

필기체 한글 인식에 유용한 세선화 알고리즘의 성능 개선에 관한 연구

正會員 李 起 榮* 正會員 具 河 成* 正會員 高 亨 和*

A Study on the Performance Improvement of Thinning Algorithm for Handwritten Korean Character

Ki Young Lee*, Ha Sung Koo*, Hyung Hwa Ko* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 화소에서의 방향성을 이용하여 필기체 한글 인식에 유용한 세선화 알고리즘을 제안하였다. 세선화하기 전에 방향성 검출을 시행한다. 검출된 방향성에 의해서 직선과 사선으로 분류한다. 직선성분에는 Rutovitz crossing number를 이용한 알고리즘을 적용한다. 사선성분에는 Hilditch crossing number를 이용한 알고리즘을 적용한다. 제안한 알고리즘을 이미 제안된 다른 6가지의 세선화 알고리즘을 적용한 세선화 영상들과 성능을 비교하였다. 비교 항목으로는 기준 골격선과의 유사도, 잔가지 수, 그리고 자소 분리율 등이 사용되었다. 실험은 570개 문자에 대해서 수행하였다. 실험 결과 제안한 알고리즘은 유사도와 필기체 한글 인식에 많이 사용되는 자소 분리율에서 6개 비교 대상 중에서 가장 우수한 결과를 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we introduce new thinning algorithm which is useful for handwritten Korean character by using pixel directivity. At first, the directivity detection is performed before thinning. Each pixel is classified into the straight line or the oblique line based on its directivity. The algorithm using Rutovitz corossing number is applied to the straight line. And the algorithm using Hilditch crossing number is applied to the oblique line. The proposed algorithm is compared with six conventional algorithms. Comparison criteria are similarity, noisy branch, and phoneme segmentation rate. Experiments with 570 characters have been conducted. Experimental result shows that the proposed algorithm is superior to six conventional algorithms with respect to similarity and phoneme segmentation rate.

*光云大學校 電子通信工學科
Dept. of Electronic Communication Eng., Kwang Woon
Univ.
論文番號 : 93247
接受日字 : 1993年 12月 17日

I. 서론

1900년부터 시작된 패턴 인식분야는 처리하는 데이터 양이 방대하므로 물체와 문자의 인식 등과 같은 분야에서는 데이터의 양을 감소시키면서 필요한 정보를 잃어버리지 않는 방법이 필요하게 되었다. 이에 대한 방안으로 세선화(thinning) 방법이 연구되어 왔다.

입력 영상의 형태를 반영하면서 한 화소 두께의 선 표현인 골격선을 추출하는 영상 세선화 알고리즘은 입력 영상으로부터의 구조적인 특징 추출을 위한 대표적인 전처리 기술로써 문자 인식, 지문 인식, 인영 검출, 도면 코딩 및 인식, 인쇄 회로 기판의 자동 검사, 염색체 분류 등을 포함한 다양한 응용 분야에서 폭넓게 활용되어 왔으며, 1959년에 H. Sherman에 의하여 골격선 추출을 위한 최초의 컴퓨터 알고리즘이 개발되었다.

세선화 알고리즘은 Rutovitz가 1966년에 발표한 논문[1]에서 지금까지 여러 알고리즘에 적용되어온 crossing number를 정의하면서 본격적인 연구가 시작되었다. 그 이후로 Rosenfeld에 의해 1970년에 발표된 논문[2]에 의하여 화소들간의 연결성의 형태가 정의되었고, 이를 Chen과 Hsu에 의하여 확장되었다. 이런 연구들을 기반으로 여러 논문들이 발표되어 왔다.

오프라인 문자인식에서는 패턴의 기본 선소를 추출하기 위하여 윤곽선을 추출하거나 세선화하여야 한다. 이 중 세선화 기법은 몇가지 단점을 가지고 있는데, 특히 필기체 한글의 경우에는 획의 변형이 심하므로 세선화 기법의 단점이 크게 나타날 수 있다.

