

Modified Incremental Circle Transform 이론과 2차원의 다각형 물체 인식에의 응용

(A Theory of Modified Incremental Circle Transform and its Application for Recognition of Two-Dimensional Polygonal Objects)

韓 東 一*, 劉 凡 材*, 吳 尚 錄**, 卞 增 男*

(Dong Il Han, Bum Jae You, Sang Rok Oh, and Zeung Nam Bien)

要 約

본 논문에서는 Modified Incremental Circle Transform의 개념을 이용한 물체인식 알고리즘이 제안되었다. 물체의 경계를 단위원 내부로 변환시키는 Modified Incremental Circle Transform은 이진화된 디지털영상으로부터 추출된 경계의 모양을 효과적으로 표현하고, 물체의 위치, 회전, 그리고 크기의 변화에 무관한 성질을 갖는 바 2차원의 다각형 물체를 효과적으로 인식하기 위한 특징치로 사용될 수 있다.

Abstract

A method of recognizing objects is proposed that uses a concept of modified incremental circle transform. The modified incremental circle transform, which maps boundaries of an object into an unit circle, represents efficiently the shape of the boundaries detected in digitized binary images of the objects. It is proved that modified incremental circle transform of object, which is invariant under object translation, rotation, and size, can be used as feature information for recognizing two dimensional polygonal object efficiently.

I. 서 론

공장자동화를 위하여 로봇의 적용범위가 증가됨에 따라서 시각 센서(vision sensor)를 비롯한 근접 센서(proximity sensor), 접촉 센서(touch sensor),

힘 센서(force sensor)등을 이용한 지각능력을 개량함으로써 로봇의 기능을 향상시키기위한 연구가 이루어지고 있다. 특히 인간의 눈과 같이 시각 센서는 로봇에게 지능적이고 융통성이 있게 주위 환경에 대응할 수 있는 능력을 부여하는바 매우 강력한 지각 장치로서 자동화를 위한 연구분야에서 널리 응용되고 있다.

시각 장치의 응용 분야로는 컨베이어 벨트(conveyor belt)상의 움직이는 물체를 잡는 작업, 각종 물체를 식별하여 분류하는 공정, 제품의 검사공정, 물체의 자세검출 및 각종 물체의 조립공정등이 있다.

*正會員, 韓國科學技術院 電氣및 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., KAIST)

**正會員, 韓國科學技術研究院 制御시스템 研究室
(Control Systems Lab., KIST)

接受日字: 1990年 3月 12日

이때, 물체의 분류 및 조립공정 등에 로봇을 이용한 경우 시각장치를 이용한 물체인식은 필수적인 바 현재도 많은 알고리즘들이 개발, 제안되고 있다.¹⁻⁹⁾

모멘트(moment)에 의한 방법¹⁾은 물체의 전 면적으로부터 모멘트들을 구한 다음, 이들의 선형결합을 이용하여 물체의 위치, 회전 및 크기의 변화에 무관한 불변모멘트(moment invariants)를 물체인식에 이용한다. 물체가 복잡해짐에 따라 필요한 불변모멘트의 수가 증가하며, 물체의 전 면적에 대해서 계산을 해야하므로 계산량이 매우 많아 처리시간이 길어진다.²⁾

Fourier Descriptor에 의한 방법³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾은 물체의 둘레를 회전하면서 경계의 각 점에서 접선을 그어 그 접선의 기울기에 대한 함수를 Fourier Series로 전개하여 그 계수를 비교함으로써 물체를 인식하는 방법이다. Fourier Series로 전개한 계수를 Fourier Descriptor라 하며 Fourier Descriptor를 구한 후에 이를 정규화(normalization)함으로써 물체의 위치와 회전 그리고 크기의 변화에 무관한 성질을 얻을 수 있다. 잘 정립된 이론적인 배경을 가진다는 장점을 가지고 있으나 복잡한 복소함수 계산과 삼각함수 계산이 많이 필요하고 정규화 과정이 포함되기 때문에 시간이 오래 걸리며 물체의 접선을 이용하므로 잡음에 의한 Fourier Descriptor의 변화가 크다는 단점이 있다.

Template Matching에 의한 방법⁷⁾은 모델 템플레이트와 실제의 영상을 직접 비교함으로써 물체인식을 수행하는 바 시간이 오래 걸리고 서로 다른 크기의 물체, 또는 경사도가 다른 물체를 비교하기 위해서는 여러가지 종류의 템플레이트를 가지고 있어야 한다.

Chain Coding에 의한 방법⁸⁾은 물체의 경계를 따라서 회전하면서 방향데이터를 얻은뒤에 이 값을 이용하여 모멘트들을 얻는다. 계산된 모멘트들의 선형결합으로부터 불변모멘트들을 얻을 수 있으며 이 값을 이용하여 서로 다른 물체를 인식한다.

