

곡선에 의한 형상의 표현과 인식

고 찬[†]

요 약

본 논문은 윤곽선으로 표현된 목적물 형상의 특징추출, 특징점 다각형 형상 표현, 유사도 측정 등에 관하여 연구 하였다. 특징값은 윤곽선에 근사한 곡선을 만들어 주는 제어점들로 하였다. 유사도 측정 실험으로 본 연구의 방법이 간편하게 형상 식별 처리를 할 수 있음을 보였다.

Representation and Recognition of Shape by Curve

Chan Koh[†]

ABSTRACT

This paper proposes the algorithm of the feature extraction, making polyline-shape according to extracted points and similarity test on the object represented by contour. The control points which can make approximate curve are extracted as features of the object. Experiments show that this algorithm is a effective method for identification between different shapes.

1. 서 론

목적물의 자동인식은 목적물을 어떻게 표현하느냐와 이 표현되어진 목적물을 어떻게 인식처리하느냐로 나누어 진다. 목적물의 종류와 응용분야, 응용방법에 따라 여러방법이 존재하는데 본 연구에서는 영상처리에서 가장 많이 활용되고 3차원 물체인식에 기본이 되는 윤곽선의 정보들로 표현되어지는 목적물의 형상을 대상으로 한다. 윤곽선을 목적물의 표현이나 인식에의 기준으로 이용하는 연구가 활발히 진행되었다. 이의 표현에는 점, 선분, 곡선, 함수, 자료구조, 프로시저 등을 이용할 수 있다. 여기에서 취급하는 형상은 그 정보가 주로 2 차원이고 윤곽선 정보가 주로 이용된다. 이 분야의 주요 연구는 윤곽선의 표현, B-스프라인의 표현 [14, 15], 푸리에 서술자를 이용[4], 곡률을 이용[5], 회귀분석에 의한 방법

[6], 곡률 불변성 이용[7], 다항식 활용 방법[8], 최소 자승오차법 이용[10], 불변 곡선특성 이용[9] 등이다. 보통 곡선을 만들어 주거나 인식에 이용하는 논문인데, 이론을 구현하는데 많은 노력이 필요하다. 본 연구에서는 간단한 구현으로 쉽게 형상 식별을 할 수 있도록 하였다. 윤곽선은 주로 곡선이 대부분이므로 본 연구에서는 형상정보의 표현을 곡선표현의 방법을 이용해서 특징점들의 추출후 이를 이용하여 목적물을 효과적으로 표현하고 또 인식처리 하도록 연구하였다. 실험을 통하여 유효성을 증명하고 활용 방법을 제안 하였다. 보통 곡선을 만드는 방법이 많이 제시 되어 있고, 굴곡점 검출이나 유사도 계산에 의한 인식 방법도 알려져 있다. 본 연구에서는 제어점을 주고 곡선을 만드는 것을 윤곽선 데이터 들로 제어점을 구해내어 이를 특징값으로 하였다. 여기에 부가적으로 처리에 도움이 되도록 굴곡점 계산, 유사도 계산 이론을 이용하였다. 이런 이론들을 체계적으로 구성하여 간편하게 유사형상들을 식별할 수 있는 방법을 제시하고 실험

· 이 논문은 92년도 교육부 대학교수 국비해외 파견 연구지원에 의해 이루어짐.

† 정 회 원: 서울산업대학교 전자계산학과 교수

논문접수: 1994년 9월 22일, 심사완료: 1994년 11월 18일

을 하였다. 이렇게 제어점을 찾아 처리 함으로써 전체 형상 윤곽선 데이터로 유사도 계산법에 의한 인식 처리를 하는것 보다 ① 잡음에 대한 형상 왜곡 처리가 되지않고 ② 처리 시간의 단축과 ③ 유사도 값으로 문턱치에 따라 쉽게 형상 식별을 할 수 있다.