세선화할 때 나타나는 문제점들 중에서 연결 부분에서의 변형, 선소의 직선성의 상실과 특징점 사이의 방향성이 변하는 문제점은 필기체 한글을 인식하기 위해 특징점을 추출할 때 많은 오류를 발생시킨다. 이런 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 세선화하기 전에 화소의 방향성을 판별하여 해결하는 방법을 제안한다. 방향성분을 판별하기 위해 필기체 한글에서 나타날 수 있는 8개의 방향에 대해 탐색을 하여 임계치 이상의 방향을 그 화소의 방향성으로 판단했다.

검출된 방향성에 의하여 사선 성분과 직선 성분으로 구분하고 사선 성분에는 Hilditch의 crossing number를 적용하고, 직선 성분에는 Rutovitz의 crossing number를 적용하였다.

이렇게 얻어진 세선화 영상을 이미 제안된 다른 6

가지의 세선화 알고리즘과 성능 비교하였다. 비교 항목으로는 기존 골격선과의 유사도, 잔가지 수, 그리고 자소 분리율 등을 선택했다.

일반적 성능 평가 이외에 실제의 응용에서의 적용성을 보이기 위해 자소 분리 알고리즘에 적용하여 제안한 알고리즘의 유용함을 보였다.

II. 기존 세선화 알고리즘의 문제점

세선화 알고리즘은 일반적으로 아래와 같은 문제점을 가지고 있다.

첫째, 문자를 구성하는 두께 정보가 상실된다.

둘째, 선소의 연결 부분에서 변형이 일어난다.

셋째, 선소의 직선성의 상실과 특징점 사이의 방향성이 변한다.

넷째, 한 선소에 연결되어 있는 미소한 선소가 경우에 따라 소멸 또는 확대되어 오인식의 원인이 된다.

한글 인식에서 많이 사용되는 구조적 방법에서는 문제점 2번과 3번의 영향을 많이 받는다. 그림 1은 이에 대한 예이다. 그림 1(a)의 경우에는 선소의 연결 부분에서 변형이 심하고 선소의 직선성이 상실됨을

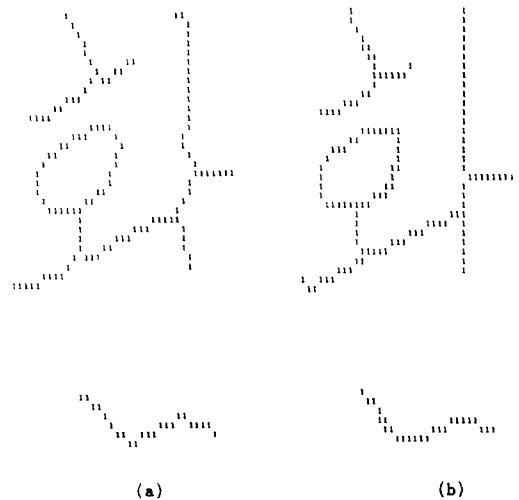


그림 1. 기존의 세선화 영상

(a) Hilditch의 알고리즘

(b) Zhang & Shinghal의 알고리즘

Fig 1. Conventional thinning image

(a) Hilditch's algorithm

(b) Zhang & Shinghal's algorithm

알 수 있고, 그림 1(b)에서는 'o'의 경우 사선이 마치 직선같이 표현되어 'o'와 혼동을 일으킬 수 있는 문제점이 있다. 이런 문제점은 세선화 후에 분기점이나 굴곡점 추출을 어렵게 해서 특징점 추출을 위한 마스크를 추가하고 화소의 각도를 측정하는 등의 복잡성을 증가시킨다.

따라서 직선과 사선 모두를 제대로 표현할 수 있는 세선화 알고리즘은 구조적 방법을 이용한 필기체 한글 인식에 필수적이다. Hilditch 알고리즘[3]은 사선에는 잘 적용되지만 직선은 크게 왜곡시키고, Zhang의 알고리즘[4]은 직선을 잘 표현하지만 사선을 왜곡시킨다. 따라서 본 논문에서는 직선과 사선을 미리 판단하여 각각에 적용적으로 세선화 알고리즘을 적용시키는 방법을 제안하고자 한다.

