

# 선형 신경 회로망을 이용한 영상 Thinning 구현 Implementation of Image Thinning using Threshold Neural Network

박병준 · 이정훈

Byeong-Jun Park and Frank Chung-Hoon Rhee

한양대학교 전자컴퓨터공학부

## 요 약

본 논문에서는 선형 이진 신경회로망 (Linear Binary Neural Network)을 이용하여 이진 영상으로부터 골격(skeleton)을 추출하는 병렬 구조를 제안하였다. 기존의 골격 추출 알고리즘으로부터 이진함수를 추출하고 이를 MSP Term Grouping Algorithm을 이용하여 학습시켰다. 결과에서는 기존의 역전파 (Back-propagation) 학습알고리즘을 사용한 신경회로망보다 더 쉽게 하드웨어로 구현할 수 있음을 보여준다.

## ABSTRACT

This paper proposes a new parallel architecture for extracting the object skeleton from binarized images using recurrent linear threshold neural networks. Binary functions are initially obtained from the existing iterative thinning algorithms, and the linear threshold neural networks are then synthesized using the MSP term grouping algorithm. Experimental results show that the proposed architectures can be implemented easier than with other existing methods.

## 1. 서 론

영상을 나타내는 특징으로 쓰이는 것 중에 영상의 skeleton이 있다[1]. 이는 영상을 하나의 선 단위로 가늘게 만들어 2차원 영상으로부터 사물의 뼈대만을 추출해 낸 것이다. 특히 물체의 기하학적인 관계를 분석하거나 문자인식을 위한 획을 추출하기 위해서는 skeleton의 추출이 필수적인 전처리 과정으로 사용된다. 때문에 오래 전부터 보다 잘 영상을 표현하면서 빠르게 영상의 skeleton을 추출하기 위한 노력을 해왔다[2,3].

영상의 skeleton을 구하는 방법으로는 가장 먼저 영상 외곽선들 간의 Euclidean distance를 이용하여 최적화된 Center를 구하는 방법이 있다[2,4]. 이 방법은 수학적으로 가장 좋은 최적의 skeleton을 구해주지만, 복잡한 계산이 필요하다. 최근에는 이를 빠르게 할 수 있는 알고리즘이 제시되기도 하였다[4].

영상의 skeleton을 구할 수 있는 보다 쉬운 방법으로는 이웃하고 있는 점들과의 위치관계를 이용한 반복적인 알고리즘이 있다. Rosenfeld와 Kak은 한 점을 중심으로 상하좌우 네 개의 이웃하고 있는 점과의 관

계를 이용하여 skeleton을 추출하는 RK4 알고리즘과 상하좌우 및 대각방향의 이웃하고 있는 여덟 개의 점을 이용하여 하는 RK8 알고리즘을 고안하였다[3]. 이 알고리즘들은 네 개의 단계를 반복수행 함으로써 영상의 thinning을 수행한다. 그보다 이후에 Wang과 Zhang은 단계를 둘로 줄여서 할 수 있는 반복수행 알고리즘을 고안하였다[5]. 이러한 반복적인 방법들은 이웃하고 있는 점들과 2진 함수 관계를 계산하고 더 이상 영상에 변화가 없을 때까지 반복하는 방법으로 알고리즘을 수행한다.

온라인 문자인식 시스템과 같이 실시간 응답을 필요로 하는 시스템에서 thinning을 사용하기 위해서는 위와 같은 thinning을 고속으로 수행할 수 있는 시스템이 필요하다. Chang과 Yan은 [4]에서 Euclidean distance를 이용한 고속 thinning 알고리즘이 제시하였는데, 이 방법은 복잡한 계산을 필요로 함으로 CPU를 이용한 소프트웨어적인 방법으로 구현하여야 한다. Bourbakis, Steffensen, Saha 세 사람은 [6]에서 thinning을 위해 관계를 조사하는 주변 점들의 범위를 넓게 잡고 반복단계를 줄이는 알고리즘을 병렬처리 하드웨어로 구현하는 방법을 제시하였다. 이는 병렬처리 소자를 이용한 실시간 thinning이 가능한 시스템이지만 매우 복잡한 하드웨어를 갖고 있다. 또한 Krishnapuram과 Chen은 [7]에서 RK4, RK8, Wang-Zhang 알고리

이 논문은 1998년 한양대학교 교내 연구비 지원으로 연구되었음.

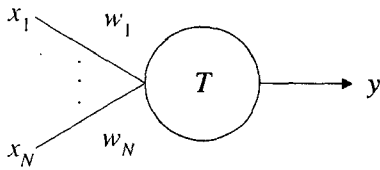


그림 1. LTU의 구조

즘을 신경회로망을 학습시키고, Recurrent Network로 구현하였다. 여기서는 신경회로망을 반복적으로 사용함으로써 thinning을 할 수 있다는 새로운 접근방법을 제시하였다.

