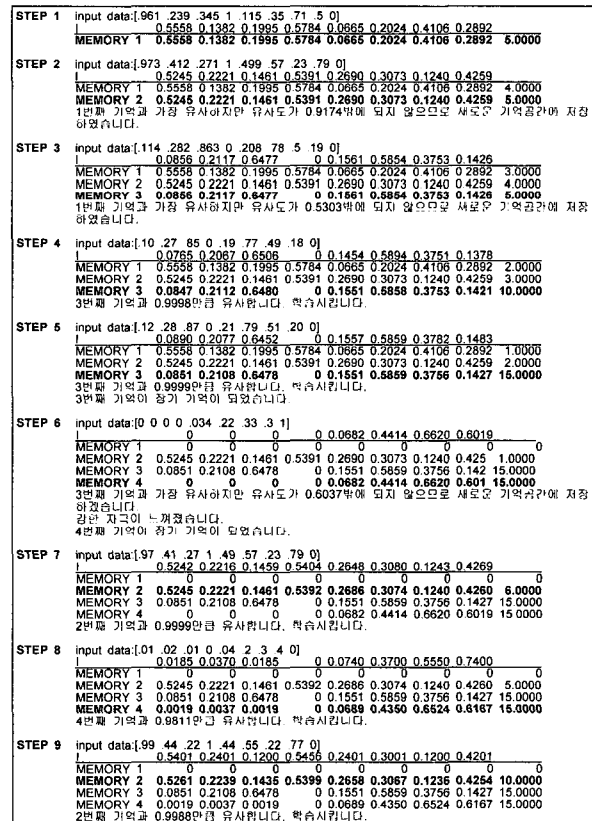


그림 7. ART를 이용한 기억모델의 시뮬레이션 결과  
Fig. 7. The simulation result of the memory model using ART

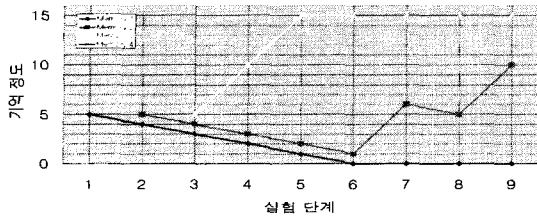


그림 8. 기억 정도의 증가/감소 그래프  
Fig. 8. The increasing/decreasing graph of memory grade

#### 4. 퍼지를 혼합한 모델

앞 장에서의 문제 해결을 위하여 입력과 기억을 비교하는 부분에 퍼지 추론을 이용하고자 한다. 퍼지 추론을 이용함으로써 입력 데이터를 그대로 사용할 수 있게 되어 normalize 할 필요도 없어지고 기억된 값이 무슨 의미인지도 알 수 있게 된다. 데이터를 분류별로 그룹화 하여 퍼지 추론에 의해 유사도를 결정하기 때문에 유사도를 데이터 분류별로 확인할 수가 있고 따라서 분류별로 같은 중요도를 주거나 또는 원하는 중요도로 조절하여 사용할 수도 있게 된다.

##### 4.1 퍼지 규칙을 이용한 유사도 판단 알고리즘

하나의 기억에 저장된 값들을 하나의 규칙으로 만든다. 따라서 기억의 개수만큼 규칙이 존재하게 된다. 소속 함수는 0.5 교차점의 양 끝 간격이 각 항목별 데이터 범위 한계의 5%폭에 달하는 가우시안 함수를 사용하였다.

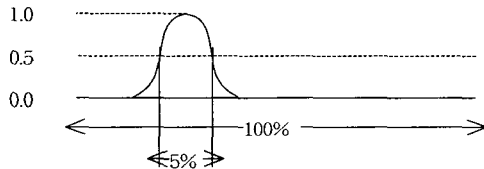


그림 9. 사용된 퍼지 소속 함수  
Fig. 9. The fuzzy membership function for the proposed system

유사도 판정은 입력 값 하나하나의 해당 규칙에 대한 소속 정도를 구하여 그것을 분류별로 평균하여 그것을 분류별 유사도로 하고, 분류별 평균값들을 모아서 다시 평균한 것을 전체 유사도로 하였다.

##### 4.2 모의실험 및 분석

- 기억 정도가 1이상 15미만인 기억은 단기 기억으로 한다.
- 기억 정도가 15인 기억은 장기 기억으로 한다.
- 기억 정도가 0이 된 기억은 잊혀진 것이다.
- 현재 단계에 입력되지 않은 기억은 기억 정도가 1 감소한다.
- 현재 단계에 입력된 기억은 기억 정도가 5만큼 증가한다.
- 기억 정도는 15가 최대이며, 그 이상 증가하지 않는다.
- 기억 정도가 15인 기억 즉 장기기억은 현재 단계에 입력되지 않아도 기억 정도가 감소하지 않는다.
- 강한 자극과 함께 입력되지 않은 것의 초기 기억정도는 5다.