Medial Axis Transform에 의한 방법⁹⁾은 2차원의 물체를 선으로 변환시킨다. 즉 물체를 물체 내부에 존재하는 선으로 변환시키며 이 선은 물체의 내부에서 경계까지의 가장 가까운 거리가 2개 이상인 점들의 집합이다. 이 알고리즘은 medial axis를 계산하는데 시간이 많이 걸리고 잡음에 매우 민감하다.

이상에서 여러가지 물체인식 알고리즘들을 살펴 보았다. 로봇트 비전에서 사용되는 알고리즘들은 잡음에 강하고 처리시간이 빨라야 한다는 시각에서 이상의 물체인식 알고리즘들은 실제 적용에 있어서 많은

문제점이 있다. 본 논문에서는 Modified Incremental Circle Transform을 새롭게 정의하고, 이를 응용하여 2차원 평면상의 다각형 물체에 대한 처리시간이 빠른 물체인식 알고리즘을 제안하고자 한다.

II. Modified Incremental Circle Transform 이론

평면상에 존재하는 물체의 경계(boundary)는 다음과 같이 변수 l 을 이용하여 벡터함수로 표시할 수 있다.

$$\alpha(l) = (x(l), y(l)), 0 \leq l \leq L$$

이때, 곡선 $\alpha(l), 0 \leq l \leq L$ 은 꼬이지 않은 닫힌 곡선(simple closed curve)이고, 독립변수 l 은 물체의 경계를 따라 반시계방향으로 운동함에 따라 증가한다고 가정한다.

곡선 $\alpha(l), 0 \leq l \leq L$ 의 효과적인 기술을 위하여 [10]에서는 증분원변환(Incremental Circle Transform)을 다음과 같이 정의하였으며 그림1에 나타내었다.

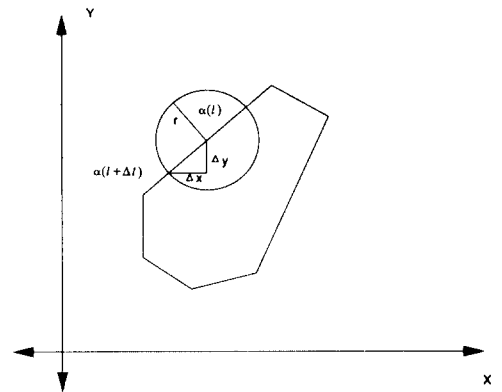


그림 1. 영상 평면상의 물체
Fig. 1. Object on a image plane.

[정 의] Incremental Circle Transform

임의의 폐곡선 $\alpha(l) = (x(l), y(l)), 0 \leq l \leq L$

과 고정된 상수 r 에 대해서

$$\Delta \alpha(l) = (\Delta x(l), \Delta y(l))$$

이라고 할 때

$$\Delta x^2(l) + \Delta y^2(l) = r^2, 0 \leq l \leq L$$

$$\alpha(l + \Delta l) = \alpha(l) + \Delta \alpha(l)$$

의 관계를 만족하는

$$\Delta \alpha(l) = (\Delta x(l), \Delta y(l)), 0 \leq l \leq L$$

을 폐곡선 $\alpha(l), 0 \leq l \leq L$ 의 Incremental Circle Transform이라 한다.

정의된 증분원변환은 이차원의 영상평면에 존재하는 물체의 경계를 그림2와 같이 반경이 r인 원위로 변환시키며, 물체의 위치변화에 독립이고 물체의 회전에 대응하는 성질을 가진다. 이 변환을 이용하여 물체의 경사도를 빠른 속도로 인식하였으며, 물체인식에 응용가능성도 제시하였다. 그러나 물체의 경계를 반경이 r인 원위로 변환시키므로써 물체의 경계상의 여러 점들이 원위의 한 점으로 변환되어 서로 다른 물체들에 대한 결과가 같은 모양을 가질 수 있다.

위의 문제점을 해결하기 위하여 Modified Incremental Circle Transform을 다음과 같이 정의하면 이차원의 영상평면내에 존재하는 물체의 경계를 그림3과 같이 반경이 1과 (1-c)인 단위원 내로 변화시킬 수 있다.

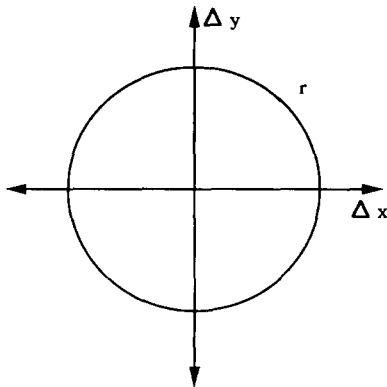


그림 2. Δx-Δy 평면
Fig. 2. Δx-Δy plane.

