

푸리에 서술자를 이용한 물체 인식

오 춘 석[†] 박 용 범^{**}

요 약

푸리에 서술자는 물체의 경계를 표현하는 일반적인 방법이다. 본 논문에서는 이 푸리에 서술자를 이용하여 물체를 인식할 수 있는 알고리즘을 구축하고 실제로 8가지의 도구들을 구분 인식 할 수 있는지를 직접 적용하여 알고리즘의 타당성 검토와 여러 분야에 응용될 수 있음을 추론하였다. 이 알고리즘 구축은 이미지 형성 과정과 물체 인식 과정으로 분리하여 생각한다. 이미지 형성 과정은 가능한 인식을 용이하도록 적절한 조도, 투영 시각, 배경과 물체간에 선명한 대비를 이루는 것이 중요하다. 물체 인식 과정은 푸리에 서술자와 경계선 매칭을 사용하여 여러 물체 가운데 최소 거리를 산출한 것을 인식한다. 또한 물체가 회전, 위치 변위, 확대 축소 변형에도 인식이 가능한지를 시험한다. 인식 과정을 신속히 수행하기 위해 푸리에 서술자 1024개 중에 1/4 만을 사용하여 이를 달성한다.

Object Recognition by Fourier Descriptor

Choon Suk OH[†] and Young Bum PARK^{**}

ABSTRACT

Fourier Descriptors (FD) is a common way for representing the boundary of an object. In this paper, an algorithm has been implemented to do object recognition by using FD. This is applied to various tool object, and is tested. This implementation contains two parts: image acquisition and object recognition. Appropriate lighting, viewing angle, and strong contrast of background and object are taken into account in this aspect. Minimum distances are calculated by using FD's and boundary matching among objects on the process of object recognition. Rotation, translation and scaling of the object will not influence the performance of the algorithm. Experiments show that we can use only one fourth of 1024 FD coefficients to do rapid object recognition.

1. 서 론

물체를 인식하기 위해 물체의 경계선을 추출하고 그 경계선으로 부터 다른 물체와 식별될 수 있는 정보를 찾아내는 과정이 중요하다. 이런 정보 추출의 목적으로 경계선에 Discrete Fourier Transform(DFT)이 사용된다[1].

가령 어떤 물체의 경계선이 N 점들로 구성되었다면 복소수 평면 상의 표현으로 이 점들을 복소수 $x(n) + jy(n) = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 로 표현 가능하다. 따라서 임의의 점부터 시작하여 경계선의 주위를

한바퀴 돌면 복소수 시퀀스(sequence) $x(n) + jy(n)$ 가 형성된다. 이 시퀀스에 DFT를 취하여 얻어진 결과를 푸리에 서술자(Fourier Descriptor; FD)라 한다. DFT는 역변환이 가능한 선형 변환이므로 이를 통해 어떤 정보가 얻어지거나 손실되는 않지만 공간 주파수 도면에서 간단한 조작을 통해 어떤 물체의 회전, 위치 변위, 확대 축소에 불변하는 특성을 발견할 수 있다.

따라서 FD의 이런 특성을 이용해 최근에 다양한 분야의 물체 인식에 응용[2, 3, 4, 5]되고 있으며, FD와 다른 알고리즘을 연계하는 연구[6, 7]도 행해지고 있다. 본 연구에서는 FD와 경계선 추적을 연결하고, 거기에 인식의 척도가 되는 거리를 정의하여 도구 인식의 응용 영역을 시험한다.

[†] 정 회 원: 선문대학교 전자공학과 조교수

^{**} 정 회 원: 단국대학교 전자계산학과 전임강사

논문접수: 1994년 2월 7일, 심사완료: 1994년 3월 28일

2. 경계선 추적

물체의 경계선 추출을 위해 대상 이미지가 2진값을 갖도록 다음 식 1)의 역치 처리(thresholding)를 행한다.

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & ; f(i, j) > t \\ 0 & ; f(i, j) < t \end{cases} \quad (1)$$

2진값 이미지 $f(i, j)$ 중에서 1의 부분은 대상도형을, 0의 부분은 배경을 그림 2b 참조) 나타낸다. 이렇게 얻어진 2진값 이미지에서 경계선만을 추출하는 과정[8]은 다음과 같이 묘사된다.

(가) 물체의 경계선 바로 전 임의의 화소(Pixel)로부터 경계선 추적이 시작된다.

