

문자인식을 위한 불 전파와 WPTA 알고리즘에 의한 세선화 알고리즘

(A Thinning Algorithm by the Fire Front' Propagation and WPTA Algorithm for the Character Recognition)

원 남 식* 남 인 길**
(Nam-Sik Won, In-Gil Nam)

요 약 본 논문은 다양한 문자 인식에 적용하기 위한 불 전파와 WPTA 알고리즘을 이용한 세선화 알고리즘에 관한 연구이다. 제안 된 알고리즘은 각 화소의 깊이 값을 나타내는 깊이정보를 이용하여 원래의 패턴에 매우 유사한 문자의 골격선을 추출할 수 있다. 본 논문에서는 새로운 세선화 알고리즘을 제안하였고, 구현한 후, 수행 결과를 나타내었다.

핵심주제어 : 불 전파, WPTA 알고리즘, 세선화 알고리즘

Abstract This paper is the study about the thinning algorithm by the fire front' propagation and WPTA available for the recognition of various characters. The proposed algorithm can extract the skeleton of a character almost similar to the original pattern by using the depth value representing depth information of each pixel. In this paper we proposed the new thinning algorithm, implemented it, and showed execution results.

Key Words : fire front' propagation, WPTA algorithm, thinning algorithm

1. 서 론

세선화 알고리즘은 인식 대상 영상을 양자화 하여 이를 구성하는 가장 기본 요소인 화소를 다루는 작업으로서 인식 대상 영상의 특징 추출에 무관한 화소를 제거하여 골격선에서 화소의 두께가 1인 골격을 추출하는 과정이다. 세선화 알고리즘이 가져야하는 일반적인 사항으로는 위상 적인 특성, 기하학적인 특성, 등방성, 복원력, 빠른 처리 속도 등이 있다[1].

특히, 문자인식에서 세선화된 골격선의 기하학적인 특성 유지는 매우 중요한 문제로서 이는 문자의 인식률에 직접적인 영향을 준다. 그러나 대부분의 세선화 알고리즘에서는 세선화된 결과에서 골격의 한 부분이 사라지는 골격소멸현상이 발생하므로 기하학적인 특성 유지가 어려워지므로 이러한 현상을 제거하기 위한 특별한 방법[2]을 사용한다.

기존의 세선화 알고리즘들은 이미지 화소를 단순히 0과 1의 상태 값으로만 처리하고 화소 제거를 위한 지역연산 과정에서 3×3 윈도우를 사용하므로 제거 대상 화소에서 이상적인 골격 추출에 많은 어려움이 있다. 주변 화소에 대한 정보 부족으로 인하여 정확한

* 경일대학교 컴퓨터공학부
(Dept. of Computer Engineering, Kyungil University)

** 대구대학교 컴퓨터정보공학부
(Dept. of Computer Engineering, Daegu University)

골격선을 추출하기 위한 세선화 작업에 많은 제약 요인이 되고 있다. 이러한 제약 요인을 해결하기 위한 방법으로 지역연산을 위해 확장된 윈도우(3×4, 4×5, 5×5)[3,4,5]를 사용하기도 한다. 그러나 이는 알고리즘의 복잡성과 효율을 저하시키는 주된 요인이 되고 있다. 이와 같은 문제를 해결하고, 품질이 우수한 골격선을 추출할 수 있는 연결 값을 이용한 세선화 알고리즘[6]과 이를 수정한 알고리즘[7,8]이 제안된 바 있다. 불 전파 방식 알고리즘은 제거 대상 화소의 두께 정보를 얻기 위해 해당 패턴 이미지의 외곽에서부터 가장 적은 값으로 완전히 둘러싼 다음, 그 다음 층의 값을 하나씩 높여 반복적으로 둘러 싸 나가는 방식이다. 이 방식은 문자인식에서 일반적으로 대상 패턴이 두꺼울수록 특징 추출에 효과적인 방법이 된다.

