

## SDF 알고리즘을 이용한 연상기억 처리모델

## A new associative memory model using SDF filter

정 계우 김 홍만 심 창섭      과 종훈\*

한국전자통신연구소 광통신연구실      \* 기초기술연구부

## &lt;ABSTRACT&gt;

A new associative memory model using the SDF filter, one of the multiple filter for pattern recognition, is suggested in this paper. The SDF filter characteristics such as pattern classification lets the memorized patterns have orthogonal characteristics one another, so that enhances the associative memory's retrieval ability to the original pattern. The computer simulation shows that this new model is very useful in case that the input patterns are seriously distorted and the cross-correlation between the memorized patterns is very high.

## 1. 서 론

연상기억 모델은 여러가지 신경회로 중에서 에러보정이 가능한 유형인식특성을 갖는 것으로, 인간 뇌의 신호처리기능 중에서 유형정보의 일부만이 뇌에 입력되었을 때에 미리 뇌에 저장되어 있던 그 유형의 전체정보를 기억해내는 뇌의 연상기능을 수식적으로 모델화한 것이다.

1982년에 제안된 Hopfield 연상처리 모델은<sup>(1)</sup> 종래의 연상기억모델에 비선형 및 제한과정을 포함시킴으로써 이 모델의 연상특성을 향상시킴과 동시에, 연상기억모델의 실제 구현을 가능하게 하였다. 그러나 종래의 모델과 마찬가지로

Hopfield 모델에 있어서도 저장된 유형의 수가 많아지거나 입력된 유형의 변형정도가 커지게 되면 연상특성이 급격히 떨어지게 된다. 따라서 연상특성이 저하되는 것을 방지하기 위하여 여러가지 방법이 제안되었다. 연상처리 과정에서 저장된 유형들과 입력유형들 간의 내적계산을 할 때 비선형과정을 통과시킴으로써 원유형의 회복을 보다 용이케 할 수 있는데 PCM(phase conjugation mirror)의 threshold 특성을 이용하는 방법<sup>(2)</sup>, 광검출기와 전자회로를 이용하여 비선형과정을 수행하는 방법들이<sup>(3)</sup> 연구되었다.

본 논문에서는 연상처리 과정에서 기억된 유형들과 입력유형간의 내적계산이 광학적 유형인식기술에서 다중정합필터(multiple matched filter)를 이용한 상관계산과 동일하게 해석될 수 있다는 점에 이론적 근거를 두고, 유형그룹간의 분류를 가능케 하고 유형인식 범위의 확대를 위해 제안된 SDF 다중필터 설계알고리즘을 연상처리 과정에 도입해 보았다.

2절에서는 연상기억처리과정을, 3절에서는 연상기억모델에 SDF 개념을 도입한 처리과정을 전개하였으며, 4절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 이 새로운 처리과정의 유용한 처리특성을 입증하였다. 마지막으로 5절에서 결론을 맺었다.

## 2. 연상기억모델의 처리과정

연상기억 처리과정에서 입력 및 출력유형을 각각  $n$ 개로 구성된 뉴런의 집합체로 나타낸다고 하면 입력과 출력의 모든 뉴런들은  $n \times n$ 개의 연결매트릭스  $M$ 에 의해 서로 연결되

이 발표논문은 과학기술처 특정연구과제에 관련된 것입니다.

어 있다고 할 수 있다. 연상기억 처리과정은 저장하고자 하는 유형들 간의 상관매트릭스(correlation matrix) M을 계산하고, 또 이 상관매트릭스를 입, 출력 연결강도로 사용하여 변형된 유형이 입력되었을 때 원래의 유형을 연상해 내는 두 과정으로 나눌 수 있다. 각 유형을 n개의 원소를 갖는 일차원 벡터로 표시하면 위의 두 과정은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$M = \sum_{i} v^{(i)}v^{(i)T} \quad (\text{저장}) \quad (1)$$

$$\hat{v} = Mv' \quad (\text{연상}) \quad (2)$$

위의 식들에서 v는 저장하려는 원유형벡터를, v'는 변형되어 입력되는 유형벡터를,  $\hat{v}$ 는 연상되어 나온 유형벡터를 각각 의미한다. 식 (1)을 식 (2)에 대입하면 다음과 같다.

$$\hat{v} = \sum_{i} v^{(i)}(v^{(i)T}v')$$

즉 연상되는 유형벡터는 미리 저장되어 있던 유형들을 선형 중첩한 것이고 이 때 입력된 유형과 저장된 유형들 간의 내적값이 가중치로 가해지게 된다. 이 결과 저장되어 있던 유형중에서 오차를 최소로 하는 유형에 접근한 값을 결과로 얻게 되는 것이다.