(나) 경계선 안쪽으로 한 화소만큼 직진한 후 좌측방향으로 90도 돌아 한 화소만큼 전진한 후 아직도 경계선 안에 있으면 직진하고 경계선 밖에 있으면 우측으로 90도 돌아 한 화소 전진한다.

(다) 시작점에 도달할 때까지 (나)의 과정을 되풀이한다.

경계선 추적을 수행하는 과정에서 한 화소만큼 전진할 때 마다 해당 화소가 시작점인지를 검사하여 중복 추적되는 일이 없도록 주의하여야 한다.

3. 푸리에 서술자 (FD)

N개의 2차원 점들로 구성되어 있는 경계선은 복소수 평면에서 다음과 같이 표현된다.

$$u(\pi) = x(\pi) - jy(\pi), \quad \pi = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

따라서 이것의 DFT 표현[9]은 다음과 같다.

$$u(\pi) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} a(k) \exp\left(\frac{j2\pi k\pi}{N}\right), \quad 0 \leq \pi \leq N-1 \quad (3)$$

$$a(k) = \sum_{\pi=0}^{N-1} u(\pi) \exp\left(\frac{-j2\pi k\pi}{N}\right), \quad 0 \leq k \leq N-1$$

DFT 계수 $a(k)$ 는 경계선의 푸리에 서술자라 한다. 물체 경계선에 변형인 회전, 위치 변위, 확대

축소에 따른 푸리에 서술자의 변화를 관찰하면 다음 사실을 알 수 있다. 위치 변위에 따른 푸리에 서술자는 단지 $k=0$ 을 제외하고 차이가 없다. 단지 위치 변위로는 공간 주파수 도면에서 직류 성분만이 차이가 있을 뿐이다. 확대 축소에 따른 푸리에 서술자는 $a(k)$ 의 확대 축소로 나타난다. 또한 각 θ 만큼 회전한 경우에는 $a(k)$ 의 θ 만큼 위상 차이를 야기시킨다. 그리고 경계선 추적의 시작점에 따른 $a(k)$ 의 변화는 $a(k)$ 의 변조 형태로 표현된다. 푸리에 서술자가 표현된 후에 표준 크기로 정상화[10]가 필요하므로 $a(0)$ 의 직류 성분으로 나누어 수행한다.

3. 경계선 매칭

푸리에 서술자는 비록 기하학적으로 변형이 생긴 형태에 대해서도 유사성을 찾아 매칭시키는데 사용된다. 만약 $a(k)$ 와 $b(k)$ 를 경계선 $u(n)$ 과 $v(n)$ 의 FD라고 한다면 다음에 정의되는 거리 척도에 의해 두 형태의 유사성을 평가할 수 있다. 거리가 근사하면 같은 물체로 분류시킬 수 있지만 항상 이런 판단이 정확하다고 볼 수는 없다. 거리의 척도를 정의한다면

$$d(\alpha, \theta_0, n_0) = \min \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} \left| a(k) - ab(k) \exp \left[j \left(\frac{2\pi n_0}{N} + \theta_0 \right) \right] \right|^2 \right\} \quad (4)$$

이 된다. α, θ_0, n_0 은 각각 확대 축소, 회전각, FD 변위점이다. 변수 α, θ_0, n_0 들이 확대 축소, 회전, FD 변위점의 영향을 최소화 하도록 선택되어 진다면 거리값이 가장 적을 수 있다. 그러나 위치 변위는 FD의 $a(0)$ 항을 정규화 한다면 무시할 수 있다. 따라서 거리를 최소화하기 위해 α, θ_0 변수에 대해 미분을 취하고 각각을 영으로 한다면 다음 식과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial d(\alpha, \theta_0, n_0)}{\partial \alpha} = 2\alpha \sum_{k=0}^{N-1} |b(k)|^2 - 2 \sum_{k=0}^{N-1} c(k) \cos(\Psi_k - k\phi - \theta_0) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial d(\alpha, \theta_0, n_0)}{\partial \theta_0} = 2\alpha \sum_{k=0}^{N-1} c(k) \sin(\Psi_k - k\phi - \theta_0) = 0$$

여기서 $c(k) \cdot b^k = c(k) \cdot e^{j\psi_k}$ 이고 $\phi = 2\pi n_0 / N$ 이다.

따라서 (식 5)를 정리하면 확대 축소 α 와 회전 변수 θ 는

$$\alpha = \frac{\sum_{k=1}^{N-1} c(k) \cos(\Psi_k - k\phi - \theta_0)}{\left| \sum_{k=1}^{N-1} c(k) \right|^2} \quad (6)$$

$$\theta_0 = \tan^{-1} \frac{\sum_{k=0}^{N-1} c(k) \sin(\Psi_k - k\phi)}{\sum_{k=0}^{N-1} c(k) \cos(\Psi_k - k\phi)}$$

로 얻어진다.