본 연구에서는 불 전파 방식과 WPTA 알고리즘을 이용하여 새로운 형태의 세선화 알고리즘을 구현하였다. 특징 추출을 위하여 대상 패턴을 먼저 불 전파 알고리즘에 의한 변환하였다. 그리고 변환된 이미지를 WPTA 알고리즘을 이용하여 세선화 과정을 수행하여 그 수행 결과를 보임으로서, 불 전파 방식과 WPTA 알고리즘에 의한 세선화 알고리즘이 문자인식에 적용 가능성을 보였다. 특히, 제안된 알고리즘은 한 화소 두께로 남는 최종 골격선이 선분이 두께 정보를 가지고 있으므로 잡영 가지 정리에 정확한 정보가 되고, 문자인식에서 가장 난제인 접촉 획의 분리에 잘 적용될 수 있다.

2. 불 전파와 WPTA 알고리즘

2.1. 불 전파 알고리즘

불 전파 알고리즘은 대상 패턴의 두께를 얻기 위해 순차적인 방식으로 해당 패턴 이미지의 외곽에서부터 가장 적은 값으로 완전히 둘러싼 다음, 그 다음 층의 값을 하나씩 값을 높여 반복적으로 둘러 싸 나가므로서 가장 깊은 두께를 갖는 값까지 구할 수 있는 방식이다. 그러므로 얻어지는 두께 정보로서 패턴의 형태를 추적할 수 있고, 응용 목적에 따라서는 가장 높은 값과 가장 얇은 값을 연결하면 원하는 해당 패턴의 특징을 얻을 수도 있는 방식이다. 문자인식의 경우 인식 대상 문자의 패턴이 두꺼울수록 특징 추출에 효과적인 방법이 될 수도 있다. 다음의 <그림 1>에서는 입력 이미지를 불 전파 방식에 의한 수치 값으로의 변

환을 보인다. 불 전파 알고리즘(Fire Front' Propagation Algorithm: FFPA)은 다음과 같다.

알고리즘 FFPA

```

{ 입력: 이미지 데이터
  출력: 깊이 값으로 변환된 데이터
  p(#): # 으로 표시된 pixel
  C4 : 주변 4방향에 있는 # 으로 표시된 pixel의 합
}
begin   n=1
repeat
for each pixels p(#) do
begin
    calculate C4 of pixel p(#);
    if C4 < 4 then p(#)=n;
end
n=n+1;
until ( no more pixels p(#));
end;
```

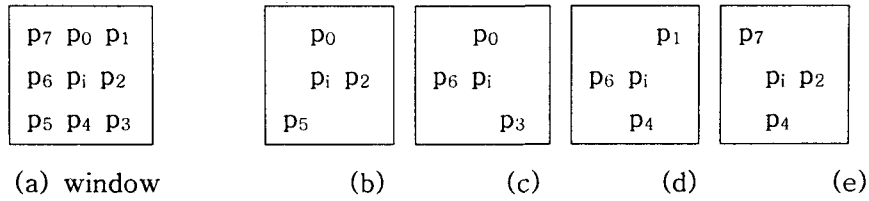
111111.....	232121.....
111111.....	123221.....
111111.....	123321.....
111111.....	112321.....
...1111.....	...1221.....
...1111...11111111.....	...1221...111112111.....
...1111...11111111.....	...1221...12223221.....
...1111...11111111.....	...1221...123332211.....
...1111...111111.....	...1221...123211.....
...1111...1111.....	...1221...12321.....
...1111...1111.....	...1221...12321.....
...1111...1111.....	...1221...12321.....
...11111111.....	...123212321.....
...11111111.....	...123323321.....
...11111111.....	...123433321.....
...11111111.....	...123322321.....
...11111111.....	...1232112321.....
...1111...11111.....	...1221...12321.....
...1111...11111.....	...1221...12321.....
...1111...1111.....	...1221...1221.....
...1111...1111.....	...1221...1221.....
...1111...1111.....	...1221...1221.....
...11111111...11111.....	...12321...12211.....
111111111.....11111111.....	112333211.....1232211.....
111111111.....11111111.....	122222221.....1222221.....
111111111.....111111.....	111111111.....111111.....

