

論文 90-27-4-14

Context를 고려한 디지털 곡선의 특징점 검출

(Context Dependent Feature Point Detection in Digital Curves)

劉炳民*, 金文鉉*, 元東豪*

(Byung Min Yoo, Moon Hyun Kim, and Dong Ho Won)

要 約

디지털 폐곡선의 형상의 특징을 표현하기 위하여, 곡선의 국부적인 성질만을 고려한 연구가 주로 되어 왔다. 본 논문에서는 한 점이 포함된 context, 즉 전체영상의 구조적인 특징 및 주위 영역의 특징을 반영한, 국부적인 곡률의 최대치를 찾는 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 디지털 곡선의 k-곡률산출방식에서 문제가 되는 k값을 입력변수로 요구하지 않고 각 점에서 주위환경에 따라 자동적으로 산출한다. 제안된 알고리즘을 이차원 영상의 경계선에 적용시켜 보였으며, 효율성을 기존의 context를 고려한 알고리즘과 비교하여 보았다.

Abstract

To represent shape characteristics of digital closed curve, many algorithms, mainly based on local properties, have been proposed. In this paper, we propose a new algorithm for detecting local curvature maxima which reflects context, i.e., structural or surrounding regional characteristics. The algorithm does not require the value of k as an input parameter which is the major problem in k-curvature method in digital curve, but calculates it at each point depending on the context. The algorithm has been applied to two dimensional image boundaries. The efficiency of the algorithm is addressed by comparing the result of existing context dependent algorithm.

I. 서 론

형상인식을 위한 이차원 영상의 표현방법은 영역에 근거한 표현과, 경계선에 의한 표현방법 등이 있다. 영역에 근거한 표현방법으로는 quad-tree, medial axis 변형등이 있으며, 경계선에 의한 표현방법으로는 chain-coding 방법^[1] - s curve, 다각선에 의한 근사화, Hough 변형등이 연구되어 왔다.^[1] 이중 다각선에 의한 근사화는^[2] 형상의 특징을 유지하면서 영상

을 몇개의 점으로 압축시킨다는 장점이 있으며, 이는 결국 전체 경계선을 어떤방식으로 구획화 할 것인가의 문제로 귀결된다. 형상의 특징을 나타내는 점은 주로 국부적인 곡률의 최대점, 혹은 변곡점으로 정의되어 왔으며,^[3-7] 이 경우 다른 알고리즘에 비하여 초기점 설정이나, 회전에 무관한 출력력을 얻을 수 있어서 많이 연구되어 왔다. 그러나, 이러한 알고리즘의 경우 디지털 곡선에서의 곡률의 정의문제, 영상의 scale에 따른 국부적인 영역의 정의문제가 수반된다. 즉, 디지털 곡선의 경우, 인접한 pixel간의 방향 벡터의 기울기가 45°의 배수가 되어 경계선에서의 접선의 기울기의 변화량이 크므로, 곡률 또한 큰 차이의

*正會員, 成均館大學校 情報工學科
(Dept. of Information Eng., Sungkyunkwan Univ.)
接受日字: 1990年 1月 13日

불연속적인 값을 갖는다. 이를 해결하기 위하여 k-곡률방식이 제안되었다. 이때 k값의 지정은 두번째 국부성 정의문제와 관련되며 k값을 너무 크게 하면 경계선의 smoothing 효과가 커져서 참 특징점이 제외 될 수 있고, k값을 너무 작게하면 매우 국부적인 요철들이 특징점으로 검출될 소지가 있다. 이러한 관점에서 Rosenfeld⁸⁾는 각 pixel에 대하여 주어진 임계치 내에서 최대 k-곡률값을 갖는 k를 설정한 후, 이 k값을 그점에서의 국부적인 영역으로 정의하였다. 또 Teh-chin⁹⁾은 지지영역(region of support)개념을 설정하여, 주의점들의 배열형상에 따라 scale이 큰부분에서는 넓은 지지영역을, scale이 작은 부분에는 좁은 지지영역을 구한후 이 지지영역을 국부적인 영역으로 보았다.

그러나, 이상의 방식들은 각 점이 포함된 context 즉, 영상전체의 구조적인 특징과, 인접한 영역과의 관계에 의한 특징을 모두 고려하지 못하고 있다.¹⁰⁾ 단, Teh-chin의 경우 지지영역 개념이 위의 인접된 영역과의 관계라는 하나의 context 만을 고려하는 시도라고 볼 수 있다. 본 논문에서는 이러한 관점에서, 한점이 전체영상의 구조적인 특징을 표현하는 유용성과, 이웃하는 영역과의 관계에 의한 곡선부분의 특징을 표현하는 상대적 convexity 개념을 정의하여, 디지털 곡선의 특징점을 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 특히 제안된 알고리즘은 곡률 계산시 k값이 입력변수로 주어지지 않고, 처리과정에서 동적(dynamic)으로 변화하는 장점이 있다.