FD 변위점 n 의 0, 1, 2, ..., $N-1$ 에 대해서 (식 6)에서 구한 변수 α 와 θ_0 를 (식 4)에 대입하면 거리 d 를 구할 수 있다. FD 변위점 n 중에서 최소 거리를 갖도록 하는 최소 거리점 [표 1 참조]이 존재한다. 따라서 거리 $d(\alpha, \theta_0, n)$ 는 FD를 사용하여 물체의 형태를 비교하는 척도로써 정의된다.

4. 물체 인식 알고리즘

물체 인식 시스템을 구성하기 위해 두가지 단계로 나눌 수 있다. 첫째로 인식에 사용될 원형의 물체 집합을 구성한 후, 둘째로 시험 입력 물체를 원형 물체와 매칭 작업을 수행하고 인식 결정을 내리는 것이다.

4.1 원형의 FD들 구성

물체 인식을 수행하기 전에 인식을 요하는 물체들의 원형 집합을 구성하여 각각의 FD를 계산한다. 물론 이 집합은 각 물체마다 한가지의 원형 이미지로 구성된다. 가능하면 물체 입력 중 동일한 촬영 거리, 각도, 환경, 조도 등을 조성하여 준다.

4.2 물체 인식

시험 입력 물체가 주어진다면 다음과 같은 과정을 통해 인식 식별이 수행되어진다.

- (가) 간단한 역치 처리에 의해 입력 이미지를 2진화 한다. 이것은 (식 1)을 이용한 처리이다.

- (나) 경계선 추적 알고리즘을 사용하여 경계선을 추출하는 단계이다.

- (다) 필요에 따라 경계 화소들 간에 브간법을 이용하여 경계선의 복소수 시퀀스 갯수(예로 $N=1024$)를 동일하게 맞추는 후 FD를 구한다.

- (라) 원형 이미지의 FD와 (다)에서 구한 시험 입력 이미지의 FD로 (식 4)를 이용해 최소 거리 d 를 계산한다.

- (마) (라)의 과정을 다른 원형 이미지의 FD에 대해서도 수행한다.

- (바) (라)와 (마)의 과정 중에서 최소 거리 d 를 선택한다.

- (사) 회전각, 확대 축소 비율, 최소 거리점, 거리등을 계산한다.

5. 실질적인 고려사항

위에서 언급되어진 물체 인식 알고리즘을 구축하기 위해 지적해야 할 점들이 있다. 우선 이미지 형성 단계에 있어 물체와 배경간에 뚜렷한 대조를 이루어야 한다. 임의로 이미지 환경을 구성할 수 있기 때문에 이것은 합리적인 가정으로 받아들일 수 있다. 뚜렷한 대조로 역치 처리에 의한 이진화 작업이 용이하게 수행된다. 만약 그렇지 않다면 복잡한 이미지 분할 방법이 필요하다. 조도 상태와 촬영 각도도 모든 이미지 형성 과정에 있어 동일한 조건이 되어야 한다.

한편 물체 인식 단계에서는 인식 식별을 가속시키기 위해 FD 계산에 Fast Fourier Transform (FFT)을 사용한다. FFT의 길이를 2의 멱수를 사용하므로 입력 데이터 수도 이에 맞추어야 한다. 따라서 FFT를 취하기 전에 특정 시험 이미지의 경계선으로 부터 복소수 시퀀스를 구성하기 위해 샘플링하되 입력점의 수가 2의 멱수가 되도록 조정한다. 물론 시험 입력 이미지와 원형 이미지의 경계선 크기가 다른 점에 유의해야 한다. 이것을 간단히 통합하기 위해 시험 입력 이미지와 원형 이미지의 경계선을 보간(interpolation)법을 이용하여 입력점 수가 2의 멱수인 1024로 수정 변경한다.

이것은 이미지의 종류, 크기, 해상도 등에 따라 경계선의 샘플링의 수가 달라질 수 있기 때문이다. 그 수가 2의 멱수이면 FFT를 사용하여 인식을 신속히 수행 할 수 있다.

경계선 추출에 있어 고립된 점에서 부터 추적이 시작되면 경계선의 온전한 추출이 불가능하다. 따라서 고립된 부분을 제거한 후 경계선 추출이 시작된다.