(a) 입력데이터 (b) 각 화소의 깊이 값

<그림 1> 불 전파에 의한 화소의 깊이 값 변환

2.2. WPTA 알고리즘

알고리즘 WPTA(Won's Parallel Thinning Algorithm) [6]은 세선화된 결과가 완전-8 연결 형태로 남으며 병렬성 구현이 용이하고 연결성이 끊어지지 않는 세선화 알고리즘이다. WPTA 알고리즘의 화소 제거 조



<그림 2> 조건3에서 경사진 Y 패턴 형태 4 가지

건은 골격의 연결성 유지를 위한 연결점(Connection point) 조건 세 가지와 끝점(End point) 유지를 위한 끝점 조건 하나를 갖는다. 그러므로 네 가지 조건 중 하나라도 만족되면 그 화소는 제거될 수 없다. WPTA에서 화소를 제거할 수 없는 네 가지 조건은 다음과 같다.

【WPTA 알고리즘에서 화소를 제거할 수 없는 네 조건】

[조건 1] 연결점 조건 1

$$(P_{\blacksquare 0} \vee P_1 \vee P_7) \wedge (P_3 \vee P_4 \vee P_5) \wedge \overline{(P_2 \vee P_6)} = 1 \dots \dots (1)$$

[조건 2] 연결점 조건 2

$$(P_1 \vee P_2 \vee P_3) \wedge (P_5 \vee P_6 \vee P_7) \wedge \overline{(P_0 \vee P_4)} = 1 \dots \dots (2)$$

[조건 3] 연결점 조건 3

$$\sum_{i=0}^3 P_{2i} \cdot P_{(2i+2) \text{MOD} 8} \cdot P_{\blacksquare \blacksquare (2i+5) \text{MOD} 8} \geq 1 \cdot (3)$$

[조건 4] 끝점 조건

$$B(P) = \sum_{i=0}^7 P_i = 1 \dots \dots (4)$$

[조건 1]의 연결점 조건은 수직 선분의 왼쪽 경사 (\), 오른쪽 경사 (/), X연결, Y연결, <, > 형태의 모든 수직의 연결 상태를 조사하여 그 연결 상태가 유지되어야 하는 화소를 보존하기 위한 조건이다.

[조건 2]의 연결점 조건은 수평 선분의 왼쪽 경사 (\), 오른쪽 경사 (/), X연결, \, \vee 형태의 모든 수평의 연결 상태를 조사하여 그 연결 상태가 유지되어야 하는 화소를 보존하기 위한 조건이다.

[조건 3]의 연결점 조건은 [조건 1]과 [조건 2]에서

검출되지 않은 네 가지 형태의 연결점 화소를 검출한다. 이는 그림 3과 같이 경사진 Y 패턴(tilted Y pattern) 형태의 연결점으로 Y자를 왼쪽과 오른쪽으로 45도 기울어진 형태 (b), (c)와 이를 다시 180도 회전한 형태 (d), (e)와 같은 형태의 연결점을 보존하기 위한 조건이다.

[조건 4]는 끝점을 보존하기 위한 조건이다. 이는 제거 대상 화소의 주변 화소의 합이 1일 때 만족된다.

세션화 알고리즘에 따라 끝점 조건은 다양하게 적용될 수 있는데 어느 한쪽으로 2개 또는 3개의 연속적인 검은 화소들이 있을 때만 P를 유지하거나[9], 또는 끝점 조건을 두 번째 반복 단계 이후부터 적용시키는 경우가 있으며[10], 불필요한 가지 때문에 끝점 조건을 완전히 생략하는 경우도 있다[11].