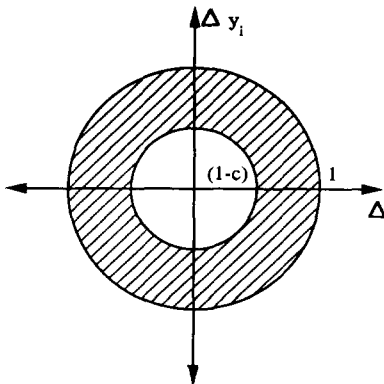


그림 3. Δx_i-Δy_i 평면
Fig. 3. Δx_i-Δy_i plane.

[정의] Modified Incremental Circle Transform 임의의 폐곡선 $\alpha(l) = (x(l), y(l)), 0 \leq l \leq L$ 에서

$$\Delta\alpha(l) = (\Delta x(l), \Delta y(l)),$$

$$s(l) = (1 - \frac{cl}{L})$$

이라고 정의할 때

$$\Delta x_i^2(l) + \Delta y_i^2(l) = s^2(l), 0 \leq l \leq L$$

의 관계를 만족하는

$$\Delta\alpha_M(l) = (\Delta x_i(l), \Delta y_i(l)), 0 \leq l \leq L$$

을 폐곡선 $\alpha(l), 0 \leq l \leq L$ 의 Modified Incremental Circle Transform이라 한다.

여기서 $(\Delta x_i(l), \Delta y_i(l))$ 을

$$\Delta x_i(l) = \frac{\Delta x_q(l) s(l)}{r} \tag{1}$$

$$\Delta y_i(l) = \frac{\Delta y_q(l) s(l)}{r} \tag{2}$$

$$r = \frac{L}{k},$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x_q(l) \\ \Delta y_q(l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta y_0}{r} & -\frac{\Delta x_0}{r} \\ \frac{\Delta x_0}{r} & \frac{\Delta y_0}{r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x(l) \\ \Delta y(l) \end{bmatrix}$$

라 하면 그 값은 변환의 시작점이 일치하는 경우, 물체의 위치의 변화나 각도의 변화, 크기의 변화에 관계없이 일정한 값을 가지게 된다.

식(1)과 식(2)에 대해 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 도형A의 둘레를 구한 후에 둘레의 길이에 비례하는 원의 반지름 r을 다음과 같이 결정한다.

$$r = \frac{L}{k}, L = \text{perimeter}, k = \text{const} \tag{3}$$

식(3)의 r 값을 이용하여 증분원변환을 행하면 물체의 크기에 무관한 성질을 얻을 수 있으며 다음 식을 만족시킨다.

$$\Delta x^2(l) + \Delta y^2(l) = r^2$$

곡선의 시작점에서의 증분원변환 $(\Delta x_0, \Delta y_0)$ 를 $(0, r)$ 점으로 변환시키는 회전각 θ 를 구하여 모든 정보를 이 각도로 회전시키면,

$$\begin{bmatrix} 0 \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_0 \\ \Delta y_0 \end{bmatrix}$$

$$\cos\theta = \frac{\Delta y_0}{r}, \sin\theta = \frac{\Delta x_0}{r}$$

로 얻어지며 다음과 같이 회전된 값인 $(\Delta x_q(l), \Delta y_q$

(l)이 구해진다.

$$\begin{bmatrix} \Delta x_q(l) \\ \Delta y_q(l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta y_0}{r} & -\frac{\Delta x_0}{r} \\ \frac{\Delta x_0}{r} & \frac{\Delta y_0}{r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x(l) \\ \Delta y(l) \end{bmatrix}$$

이때, $\Delta x_q(l)$ 과 $\Delta y_q(l)$ 은 다음 식을 만족시키며 물체의 회전에 무관한 성질을 가진다.

$$\Delta x_q^2(l) + \Delta y_q^2(l) = r^2 \tag{4}$$

식(4)의 양변에 $\frac{s^2(l)}{r^2}$ 을 곱하면,

$$\frac{\Delta x_q^2 s^2(l)}{r^2} + \frac{\Delta y_q^2 s^2(l)}{r^2} = s^2(l), \quad s(l) = (1 - \frac{cl}{L})$$

이 되어 모든 도형은 반경이 1인 원과 반경이 $(1-c)$ 인 원 사이의 공간에 나선형으로 변환된다. 이때 이 값은 도형의 위치변화와 회전, 크기변화에 무관한 값을 가진다. 그림 4는 정사각형 모양에 대해서 회전되었을 경우와 크기가 다른 경우에 Modified Incremental Circle Transform된 결과가 같음을 보여주고 있다.

Modified Incremental Circle Transform은 물체인식에 유용한 물체의 위치, 회전, 그리고 크기변화에 무관한 성질을 가지고 있으며 각각에 대해 알아보면 다음과 같다.

[특성 1] Translation Invariance

그림 5에서와 같이 영상평면상에 존재하는 임의의 도형을 A로 나타내자. 그리고 이 도형을 영상평면상에서 (x_p, y_p) 만큼 평행이동 시킨 경우를 고려해보자.