경계 매칭에서는 푸리에 서술자 FD의 모든 계수들이 이용되지는 않는다. 단지 적류성분을 포함하는 주변의 계수(약 5-10개 정도)가 큰 값을 가지므로 이들이 주요한 성분으로 작용한다. FD 계수 중 고주파 성분인 부분을 제거하므로 물체의 경계가 완만한 곡선을 그리게 되고 섬세하고 자세한 표현이 불가능하게 된다. 그렇지만 경계 매칭에는 이렇게 섬세한 부분까지 필요하지 않다. 실상 인식의 오류에도 거의 영향을 미치지 못한다. 왜냐하면 고주파 성분은 직류 성분의 주변의 값에 비해 크기가 극히 작기 때문이다.

거리 d 를 구하는 과정에서 시작점을 0부터 $N-1$ 까지 차례로 1씩 증가 시키면서 최소 거리를 산출한다. 그러나 이 방법은 계산하는데 많은 시간이 소요되므로 실시간 처리를 요할 때는 문제가 된다. 모든 점에 대해 최소 거리를 구하지 않고 4씩 증가시켜 인식 속도를 향상시킬 수 있다. 실제 실험 결과에서도 이 방법으로 인식 속도를 높일 수 있었다. 원형 이미지와 시험 입력 이미지의 경계선 추출점 수를 맞추기 위해 이미 보간법을 사용하였기 때문에 4씩 증가시켜도 무리는 없다.

마지막으로 경계선의 모양이 같아도 경계선 안에 다른 모양을 갖는 경우(예로서 구멍이 존재 할 때)에 FD 방법은 정확한 물체 인식을 할 수 없어 수정을 요한다. 실제 예로서 (그림 2b)의 조절 렌치 경우 FD를 하기 위해 외부 경계선만 추출하고 그 안에 존재하는 작은 구멍은 (그림 2c)처럼 제거된다.

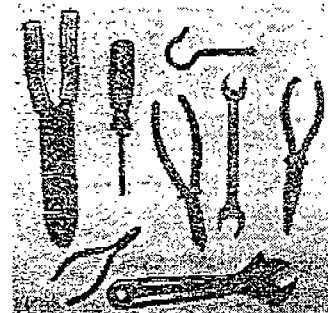
6. 가능한 인식 에러 요소들

우선 인식 왜곡 요소들을 고려하면 다음 처럼 정

리할 수 있다. 첫째로, 만약 시험 입력 이미지에 여러가지의 물체가 존재하고 이들이 겹쳐 있지 않다면 경계선 매칭 알고리즘에 의해 먼저 찾아지는 물체를 인식하게 될 것이다. 한 장면안에 여러가지의 물체들이 존재한다면 링크드 리스트(linked-list)로 조합하여 하나 하나씩 매칭을 수행하여야 한다. 본 연구에서는 링크드 리스트를 사용하지 않고 (그림 3)에서 (그림 9)처럼 별개의 도구에 대해 인식을 수행하였다. 둘째로, 만약 입력 이미지가 미리 구축되어 있는 원형 물체 집합안에 포함되어 있지 않다면 매칭에 의해 가장 근사한 것 하나가 선택되므로 인식 오류를 범한다. 결국 최소 거리의 한계치를 설정하여 한계치를 넘는 경우에 대해서는 인식이 불가능한 물체로 결정하도록 하는 것이 중요하다. 이러한 한계치를 구하려면 다수의 시험 물체 형태를 실험하여 본 후 합리적이고 실용적인 결과치를 생성할 수 있다. 셋째로, 두 물체가 유사한 경계선을 갖지만 경계선 안에서는 상이한 내용을 갖는다면 본 연구에서는 같은 물체로 인식하게 된다. 넷째로, 입력 이미지 상태가 복잡하여 단순한 이미지 분할로는 물체를 구성하는 영역 할당에 오류를 범하게 된다. 물체의 영역이 가장 크다고 가정한다면 최대의 연결 경계선을 이루는 영역을 찾으면 이런 문제점을 해결할 수 있다.

7. 시험 환경과 결과

(그림 1)과 같이 인식 시험 대상으로 8가지 도구를 제시하고 있다. 8가지의 도구는 조절 렌치



(그림 1) 푸리에 서술자를 이용한 인식 알고리즘을 시험하기 위한 물체 집합

(Fig. 1) Object-set for testing the recognition algorithm

(adjustable wrench), 컷터(cutter), 후크(hook), 플라이어(plier), 렌치(wrench), 스크루 드라이버(screw driver), 소형 컷터(small cutter), 와이어 스트리퍼(wire stripper)이다.