알고리즘 WPTA

{입력 : 이미지 데이터
출력 : 세션화된 골격}

begin

repeat

for each pixel p do

if (조건1 or 조건2 or 조건3 or 조건

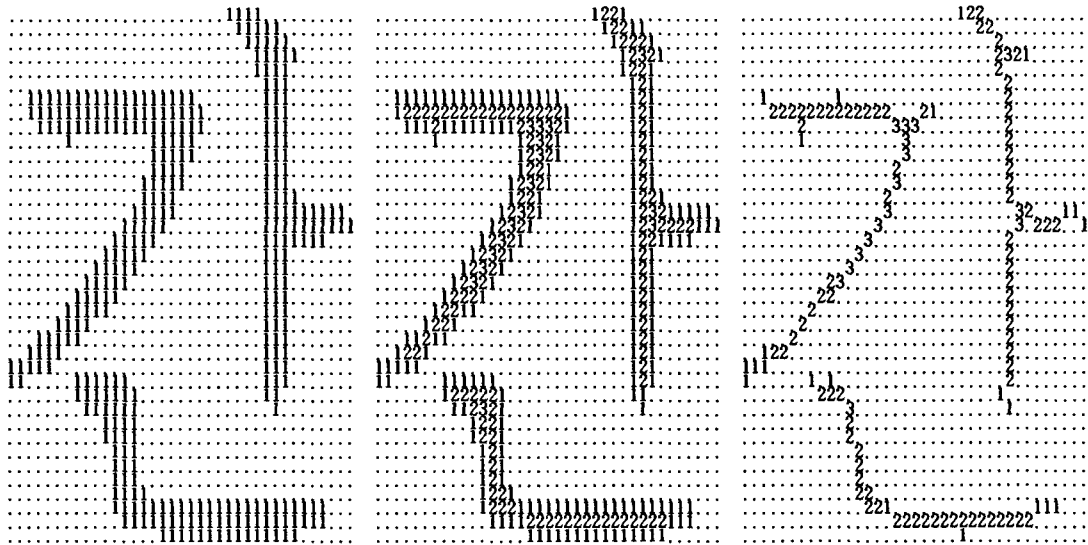
4) then delete p;

until (no more pixels deleted);

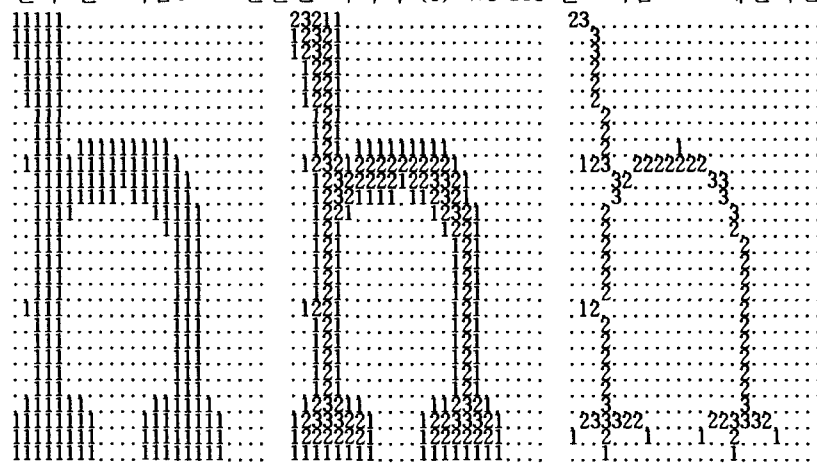
end;