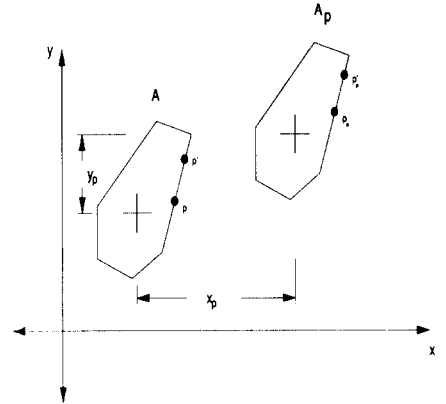


그림 5. 영상 평면상의 도형(위치 변화된 경우)
Fig. 5. Object on the image plane(translated).

이동 후의 도형은 A_p 라고 하자. A상의 임의의 한 점 p를 정하고 이점을 원점으로 하는 반경이 r인 원을 그렸을때 만나는 반시계방향의 교점을 p'라고 하자. 이때 점 p와 점 p' 사이의 x좌표의 증분을 Δx 라고 하고 y좌표의 증분을 Δy 라고 하자. A상의 한 점 p에 대응하는 A_p 상의 점을 p_p 라고 정하고 이 점을 원점으로 하는 반경이 r인 원을 그렸을때 만나는 점을 p_p' 라고 하면 이 점은 도형 A 상의 점 p'에 대응한다. 이때 점 p_p 와 점 p_p' 사이의 x좌표의 증분을 Δx_p 라고 하고 y좌표의 증분을 Δy_p 라고 하자. 그러면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\Delta x_p(l) = \Delta x(l), \tag{5}$$

$$\Delta y_p(l) = \Delta y(l) \tag{6}$$

식(5)와 식(6)의 양변에 다음과 같이 정의된 $s(l)$ 을 곱하면,

$$s(l) = 1 - \frac{cl}{L}, \quad 0 \leq l \leq L, \quad 0 < c < 1$$

다음과 같다.

$$\Delta x_p(l) s(l) = \Delta x(l) s(l),$$

$$\Delta y_p(l) s(l) = \Delta y(l) s(l)$$

이때 $\Delta x_t(l)$ 과 $\Delta y_t(l)$ 을 다음과 같이 정의하면,

$$\Delta x_t(l) = \Delta x(l) s(l),$$

$$\Delta y_t(l) = \Delta y(l) s(l)$$

으로 표현되고, $(\Delta x_t(l), \Delta y_t(l))$ 은 물체의 위치 변화에 관계없이 일정한 값을 가지게 된다.

[특성 2] Rotation Invariance

영상 평면상에 존재하는 임의의 도형 A를 θ 만큼 회전시킨 경우를 고려해 보자. 위의 그림6과 같이

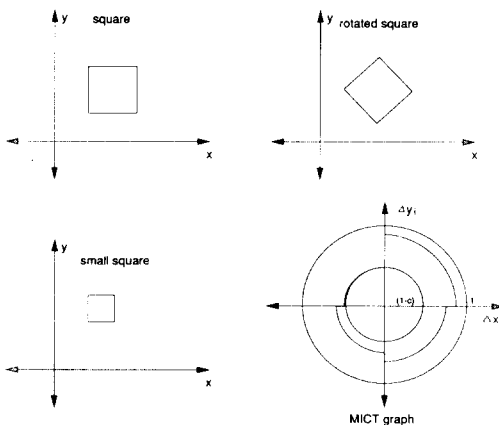


그림 4. 정사각형과 MICT된 결과
Fig. 4. Square and the result of modified incremental circle transform.

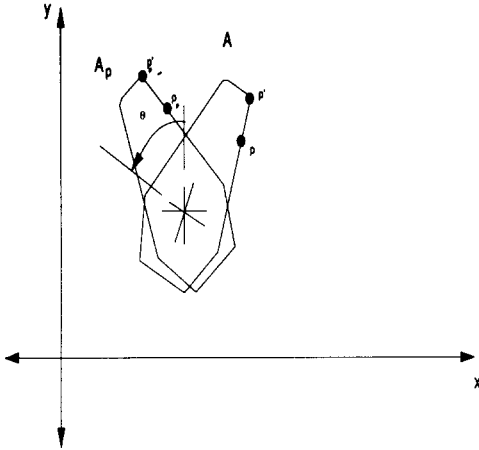


그림 6. 영상 평면상의 도형(회전된 경우)
Fig. 6. Object on the image plane(rotated).