III. 세선화 알고리즘 및 평가 기준

세선화 과정은 화상 처리와 패턴 인식 분야에서 많이 사용되는 전처리 과정으로써 처리 정보량 감소, 전송 시간 감소, 그리고 구조적인 특징 추출의 용이성과 같은 기능을 갖는다.

1. 세선화 알고리즘의 개관

세선화 알고리즘에서 많이 사용되는 p화소에 대한 8-근방 화소의 정의를 그림 2에 나타냈다.

x_4	x_3	x_2
x_5	p	x_1
x_6	x_7	x_8

그림 2. p의 8-근방 화소
Fig 2. 8-neighbors of p

8-근방 화소들 중 1의 수는 $b(p)$ 로 표시한다.

여러 알고리즘간의 가장 큰 차이점은 연결성을 보장하는 방법에 있는데, 이중 Crossing number에는 Rutovitz와 Hilditch의 두가지 정의가 있다[5, 6].

Rutovitz의 crossing number는

$$R(p) = \sum_{i=1}^8 |x_{i+1} - x_i| \quad (1)$$

Hilditch의 crossing number는

$$H(p) = \sum_{i=1}^8 b_i \quad (2)$$

$$b_i = \begin{cases} 1 & \text{if } x_{2i-1} = 0 \text{ and } (x_{2i} \text{ or } x_{2i+1} = 1) \\ 0 & \text{그 이외의 경우} \end{cases}$$

Rutovitz의 crossing number는 값이 2인 화소를 삭제해도 패턴의 4연결성에는 영향을 주지 않는 특성이 있고, Hilditch의 crossing number는 값이 1인 경우에 그 화소를 삭제해도 패턴의 8연결성이 유지되는 특성이 있다.

2. 평가 기준

기준 골격선과의 유사도, 잔가지 수 등을 이용한다[7]. 그리고 실제 응용에서의 성능 비교를 위해 자소 분리율도 사용하였다.

(1) 기준 골격선과의 유사도

기준 골격선은 인간 전문가에 의해 가장 많이 선택된 화소들로 구성된다. 입력 패턴 P에 대하여 R을 기준 골격선 그리고 M을 추출된 골격선이라고 할때, 검정 화소 p에 대하여 대응되는 최소 거리 d_p 는 p에 대응되는 다른 골격선의 가장 가까운 검정 화소 q 사이의 거리로 정의되는데, 검정 화소 p에 대한 가중치 W_p^k 는 다음과 같이 정의된다.

$$W_p^k = \begin{cases} \frac{1}{d_p^2 + 1} & \text{if } 0 \leq d_p^2 \leq K \\ -1 & \text{그 외의 경우} \end{cases} \quad (5)$$

따라서, 기준 골격선 R과 추출된 골격선 M 사이의 유사도 $S^k(R, M)$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$S^k(R, M) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N_R} \sum_{r \in R} W_r^k + \frac{1}{N_M} \sum_{m \in M} W_m^k \right] \quad (6)$$

여기서 N_R 과 N_M 은 각각 R과 M에서의 검정 화소의 총 갯수를 나타낸다. 유사도는 원래 패턴이 갖고 있는 구조적인 특징을 얼마나 잘 보존하고 있는지 여부를 평가하는 요소이므로 높은 유사도를 갖는 알고리즘은 특징 추출이 중요시되는 문자 인식의 분야에서 적합하다.

(2) 잔가지 수

세선화 과정에서 글자의 굵기가 다른 부분에 비해 굵어지는 굴곡점 부분에서 원하지 않는 글자의 굵기에 비례하여 발생하기도 하는데 이를 잔가지라 정의한다. 잔가지는 특징점 추출 및 인식에 나쁜 영향을 미치므로 적을수록 좋은 알고리즘이라 할 수 있다.