2. 형상표현 방법

곡선표현을 위한 방법은 여러가지가 있으나 본 연구에서는 CAD나 컴퓨터 그래픽스 분야에서 많이 사용되는 C³ 3차 B-스프라인 곡선법을 이용하도록 한다. 이 곡선방법은 다음과 같은 장점을 갖고 있다[15]. 장점의 대표적인 것으로 공간적 유일성, 도약성, 연속성, 국부적 제어능력, 어파인(affine) 변화에 불변성 등이다. 그러나 이 곡선법의 단점[10], 이 곡선이 제어점 집합들로 간단히 하나의 곡선을 유일하게 정의하기가 힘들다는 것이다.

2.1 3차 B-스프라인 곡선과 제어점 검출

3차 B-스프라인 곡선은 곡선선분들의 연결을 구성하도록 적합한 연속성을 갖고, 다각형 변수들에 의해 곡선이 제한 되어진다. 각 좌표들이 분리되어 취급되어 질 수 있고 형상에서 국부 변환을 포함하는 국부제어 특성은 변환되는 국부의 B-스프라인 변수들로 제한되어 진다. 이곡선은 Convex Hull 내에 존재하며 n+1 개의 제어점을 이용하여 곡선상의 점을 결정한다[14].

$$P(u) = \sum_{k=0}^n P_k N_k(u) \tag{1}$$

N_k 는 t-1 차원의 B-스프라인 혼합함수이고 $P_k(k=0, 1, 2, \dots, n)$ 은 n+1개의 제어점이다. 곡선의 형태조정(t-1) 차로 선정, 제어점 n의 수와 t의 선정에 따라 u의 범위를 정한다.

u는 0, …… n-t+2 사이의 값 이다.

$$N_{k-1}(u) = \begin{cases} 1: u_k \leq u < u_{k+1} \\ 0: \text{그외의 경우} \end{cases}$$

$$N_k(u) = \frac{u-u_k}{u_{k+1}-u_k} N_{k-1}(u) + \frac{u_{k+1}-u}{u_{k+1}-u_{k+2}} N_{k+1}(u) \tag{2}$$

u_i 를 부분 선분들을 나누는 분리점이라 하고 (식2)와 같은 크기로 분리점을 계산한다.

j < t 일 때 $u_j=0$, $t \leq j \leq n$ 일 때 $u_j=j-t+1$, $j > n$ 일 때 $u_j=n-t+2$ 이다.

j의 값은 0과 n+t 사이이다[14]. 식(1)의 윤곽점을 C로 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C(u_1) &= p_1 N_1(u_1) + p_2 N_2(u_1) + \dots + p_n N_n(u_1) \\ C(u_2) &= p_1 N_1(u_2) + p_2 N_2(u_2) + \dots + p_n N_n(u_2) \\ &\vdots \\ &\vdots \\ C(u_n) &= p_1 N_1(u_n) + p_2 N_2(u_n) + \dots + p_n N_n(u_n) \end{aligned} \tag{3}$$

다시 이것을 행렬로 표현하여 제어점을 구하는 식으로 한다.

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1(u_1) & N_2(u_1) & \dots & N_n(u_1) \\ N_1(u_2) & N_2(u_2) & \dots & N_n(u_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ N_1(u_n) & N_2(u_n) & \dots & N_n(u_n) \end{bmatrix} \tag{4}$$

제어점들 $[P] = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ 을 구하기 위해, 윤곽선 점들을 구하는 식을 이용한다. $[C] = [P] * [N]$ 에서 제어점들 $[P]$ 를 다음식으로 구한다.

$$[P] = [N]^{-1} * [C]$$

식 (3)에서 매개변수 u의 결정은 코드길이 방법을 이용한다. u에서의 윤곽점은 r_k 곡선의 코드길이 1은 다음식으로 계산된다[9].

$$R = \sum_{i=2}^{m+1} ||r_i - r_{i-1}|| \tag{5}$$

여기서 $r_{m+1} = r_1$ 이다. u 값은 r_i 값을 이용하여 계산한다.

$$u = u_{i-1} + r_i - r_{i-1} \frac{U_{max}}{R}, i=1, 2, 3, \dots, m$$

여기서 $u_1=0$ 이고 $U_{max} = n_k+k-1$ 이다.