본 논문에서는 선형신경회로망을 이용하여 Recurrent 신경회로망을 구현함으로써 고속의 thinning을 수행하면서, 보다 간단한 구조의 회로를 가질 수 있게 하는 방법을 제시하였다.

선형신경회로망은 이진입력과 연결강도를 가진 가중합과 임계값(threshold)을 비교하여 이진 값의 출력을 내는 LTU(Linear Threshold Unit)를 기본 단위로 하는 이진 신경회로망이다. 그림 1과 같은 구조를 갖고 (1)식으로 표현이 된다.

$$y = 1 \text{ if and only if } \sum_{i=1}^N W_i X_i \geq T \quad (1)$$

$$y = 0 \text{ if and only if } \sum_{i=1}^N W_i X_i < T$$

이러한 선형신경회로망은 학습시키기는 어렵지만 하드웨어구현에 적합하고, 연산이 간단해서 고속의 thinning 알고리즘을 구현하기에 적합하다[7-9].

본 논문의 나머지 부분에서는 병렬 Recurrent thinning 회로망을 구현하는 과정에 대해서 설명하고, 구현된 선형 Recurrent thinning 회로망에 실제 실험 영상을 적용한 결과를 보여준다.

## 2. 본 론

### 2.1 Thinning알고리즘

본 논문에서는 간단한 알고리즘으로 반복적인 수행을 통해, thinning을 수행하는 Rosenfeld와 Kak의 알고리즘과 Wang과 Zhang의 알고리즘을 사용하였다. 이 두 알고리즘은 모두 영상의 주변 경계선에서부터 점들을 반복적으로 제거해 나가는 방법을 사용하여 thinning을 한다.

이 때 RK 알고리즘은 영상의 경계선 부분에 있는 점으로 판단하는 조건을 네 방향으로부터 만들었고, 이것들을 각각 north, south, east, west라고 이름하였

다. 모든 영상의 점들에 대해서 한 조건을 적용시킨 후, 새로운 영상으로 다음 조건을 적용시키는 과정을 더 이상 영상에 변화가 생기지 않을 때까지 반복한다. Wang과 Zhang의 알고리즘은 이러한 네 가지 조건을 두 단계의 조건으로 줄였다. [7]의 부록에는 이 두 알고리즘의 식이 정리되어 있고, RK알고리즘은 [3]에, Wang과 Zhang 알고리즘은 [5]에 자세하게 설명되어 있다.

### 2.2 TNN의 합성

본 논문에서는 영상의 thinning을 위해서 선형신경회로망을 만들었다. 이러한 선형 신경회로망은 일반적인 Sigmoid뉴런을 사용하지 않기 때문에, 역전파 알고리즘과 같은 학습 알고리즘을 사용할 수 없고, 학습 패턴으로부터 최소의 뉴런을 사용하도록 선형 신경회로망을 직접 합성해 내는 MTGA(MSP Term Grouping Algorithm)를 사용하였다[8,9].

MTGA를 사용하면 주어진 학습패턴에 맞는 입력노드와 중간노드 및 연결 강도 계수를 구할 수 있다. 더욱 좋은 점은 출력노드의 모든 가중치가 1로 고정되어 별도의 출력 노드를 만들 필요없이 중간노드 출력 값들을 Wired OR 논리로 구현이 가능하다.

Thinning을 할 때에는 RK와 WZ 알고리즘 모두 한 점을 중심으로 이웃하고 있는 여덟 개의 점을 합해 9개의 점들의 관계를 조사한다. 그러므로 결과 출력 영상의 한 점은 입력영상의 주위 9곳의 입력 값에 영향을 받는다.

즉, 선형신경회로망을 합성하기 위한 입력패턴은 9dim의 2진 값이 되고, 출력패턴은 1개의 2진 값이 된다. 그러므로 전체 패턴은 29인 512개이다.

MTGA는 2진의 패턴공간에서 선형신경회로망을 합성할 때 1의 출력을 갖는 값만을 이용한다. 이 때 RK4는 236개의 패턴에 대해서 1을 출력하고, RK8은 215개 그리고 WZ알고리즘은 214개의 패턴에 대해서 1을 출력한다. 그러므로 MTGA학습에 사용되는 입력 패턴의 수는 RK4가 236개이고, RK8이 215개, WZ이 214개이다.