Hopfield는 이 출력된 유형벡터에 sgn 함수를 취하고 다시 입력으로 반환하여 위 과정을 반복하게 함으로써 원유형을 정확하게 연상할 수 있게 하였다. 이 과정을 그림 1.에 나타내었다. 이 모델을 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$w = \text{sgn} \left\{ \sum_i \langle v^{(i)}, v' \rangle v^{(i)} \right\} \quad (4)$$

여기서  $\langle v, v' \rangle$ 는 두벡터의 내적, w는 비선형함수를 통과시켜 이진화한 결과를 각각 의미한다.

### 3. SDF 알고리즘을 이용한 연상기억모델

SDF 알고리즘은 유형인식용 중첩필터를 설계하는 기법 중 하나로 입력유형들을 그룹별로 분류해내는 특성을 갖고 있다<sup>(4)</sup>. 즉 같은 그룹내의 유형간의 내적은 1로, 서로 다른 그룹의 유형간의 내적은 0으로 출력되게끔 필터를 설계한 것인데 필터설계시 유형들을 선형중첩할 때 가중치를 적절

하게 설정함으로써 위의 조건들을 만족하게 하는 것이다. 연상기억처리 과정에서 저장된 유형들이 서로 orthogonal하지 않다고 하면 연상된 벡터에 오차가 포함되는데, SDF알고리즘은 non-orthogonal한 유형함수들을 orthogonal하게 설계해줌으로써 원유형으로의 회복능력을 향상시키는 전처리 과정이라고 할 수 있다.

그림 2.와같은 5개의 숫자유형을 이용하여 SDF필터를 설계하면 다음과 같다. 우선 유형 '1'에 대응하는 SDF필터를  $h^{(1)}$  라고 하면

$$h^{(1)} = \sum_j a_j^{(1)}v_j \quad (5)$$

이 때  $a_j^{(1)}$ 는 각 유형벡터에 가해 주는 가중치를 의미하는데 각  $h^{(i)}$ 에 대한 고유위  $a^{(i)}$ 가 계산된다.  $a^{(i)}$ 는 다음으로부터 계산된다.

$$a^{(i)} = R^{-1}u^{(i)} \quad (6)$$

이 때 R은 5개 숫자유형들간의 상관매트릭스,  $u^{(i)}$ 는 상관결과벡터로서  $u^{(1)} = (1,0,0,0,0)$ , 등으로 설정하여 상관결과에 의해서 원유형을 명확하게 연상해내도록 한 것이다.

이제 설계된 5개의 SDF 필터 h를 기억장치내에 저장시켜 놓고 연상처리 과정을 수행하면 입력유형과 SDF필터와의 상관결과가 (1,0,0,0,0)가 되어 연상효과가 크게 향상되는 것이다. 이 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$w = \text{sgn} \left\{ \sum_i \langle h^{(i)}, v' \rangle v^{(i)} \right\} \quad (7)$$

그리고 SDF 알고리즘을 사용한 경우라도 입력된 유형의 변형정도가 심해지면 원유형을 회복할 수 없게 되는 현상을 해결하기 위하여 각 숫자유형의 변형된 형태를 SDF 설계과정에 미리 포함시켜 필터설계를 할 수 있다.(그림 3.) 즉 각 유형그룹에 3개의 유형씩 총 15개의 숫자유형으로 SDF 필터를 설계하였는데 이 때는  $u^{(1)}=(1,1,1,0,0,0, )$  과 같은 상관결과벡터를 이용하여 SDF필터를 설계한다. 이 결과 입력유형이 심하게 변형되더라도 미리 SDF 필터에 내장되어 있는 유형과 가까운 형태이면 해당 유형그룹의 필터와의 내적값이 크게 되어 원 유형을 쉽게 연상해낼 수 있게

된다.

#### 4. 실험방법 및 결과고찰

우선 그림 2.에 나타난 숫자유형 중 '1','3','5'의 3개 유형을 기억장치 내에 저장시킨 다음 연상기억처리 과정을 수행한 결과, '1'의 경우에는 4-5개의 bit 에러가 있을 때, '3'의 경우에는 2-3개의 bit 에러가 있을 때 원유형으로의 회복이 불가능하게 되었다. '3'의 경우는 '5'와의 상관값이 크기 때문에 bit 에러의 수에 민감한 것으로 미루어 알 수 있다.

이제 5개의 숫자유형을 증첩시킨 SDF 필터를 이용하여 연상과정을 수행해 보았다. 이 경우 종래의 연상처리 과정에서 에러가 발생한 경우라도 원유형으로 회복되는 것을 볼 수 있었고 특히 그림 4. 에 나타난 것처럼 비슷한 유형일 지라도 한쪽 유형과의 내적값이 크다고 하면 원유형을 연상해낼 수 있다. 즉 계산된 상관값을 통해 볼 때 그 값이 어느 정도 차이가 나기만 하면 원유형으로 쉽게 회복하고 있음을 알 수 있다.