II 장에서는 기존의 k-곡률방식을 간단히 설명하고, 유용성 및 상대적 convexity 개념을 정의한 후, 제안된 알고리즘을 기술하였다. 또한 곡률 산출시, 동적으로 k값을 지정하는 과정을 qr-곡률 개념을 정의하여 설명하였다. III 장에서는 제안된 알고리즘을 구현한 후 이차원 영상에 적용하여 그 처리과정 및 최종 결과를 보임으로써, 타당성을 증명하였다. 알고리즘의 효율성을 보이기 위해, 기존의 context 고려 알고리즘인 Teh-chin의 알고리즘의 결과와, i) 특징점의 갯수 ii) 영상을 폐곡선을 특징점으로 연결한 다각선으로 근사화 할때의 오차를 기준으로 하여 비교, 검토하여 보았다.

II. 특징점 검출 알고리즘

1. Discrete 곡률 계산

실 Euclidean 평면에서의 곡률은 호의 길이에 대한 기울기의 변화, 즉 $y=f(x)$ 에 대하여 $y''/(1+y'^2)^{3/2}$ 여기서 $y'=dy/dx, y''=d^2 y/dx^2$ 로 표현된다. 그러나

디지털 곡선의 경우, 미분을 단순히 1차 차이 값으로 치환하는 경우, 작은량의 곡률은 구할 수 없다. 이를 위하여 1보다 큰 k값을 이용한 k-곡률 산출방식이 많이 사용되고 있다. 결국 k값은 디지털 곡선의 smoothing 효과는 가져오나, k값을 너무 크게 할 경우 중요한 특징점이 무시될 수 있고, k값을 너무 작게할 경우 국부적으로 곡률이 큰 점들이 모두 특징점으로 간주될 우려가 있다. 따라서 k값의 정확한 선정이 중요한 요인이다. 폐곡선인 디지털 곡선을 C라두고,

C가 n개의 pixel로 이루어졌다고 가정하면, $P_i = (x_i, y_i), i=1, \dots, n$ 으로 표현할 수 있다. 이때 C의 Freeman chain code는 n vector $\{\vec{C}_i; i=1, \dots, n\}$ 단 $\vec{C}_i = \vec{C}_{i+n}$ 로 표현되며, 각 벡터 \vec{C}_i 는 $\overline{P_{i-1} P_i}$ 로서 정수 $f=0, \dots, 7$ 로 나타낼 수 있다. 이때 벡터 \vec{C}_i 가 X축과 이루는 각은 $\pi f/4$ 가 된다.

k-곡률은 점 P_i 에서 두 벡터 $\vec{a}_{ik}, \vec{b}_{ik}$ 를 각각 $\vec{a}_{ik} = (x_i - x_{i+k}, y_i - y_{i+k})$
 $\vec{b}_{ik} = (x_i - x_{i-k}, y_i - y_{i-k})$ 로 두면 이들 두 벡터가 이루는 방향의 차이를 말하며, 이를 수식으로 표현하면

$$CUR_{ik} = (\sum_{j=-k}^{-1} f_{i-j} - \sum_{j=0}^{k-1} f_{i-j})/k$$

2. 다각형 꼭지점의 구조적 표현에서의 유용성 및 곡선의 상대적 convexity

1) qr 곡률

우선 디지털곡선 C 상의 점 P_i 에서의 두 벡터 $\vec{a}_{iq}, \vec{b}_{ri}$ 를 각각

$$\vec{a}_{iq} = (x_{i+q} - x_i, y_{i+q} - y_i)$$

$$\vec{b}_{ri} = (x_i - x_{i-r}, y_i - y_{i-r})$$

로 정의하고, qr곡률 C_{iqr} 을 \vec{a}_{iq} 와 \vec{b}_{ri} 사이의 각으로 표현한다. 즉, $\angle \vec{a}_{iq}, \angle \vec{b}_{ri}$ 를 각각 벡터 $\vec{a}_{iq}, \vec{b}_{ri}$ 가 수평선과 이루는 각이라 할때 그림 1에서와 같이 $C_{iqr} = \angle \vec{a}_{iq} - \angle \vec{b}_{ri}$ 가 된다.

2) 다각형 꼭지점의 구조적 표현에서의 유용성

디지털 곡선에서 곡률이 큰 점들이 모두 영상을 표현하는데 중요한 의미를 갖는 것은 아니다. 디지털 곡선은 각 점을 꼭지점으로 하고 각 점간을 선분으로 이었을때, 선분의 길이가 1 pixel의 길이 만큼되는 특별한 다각형이므로, 아래에서는 일반적인 다각형(즉, 꼭지점 간의 선분이 임의의 길이를 갖는 다각형)에서, 각 꼭지점이 표현하는 영상의 특징에 관하여 생각하기로 한다.