(3) 자소 분리율

위에서 언급한 평가 기준 이외에 실제 응용에서의 성능 평가를 위해서 자소 분리율을 선택했다. 자소 분리에 사용된 알고리즘은 마이크로 패턴을 이용한 자소 분리 알고리즘[8]이다.

IV. 방향성을 이용한 세선화 알고리즘

기존의 세선화 알고리즘은 앞에서 살펴본 바와 같이 직선과 사선 성분 모두에 적합한 알고리즘이 없다. 이를 해결하기 위해 세선화 과정을 거치기 전에 화소의 방향성을 결정하고, 결정된 방향성에 의해 사선과 직선 성분으로 나누어 각각 적합한 세선화 알고리즘을 적용한다.

1. 방향성 검출

화소에서의 방향성을 검출하기 위해서 아래와 같은 방법을 사용한다. 여기서, $a[i][j]$ 는 입력 화소들을 나타내고, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8은 각각 $\pi/2, 3\pi/2, \pi/10, 11\pi/10, \pi/4, 3\pi/4, 3\pi/4, 7\pi/4$ 를 대표하는 방향성분이다.

$$D1 = \sum_{k=-1}^6 \sum_{l=-1}^1 a[i-k][j+l] \tag{7}$$

$$D2 = \sum_{k=-1}^6 \sum_{l=-1}^1 a[i+k][j+l] \tag{8}$$

$$D3 = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^6 a[i-k][j+l] \tag{9}$$

$$D4 = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^6 a[i+k][j-l] \tag{10}$$

$$D5 = \sum_{k=0}^5 \sum_{l=-1}^3 a[i-k][j+(k+l)] \tag{11}$$

$$D6 = \sum_{k=0}^5 \sum_{l=-1}^3 a[i-k][j-(k+l)] \tag{12}$$

$$D7 = \sum_{k=0}^5 \sum_{l=-1}^3 a[i-k][j-(k+l)] \tag{13}$$

$$D8 = \sum_{k=0}^5 \sum_{l=-1}^3 a[i+k][j-(k+l)] \tag{14}$$

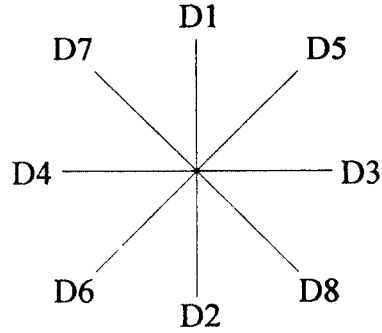


그림 3. 8-방향성 검출을 위한 8-방향
Fig 3. 8-direction for directivity detection

D1-D8은 8방향으로의 mask내의 화소의 합을 의미한다. 이상의 8가지 방향으로 탐색해서 이중 임계치 (>13)이상인 방향을 화소의 방향성분으로 선택한다. D1, D2, D3와 D4가 선택된 경우에는 직선 성분으로 분류되고, 나머지는 사선 성분으로 분류된다. 둘 이상의 방향성분이 추출된 경우는 사선 성분으로 분류되고, 특징점 후보영역으로 정할 수 있다. 결정된 후보영역은 특징점 추출시 판단의 근거가 된다. D1과 D2, D3와 D4, D5와 D6, D7과 D8이 단지 2개의 방향성분으로 추출된 경우에는 같은 방향 성분으로 간주한다. 추출된 방향성분의 수에 따른 특징점 후보영역 판단 방법은 아래와 같다.

- 1) 방향성분이 2개 검출된 경우에는 굴곡점으로 판별한다.
- 2) 방향성분이 3개 검출된 경우에는 분기점으로 판별한다.
- 3) 방향성분이 4개 검출된 경우에는 교차점으로 판별한다.
- 4) 방향성분이 5개이상 검출된 경우에는 임계치를 증가시킨다.

인식단의 필요에 의해서 방향 성분을 사선과 직선으로 이분하지 않고, 획을 대표하는 8가지 각도로써 표시할 수도 있다.

2. 사선과 직선 성분의 세선화 알고리즘

사선과 직선으로 분류한 후 사선 성분에는 Hilditch

의 crossing number를 사용하고, 직선 성분에는 Rutovitz의 crossing number를 사용하여 세선화 한다.