그리고 마지막으로 입력되는 유형이 심하게 변형된 경우는 위의 방법으로도 원유형의 회복이 어렵게 되므로 각 숫자유형그룹에 변형된 유형을 미리 포함시켜 SDF 필터를 설계할 수 있다. 여기서는 각 숫자유형에 대해 변형된 유형 2개씩을(그림 3.) 포함시켜 총 15개의 유형을 증첩하여 SDF필터를 설계하였다. 이 필터를 사용한 경우 그림 5.와 같이 '1'이 변형된 숫자유형이 입력되더라도 '1'과의 내적값이 가장 크게 되어 쉽게 원유형을 회복할 수 있게 된다.

이와 같은 과정에 비추어 볼때 SDF를 도입한 연상기억장치는 유형들이 서로 직교하지 않더라도 연상처리과정에서 강제로 1,0의 내적값을 갖게하여 각 유형들이 서로 직교하는 특성을 지니게 함으로써 연상능특성을 향상시킨 것이라고 할 수 있다. 따라서 입력되는 정보의 변형된 정도가 심할 때 그리고 비슷한 유형들의 분류작업이 요구될 때 이 방식이 매우 유용한 것임을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

유형인식용 증첩필터설계를 위해 제안되었던 SDF알고리즘을 이용하여 연상기억 처리과정에서 연상특성을 향상시킨 새로운 연상기억모델을 소개하였다. 이 모델은 다중필터의 분류특성을 통해 유형들이 서로 직교의 특성을 갖게하여 원유형으로의 회복을 용이하게 한 것이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 특히 '3','5'와 같이 서로 상관값이 많은 유형들이 저장되어 있는 경우 이 새로운 모델이 유용하게 이용될 수 있음을 확인하였고, 입력유형의 변형된 정도가 심하게 되면 예상되는 변형유형을 미리 SDF필터에 포함시켜 원유형으로의 연상 가능범위를 크게할 수 있음도 입증하였다.

#### < 참 고 문 헌 >

1. J. J. Hopfield, "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities," *Proc. of the Nat. Aca. of Sci.*, p2554, 1982
2. B. H. Soffer, et. al., "Associative Holographic Memory with Feedback using Phase Conjugate Mirrors," *Opt. Lett.*, p118, 1986
3. R. Athale, et. al., "Optical Implementation of Associative Memory with Controlled Nonlinearity in the Correlation Domain," *Opt. Lett.*, p482, 1986
4. D. Casasent, "Unified Synthetic Discriminant Function Computational Formulation," *Appl. Opt.*, p1620, 1984

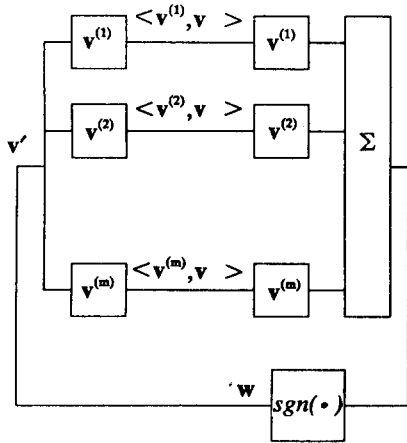


그림 1. Hopfield 연상기억 처리과정의 구성도

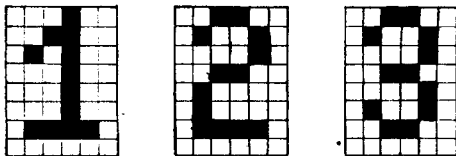


그림 2. 연상기억 처리실험을 위한 대표 숫자유형들

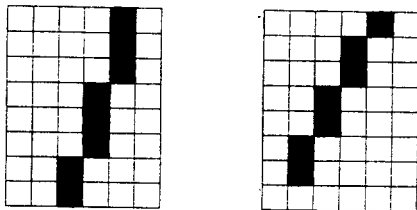
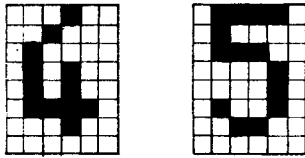
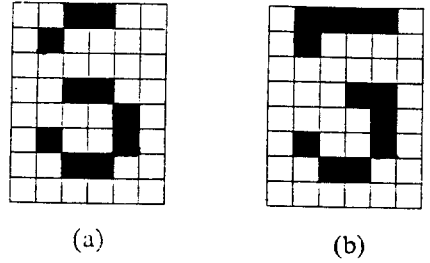


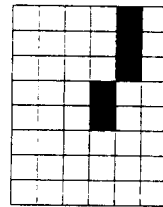
그림 3. 숫자 '1'의 유형이 변형된 형태



< 내적값 변화 >

	26	-81	773	49	132	-
1 반복	0	-5	993	-7	2	
2 반복	0	-5	993	-7	2	
	-66	1	348	59	534	
! 반복	0	1	-8	-3	1001	
:: 반복	0	1	-8	-3	1001	

그림 4. 숫자 '3', '5'의 정보가 비슷한 경우



< 내적값 변화 >

	724	-25	340	-138	-110
1 반복	1006	0	13	15	8
2 반복	1006	0	13	15	8

그림 5. 시험용 숫자 '1'의 유형