그림 2-a의 경우 점 w_1, w_2 는 양쪽의 도형에서 모두 같은 곡률을 갖는점이나, 왼쪽의 도형에서는 $w_1,$

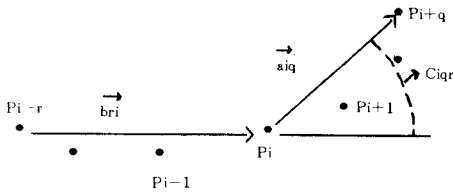


그림 1. qr 곡률의 정의
Fig. 1. qr curvature definition.

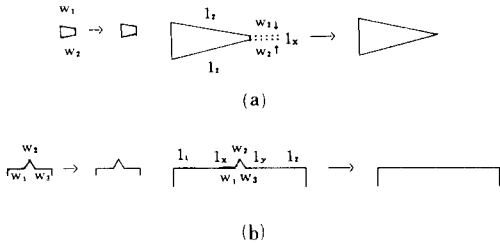


그림 2. 다각형 꼭지점의 구조적 표현에서의 유용성
(a) 다각형 형상의 고려
(b) 인접한 선분의 길이의 고려

Fig. 2. Utility of a polygon vertex in structural representation.
(a) consideration of polygon shape,
(b) consideration of length of neighboring line segments.

w_2 는 전체영상을 사각형으로 표현하는 중요한 특징점이 되며, 오른쪽의 도형에서는 w_1, w_2 중 한 점만이 유지되어 전체도형을 삼각형으로 표현하는 것이 타당하다. 그림 2-b의 경우 w_1, w_2, w_3 는 두 도형에서 같은 곡률을 갖는 점들이나, 오른쪽 도형의 경우 w_2 는 잡음이 첨가된 것으로 보는 것이 타당하며, 전체영상의 특징을 나타내는데 중요치 않은 점이어서 제거되는 것이 바람직하다.

다각형을 꼭지점의 행렬 $P_i = (x_i, y_i) : i=1, \dots, n$ 이라 두고, $P_{i-1} P_i$ 이라 두면 점 P_i 의 영상의 구조적 특징의 표현에서 유용성 U_{igr} 는 식(1)과 같이 정의된다.

$$U_{igr} = \frac{(|l_{i-1}| + |l_i|)/2}{\sum_{i=1}^n |l_i|/n} \times \frac{\min\{|l_{i-1}|, |l_i|\}}{\max\{|l_{i-1}|, |l_i|\}} \quad (1)$$

(단, $|l_i|$ 는 l_i 선분의 길이)

따라서 그림 2-a와 2-b의 오른쪽도형에서 점 w_1, w_2, w_3 는 모두 유용성이 작은 점들이 된다.

3) 곡선의 상대적 convexity

경계선의 곡률 검출에 의한 다각화는, 곡률이 완만

한 경계선 부분이 갖고있는 영역적인 특징은 무시된다. 그림 3과 같은 경우, 점 w_1 과 w_2 사이의 경계선 부분은 곡률이 완만하여 특징점이 검출되지 않으므로 w_1, w_2 를 잇는 선분 l_x 로 근사화 된다. 오른쪽 도형의 경우, 전체영상이 사각형으로 근사화 되어 문제가 없으나, 왼쪽도형의 경우 전체영상이 타원형에 가까움에도 불구하고 사각형으로 근사화 되어 w_1 과 w_2 , 선분 l_x 로 둘러 싸여지는 영역적인 특징이 무시된다. 이러한 영역적인 특징을 고려하기 위하여 두 선분으로 둘러싸여진 곡선의 상대적 convexity를 다음과 같이 정의한다.

곡선 C의 점 P_i 와 P_j 사이의 부분을 C_{ij} , 점 P_i 와 P_j 를 잇는 호를 l_{ij} , P_i 에 연결된 l_{ij} 와 반대방향의 선분을 l_1, P_j 에 연결된 l_1 와 반대방향의 선분을 l_2 라 둔다.

이때 d_{ij} 를 $\max\{$ 점 P_k 로부터 l_{ij} 의 euclidean 거리, $k=i, \dots, j\}$ 라 두면 C_{ij} 의 상대적 convexity, R_{ij} ,는 식(2)와 같이 정의된다.

$$R_{ij} = \frac{d_{ij}}{|l_{ij}|} \times \frac{1}{\min\{|l_1|, |l_2|\}} \quad (2)$$

즉 R_{ij} 가 클수록 주위선분에 비하여 C_{ij} 의 convexity는 커지므로, C_{ij} 사이의 곡률이 완만하더라도 R_{ij} 가 어떤 임계치를 넘으면, 영역적인 특징을 살리기 위해 C_{ij} 상에 특징점을 인위적으로 삽입하는 것이 타당하다.

이때 삽입되는 특징점을 영역적인 특징점 fr_{ij} 로 표현하며, 이점을 C_{ij} 상의 점 P_i 중 l_{ij} 와의 euclidean 거리가 최대인 점으로 둔다.

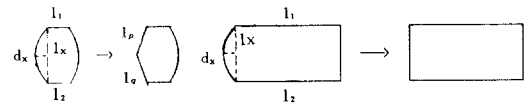


그림 3. 곡선의 상대적 convexity
Fig. 3. Relative convexity of a curve.