프레임 버퍼가 내장된 IBM PC상에 CCD 카메라를 연결하여 8가지 도구의 원형 이미지를 얻었다. CCD 카메라의 줌(zoom)을 이용해 확대 축소하고, 도구들의 위치 변위와 회전을 주어 시험 입력 이미지들을 얻었다.

(그림 2a)에 역치 처리를 행하던 2진 이미지(그림 2b)가 된다. (그림 2c)는 경계선 추출에 의해 얻어진 이미지이다. (그림 2d)는 1024개의 FD의 계수들 중에서 직류 성분을 중심으로 45개의 FD 계수만 사용하는 역 푸리에 변환을 통해 얻은 결과이다. 예상했던 대로 (그림 2c)에 비해 (그림 2d)는 날카로운 경계선들이 완만하게 변형된 것을 볼 수 있다. 이것은 고주파 성분들이 제거되었기 때문이다. 따라서 이렇게 재구성된 경계선 이미지들은 경계선 매칭 알고리즘을 적용하기에 아무런 문제가 없음을 알 수 있으며 또한 매칭 속도를 신속히 행할 수 있다. 시험 입력 이미지의 FD 계수와 원형 이미지의 FD 계수를 (식 4)을 사용하여 최소 거리를 구하면 된다.

(그림 3)부터 (그림 9)까지 (a)는 변형된 시험 입력 이미지이고, (b)는 매칭을 위한 (a)의 경계선 이미지이고, (c)는 원형 이미지이고 (d)는 (c)의 경계선 이미지이다.

지면 상의 문제로 와이어 스트리퍼에 대한 이미지를 생략하고 시험의 결과만을 <표 1>에 정리하여 기록하였다. <표 1>의 측정된 파라메타는 회전각, 확대 축소, 최소 거리점, 거리들로 구성된다. 회전각은 원형 이미지의 중심을 기준으로 시계방향으로 얼마만큼 회전 되었는지를 나타내는 각도이다. 확대 축소는 시험 입력 이미지의 원형 이미지에 대한 크기 비율로 표현된다. 최소 거리점은 1024개의 FD 변위점 중에서 매칭 거리를 최소화 하는 점이다. 마지막으로 거리는 시험 입력 이미지의 FD와 8가지 원형 이미지의 FD를 (식 4)에 대입하여 구해진 최소거리(거리 단위는 단지 크기만

<표 1> 8가지 시험 입력 이미지들을 푸리에 서술자를 이용하여 원형 이미지와 겹쳐서 대칭한 후 회전각, 확대율, 최소 거리점, 거리를 구한 결과

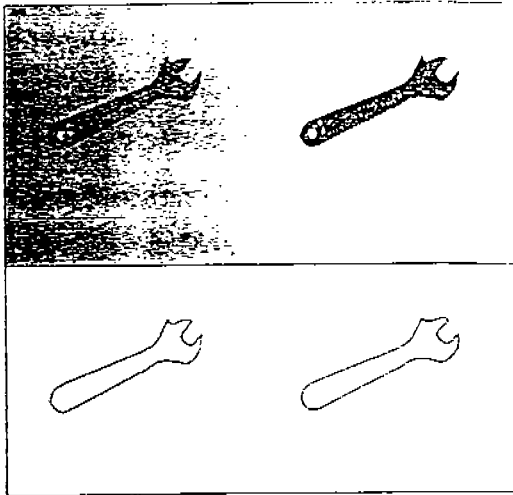
<Table 1> Results of rotation, scaling, minimum distance after making boundary matching between 8 test images and prototype image respectively

물체 명칭	회전각	확대율	최소 거리점	거리							
				A	W	C	H	F	W	S	C
Adj. Wrench	-10°	1.39	177	1238	981	705	951	251	255	1024	1182
Cutter	44°	1.47	561	1963	120	743	543	1107	1063	429	257
Hook	40°	1.54	1021	671	808	166	845	1740	1683	994	1357
Plier	45°	1.32	957	1921	285	678	155	1033	1017	676	1111
Wrench	-7°	1.39	365	1350	1043	756	1054	1153	215	1046	1221
Screw Driver	-50°	1.33	12	398	1043	773	1225	1374	174	1043	1191
Small Cutter	5°	1.44	757	1078	784	827	1094	974	333	1111	1111
Wire Stripper	24°	1.34	1017	1055	269	805	417	1103	1045	389	1111