2.2 B-스프라인 특징 추출

B-스프라인 곡선의 특징은 다항식 보간법에 의한 곡선의 적합으로 곡선의 모든 점을 만족하는 다항식이 아니라 부근의 두개의 점사이를 보간하는 다항식들의 집합으로 한다. 보통 3차 다항식으로 표현하는데 이는 곡률의 부호를 변화게 하는 가장 낮은 차수이기 때문이다. 목적물을 B-스프라인을 이용하여 표현하면 이 목적물의 경계를 B-스프라인 곡선과 평행한 방향의 모서리점을 결정함으로써 구할 수 있다. 그러므로 곡선표시 매개변수를 이용하여 구할 수 있다[15]. 윤곽선의 벡터를 다음으로 표현한다.

$$B = (X, Y)_{i=1}^n$$

이 윤곽선의 각점에서 연속성은 다음과 같이 검사된다[2].

$$C^q_i = \frac{a_{q_i} \cdot b_{q_i}}{|a_{q_i}| X |b_{q_i}|} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} a_{q_i} &= (X_i - X_{i+q}, Y_i - Y_{i+q}) \\ b_{q_i} &= (X_i - X_{i-p}, Y_i - Y_{i-p}) \end{aligned}$$

C의 극대점은 윤곽선의 다각형 근사시에 분리점을 결정한다. 선분 C_k 는 입력윤곽의 다각형 모형이다. 각 선분 C_k 의 6개의 특징으로 입력윤곽을 결정한다.

$$(Q_k)_{k=1}^{\phi} = (X_{SK}, Y_{SK}, \theta_k, L_k, X_{EK}, Y_{EK})$$

여기서 ϕ 는 표현된 다각형의 선분의 갯수이고 (X_{SK}, Y_{SK}) 와 (X_{EK}, Y_{EK}) 는 선분 K의 시작점과 끝점이다. θ_k 는 선분 K의 방향이고, L_k 는 선분 K의 길이특징이다.

2.3 B-스프라인의 예측

입력된 곡선점 데이터에 실제값의 B-스프라인 곡선으로 고정시키는 것이 중요하다. 이점들 사이에 보간법에 의한 B-스프라인 곡선을 사용할 수도 있고 그들의 대응되는 B-스프라인 곡선값들과 입력된 데이터 사이에서 오차가 적게되는

대략의 B-스프라인 곡선을 찾을 수도 있다[9]. m 차 ($m > n+1$) 곡선점들의 집합으로 $r = (r_1, r_2, \dots, r_m) = ((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)) = (x, y)$ 인데 이를 이용해서 계산된 곡선상의 점 데이터들에 실제값의 B-스프라인으로 고정하려고 한다. 이를 위해서는 고려해야 할 조건이 있다. 이를 위해 표본추출된 데이터점들 사이를 보간시켜 이를 연결한 곡선을 이용하거나, 표본추출된 값에 대응되는 B-스프라인 곡선값들과 입력된 데이터 사이에서 오차값의 합이 적게 되는 개략적인 B-스프라인을 찾는 것이다. 이때 많은 변수들이 요구되지 않는다. 이를 위해서는 곡선데이터와 그들의 대응되는 B-스프라인 점들 사이의 오차거리는 먼저 정의되어야 된다. 이의 계산식은 다음과 같다[10]. 이식은 어파인(affine) 불변특성을 이용하였다. B-스프라인의 데이터에 대한 잔류 오차의 합을 계산한다. 2차 원곡선 데이터에 기초한 제어점들의 계산은 각각 요소별로 계산되어 질 수 있다. 최소자승 오차합 d^2 를 데이터점들 r_i 와 그들의 제어점들에 기인된, B-스프라인 곡선에 대응되는 점들 $r(t_j)$, $j=1, 2, 3, \dots, m$ 에 의한다[9].

$$\begin{aligned} d^2 &= \sum_{j=1}^m d_j^2 = \sum_{j=1}^m (d_j^2(x) + d_j^2(y)) \\ &= \sum_{i=x}^y \sum_{j=1}^m [f_i - \sum_{i=0}^{n-3} C_{max(n-1)} Q_i(t_j)]^2 \quad (7) \end{aligned}$$

여기서 t_j 값의 계산은 0에서 $n+1$ 값으로 하고, $Q_i(t)$, ($i=1, 2, \dots, n$)은 정규화 3차 B-스프라인 곡선법에 의한다.