회전된 도형을 A_p 라고 하자. 도형 A를 $\alpha(l) = (x(l), y(l)), 0 \leq l \leq L$ 이라 하고 도형 A_p 를 $\alpha_p(l) = (x_p(l), y_p(l)), 0 \leq l \leq L$ 이라 하고, 도형 A상의 한 점 p를 $(x(l_1), y(l_1))$ 으로 나타내고 이에 대응하는 A_p 상의 점을 $(x_p(l_1), y_p(l_1))$ 으로 나타내면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\begin{bmatrix} x_p(l_1) \\ y_p(l_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(l_1) \\ y(l_1) \end{bmatrix}$$

도형 A상의 점 p로부터 r만큼 떨어진 점을 p'이라 하고 $(x(l_1 + \Delta l), y(l_1 + \Delta l))$ 로 나타내자. 이에 대응하는 A_p 상의 점을 $(x_p(l_1 + \Delta l), y_p(l_1 + \Delta l))$ 이라 하면 아래와 같은 식이 성립한다.

$$\begin{bmatrix} x_p(l_1 + \Delta l) \\ y_p(l_1 + \Delta l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(l_1 + \Delta l) \\ y(l_1 + \Delta l) \end{bmatrix}$$

따라서,

$$\begin{aligned} \Delta x(l_1) &= x(l_1 + \Delta l) - x(l_1), \\ \Delta y(l_1) &= y(l_1 + \Delta l) - y(l_1), \\ \Delta x_q(l_1) &= x_p(l_1 + \Delta l) - x_p(l_1), \\ \Delta y_q(l_1) &= y_p(l_1 + \Delta l) - y_p(l_1) \end{aligned}$$

으로 놓으면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \Delta x_q(l_1) \\ \Delta y_q(l_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x(l_1) \\ \Delta y(l_1) \end{bmatrix}$$

여기서 도형 A의 시작점에서의 증분원변환이 $(\Delta x_0, \Delta y_0)$ 일 때 이 점을 $(0, r)$ 로 변환시키고, 도형 A_p 에서도 똑같이 $(0, r)$ 로 변환시키면 도형의 각도변화에 무관한 값을 가지게 될 것이다. 즉 곡선의 시작점에서의 변환값을 $(\Delta x_0, \Delta y_0)$ 라고 할 때 다음과 같은 식을 만족하는 각도 θ 를 찾을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_0 \\ \Delta y_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

식(7)에서,

$$\cos\theta = \frac{\Delta y_0}{r}, \quad \sin\theta = \frac{\Delta x_0}{r}$$

로 구해지며 $(\Delta x(l), \Delta y(l)), 0 \leq l \leq L$ 을 모두 이 각도만큼 회전시키면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta x_q(l) \\ \Delta y_q(l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta y_0}{r} & -\frac{\Delta x_0}{r} \\ \frac{\Delta x_0}{r} & \frac{\Delta y_0}{r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x(l) \\ \Delta y(l) \end{bmatrix}, 0 \leq l \leq L$$

여기서

$$\begin{aligned} \Delta x_r(l) &= \Delta x_q(l) s(l), \\ \Delta y_r(l) &= \Delta y_q(l) s(l) \end{aligned}$$

이라 하면, $(\Delta x_r(l), \Delta y_r(l))$ 은 물체의 회전에 무관한 성질을 가지게 된다.

[특성 3] Size Invariance

그림 7에서와 같이 닮음비가 1:m인 임의의 두 도형의 경우를 고려해 보자. 도형 A에서 임의의 점 p를 잡고 그 점에서의 거리가 d인 점 p'를 잡는다. 이 점에 대응하는 도형 A_p 위의 점을 p_p, p'_p 라고 하면 p_p 와 p'_p 사이의 거리는 md임을 알 수 있다. 도형 A의 둘레를 따라서 증분원변환을 행하면 $(\Delta x(l), \Delta y(l))$

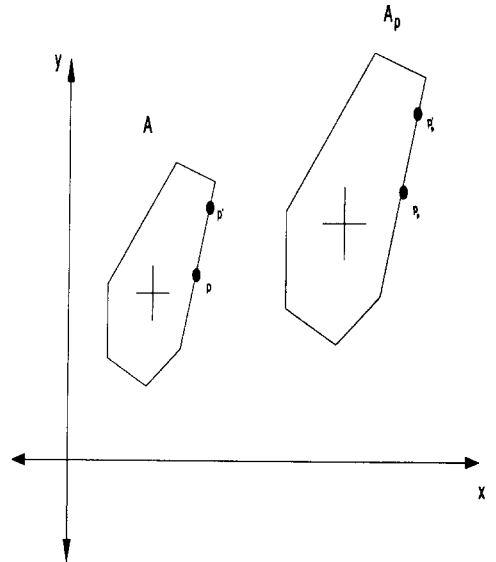


그림 7. 영상 평면상의 도형(크기 변화된 경우)
Fig. 7. Object on the image plane(scaled).