### 2.3 Thinning Network 구조

RK의 경우에는 MTGA방법으로 north 패턴에 대해서만 학습을 한다. North패턴을 시계방향으로 90° 회전시키면 east패턴이 되고, 180° 회전시키면 south패턴이 된다. 또한 270° 회전하였을때는 west패턴이 되므로, 학습된 최종 네트워크에서 연결 계수들의 위치 교환 만으로 north의 신경회로망으로부터 다른 세 개의 신경회로망을 만들 수 있다. WZ의 경우에는 stage1의

표 1. 역전파 학습을 사용한 Sigmoid신경회로망과 선형신경 회로망의 thinning 네트워크 비교

	Number of Nodes		Number of Connections	
	Krishinapuram	MTGA	Krishinapuram	MTGA
RK4	3	3	27	11
RK8	3	4	27	24
WZ	6	10	54	48

입력패턴을 180° 회전하면 stage2가 된다. 역시 RK와 같은 방법으로 연결계수 값들의 위치 교환으로 stage1 네트워크에서 stage2네트워크를 만들 수 있다[7].

이렇게 MTGA방법으로 합성한 선형신경 회로망을 기존의 역전파 알고리즘을 이용한 Recurrent 신경회로 망의 결과와 비교한 내용을 표 1에 보였다. 이 표를 보면 MTGA방법을 이용하면, 노드의 수는 더 많아지더라도, 연결 계수의 수가 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

그림 2와 그림 3은 각각 RK와 WZ 알고리즘을 위한 Recurrent네트워크의 구조를 보여주고 있다. 이것은 전체네트워크를 의미하는 것이 아니라 한 영역에 대해서만 보여준 것으로 맨 아래 부분의 한 노드는 입력영상의 한 점이 되고 맨 위의 한 노드는 출력영상의 한 점이 된다. 영상을 얻으면 이것을 thinning 회로망에 입력하고, 입력이 끝나고 나서부터는 영상에 더 이상 변화가 올 때까지 현재의 출력을 입력으로 되돌린다.

2.4 실험결과

Thinning 실험은 SUN Ultra1 시스템에서 [7]에서

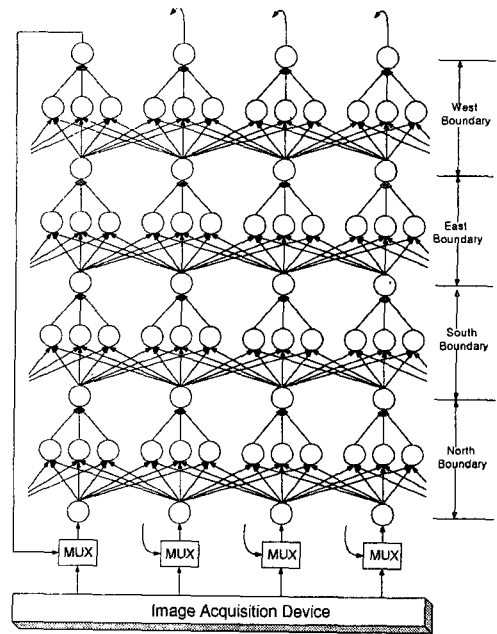


그림 2. RK 알고리즘에 대한 Recurrent 선형신경회로망 구조

사용된 128128의 영상을 이용하여 수행하였다.

그림 4는 RK4에 대한 결과를 보여주고 있다. RK4는 주변 네 개의 점들과의 관계를 이용하기 때문에 삭제되는 점들이 적어서 많은 부분의 선이 남게 된다. 그림 5는 RK8에 대한 결과를 보여준다. RK8은 주변 8개의 점들과의 관계를 이용하므로 RK4보다 많은 점들이 삭제된다. 그러므로 없어져서는 안 되는 점이 없어지기도 한다.

그림 6은 WZ알고리즘에 대한 결과를 보여준다.