3. 제안된 특징점 검출 알고리즘

제안된 알고리즘은 우선 C상의 각점 P_i 에서 qr곡률을 산출하여 임계치 T_1 보다 큰 점들의 sequence $A = \{a_i; i=1, \dots, k\}$ 를 구한다. 이점들은 영상의 국부적인 특징을 반영하는 점으로, 각점 a_i 에 대하여 인접하는 꼭지점 a_{i-1}, a_{i+1} 을 각각 선분 l_{i-1}, l_i 로 연결하여 k각형으로 표현한다. 다음 단계에서 k각형의 각 꼭지점 a_i 의 유용성을 구하여 임계치 T_2 보다 큰 점

들의 sequence $B = \{b_i; i=1, \dots, m\}$ 을 구한다. 이 점들은 영상의 전체적인 특징이 고려된 점들로서, k 값과 m 값이 같을때 까지 위의 두 단계를 반복 수행한다. 이상의 단계에서 구해지는 sequence B 는 국부적인 특징과, 구조적인 특징이 모두 고려되는 점들이다. 마지막 단계에서는 영상의 영역적인 특징을 고려하기 위하여, 모든 i 에 대하여 점 b_i, b_{i+1} 사이의 곡선부분 $C_{i,i+1}$ 의 상대적 convexity를 산출하여 임계치 T_3 보다 큰 경우 b_i, b_{i+1} 사이에 영역적인 특징점 f_i 를 삽입하여 새로운 sequence $C = \{C_i; i=1, \dots, q\}$ 를 구한다. 이때의 sequence C 가 경계선의 특징과 영역적인 특징을 고려한 점들로서 알고리즘의 최종 출력에 해당한다. 아래에 구체적인 알고리즘을 설명한다.

1) 제안된 알고리즘

입력 데이터 구조 : 디지털 곡선 C 로 $\{p_i = (x_i, y_i); i=1, \dots, n\}$ 으로 주어짐

출력 데이터 구조 : 특징점의 sequence F 로 $\{f_i = (x_i, y_i); i=1, \dots, q\}$ 으로 주어짐

2) 알고리즘

초기화 : $F = C$, 즉 $p_i = f_i, n = q$ 로 두고, $q_i = r_i = 1$ 로 둬
 [1 단계] 경계선의 국부적 특성 고려

Sequence F 의 각점 f_i 에서 qr곡률을 구하여 임계치 T_1 보다 작은경우 F 에서 제거한다. 단, qr값은 아래의 qr값의 동적 지정란에서 명시된 방식으로 산출한다.

[2 단계] 경계선의 구조적 특성 고려

모든 f_i 에 대하여 유용성 U_i 를 산출하여, U_i 가 문턱치 T_2 보다 작은경우 국부적인 점(LDP)으로 선언한다. LDP가 없으면 3단계로 가고, 아니면 LDP가 연속해서 배열되는 갯수를 N 이라 할때, N 값에 의하여 다음과 같이 LDP를 제거한다.

$N=1$: LDP f_i 를 F 로 부터 제거한뒤 1단계로 돌아간다.

$N=2$: LDP f_i, f_{i+1} 중 유용성이 더 작은 LDP를 F 로 부터 제거한뒤, 1단계로 돌아간다.

$N \geq 3$: LDP 배열 f_p, f_{p+1}, \dots, f_q 중, 양끝의 LDP f_p, f_q 를 제외한 나머지 LDP중 최소의 유용성을 가진 점을 F 로 부터 제거한뒤, 1단계로 돌아간다.

[3 단계] 곡선의 영역적 특성의 고려

Sequence F 의 모든 i 에 대하여, f_i, f_{i+1} 에 대응되는 곡선 C 상의 점들 각각 P_a, P_e 라 두

면, C_{ae} 의 상대적 convexity를 산출하여 임계치 T_3 보다 큰 경우, 영역적인 특징점 f_{ae} 를 f_i, f_{i+1} 사이에 삽입시킨다.

3) qr값의 동적 지정

위의 알고리즘에 보듯이, 1단계와 2단계는 반복수행이 되며, n 번째 loop에서 f_i 의 q, r 값을 각각 $q_i(n), r_i(n)$, $n+1$ 번째 loop에서 f_i 의 q, r 값을 각각 $q_i(n+1), r_i(n+1)$ 이라 하면,

$$q_i(n+1) = q_i(n) + nf1(n)$$

$$r_i(n+1) = r_i(n) + nfr(n)$$

이때 $nf1(n)$ 은 f_i 보다 먼저오는 특징점들 중에서 n 번째 loop의 1단계 및 2단계에서 제거된 점의 갯수이며, $nfr(n)$ 은 f_i 보다 뒤오는 특징점들 중에서 제거된점의 갯수이다. 즉 그림 4에서 보듯이 점 f_i 의 $q_i(n), r_i(n)$ 은 각각 1이고, 점 f_{i-1}, f_{i-2} 가 2 단계에서 제거되는 경우