표시)를 의미한다. 각 도구마다 5개 씩의 변형된 입력 시험 이미지를 사용하여 총 32개의 시험 입력 이미지들에 대해서 구해진 결과를 살펴보면 100%의 정확도를 가지고 제대로 인식할 수 있었다. <표 1>에서는 8가지의 시험 입력 이미지에 대한 결과만을 표기했다. 물론 시험 입력 이미지가 원형 이미지에 대해 임의의 확대 축소, 회전, 위치 변위의 3가지 요인만을 변형시켰다. 만약 시험 입력 이미지에 다른 요소 즉 물체의 뒤틀림 같은 변형이 있었다면 100%의 정확도는 보장할 수는 없을 것이다. 구해진 거리를 살펴보면 넓은 범위에 값을 가지고 있는데 이것은 매칭 정도를 나타내는 척도로 사용될 수 있다. 예로서 조절 렌치와 렌치의 거리는 <표 1>에서처럼 어느 정도 근사치를 갖으므로 이 두 물체는 거의 근사한 형태임을 알 수 있다.

8. 결론

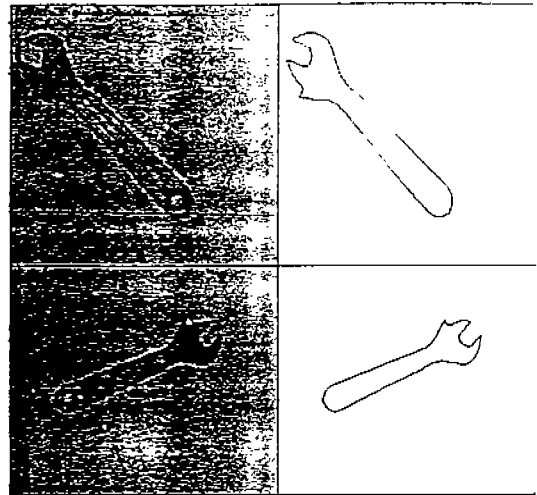
비록 많은 입력 시험 이미지를 사용하지는 않았지만 위에서 구축한 물체 인식 시스템을 잘 작동함을 보였다. 시험 입력 이미지가 100% 인식되었고 구해진 네가지의 파라메타 결과치를 시험 입력 이미지와 대조하여도 오류가 없었다. 단지 1024개의 FD 계수중에 1/4만을 이용해 경계선 매칭을 하여



(그림 2) 조절렌치 이미지

- | | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |
- a. 원형 이미지
 - b. (a)의 역치처리 한 2진값 이미지
 - c. (b)의 경계선
 - d. FD계수 45개르 재구성된 이미지

- Fig. 2) Adjustable wrench
- a. Prototype image
- b. Segmented image of (a) by thresholding
- c. Boundary extracted by contour following of (b)
- d. Reconstructed boundary by 45 points of FD coefficient



(그림 3) 조절렌치 이미지

- | | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |
- a. 시험 입력 이미지
 - b. (a)의 경계선
 - c. 원형 이미지
 - d. (c)의 경계선

- (Fig. 3) Adjustable wrench
- a. Input image
- b. Boundary image of (a)
- c. Prototype image
- d. Boundary image of (c)

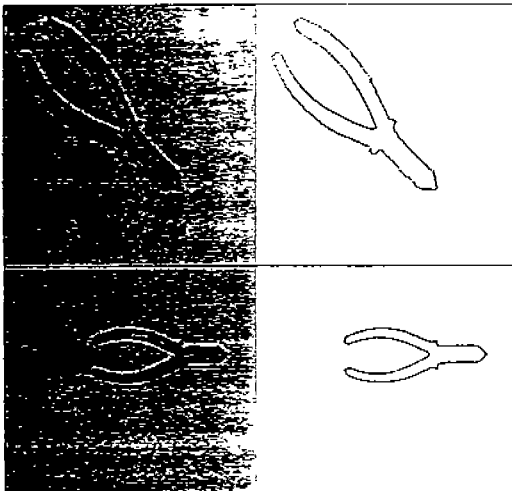
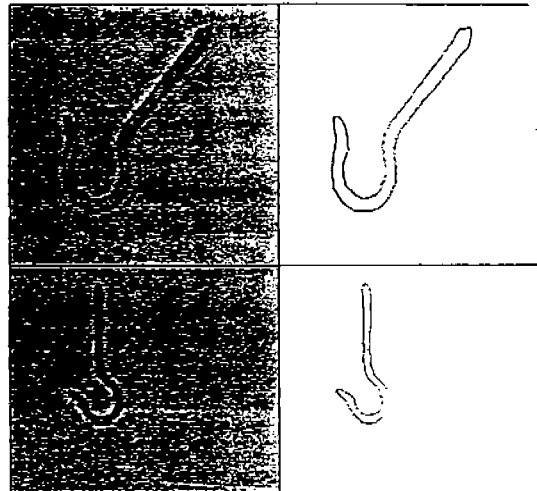