(1) 사선 성분에 대한 세선화 알고리즘

세선화 과정은 아래의 조건을 만족하는 화소를 단계의 마지막에서 한꺼번에 제거하고, 이런 단계를 제거할 화소가 없을 때까지 계속 반복한다.

- 1) $x_1 + x_3 + x_5 + x_7 \leq 3$
- 2) $b(p) \geq 2$
- 3) $H(p) = 1$
- 4) $n(p) \geq 1$
- 5) x_3 이 제거 후보점으로 선택된 경우에 x_3 을 0으로 바꾸어도 $H(p)$ 가 불변
- 6) x_7 이 제거 후보점으로 선택된 경우에 x_7 을 0으로 바꾸어도 $H(p)$ 가 불변

여기서 $H(p)$ 는 식(2)에 보인 Hilditch의 crossing number를 나타내고, (p) 는 8-근방 화소들 중 조건 1, 2, 3들 중 하나도 만족하지 않는 화소의 수를 나타낸다.

(2) 직선 성분에 대한 세선화 알고리즘

- 1) $2 \leq b(p) \leq 6$
- 2) $R(p) = 2$
- 3) $x_1 * x_3 * x_7 = 0$
- 4) $x_1 * x_5 * x_7 = 0$

여기서 $R(p)$ 는 식(1)에 보인 Rutovitz의 crossing number를 나타낸다. 위의 조건을 만족하는 화소는 제거되고, 다음 단계에서는 1번과 2번의 조건은 같고, 3번과 4번의 조건만 아래의 조건으로 대치된다.

- 3') $x_1 * x_3 * x_7 = 0$
- 4') $x_3 * x_5 * x_7 = 0$

이상의 조건을 만족하는 화소가 없을 때까지 반복한다.

V. 실험 및 결과

컴퓨터 모의 실험은 필기체 한글로 총 570개 데이터롤 핸드 스캐너(300dpi)로 입력 받은 후, 64×64의 크기의 이치영상으로 영상변환시켜 처리하였다. 컴퓨터 모의 실험에 사용된 알고리즘은 C-언어를 사용하여 486-DX 상에서 실험하였다.

비교 대상으로 선정된 세선화 알고리즘은 다음과 같다.

1. 제안한 알고리즘
2. Chu & Suen의 알고리즘 [9]

3. Hilditch의 알고리즘 [3]
4. Zhang & Shinghal의 알고리즘 [4]
5. Naccache & Shinghal의 알고리즘 [10]
6. Stefancelli & Rosenfeld 1의 알고리즘 [11]
7. Stefanelli & Rosenfeld 2의 알고리즘 [12]

표 1. 알고리즘의 비교

Table 1. Comparison of algorithms

기준 알고리즘	유사도(%)	잔가지	자소 분리율(%)
1	89.87	17	85.47
2	86.93	29	82.74
3	84.59	15	82.36
4	83.38	13	77.42
5	81.36	53	76.87
6	89.41	22	83.24
7	79.99	107	74.82