은 다음과 같은 식을 만족시킨다.

$$\Delta x^2(l) + \Delta y^2(l) = r^2, 0 \leq l \leq L \quad (8)$$

마찬가지로 도형 A_p 의 둘레를 따라서 반경이 mr 인 원으로 증분원변환을 행하면 $(\Delta x_u(l), \Delta y_u(l))$ 은 다음과 같은 식을 만족시킨다.

$$\Delta x_u^2(ml) + \Delta y_u^2(ml) = m^2 r^2, 0 \leq l \leq L \quad (9)$$

도형 A 와 A_p 사이의 대응하는 점에서 구한 변환값은 다음과 같은 성질이 있음을 알 수 있다.

$$m\Delta x(l) = \Delta x_u(ml),$$

$$m\Delta y(l) = \Delta y_u(ml)$$

즉 대응하는 점에서 계산된 Δx 와 Δy 의 값은 서로 다르지만 그 비는 일정함을 알 수 있다. 식 (8)의 양변에 $s^2(l)/r^2$ 를 곱하고 식 (9)의 양변에 $s^2(ml)/m^2 r^2$ 를 곱하면

$$\frac{\Delta x^2(l)s^2(l)}{r^2} + \frac{\Delta y^2(l)s^2(l)}{r^2} = s^2(l),$$

$$\frac{\Delta x_u^2(ml)s^2(ml)}{m^2 r^2} + \frac{\Delta y_u^2(ml)s^2(ml)}{m^2 r^2} = s^2(ml)$$

이며 $\Delta x^2(l)s^2(l)/r^2$ 와 $\Delta x_u^2(ml)s^2(ml)/m^2 r^2$ 는 서로 대응하는 점에서 같은 값을 가지게 되며 $\Delta y^2(l)s^2(l)/r^2$ 와 $\Delta y_u^2(ml)s^2(ml)/m^2 r^2$ 도 서로 대응하는 점에서 같은 값을 가지게 된다. 위의 식에서,

$$\Delta x_s(l) = \frac{\Delta x(l)s(l)}{r}$$

$$\Delta y_s(l) = \frac{\Delta y(l)s(l)}{r}$$

이라 하면 $(\Delta x_s(l), \Delta y_s(l))$ 은 물체의 크기 변화에 무관한 성질을 가지게 된다.

III. 물체 인식 알고리즘

물체인식을 수행하기 위해서는 사전에 인식하고자 하는 물체에 대한 특징치(feature)들을 알고 있어야 하는 바 본 연구에서는 물체의 경계에 대한 MICT $(\Delta x_i(l), \Delta y_i(l)), 0 \leq l \leq L$ 를 그 특징치로 사용한다. MICT를 이용하여 물체인식 알고리즘을 다음 흐름도(flow chart)와 같이 구성하였다.

제 2 장에서 MICT의 시작점은 항상 일치한다는 가정을 전제로 MICT를 정의하였다. 그러나 실제로는 MICT의 시작점을 모든 물체에 대해서 일치시킬 수는 없기 때문에, 그림 8과 같이, 먼저 물체의 꼭지점을 인식한 후에 물체의 꼭지점을 시작점으로 하여 MICT를 수행함으로써 위의 문제점을 극복하였다.

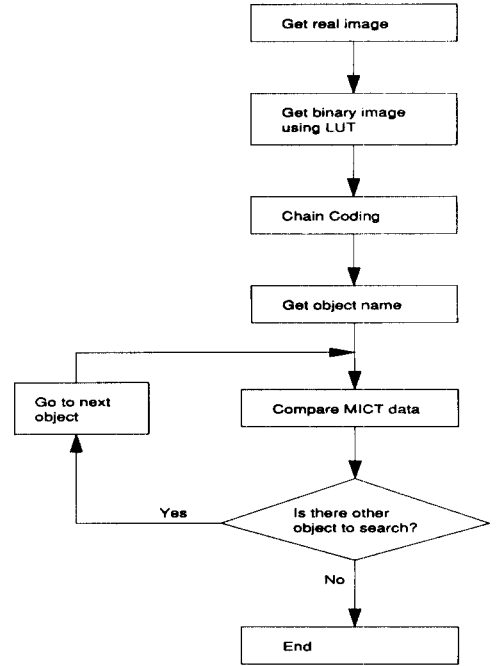


그림 8. 물체인식 알고리즘(전체)

Fig. 8. Object Recognition Algorithm(Overall).

그림10에서 도형의 A에서 B까지의 직선이 오른쪽 MICT의 그림에서는 a에서 b까지의 직선으로 변환되며, B에서 C까지의 직선이 MICT의 그림에서는 b에서 c까지의 곡선부분으로 변환되며 이 부분은 경계를 따라서 증분원변환을 행할때 $\Delta x(l)$ 와 $\Delta y(l)$ 의 변화가 생기는 부분이다. 즉,

$$\frac{d\Delta x(l)}{dl} = 0$$

을 만족하는 구간은 각도의 변화가 없는 직선 부분인 a~b 구간이고

$$\frac{d\Delta x(l)}{dl} \neq 0$$

을 만족하는 구간은 각도의 변화가 존재하는 부분으로 b~c 구간이다. 그러므로 꼭지점 k는 $\Delta x(l)$ 나 $\Delta y(l)$ 값의 변화가 없어지는 점이며 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{cases} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\Delta x(k+h) - \Delta x(k)}{h} \neq 0 \\ \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\Delta x(k+h) - \Delta x(k)}{h} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