그림 4) 커터 이미지

- | | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |
- a. 시험 입력 이미지
 - b. (a)의 경계선
 - c. 원형 이미지
 - d. (c)의 경계선

Fig. 4) Cutter

- a. Input image
- b. Boundary image of (a)
- c. Prototype image
- d. Boundary image of (c)



(그림 5) 후크 이미지

- | | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |
- a. 시험 입력 이미지
 - b. (a)의 경계선
 - c. 원형 이미지
 - d. (c)의 경계선

(Fig. 5) Hook

- a. Input image
- b. Boundary image of (a)
- c. Prototype image
- d. Boundary image of (c)

도 여전히 같은 결과를 얻을 수 있어 매칭 속도도 신속히 할 수 있었다. 푸리에 서술자와 경계선 매

칭을 통해 최소 거리를 구하므로 위치 변위, 회전, 확대 축소 뿐만 아니라 어느 정도 변형된 경계선에

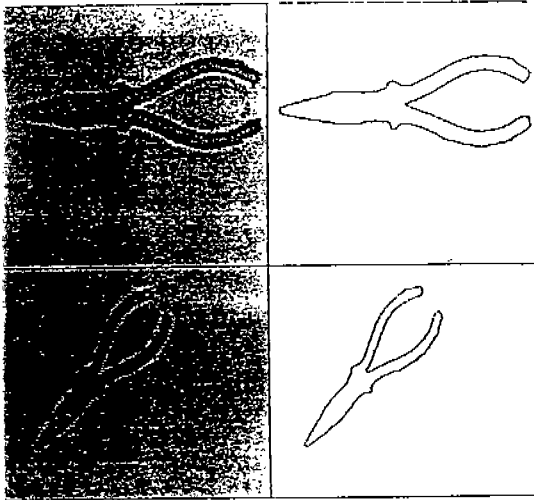
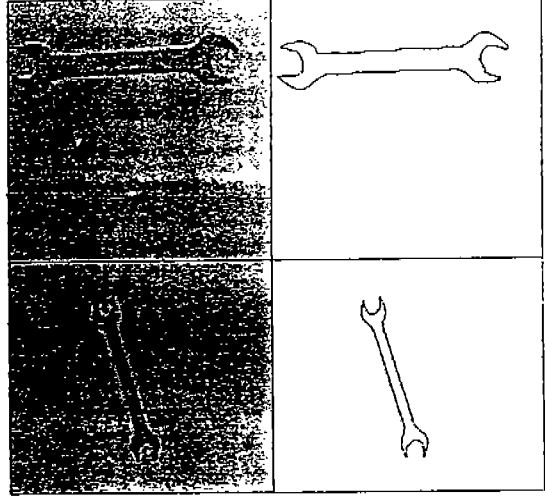


그림 6) 플라이어 이미지 (Fig. 6) Plier
 a. 시험 입력 이미지 a. Input image
 b. (a)의 경계선 b. Boundary image of (a)
 c. 원형 이미지 c. Prototype image
 d. (c)의 경계선 d. Boundary image of (c)

a	b
c	d



(그림 7) 렌치 이미지 (Fig. 7) Wrench
 a. 시험 입력 이미지 a. Input image
 b. (a)의 경계선 b. Boundary image of (a)
 c. 원형 이미지 c. Prototype image
 d. (c)의 경계선 d. Boundary image of (c)