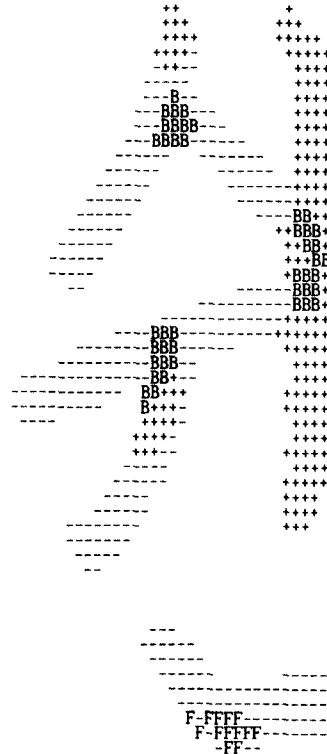


그림 4. 방향성 검출
Fig 4. Directivity detection

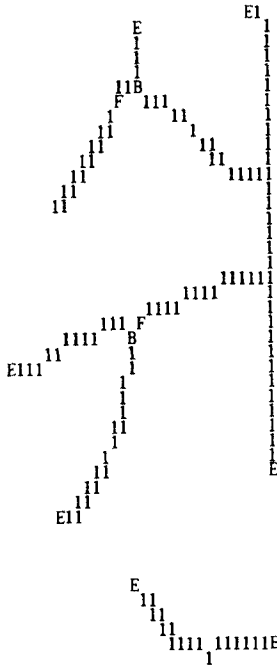


그림 5. 특징점 추출(Zhang & Suen의 방법)
Fig 5. Feature extraction(Zhang & Suen's method)

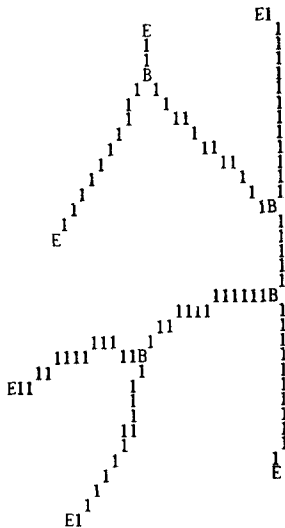


그림 6. 특징점 추출(제안한 방법)
Fig 6. Feature extraction(proposed method)

유사도 측정시 5×5 윈도우를 사용했기 때문에 K는 $2\sqrt{2}$ 로 설정했다. 유사도와 자소분리율에서 제안한 방법과 Stefanelli & Rosenfeld 1의 알고리즘이 좋은 결과를 얻었다. Naccache & Shinghal의 알고리즘과 Stefanelli & Rosenfeld 2의 알고리즘은 많은 산가지가 발생하는 단점이 나타났다.

그림 4는 입력 영상으로부터 방향성을 추출해서 특징점 후보 영역을 결정한 결과이고, 그림 5는 기존의 세선화 알고리즘인 Zhang & Suen의 방법을 사용한 후 특징점을 추출한 것이다. 그림 6은 그림 4에서 추출된 방향성을 이용해 제안한 알고리즘으로 세선화한 후 특징점을 추출한 결과이다. 그림에서 끝점은 E, 굴곡점은 F, 분기점은 B, 사선 성분은 -, 직선 성분은 +로 표시했다.

V. 결 론

필기체 한글은 획의 변형이 상당히 크게 일어난다. 이런 획의 변형이 심한 문자에 전처리 과정을 사용하게 되면 추출된 골격선에서 선소의 직선성이 상실되고, 특징점 사이의 방향성이 변하고, 연결 부분에서 변형이 일어나는 문제점이 발생한다.

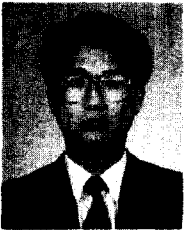
이런 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 방향성을 이용한 세선화 알고리즘을 제안했고, 몇 가지 비교 항목을 가지고 기존의 알고리즘과 성능 비교를 하였다. 비교 결과 제안한 알고리즘은 기준골격선과의 유사도와 자소 분리율에서 우수한 성능을 나타내어 특징 추출이 중요시되는 문자 인식의 전처리 과정에 유용하게 쓰일 수 있을 것이다. 그리고 방향성을 이용해 특징점 추출이 용이해졌다.

그러나 곡선성분이 많이 포함되는 일반적 패턴에서는 큰 효과를 나타내지 못했다. 따라서 앞으로의 연구과제는 방향성을 이용한 인식단의 연구와 처리 속도의 향상을 위해 병렬성을 갖게 하는 것과 범용적 알고리즘의 개발이다.

참 고 문 헌

1. D. Rutovitz, "Pattern recognition," Journal of Royal Statistical Society, vol. 129, Series A, pp. 504-530, 1966.
2. A. Rosenfeld, "Connectivity in digital pictures," Journal of the ACM, vol. 17, no. 1, pp. 146-160, 1970.