증분원변환에서 식 (10)를 만족하는 점들을 구함으로써 물체의 꼭지점을 쉽게 인식할 수 있다.⁽¹¹⁾

물체인식은 모델집합내에 존재하는 모델 물체에 대한 특징벡터 (feature vector)와 영상내에 존재하는 실제 물체에 대한 특징벡터와의 비교로써 이루어지며 벡터매칭 (vector matching)의 개념을 이용하였다. 즉 영상내에 존재하는 물체의 경계에 대해서 MICT을 하면 그 결과는 2차원의 벡터로 표시할 수 있으며 그 값은 물체의 위치, 회전 그리고 크기에는 무관하므로 모델 집합의 MICT와 영상 내에 존재하는 물체에 대한 MICT를 직접 비교함으로써 물체를 인식할 수 있다.

MICT를 이용하여 구성된 물체인식 알고리즘은 그림8과 그림9와 같으며, 그림8에서 *부분을 그림9에 상세히 나타내었다. 두 물체의 차이는 식 (11)에서 알 수 있다.

$$\sum_{l=0}^L |\Delta x_l(l) - \Delta \bar{x}_l(l)| + \sum_{l=0}^L |\Delta y_l(l) - \Delta \bar{y}_l(l)| \quad (11)$$

$(\Delta x_l(l), \Delta y_l(l))$ 과 $(\Delta \bar{x}_l(l), \Delta \bar{y}_l(l))$ 은 서로 비교하고자 하는 물체에 대한 MICT이다.

IV. 실험 결과 및 검토

실험은 여러가지의 블록 다각형과 오목 다각형을 이용하였다. 카메라는 25mm의 초점 거리를 가지는

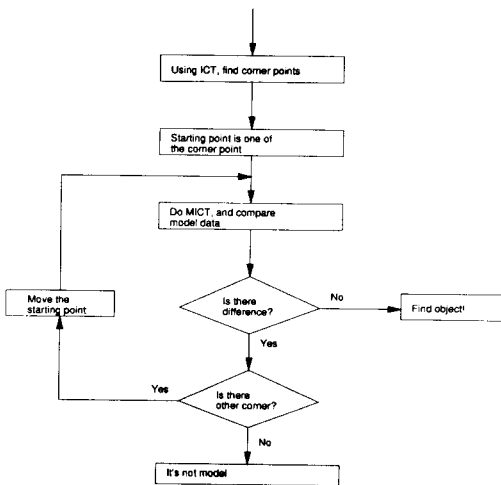


그림 9. 물체인식 알고리즘(세부 과정)
Fig. 9. Object recognition algorithm(detailed).

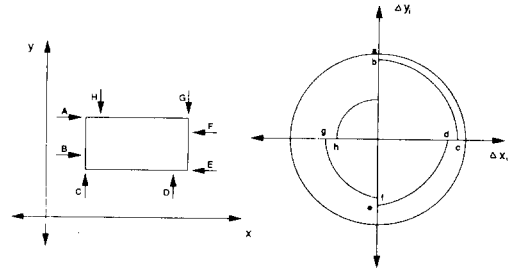


그림 10. 직사각형과 MICT된 결과
Fig. 10. Rectangular and it's result of modified incremental circle transform.

CCD 카메라를 사용하였으며 16bit 마이크로프로세서 (microprocessor)인 MC68000 CPU(10MHz)를 사용하고 MC68881 코프로세서 (coprocessor)를 내장한 마이크로컴퓨터 (micro computer)를 사용하였다.

그림11은 정사각형 물체의 Modified Incremental

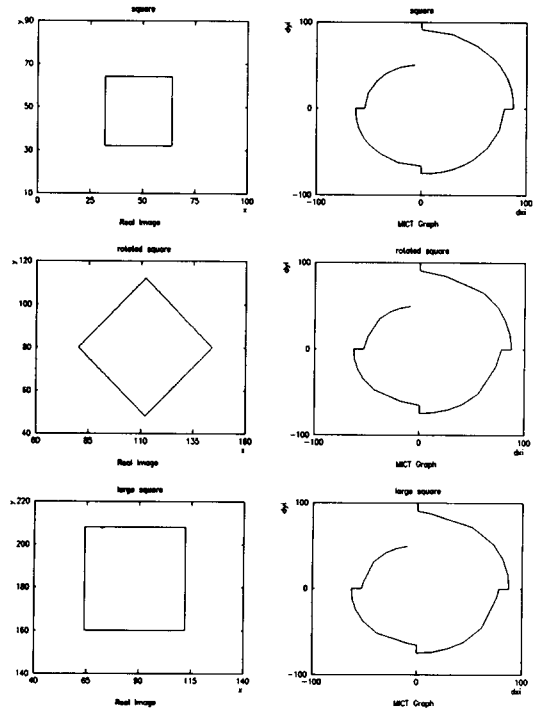


그림 11. 정사각형과 MICT된 결과
Fig. 11. Square and it's result of modified incremental circle transform.