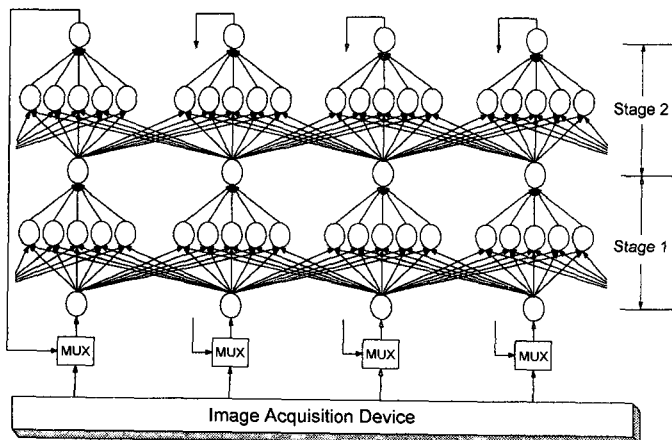


그림 3. WZ 알고리즘에 대한 Recurrent 선형신경회로망 구조

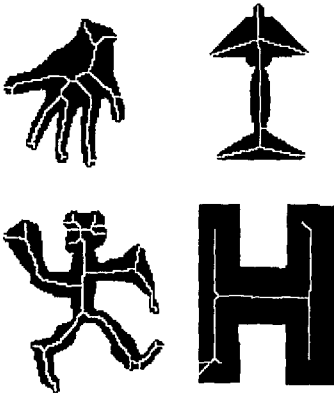


그림 4. RK4에 대한 thinning 결과

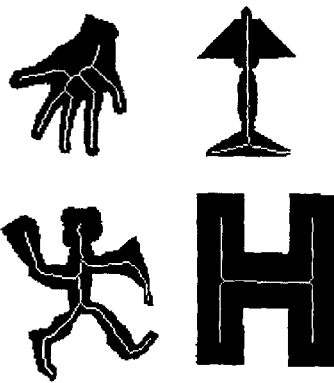


그림 5. RK8에 대한 thinning 결과

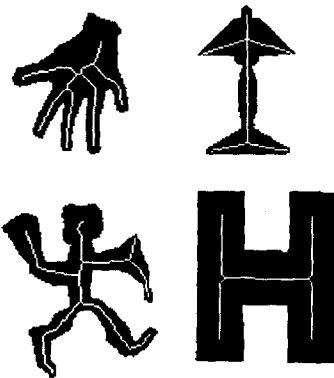


그림 6. WZ 알고리즘을 사용한 thinning 결과

WZ는 두 개의 단계를 이용하여 RK4와 RK8의 중간

단계에 해당하는 좋은 결과를 보여준다.

### 3. 결 론

고속의 문자 인식 하드웨어나 영상 인식 시스템을 위하여 전처리 과정을 빠르게 할 수 있는 시스템은 매우 중요하다. 본 논문에서는 문자인식이나 영상인식에서 영상의 특징 추출에 사용되는 thinning을 하드웨어로 구현하기 위한 새로운 구조를 제안하였다.

본 논문에서 제안된 선형신경회로망은 기존 신경회로망의 방법보다 더 적은 수의 노드간 연결구조를 갖고 있으며, 연결강도도 정수로 표현되어 실제 하드웨어 구현에 더 적합하다.

본 논문에서 제안된 신경회로망 구조를 응용하면 thinning 이외에도 여러 가지 영상처리를 병렬로 구현할 수 있으며, 이에 대한 연구가 진행 중이다.

### 참고문헌

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Reading, MA: Addison-Wesley, 1992. ch. 8.
- [2] H. Ballard and C. M. Brown, Computer Vision. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1982, ch. 8.
- [3] Rosenfeld and A. C. Kak, Digital Picture Processing. Orlando, FL: Academic, 1982, ch.11, Vol. 2.
- [4] H. Chang and H. Yan, "Skeletonization of binary digital patterns using a fast Euclidean distance transformation," Optical Engineering, Apr. 1996.
- [5] P. S. P. Wang and Y. Y. Zhang, "A fast and flexible thinning algorithm," IEEE Trans. Computers, Vol. 38, pp. 741-745, May 1989.
- [6] N. Bourbakis and et. al., "Design of an array processor for parallel skeletonization of images," IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 44, No. 4, Apr. 1997.
- [7] R. Krishnapuram and L. Chen, "Implementation of parallel thinning algorithms using recurrent neural networks," IEEE Trans. NN, Vol. 4, No. 1, Jan. 1993.
- [8] F. C. Rhee and B. Park, "An optimal method for linear threshold network synthesis," Proc. of ICNN'98, Anchorage, Alaska, pp. 1905-1909, May. 4-9, 1998. as a part of IEEE WCCT'98.
- [9] 박병준, "선형 신경회로망의 최적 합성 방법," 석사 학위논문 한양대학교 대학원 1998.



**박병준 (Byeong-Jun Park)**

1997년 : 한양대학교 공학대학 전자공학과 졸업  
1999년 : 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)  
1999년~현재 : 한양대학교 대학원 전자통신전파공학과 박사과정

관심분야 : Neural Networks, Pattern Recognition, Image Processing, Linux 등



**이정훈 (Frank Chung-Hoon Rhee)**

1981~1985년 : University of Southern California(USC) Dept. Electrical Eng. BSEE  
1985~1987년 : University of Missouri Dept. Electrical Eng. MSEE  
1990~1993년 : University of Missouri Dept. Electrical Eng. Ph.D.

1994~1995년 8월 : 한국전자통신연구원  
1995년 9월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부 조교수  
관심분야 : Computer Vision, Pattern Recognition, Computational Intelligence