$$q_i(n+1) = q_i(n) + 2$$

$$r_i(n+1) = r_i(n) + 1$$

$$q_i(n) = 1 \quad q_i(n+1) = 3$$

$$r_i(n) = 1 \quad r_i(n+1) = 2$$

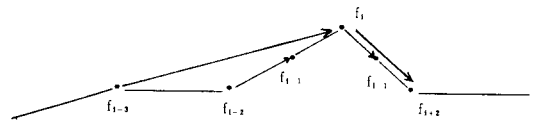


그림 4. qr 값의 동적지정

Fig. 4. Dynamic assingment of qr-value.

III. 실험 및 검토

1. 제안된 알고리즘에 의한 특징점 검출

실험을 위하여 알고리즘을 IBM-PC상에서 C 로 구현하였으며, 입력곡선은 그림 5와 같이 영국과 이탈리아의 지도를 각각 179개, 195개의 점들로 구성된 디지털 곡선으로 설정하였다. 그림 5에서 곡률이 0인 점을 제외한 점들을 시계방향으로 하여 배열된 순서를 표기하였다. 입력곡선을 chain code로 표기하면 다음과 같다.

<chain code 표현>

영국

7700006455	5500077555	5555600776	7666666666
6666560000	7765555547	0055444444	4334444554
4334455331	1001110070	0224432244	3300000114
4210010111	1444221144	3563311121	1225555542
2111144421	1112111111		

이탈리아

0011111122	2222007777	7766766566	6655555541
1111444555	5557776776	6677776607	7770077776
6766666555	2221334665	6666655544	4411122243
3332223333	2433344222	3324333222	3344444543
3333322222	3331117000	0710000010	00000

알고리즘의 1단계 및 2단계는 영국영상에 대하여 4회, 이탈리아의 경우는 3회 반복 수행 되었으며, 매 회 검출된 특징점들의 qr곡률 및 유용성의 분포는 그림 6, 그림 7 과 같다. 단 그림 6에서는 qr 곡률이 0인 점들은 편의상 제외하였다. 그림 6에서 보듯이 첫번째 loop에서는 chain code의 특성에 의해 qr곡률이 45° 미만인 점들이 없으나, 2 번째 loop부터는 존재한다. 이는 첫번째 loop의 1단계 및 2단계에서 제거되는 특징점들에 의해, q, r값이 2번째 loop 부터는 1보다 큰 정수값을 가질 수 있기 때문이다. 그림 7에서는, 유용성이 작은점 즉(0, 0, 0, 3)의 구간의 점들의 갯수가 loop가 반복 될수록 계속해서 줄어듬을 보이고 있다. 표 1에서는 매 loop마다 적용된 임계값 T_1 과 T_2 , 그리고 sequence F에서 제거되는 점들을 보였다. 인접한 두점 f_i, f_{i+1} 에 의하여 구획화되는 곡선 C의 segment를 C_i 라 두고, C_i 의 상대적 convexity의 분포를 구하면 그림8과 같다. 여기서 영국영상의 경우 임계치 T_3 를 0.05로 두면, 영역적인 특징점으로서 17, 20, 62번째의 점들이 F에 삽입된다. 이상의 점들은 표 1에서 보듯이 2 단계에서 유용성이 낮아서

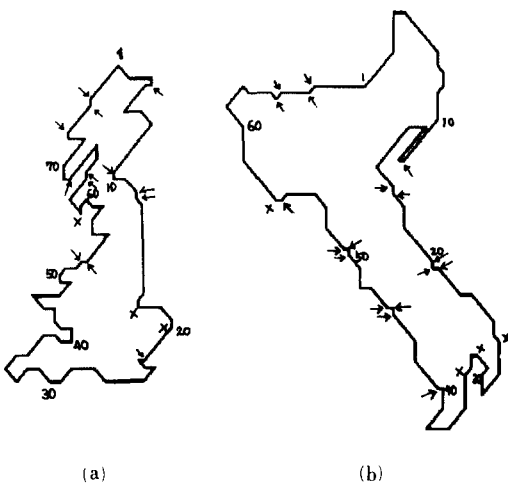
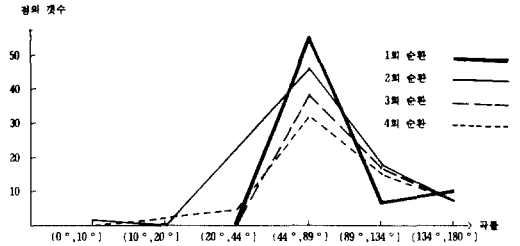
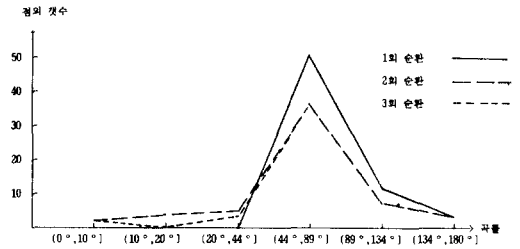