3. C. J. Hilditch, "Linear skeletons from square cupboards," *Machine Intell.*, vol. 4, pp. 403-420, 1969.
4. T. Y. Zhang and C. Y. Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns," *Comm. ACM.* vol. 27, no. 3, pp. 236-239, 1984.
5. L. Lam, S. W. Lee and C. Y. Suen, "Thinning methodologies-a comprehensive survey," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 14, no. 9, pp. 869-885, 1992.
6. D. Rutovitz, "Pattern recognition," *Journal of Royal Statistical Society*, vol. 129, Series A, pp. 504-530, 1966.
7. 이성환, "영상 골격화 알고리즘의 성능 평가," 한국 정보과학회 논문지, vol. 18, no. 6, pp. 661-671, 1991.
8. 이상훈, 박일남, 이대영, "마이크로 패턴을 이용한 한글 문자의 자모 분리에 관한 연구," 한국통신학회 하계종합학술발표회, pp. 430-433, 1990.
9. Y. K. Chu and C. Y. Suen, "An alternate smoothing and stripping algorithm for thinning digital binary patterns," *Signal Processing*, vol. 11, no. 3, pp. 207-222, 1986.
10. N. J. Naccache and R. Shinghal, "SPTA: A proposed algorithm for thinning binary patterns," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 14, no. 3, pp. 409-418, 1984.
11. R. Stefanelli and A. Rosenfeld, "Some parallel thinning algorithms for digital pictures," *Journal of the ACM*, vol. 18, no. 2, pp. 255-264, 1971.



李 起 榮(Ki Young Lee) 準會員
 1969年 7月 6日生
 1992年 2月: 광운대학교 전자통신 공학과 졸업(공학사).
 1994年 2月: 광운대학교 전자통신 공학과 대학원 졸업(공학석사).
 1994年 2月~현재: 금성 통신 연구원.

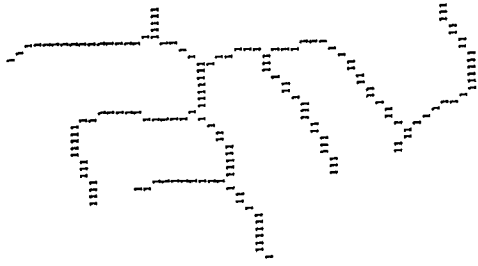
※ 주관심분야: 문자인식, 화상처리 등임.



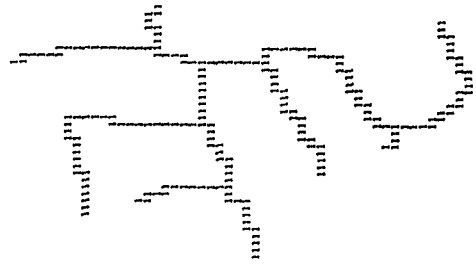
具 河 成(Ha Sung Koo) (準會員)
 1965年 8月 13日生.
 1989年 2月: 광운대학교 전자통신 공학과 졸업(공학사).
 1991年 6月: 광운대학교 전자통신 공학과 대학원 졸업(공학석사).
 1991年 9月~현재: 광운대학교 전자통신 공학과 박사과정 재학.

※ 주관심 분야: 문자인식, 화상처리 등임.

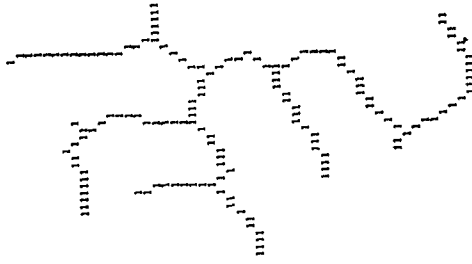
高 亨 和(Hyong Hwa Ko) (正會員)
 第18卷 第7號 參照
 현재 광운대학교 전자통신공학과 부교수