3. 굴곡점 계산과 유사도 계산

굴곡점을 계산하여 입력형상의 곡선 표현을 위한 제어점 계산에 이용하고 유사도 계산에 의한 인식방법을 적용토록 한다. 곡선을 여러개의 선들의 집합으로 표시할 수 있는데, 각선은 양끝점의 연결로 표현된다. 곡선상의 굴곡점을 찾아 특징으로 한다. 굴곡점을 찾는 알고리즘은 다음과

같다. 선들의 연결즉 양끝점의 좌표값인데, 시작점과 끝점이 같으면 이는 폐경계로 표현된 형상이다. 곡선조각은 반복적인 조건에 따른 분리에 의한다. 곡선조각의 양끝에서 직선으로 연결하였을 때 이 직선을 기준으로 부터 거리를 계산해서 가장 먼곳을 정한다. 이 가장 먼곳의 점에서 허용오차 범위인가를 검사하여 정해진 범위를 벗어나면 이점을 분리지점인 굴곡점으로 한다. 곡선부분에서 두 선조각으로 나누었을때 곡선조각 내부에서 이 두직선이 이루는 각을 C, 총좌표수는 n , $j=1, 2, \dots, n$ 일때 다음조건이 만족되는 점 P_j 를 굴곡점으로 한다[17].

$$B = \{P_j \mid A_j < C\}$$

$$A_j = \text{Min}\{\theta_j \mid \theta_j = \angle P_{j-1}P_jP_{j+1}\}$$

유사도 계산을 위해 제어점간의 거리를 계산한다. 두점 P, Q 에 대해서 벡터 PQ는 유클리드 거리로서 $((X_p - X_q)^2 + (Y_p - Y_q)^2)^{1/2}$ 식을 이용한다. 여기서 $P(X_p, Y_p)$ 는 입력 패턴의 점, $Q(X_q, Y_q)$ 는 표준 패턴의 점이다. 유클리드의 유사도 계산을 위해서 상관값에 기준한 식을 사용한다[17]. 표준 패턴을 Q, 유사도는 $S(P), \|Q\|$ 은 Q,의 크기(norm)이다. 여기에서는 한화소의 값으로 계산하는 식이다.

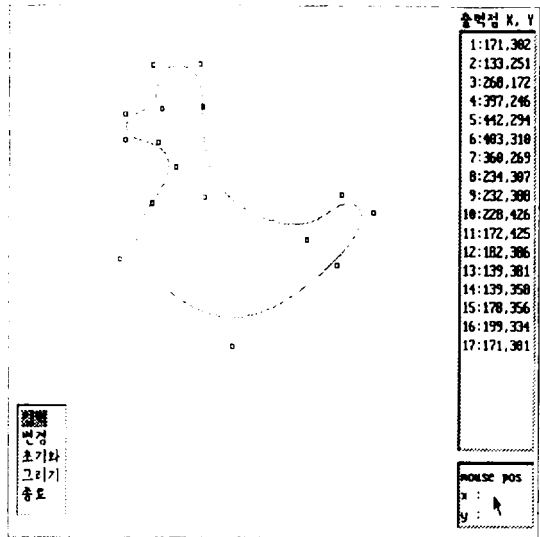
$$\|Q\| = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Q_{ij})^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

$$S(P) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} \times P_{ij}}{\|Q\| \cdot \|P\|} \quad (10)$$