그림 5. 입력 곡선
(a) 영국 (b) 이탈리아
Fig. 5. Input curves.
(a) England (b) Italy



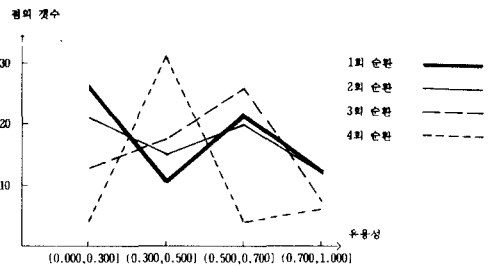
(a)



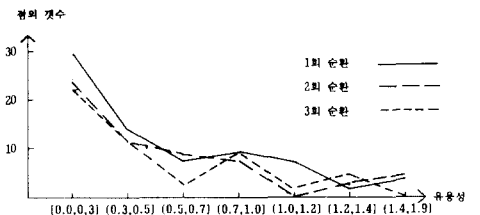
(b)

그림 6. 반복 횟수에 따른 qr 곡선의 분포
(a) 영국 (b) 이탈리아

Fig. 6. qr-curvature distribution at each iteration.
(a) England (b) Italy



(a)



(b)

그림 7. 반복 횟수에 따른 유용성의 분포
(a) 영국 (b) 이탈리아

Fig. 7. Utility distribution at each iteration.
(a) England (b) Italy

표 1. 알고리즘의 1 단계 및 2 단계
(a) 영국 (b) 이탈리아

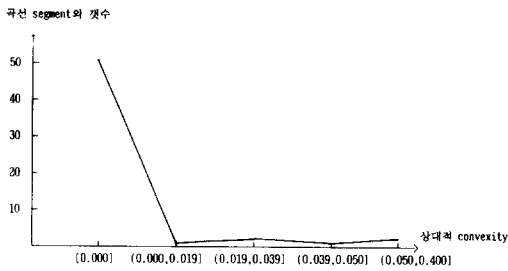
Table 1. 1st step and 2nd step of an algorithm.
(a) England (b) Italy

반복 횟수 (n)	곡률의 임계값T1(n)	제거되는 특징점	유용성의 임계값T2(n)	제거되는 특징점
1			0.202	9, 21, 68, 75
2	10	74	0.203	4, 20, 54, 64, 73
3	10	53, 65	0.203	12, 17, 62
4	10	13	0.210	

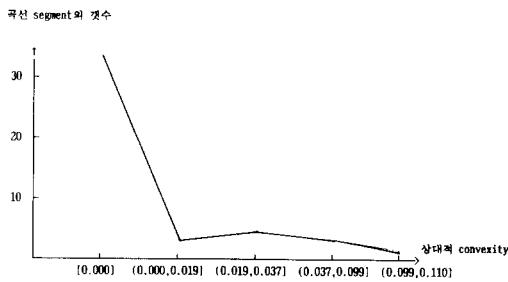
(a)

반복 횟수 (n)	곡률의 임계값T1(n)	제거되는 특징점	유용성의 임계값T2(n)	제거되는 특징점
1			0.199	11, 16, 20, 22, 32, 41, 44, 46, 50, 52, 58
2	20	17, 21, 45, 51	0.189	57, 68
3	10	67	0.170	66
4	10		0.200	27, 35, 65

(b)



(a)

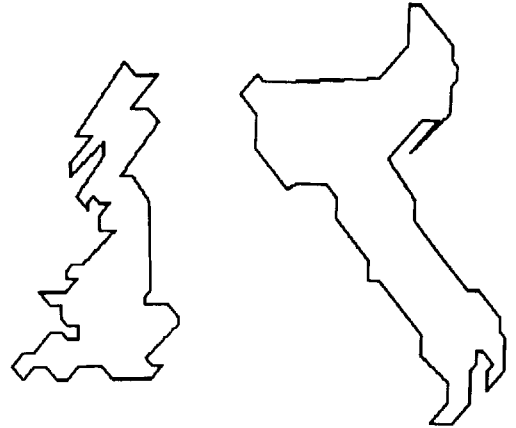


(b)

그림 8. 상대적 convexity의 분포
(a) 영국 (b) 이탈리아

Fig. 8. Relative convexity distribution.
(a) England (b) Italy

제거된 점들이었음을 알 수 있다. 이탈리아의 경우 T_3 를 0.038로 두면, 27, 32, 35, 58번째의 점들이 F에 삽입된다. 최종적으로 검출된 특징점과, 인접한 특징점 들을 선분으로 연결한 결과가 그림 9에 있다. 참고로 그림 1에서 1, 2단계에서 제거되는 점들을 ↑로, 3단계에서 제거되는 점들을 X로 그림5에 표기하였다.