a	b
c	d

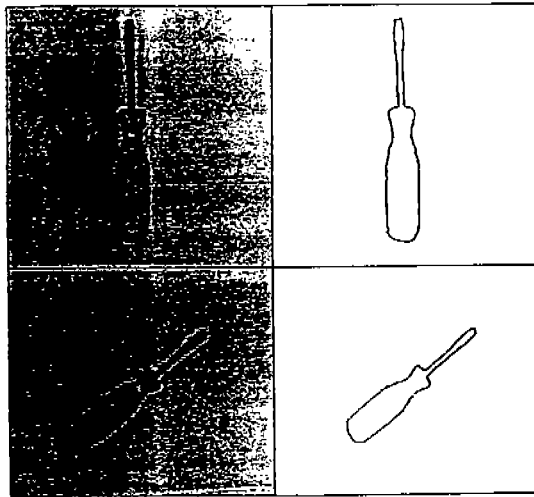
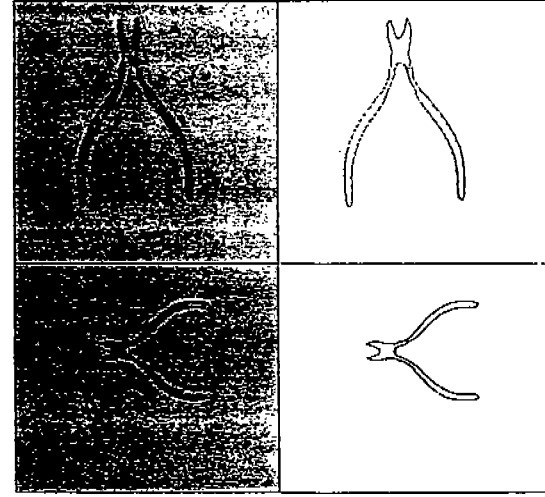


그림 8) 스크루 드라이버 이미지 (Fig. 8) Screw driver
 a. 시험 입력 이미지 a. Input image
 b. (a)의 경계선 b. Boundary image of (a)
 c. 원형 이미지 c. Prototype image
 d. (c)의 경계선 d. Boundary image of (c)

a	b
c	d



(그림 9) 소형 컷터 이미지 (Fig. 9) Small cutter
 a. 시험 입력 이미지 a. Input image
 b. (a)의 경계선 b. Boundary image of (a)
 c. 원형 이미지 c. Prototype image
 d. (c)의 경계선 d. Boundary image of (c)

a	b
c	d

대해서도 물체 인식이 가능하다.

앞으로의 연구 방향으로는 물체 경계선의 FD를 뉴럴 네트워크의 입력으로 사용한다면 물체 인식의 새

로운 결과를 도출할 수 있어 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] K. S. Fu, "Shape discrimination using Fourier descriptor", IEEE Trans. Sys. Man, Cyber. SMC-7, Mar. 1977.
- [2] K. Kamel, R. Abnous, and G. Sun, "A dynamic vision classification system using Fourier descriptors", IEEE Proceedings of Southeastcon '90-Technologies Today and Tomorrow, Vol 2. pp. 424-426, 1990.
- [3] C. Wu, X. Lu, D. Xiao, and Y. Jiang, "An effective regional descriptor and its application to target recognition", Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition, pp.671-673. Jun. 12-21, 1990.
- [4] V. Burdin, and L. Lecornu, "Description and reconstruction of 3D bone structures using Fourier descriptor", Proceedings of the 16th Annual International Conf. of the IEEE Eng. in Medicine and Biology Society, pp.1133-1134, Oct. 31-Nov. 3, 1991.
- [5] O. Mitchell, H. Kim, T. Grogan, and F. P. Kuhl, "Fourier descriptor base generic shape recognition", Technical Papers-1991 ACSM-ASPRS Annual Convention, pp.279-289. 1991.
- [6] E. R. Dougherty, R. P. Loce, "Projection-generated Fourier descriptors that are robust with respect to both random point noise and occlusion", Proceedings of SPIE, Vol.1349, pp.84-95, Jul. 10-13, 1990.
- [7] T. Grogan, S. Hsu, "Range effects of a Fourier descriptor based classifier", Technical Papers-1991 ACSM-ASPRS Annual Convention, pp.141-149, 1991.
- [8] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, pp.358-359, Prentice-Hall, New York, 1985.
- [9] N. Ahmed and K. R. Rao, *Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing*, pp.31, Springer-Verlag, Berlin, 1975.
- [10] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, pp.497-503, Addison-Wesley, New York, 1992.



오 춘 석

1980년 서강대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1986년 미국 마켓대학 컴퓨터공학과(석사)
 1992년 미국 아리조나대학 컴퓨터공학과 박사
 1987년~1993년 전자통신연구소 선임연구원

1993년~현재 선문대학교 전자공학과 조교수
 관심분야: 영상처리, 신호추경, 가상현실



박 용 범

1985년 서강대학교 전자계산학과 졸업(학사)
 1987년 미국 폴리터대학 전산학과(석사)
 1991년 미국 폴리터대학 전산학과(박사)
 1991년 미국 폴리터대학 Adjunct 교수

1992년 현대전자 연구소 선임연구원
 1993년~현재 단국대학교 전산학과 전임강사
 관심분야: 뉴럴네트, 음성 및 영상처리