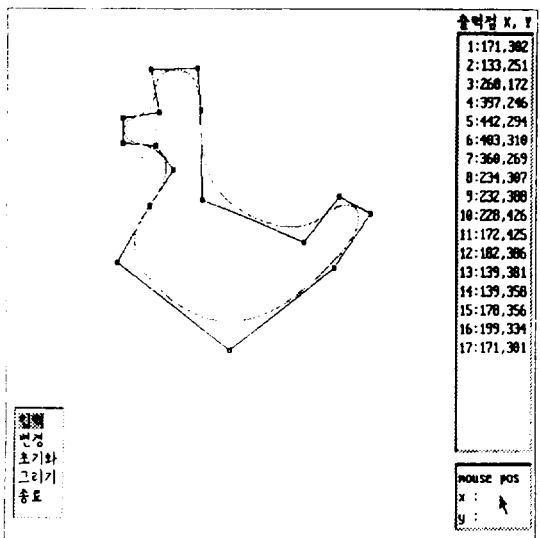
4. 실험 및 분석

유클리드로 표현된 형상의 표현과 인식을 위해 제안된 알고리즘의 실험을 위한 데이터 형상은 실험을 간편화 하기 위하여 정규화된 형상 데이터로 하였다. 여기서 정규화 데이터란 어파인 변환에 영향을 받지 않음을 의미한다. (그림 1)은 표준형상의 제어점 검출, (그림 2)에는 표준형상의 다각형 연결이다. (그림 3)과 (그림 4)는 입

력형상 1의 제어점 검출과 다각형 연결, (그림 5)와 (그림 6)은 입력형상 2의 제어점 검출과 다각형 연결, (그림 6)과 (그림 7)은 입력형상 3의 제어점 검출과 다각형 연결이다. 본 연구에서는 제어점을 최대 17개로 하였다. 이는 제어점이 많



(그림 1) 표준형상의 제어점 검출
(Fig. 1) Extraction of control points from standard shape

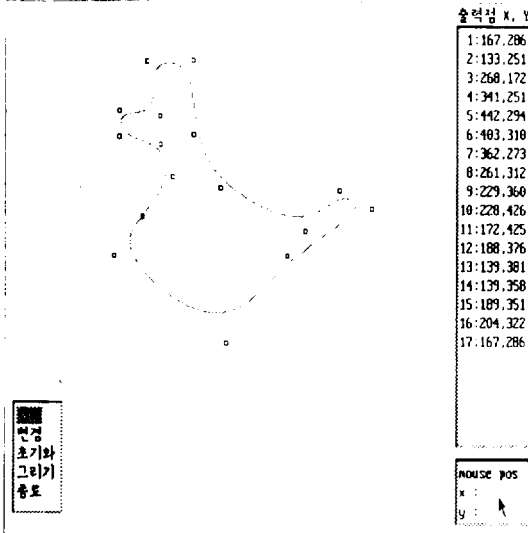


(그림 2) 표준형상의 다각형 연결
(Fig. 2) Polyline of standard shape

아도 실험에서는 아무지장이 없으나(프로그램에서는 Array 변수의 크기 조정으로 가능), 이렇게 무한정 제어점이 많아 지면 본래의 본 논문의 장점인 간편성이 떨어지므로 17개로 제한 하였다. 만약 많은 제어점이 꼭 필요한 경우라면 형상 보

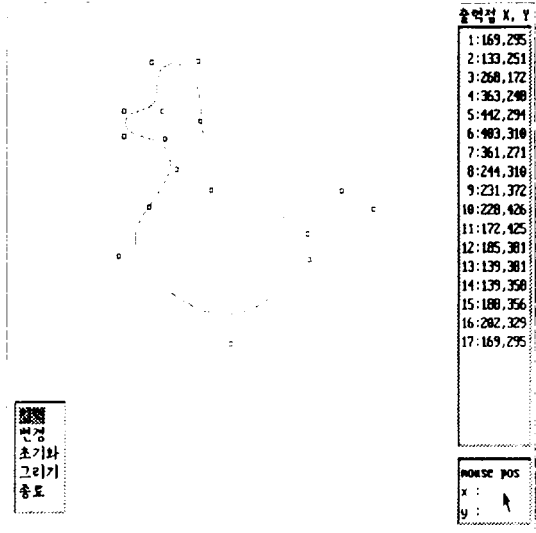
정 알고리즘을 통해 형상의 변형을 최소화 하면서 제어점을 감소하는 알고리즘을 이용해야 할 것이다.