(a)

(b)

그림 9. 제안된 알고리즘의 결과
(a) 영국 (b) 이탈리아

Fig. 9. The result of proposed algorithm.
(a) England (b) Italy

2. 제안된 알고리즘과 Teh-Chin 알고리즘의 비교
제안된 알고리즘의 효율성을 검토하기 위해, 기존의 context를 고려한 특징점 검출방식인 Teh-chin 알고리즘을 IBM-PC상에서 C로 구현한 후, 같은 입력 영상에 대하여 적용한 후, 검출된 특징점과 특징점 간을 선분으로 연결한 결과가 그림10에 있다. 이를 제안된 알고리즘의 결과와 비교 검토하여 보면, 시각적으로는 상당히 유사하다. 즉 영국영상의 경우 점 68, 74, 75가, 이탈리아 영상의 경우 점 11, 20, 21, 44, 45, 50, 51, 52가 모두 제거 되었음을 알 수 있다. 두 알고리즘을 수치적인 척도에 의해 비교하기 위하여, 우선 디지털 폐곡선상의 점 P_i 와 근사화 다각형의 선분까지의 수직거리를 오차 e_1 로 정의한다. 이로부터, 자승오차의 합 E_2 와 최대 오차 E_{∞} 를, 각각

$$E_2 = \sum_{i=1}^n e_1^2,$$

$$E_{\infty} = \max_{1 \leq i \leq n} e_1 \text{로 정의한다.}$$

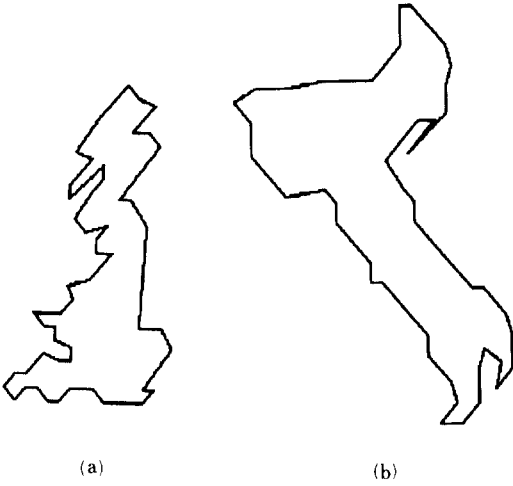


그림 10. Teh-chin 알고리즘의 결과
 (a) 영국 (b) 이탈리아
 Fig. 10. Teh-chin algorithm result.
 (a) England (b) Italy

두 알고리즘에 대하여 검출된 특징점의 갯수, 근사화 오차 E_2, E_∞ 를 산출하여 보면 영국영상의 경우 표 2-(a), 이탈리아 영상의 경우 표 2-(b)와 같다. 표 2에서 보듯이 특징점의 갯수는 몇개씩 늘어났으나, 제안된 알고리즘이 근사화오차 E_2, E_∞ 가 Teh-chin 알고리즘 보다 작음을 알 수 있다. 이는 주로 Teh-chin에서 국부적인 곡률이 작다고 제거된 점들이, 제안된 알고리즘에서는 유용성이 큰점으로 파악되어 유지되었기 때문이다. 즉 Teh-chin의 알고리즘에서 인접된 영역이라는 context 하에서 무시된 점들이, 제안된 알고리즘에서는, 전체영상의 구조적 특징의 context를 추가로 고려함으로써 중요한 점으로 파악되었기 때문이다. 예를 들면 영국영상에서 37, 38, 39점들에 의한 곡선부분에 대한 근사화오차는, 제안된 방식에서는 $E_\infty=0$, Teh-chin의 경우 $E_\infty=1.6$ 이며, 47, 48, 49, 50, 51점들에 의한 곡선 부분에 대한 근사화오차는, 제안된 방식의 경우 $E_\infty=0$, Teh-Chin의 경우 $E_\infty=1.789$ 이다. 또한, 여기서 주의할 점은, 제안된 알고리즘의 경우, Teh-Chin 알고리즘에서 필요로하는 각 점에서의 지지영역을 산출하는데 요구되는 계산시간이 필요치 않다는 점이다.

IV. 결 론

디지털곡선의 특징점 검출은 물체의 인식에 중요한 과제이다. 본 논문에서는 기존의 국부적인 곡률의 최대치에 의한 특징점의 설정과는 달리, 전체적

표 2. 제안된 알고리즘과 Teh-chin 알고리즘과의 수치적 비교
 (a) 영국 (b) 이탈리아

Table 2. Quantitative comparison between proposed algorithm and Teh-chin algorithm.
 (a) England (b) Italy

	Teh-chin 방식	제안된 방식		Teh-chin 방식	제안된 방식
특징점의 수	52	61	특징점의 수	47	50
E_∞	1.789	0.707	E_∞	1.342	1.057
E_2	23.609	14.410	E_2	15.022	12.843

(a) (b)