- 강한 자극과 함께 입력된 것은 처음부터 기억 정도가 15다.

입력 데이터는 샘플 데이터를 기본으로 하여 같은 입력을 재입력할 때 조금씩 값을 변경하여 학습되는 것이 보일 수 있게 하였다.

표 4. 입력 데이터  
Table 4. Input data

	시각				부피	청각 소리	촉각	
	색깔			모양 (0:○, 1:□)			거친 정도	딱딱 함
	R	G	B					
사과	245	61	88	0	215	35	71	50
농구공	248	105	69	0	7238	57	23	79
책	29	72	220	1	1311	78	50	19
디스크	0	0	0	1	25	22	33	30

입력 데이터 중 마지막 열의 값은 감각 정보이며, 90 이상 일 때 강한 자극으로 인식된다.

각 단계에서 기존의 기억된 내용과 유사하다고 판단되거나 새로운 기억으로 추가된 것은 진하게 표시되었다.

##### [실험 1(그림 10, 11)]:

- 1번 기억이 잊혀져 기억에서 사라지는 실험
- 3번 기억이 반복 학습되어 장기 기억이 되는 실험

Step 1	input data	245	61	88	0	215	35	71	50	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	5	
Step 2	input data	248	105	69	0	7238	57	23	79	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	4	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	5	
	1번째 기억과 가장 유사하지만 유사도가 0.5482밖에 되지 않으므로 새로운 기억공간에 저장하였습니다.										
Step 3	input data	29	72	220	1	1311	78	50	19	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	3	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	4	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	5	
	1번째 기억과 가장 유사하지만 유사도가 0.2251밖에 되지 않으므로 새로운 기억공간에 저장하였습니다.										
Step 4	input data	30	70	225	1	1310	80	55	20	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	2	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	3	
	Memory 3	29.1	71.8	220.5	1	1303.7	78.2	50.5	19.1	10	
	3번째 기억과 0.9816만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										
Step 5	input data	25	75	215	1	1315	75	48	15	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	1	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	2	
	Memory 3	28.69	72.12	219.95	1	1844.83	77.88	50.25	18.69	15	
	3번째 기억과 0.9772만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										
	3번째 기억이 장기 기억이 되었습니다.										
Step 6	input data	250	100	70	0	7240	60	20	80	0	
	Memory 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Memory 2	248.2	104.5	69.1	0	7238.2	57.3	22.7	79.1	7	
	Memory 3	28.69	72.12	219.95	1	1844.83	77.88	50.25	18.69	15	
	2번째 기억과 0.9871만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										
Step 7	input data	245	110	65	0	7200	55	25	75	0	
	Memory 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Memory 2	247.88	105.05	68.69	0	7234.38	57.07	22.93	78.69	12	
	Memory 3	28.69	72.12	219.95	1	1844.83	77.88	50.25	18.69	15	
	2번째 기억과 0.9804만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										

그림 10. ART와 Fuzzy를 이용한 기억 모델의 시뮬레이션 결과(1)

Fig. 10. The simulation result of the memory model using ART and fuzzy(1)

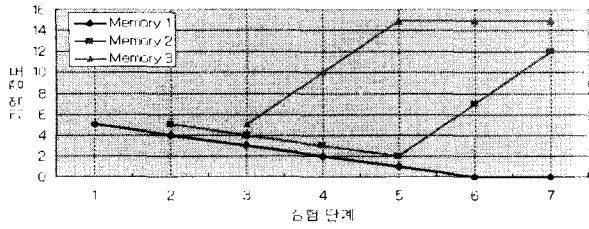


그림 11. 기억 정도의 증가/감소 그래프(1)

Fig. 11. The increasing/decreasing graph of memory grade(1)

[실험 2(그림 12, 13)]:

·단기 기억에 있던 1번 기억과 같은 입력이 강한 자극과 함께 들어오자 장기 기억이 되는 실험

Step 1	input data	245	61	88	0	215	35	71	50	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	5	
Step 2	input data	248	105	69	0	7238	57	23	79	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	4	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	5	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	1번째 기억과 가장 유사하지만 유사도가 0.5482밖에 되지 않으므로 새로운 기억공간에 저장하였습니다.										
Step 3	input data	29	72	220	1	1311	78	50	19	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	3	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	4	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	5	
	1번째 기억과 가장 유사하지만 유사도가 0.2251밖에 되지 않으므로 새로운 기억공간에 저장하였습니다.										
Step 4	input data	250	60	90	0	220	40	70	55	100	
	Memory 1	245.5	60.9	88.2	0	215.5	35.5	70.9	50.5	15	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	3	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	4	
	1번째 기억과 0.9708만큼 유사합니다. 학습시킵니다. 강한 자극이 느껴졌습니다. 1번째 기억이 장기 기억이 되었습니다.										
Step 5	input data	250	100	70	0	7240	60	20	80	0	
	Memory 1	245.5	60.9	88.2	0	215.5	35.5	70.9	50.5	15	
	Memory 2	248.2	104.5	69.1	0	7238.2	57.3	22.7	79.1	8	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	3	
	Memory 4	0	0	0	1	25	22	33	30	4	
	2번째 기억과 0.9871만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										
Step 6	input data	250	60	90	0	220	40	70	55	0	
	Memory 1	245.5	60.9	88.2	0	215.5	35.5	70.9	50.5	15	
	Memory 2	248.2	104.5	69.1	0	7238.2	57.3	22.7	79.1	7	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	Memory 4	0	0	0	1	25	22	33	30	3	
	1번째 기억과 0.9708만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										
Step 7	input data	10	5	8	1	30	20	30	33	0	
	Memory 1	245.5	60.9	88.2	0	215.5	35.5	70.9	50.5	15	
	Memory 2	248.2	104.5	69.1	0	7238.2	57.3	22.7	79.1	6	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	Memory 4	1	0.5	0.8	1	25.5	21.8	32.7	30.3	8	
	4번째 기억과 0.9723만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										

그림 12. ART와 Fuzzy를 이용한 기억 모델의 시뮬레이션 결과(2)

Fig. 12. The simulation result of the memory model using ART and fuzzy(2)

[실험 3(그림 14, 15)]:

·3번 기억이 강한 자극과 함께 입력되어 처음부터 장기 기억이 되는 실험

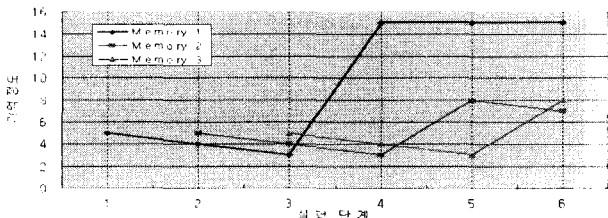


그림 13. 기억 정도의 증가/감소 그래프(2)

Fig. 13. The increasing/decreasing graph of memory grade(2)

Step 1	input data	245	61	88	0	215	35	71	50	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	5	
Step 2	input data	248	105	69	0	7238	57	23	79	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	4	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	5	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	1번째 기억과 가장 유사하지만 유사도가 0.5482밖에 되지 않으므로 새로운 기억공간에 저장하였습니다. 강한 자극이 느껴졌습니다. 3번째 기억이 장기 기억이 되었습니다.										
Step 3	input data	29	72	220	1	1311	78	50	19	100	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	3	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	4	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	Memory 4	0	0	0	1	25	22	33	30	5	
	3번째 기억과 가장 유사하지만 유사도가 0.4799밖에 되지 않으므로 새로운 기억공간에 저장하였습니다.										
Step 4	input data	0	0	0	1	25	22	33	30	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	2	
	Memory 2	248	105	69	0	7238	57	23	79	3	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	Memory 4	0	0	0	1	25	22	33	30	5	
	3번째 기억과 가장 유사하지만 유사도가 0.4799밖에 되지 않으므로 새로운 기억공간에 저장하였습니다.										
Step 5	input data	100	70	0	0	7240	60	20	80	0	
	Memory 1	245	61	88	0	215	35	71	50	3	
	Memory 2	248.2	104.5	69.1	0	7238.2	57.3	22.7	79.1	8	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	Memory 4	0	0	0	1	25	22	33	30	4	
	2번째 기억과 0.9871만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										
Step 6	input data	250	60	90	0	220	40	70	55	0	
	Memory 1	245.5	60.9	88.2	0	215.5	35.5	70.9	50.5	15	
	Memory 2	248.2	104.5	69.1	0	7238.2	57.3	22.7	79.1	7	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	Memory 4	0	0	0	1	25	22	33	30	3	
	1번째 기억과 0.9708만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										
Step 7	input data	10	5	8	1	30	20	30	33	0	
	Memory 1	245.5	60.9	88.2	0	215.5	35.5	70.9	50.5	15	
	Memory 2	248.2	104.5	69.1	0	7238.2	57.3	22.7	79.1	6	
	Memory 3	29	72	220	1	1311	78	50	19	15	
	Memory 4	1	0.5	0.8	1	25.5	21.8	32.7	30.3	8	
	4번째 기억과 0.9723만큼 유사합니다. 학습시킵니다.										