오차합은 특징점들의 좌표값들로부터 표준 형상과의 거리차의 자승의 루트값 이다. 상이도는



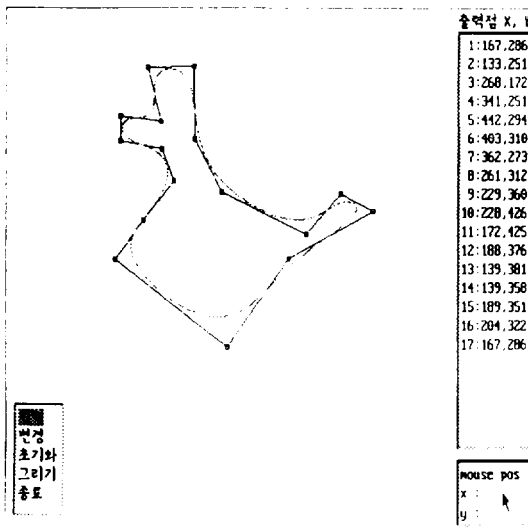
(그림 3) 입력형상1의 제어점 검출

(Fig. 3) Extraction of control points from input shape-1



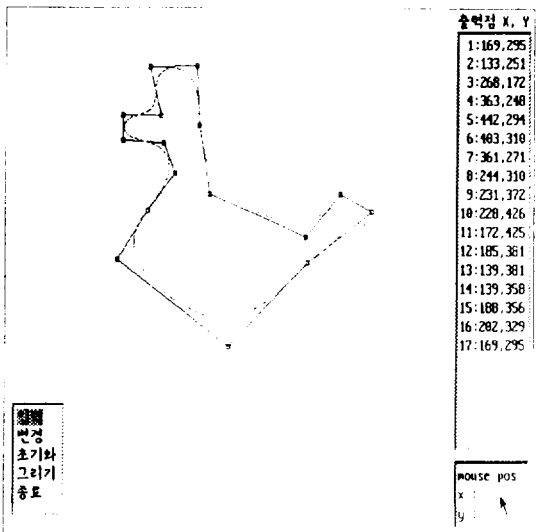
(그림 5) 입력형상2의 제어점 검출

(Fig. 5) Extraction of control points from input shape-2



(그림 4) 입력형상1의 다각형 연결

(Fig. 4) polyline of input shape-1



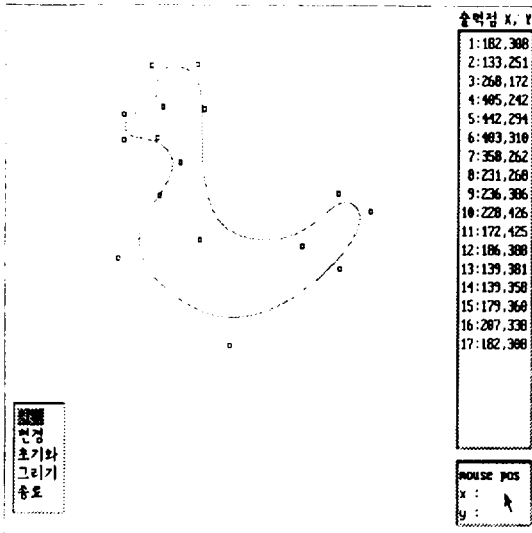
(그림 6) 입력형상2의 다각형 연결

(Fig. 6) Polyline of input shape-2

표준 형상의 각 축의 최대, 최소값에 따른 길이와 오차합의 비율이다. 상이도합은 각 축의 평균값이다. 유사도(전체)는 전체의 유사도를 위해(1-상이도) 값의 백분율이다. 입력영상의 적합도 검사에서 입력형상 1은 표준형상과 39%의