인 영상의 구조적 특징과, 인접한 영역과의 관계를 고려하여 곡률이 큰점들을 특징점으로 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 특히, 제안된 알고리즘은 디지털곡선의 k곡률 검출시 중요한 요인인 k값을 입력 변수로 주지 않아도, 자동적으로 적용되는 방식을 사용하여, 영상의 scale에 따른 k값의 선정과 어려움을 덜 수 있도록 하였다. 제안된 알고리즘을 실제 이차원 영상에 적용하여, 작동과정 및 결과를 구체적으로 보임으로써, 그 타당성을 증명하여 보였다. 아울러 알고리즘의 효율성을 측정하기 위하여, 기존의 context를 고려하는 알고리즘인 Teh-Chin 알고리즘과 비교검토 하였으며, 그 결과 제안된 알고리즘이 영상의 구조적 특징이라는 context를 추가로 고려함으로써, 근사화오차면에서 우월함을 보이고 있다. 그러나 알고리즘 적용시 사용자에게 의하여 설정되는 임계치를, 자동적으로 산출할 수 있는 방식이 추후 연구과제이며, 또한 구조적 특징을 표현하는 유용성이 인식대상 물체의 domain에 따라 좀더 세분화되어 연구되어야 하겠다.

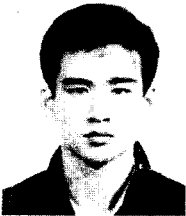
제안된 방식은 3차원 물체의 경계선 묘사에도 쉽게 적용가능하며, 이경우 검출된 특징점이 영역적인 특징외에도 체적이 갖고있는 특징과, 주위면들의 특징 및 면들간의 상호관계의 특징을 반영할 수 있도록 하여야 겠다.

參 考 文 獻

[1] J. Leu and L. Chen, "Polygonal approximation of 2-D shapes through boundary merging," *Pattern Recognition Letters* 7, pp. 231-238, April. 1988.
 [2] J. Dunham, "Optimum uniform piecewise linear approximation of planar curves," *IEEE Trans on PAMI*, vol. PAMI-8, pp. 67-75, Jan. 1986.

- [3] H. Freeman, "Shape description iva the use of critical points," *Pattern Recognition*, vol. 10, pp. 159-166, 1978.
- [4] P.V. Sankar and C.U. Sharma, "A parallel procedure for the detection of dominant points on a digital curve," *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 7, pp. 403-412, 1978.
- [5] H. Freeman and L. Davis, "A corner-finding algorithm for chain coded curves," *IEEE Trans. on Computers*, pp. 297-303, Mar. 1977.
- [6] L.S. Davis, "Understanding shape: angles and sides," *IEEE . Trans. on Computers*, vol. C-26, no. 3, pp. 236-242, Mar. 1977.
- [7] B. Rosenberg, "The analysis of convex blob," *Computer Graphics and Image Processing* vol. 1, pp. 1830192, 1972.
- [8] A. Rosenfeld and E. Johnson, "Angle detection on digital curves," *IEEE Transon Computers*, pp. 875-878, Sept. 1973.
- [9] C. Teh and R. Chin , "A scale-independent dominant point detection algorithm," *Proc. Cont on Computer Vision and Pattern Recognition* pp. 229-234, June 1988.
- [10] 유병민, 정재영, 김문현, "다각선에 의한 경계선의 근사화," 화상처리및 영상통신학술대회 논문집, 1989.

 著 者 紹 介



그래픽스 등임.

劉炳民 (正會員)

1966年 12月 22日生. 1989年 2月 성균관대학교 공과대학 정보공학과 졸업. 1989年 3月~현재 성균관대학교 대학원 정보공학과 석사과정. 주관심분야는 컴퓨터 비전, 이미지 프로세싱, 컴퓨터



구소 전임 연구원. 1985年 9月~1986年 8月 일본동경 공대 객원 연구원. 1982年 3月~현재 성균관대학교 정보공학과 부교수. 주관심분야는 정보이론, 특히 암호학이론, 화상 정보처리 등임.

元東豪 (正會員)

1949年 9月 23日生. 1976年 2月 성균관대학교 전자공학과 학사. 1978年 2月 성균관대학교 전자공학과 석사. 1988年 2月 성균관대학교 전자공학과 박사. 1978年 3月~1980年 4月 한국통신기술 연구소 전임 연구원. 1985年 9月~1986年 8月 일본동경 공대 객원 연구원. 1982年 3月~현재 성균관대학교 정보공학과 부교수. 주관심분야는 정보이론, 특히 암호학이론, 화상 정보처리 등임.



연구원. 1984年 9月~1988年 3月 Univ. of Southern California 연구 조교. 1988年 3月~현재 성균관대학교 정보공학과 조교수. 주관심분야는 컴퓨터 비전, 패턴인식, 전문가 시스템 등임.

金文鉉 (正會員)

1956年 1月 31日生. 1978年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업. 1980年 2月 한국과학기술원 전기및 전자공학 석사. 1988年 3月 Univ of Southern California 박사. 1980年 3月~1983年 5月 대우중공업