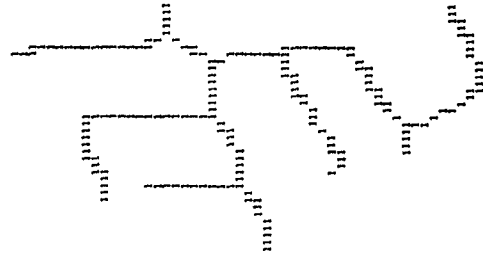
Hilditch



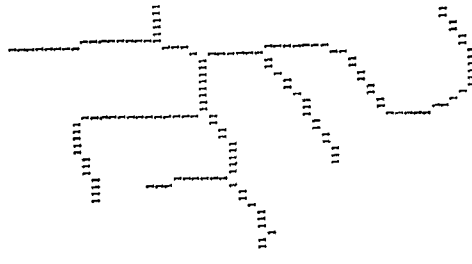
Stefanelli & Rosenfeld 2



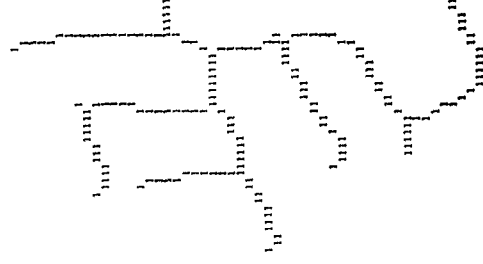
Chu & Suen



Stefanelli & Rosenfeld 1



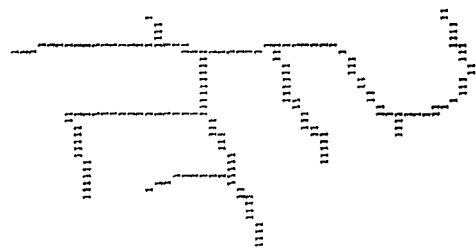
제한한 방법



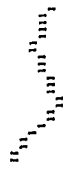
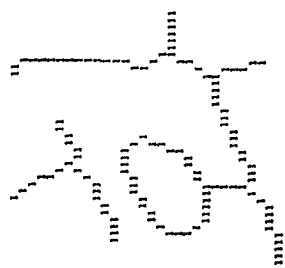
Naccache & Shinghal



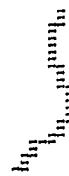
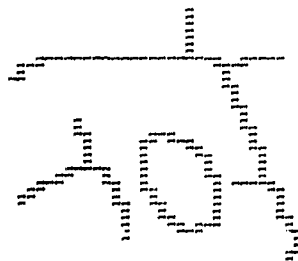
임plied 데이터



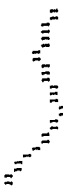
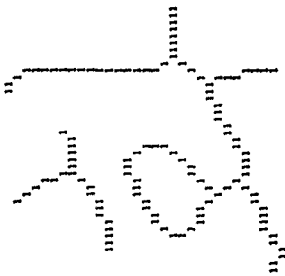
Zhang & Suen



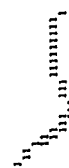
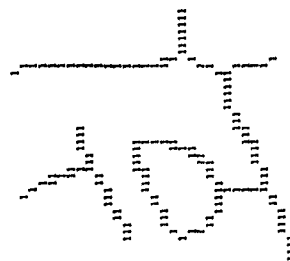
Hilditch



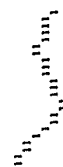
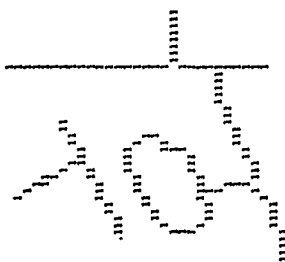
Stefanelli & Rosenfeld 2



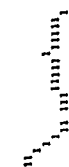
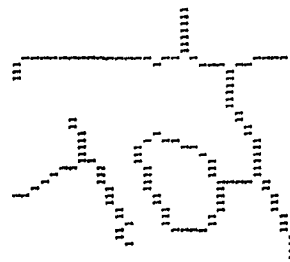
Chu & Suen



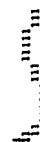
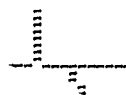
Stefanelli & Rosenfeld 1



제한한 방법



Naccache & Shinghal



hang & Suen