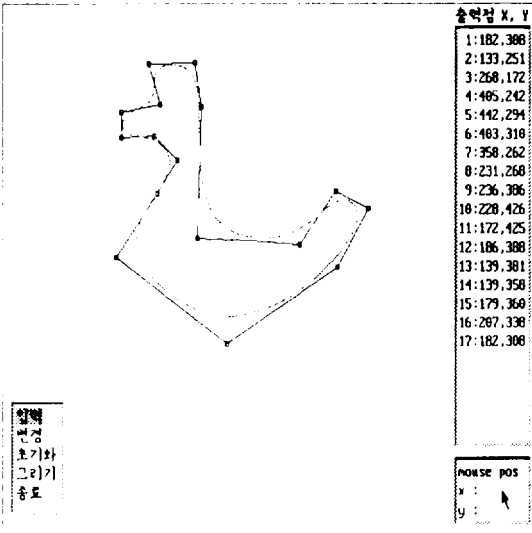
(표 1) 타동사와 목적어의 동시발생빈도와 상호정보
(Table 1) Result of matching experiment by each input shape

표준형상	입력형상 1		입력형상 2		입력형상 3		
	제어점	오차	제어점	오차	제어점	오차	
171	302	167 286	4 16	169 295	2 7	182 308	11 6
397	246	341 251	56 5	363 248	4 2	405 242	8 4
360	269	362 273	2 4	361 271	1 2	358 262	2 7
234	307	261 312	27 5	244 310	10 3	231 268	3 39
232	388	229 360	3 28	231 372	1 16	236 386	4 2
182	386	188 376	6 10	185 381	3 5	186 388	4 2
178	356	189 351	11 5	188 356	10 0	179 360	1 4
199	334	204 322	5 12	202 329	3 5	207 338	8 4
171	301	167 286	4 15	169 295	2 6	182 308	11 7
오차합		118 100		36 46		52 75	
상이도		382 394		117 181		168 295	
상이도(합)		388 (39%)		149 (15%)		232 (23%)	
유사도(전체)		61%		85%		77%	



(그림 7) 입력형상3의 제어점 검출

(Fig. 7) Extraction of control points from input shape-3



(그림 8) 입력형상3의 다각형 연결

(Fig. 8) Polyline of input shape-3

상이도를 갖고 있고, 입력형상2는 15%의 표준형상과 상이도, 입력형상 3은 표준형상과 23%의 상이도를 갖음을 알 수 있다. 여기에서 말하는 유사도 85%는 본 알고리즘의 평균이나 최대 인식율이 아니고 여러가지 입력 형상에 따라 표준형상에 가까운 정도를 나타내는 것이다. 좀더 가까운 형상으로 계산하면 100%에 가까운 유사도를 나타나게 되므로 여기의 %는 의미가 없고 실제 어떤 형상의 데이터가 입력되고 어떤 문턱치 값을 잡느냐에 따라 식별은 이루어진다. 윤곽선 전체의 데이터를 이용한 유사도 검사시에는 잡음에 대한 민감한 반응으로 형상의 왜곡을 가져올 수 있고 불필요한 처리를 가져오며 데이터가 조금만 커져도 처리시간으로 인하여 유사도 검사를 할 수 없다. 본 연구에서의 제어점을 기준으로한 유사도 검사가 많은 처리시간의 단축과 인식의 정확성을 가져왔다.

5. 결론

목적물의 윤곽선을 B-스프라인 곡선 방법으로 형상을 정의하여 그 제어점들을 특징으로 추출하여 형상의 표현과 인식이 되도록 알고리즘을 제안하고 실험을 하였다. 목적물의 외곽선 데이터