3. 불 전파 와 WPTA 알고리즘에 의한 세션화 알고리즘

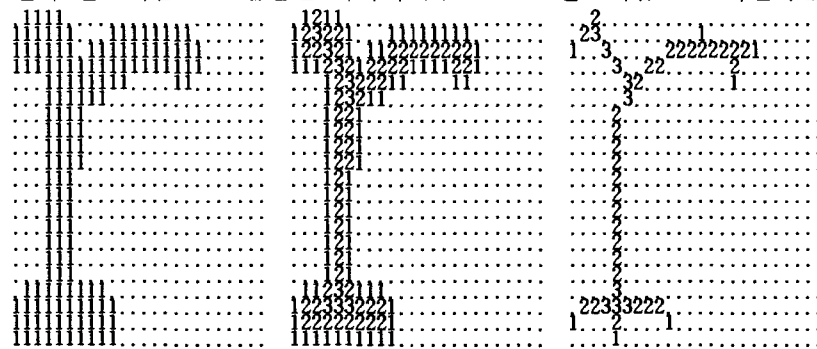
본 논문에서는 불 전파와 WPTA 알고리즘을 결합하여 새로운 세션화 알고리즘을 제안하였다. 입력 이미지 데이터를 불 전파 알고리즘으로 변환한 후, 변환된



(a) (b) (c)
 <그림 3> 제안 된 세션화 알고리즘에 의한 한글 수행 결과. (a) 입력 이미지
 (b) 불 전파 알고리즘으로 변환된 이미지 (c) WPTA 알고리즘으로 세션화된 결과



(a) (b) (c)
 <그림 4> 제안 된 세션화 알고리즘에 의한 영문 수행 결과. (a) 입력 이미지 h
 (b) 불 전파 알고리즘으로 변환된 이미지 (c) WPTA 알고리즘으로 세션화된 결과



(a) (b) (c)
 <그림 5> 제안 된 세션화 알고리즘에 의한 영문 수행 결과. (a) 입력 이미지 r
 (b) 불 전파 알고리즘으로 변환된 이미지 (c) WPTA 알고리즘으로 세션화된 결과

값을 가장 적은 값에서 차례로 화소를 WPTA 알고리즘에 의해 제거해 나가는 방법이다. 이 과정을 제거되는 화소가 없을 때까지 반복하여 최종 세션화된 결과를 얻는다.

불 전파와 WPTA 알고리즘을 이용한 세션화 알고리즘

```
{ 입력: 이미지 데이터
  출력: 세션화된 골격
}
begin
FFPA: {불 전파 알고리즘 호출}
  repeat
    for k = 1 to n do
      for each pixels p(C4) do
        if ( p(C4) = k ) then WPTA(p);
        {깊이 값으로 변환된 화소들을 적은 값부터 순차적으로 제거}
      until ( no more pixels deleted );
    end;
```

```
알고리즘 WPTA(p)
{입력 : 제거 대상 화소
  출력 : 보존 화소
}
begin
  if(조건1 or 조건2 or 조건3 or 조건4) then delete p;
end;
```

4. 불 전파와 WPTA 알고리즘에 의한 세션화 알고리즘 수행 결과

불 전파와 WPTA 알고리즘을 이용한 세션화 알고리즘 수행 결과는 그림 3, 4, 5, 에 나타내었다. 제안된 알고리즘은 한 화소 두께로 남는 최종 골격선이 획의 두께 정보를 가지고 있으므로 잡영 가지 정리에 정확한 정보가 제공되며, 문자인식에서 가장 난제인 접촉 획의 분리에 매우 적합하게 적용될 수 있다. <그림 3>에서는 한글의 수행 결과를 보이고, <그림 4>와 <그림 5>에서는 영문에 대한 수행 결과를 각각 나타내었다. 각 그림에서 (a)는 입력 이미지를 나타내고, (b)는 불 전파 알고리즘으로 변환된 이미지를 보이며, (c)는 WPTA 알고리즘으로 세션화 된 결과가

된다.