그림 14. ART와 Fuzzy를 이용한 기억 모델의 시뮬레이션 결과(3)

Fig. 14. The simulation result of the memory model using ART and fuzzy(3)

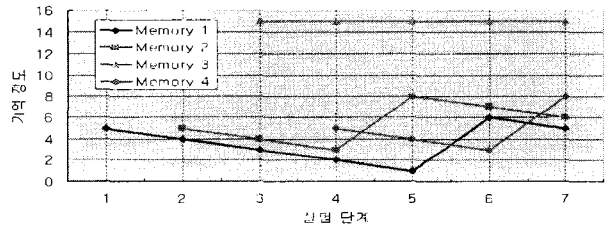


그림 15. 기억 정도의 증가/감소 그래프(3)

Fig. 15. The increasing/decreasing graph of memory grade(3)

5. 결론

본 논문에서는 인간이 정보를 장기 기억으로 만드는 과정을 ART와 퍼지 규칙을 이용하여 모델링하고 프로그램 시뮬레이션을 통하여 제안된 모델이 목적인 바를 정확히 수행하는 것을 검증하였다. 여러 개의 데이터로 이뤄진 입력을 받아 새로운 정보와 알고 있던 정보를 구분하여 학습하거나 새로 저장하는 것, 잊혀 지는 것과 잊혀 지지 않는 것 그리고 강한 자극에 의한 장기 기억이 제시된 조건에서 모두 정상적으로 수행되었다.

본 논문을 바탕으로 기억에 관하여 여기서 제시된 것들 이외의 또 다른 심리학과 생리학적으로 검증된 이론들을 추가적으로 접목시킨다면 더 완전한 인간의 기억 모델이 될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] A. Konar, Artificial Intelligence Modeling of the Human Brain, CRC Press, 1999.
- [2] E. Korner and G. Matsumoto, "Cortical architecture and self-referential control," IEEE Engineering in Medicine, Vol 21, Issue : 5, pp. 121-133, 2002.
- [3] K. Friston, "Learning and Inference in the Brain," Neural Network, Vol. 16, pp. 1325-1352, 2003.
- [4] 이정모, 인지심리학, 학지사, pp. 435-451, 2003.
- [5] 두산세계대백과 EnCyber, <http://www.encyber.com>
- [6] C. Martindale, Cognitive Psychology: A Neural Network Approach, Brooks/Cole, pp. 177-299, 1991.
- [7] G. A. Carpenter and S. Grossberg, "ART 2: Self-organisation of stable category recognition codes ," Applied Optics, Vol 26, pp. 4919-4930, 1987b.
- [8] J. A. Freeman and D. M. Skapura, Neural Networks Algorithms, Applications and Programming Techniques, Addison-Wesley, pp. 291-339, 1991.
- [9] 김주훈, 김성주, 김용택, 전홍태 "ART를 이용한 기억 정보 확장 모델 제시," 대한전자공학회 학술대회 논문집, 제 26권 제 3호 III, pp. 1283-1286, 2003.
- [10] Joo-Hoon Kim, Seong-Joo Kim, Jong-Soo Kim and Hong-Tae Jeon, "Memory Information Extension Model Using Adaptive Resonance Theory," International Symposium on advanced Intelligent Systems, Vol 4, pp. 652-655, 2003.
- [11] M. A. England and J. Wakely, "Color Atlas of the BRAIN & SPINAL CORD" Mosby Year Book, 1991.

### 저 자 소 개



**김주훈(Joo Hoon Kim)**

2003년 중앙대 전자전기공학부 졸업  
2003년~현재 동 대학원 석사과정

관심분야 : 소프트 컴퓨팅, 지능 로봇

Phone : 02-820-5297

Fax : 02-817-5508

E-mail : zoon@wm.cau.ac.kr

**김성주(Seong Joo Kim)**

제 14권 제 6호(2004년 10월호) 참조

**최우경(Woo Kyung Choi)**

제 14권 제 6호(2004년 10월호) 참조

**김종수(Jong Soo Kim)**

제 14권 제 6호(2004년 10월호) 참조

**전홍태(Hong Tae Jeon)**

제 14권 제 6호(2004년 10월호) 참조