전체를 이용한 적합도 검사에서의 시간을 절약하고 정확한 인식이 되도록 하였다. 같은 목적물이 투사되는 방향에 따라 다르게 보이는 형상을 같은 목적물로 인식되도록 투영방법의 적용과 은둔선의 검사도 할 수 있는 기능의 추가로 많은 응용에 이용될 수 있다. 장차의 연구과제는, 어파인 변환식을 포함한 데이터의 표현과 인식이 되도록 하고, 이 변환 내용들을 포괄적으로 수용할 수 있는 알고리즘의 개발이다. 이러한 보다 진보된 알고리즘으로 자동 서명자 확인 시스템, 자동 필적 감정 시스템, 문자인식 시스템, 침입자 자동 식별 시스템등에 응용될 수 있을 것이다. 또한 영상 데이터베이스 응용에서 어떤 영상을 가지고 직접 그 영상에 적합한 영상을 검색하는데 영상 키로 이용하는데 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. Rosenfeld et al., "Scene Labeling by Relaxation Operations," IEEE Trans. SMC-6, pp. 420-433, 1976.
- [2] L. Davis, "Shape Matching Using Relaxation Techniques," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-1, pp. 60-72, 1979.
- [3] K. Yamamoto and A. Rosenfeld, "Recognition of Hand-Printed KANJI Characters by A Relaxation Method," Proceedings of 6th ICPR, pp. 395-398, 1982.
- [4] E. Persoon and K. S. Fu, "Shape Discrimination Using Fourier Descriptors," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, pp. 388-397, May 1986.
- [5] H. Asada and M. Brady, "The Curvature Primal Sketch," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, pp. 2-14, Jan. 1986.
- [6] R. L. Kashyap and R. Chellappa, "Stochastic Models for Closed Boundary Analysis: Representation and Reconstruction," IEEE Trans. Information Theory, Vol. IT-27, pp. 627-637, Sep. 1981.
- [7] P. J. Besl and R. C. Jain, "3D Object Recognition," Computer Surveys, Vol. 17, No. 1, March 1985.
- [8] D. Forsyth, J. Mundy, A. Zisserman and C. Brown, "Projective Invariant Representation using Implicit Algebraic Curves," Proceedings of the European Conference on Computer Vision, 1990.
- [9] F. S. Cohen and J. Y. Wang, "3-D recognition and Shape Estimation from Image Contours," Proceedings of 1992 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Urbana Champaign, Illinois, pp. 722-725, 1992.
- [10] Fernand S. Cohen, Zhaohui Huang and Zhengwei Yang, "Curve Recognition using B-spline Representation," Proceedings on IEEE workshop on Application of Computer Vision, pp. 213-220, Nov. 1992.
- [11] L. Van Gool, P. Kempenaers, and A. Oosterlinck, "Recognition and semi-differential invariants," Proceedings on IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 454-460, June 1991.
- [12] Bimal Kumar Ray and Kumar S. Ray, "Determination of Optimal Polygon from Digital Curve Using L1 Norm," IEEE Trans. on Pattern Recognition, Vol. 26, No. 4, pp. 505-509, 1993.
- [13] Carlo Arcelli and Giuliana Ramella, "Finding Contour-Based Abstractions of Planar Patterns," IEEE Trans on Pattern Recognition, Vol. 26, No. 10, pp. 1563-1577, 1993.
- [14] Donald Hearn and M. Pauline Baker, "Computer Graphics: 2nd Ed.," Prentice-

Hall, 1994.

- [15] Gerald Farin, "Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design A Practical Guide, 3rd Ed.," Academic Press, 1993.
- [16] Morton Nadler and Eric P. Smith, "Pattern Recognition Engineering," John Wiley and Sons, 1993.
- [17] 오영환, "패턴 인식론", 정익사, 1991.
- [18] 김은순, 이성환, "Coons 모델을 이용한 비선형 변환된 문서영상의 효율적인 복원", 제1회 문자인식 워크샵 논문집, pp. 81-88, 1993.
- [19] 김은순, 이성환, "비선형 변환된 영상의 인식을 위한 효과적인 영상복원 기법", 인공

지능 연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 96-101, 1993.



고 찬

1974년 경희대학교 공과대학 기계공학과 졸업(공학사)
 1991년 경희대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1992년~93년 미국 North Carolina State University, Post Doc.
 1994년~95년 미국 Stanford 대학, CDR 연구소 객원 연구원
 1987년 정보처리 기술사 자격취득
 1974년~78년 해군대학 컴퓨터교관(해군장교 복무)
 1982년~현재 서울산업대학교 전자계산학과 교수
 관심분야: 그래픽스 및 패턴인식, 영상 DB, Expert System for CIM