5. 결론

불 전파와 WPTA 알고리즘에 의한 세션화 알고리즘은 각 화소가 갖는 깊이 정보를 불 전파 알고리즘으로 변환하여, 깊이 정보가 낮은 화소부터 WPTA 알고리즘으로 제거하여 한 화소 두께의 골격선을 추출하는 알고리즘이다. 제안된 알고리즘은 가장자리 부분의 잡영에 민감하지 않고, 문자의 원형이 정확히 표현되므로 여러 나라 문자가 혼용된 다중 문서 인식 시스템에 적합한 알고리즘이 될 수 있음을 보였다. 그리고 알고리즘의 수행 결과인 최종 골격선이 원래 이미지의 두께 정보를 가지고 있으므로 잡영 가지 정리에 정확한 정보가 되고, 문자인식에서 가장 난제인 접촉 획의 분리에 잘 적용 될 수 있다.

참고 문헌

- [1] L.Lam, S.W.Lee and C.Y.Suen, "Thinning methodologies - a comprehensive survey," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.9, pp.869-885, sep. 1992.
- [2] 이성환, "문자인식 이론과 실제", 홍릉과학출판사, pp.229-278, 1993.
- [3] Wang, P.S.P., Hui, L., Flening Jr., T., "Further improved fast parallel thinning algorithm for digital patterns," In Computer Vision, Image Processing and communications systems and appli. edit by P.S.P Wang, pp. 37-40, 1986.
- [4] Y.S.Chen and W.H.Hsu, "A systematic approach for designing 2-Subcycle and pseudo 1-Subcycle parallel thinning algorithms", Pattern Recognition, Vol.22, No.3, pp.267-282, 1989.
- [5] Y.S.Chen and W.H.Hsu, "A 1-Subcycle parallel thinning algorithm for producing perfect 8-curves and obtaining isotropic skeleton of an L-shape pattern," in Proc.Int.Conf.on CVPR, San Diego, USA, pp.208-215, 1989.
- [6] 원남식, 손윤구, "4-인접 연결값을 이용한 병렬 세션화 알고리즘," 한국정보과학회논문집 제22권 제7호, pp.1047-1056, 1995년7월.
- [7] 원남식, "수정된 4-이웃 연결값을 이용한 세션화

알고리즘,” 한국산업정보학회논문지 제7권 제1호, pp.50-57, 2002년3월.

- [8] 원남식, “골격소멸현상이 없는 8-근접 연결값을 이용한 세선화 알고리즘에서 침식현상 고찰,” 한국산업정보학회논문지 제8권 제2호, pp.21-297, 2003년6월.
- [9] N.J.Naccache and R.Shinghal, “STPA: A proposed algorithm for thinning binary patterns,” IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 14, No.3, pp.409-418, 1984.
- [10] M.I.Izutsuki, “Algorithm for the initial processing of an ensemble of symbols in the recognition process,” Automatic Remote Control, Vol.35, No.8, pp.1292-1298, 1974.
- [11] M.Beun, “A flexible method for automatic reading of handwritten numerals,” Philips Technical Review, Vol.33, No.5, pp.89-101; 130-137, 1973.



원 남 식 (Nam-Sik Won)

1974년 인하대 전자공학과 졸업
1984년 영남대 전자공학과 계산기
전공 졸업(공학석사)
1996년 영남대 전산공학과 졸업
(공학박사)

1976년 한국과학기술연구소
1978년 한국전자기술연구소
1981년 ~ 현재 경일대학교 컴퓨터공학부
(관심분야 : 문자인식, 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터네트워크)



남 인 길 (In-Gil Nam)

1978년 경북대학교 전자공학과
1981년 영남대학교 대학원 전자공
학과 계산기전공(공학석사)
1992년 경북대학교 대학원 전자공
학과 전산공학 전공(공학박사)

1980년~1990년 경북산업대학 전자계산학과
1990년 ~ 현재 대구대학교 컴퓨터 정보공학부
(관심분야 : 데이터베이스, 패턴인식, 지리정보시스템)