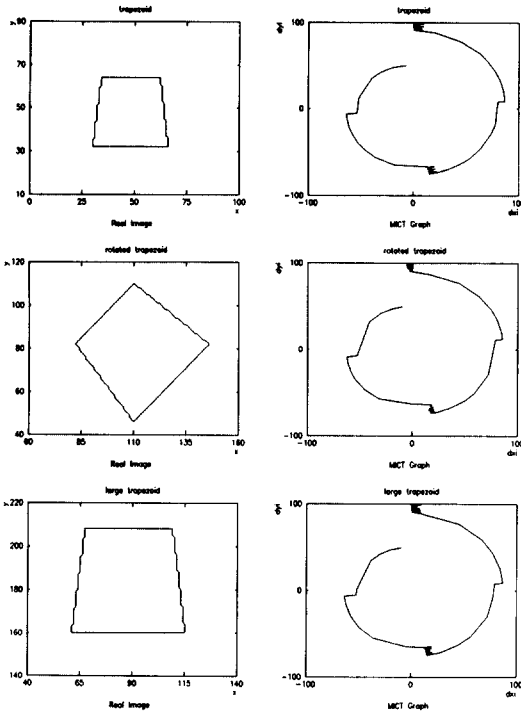


그림12. 사다리꼴과 MICT된 결과
Fig. 12. Trapezoid and it's result of modified incremental circle transform.

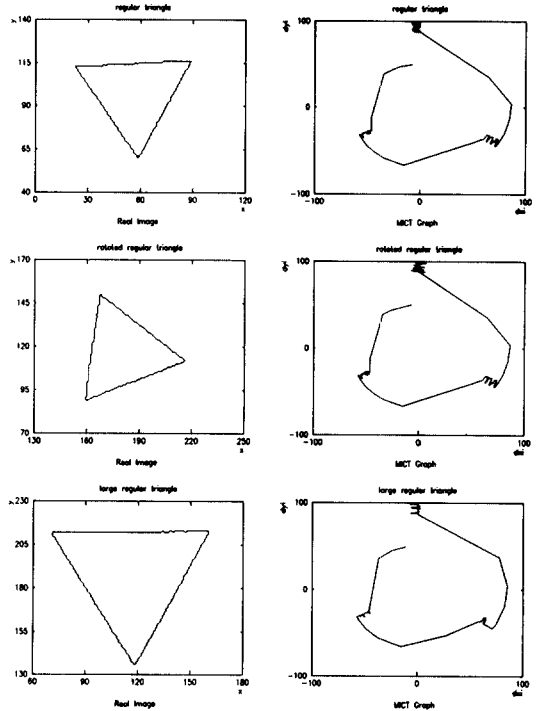


그림13. 정삼각형과 MICT된 결과
Fig. 13. Regular triangle and it's result of modified incremental circle transform.

Circle Transform(MICT)된 그림이다. 이때 정사각형의 각도를 45° 회전시킨 경우와 정사각형의 크기가 다른 경우에 대해서 MICT된 결과를 함께 보였다. 3가지의 경우에 대해서 MICT된 결과는 일치함을 알 수 있다. 즉 물체의 위치나, 회전, 그리고 크기에 무관한 성질을 알 수 있다. 그림12는 사다리꼴 물체의 MICT된 그림이다. 이때 사다리꼴의 각도를 45° 회전시킨 경우와 사다리꼴의 크기가 다른 경우에 대해서 MICT된 결과를 함께 보였다. 3 가지의 경우에 대해서 MICT된 결과는 일치함을 알 수 있다. 그리고 정사각형의 경우와 비교해 볼 때 그 모양이 다를 수 있다. 이 차이를 이용해서 두개의 물체를 쉽게 구분할 수 있다. 그림13은 정삼각형 물체의 MICT된 그림이다.

여러가지 물체인식 알고리즘 중에서 Fourier Descriptor를 이용한 물체인식 알고리즘이 많이 쓰이고 있으며 본 연구에서 제안한 알고리즘을 Fourier Descriptor^{sec31}를 다각형 물체에 대해 적용한 알고리즘과 비교해 보았다. 50×50(pixel×pixel)의 크기를

표 1. Fourier descriptor 방법과 MICT 방법과의 처리시간 비교

Table 1. Comparison of processing time between fourier descriptor method and MICT method.

Fourier Descriptor		MICT	
처리 과정	시간(ms)	처리 과정	시간(ms)
○FD 계수 추출	3,381	○ICT	62
○정규화	37	○Corner finding	293
		○MICT	210

가지는 물체에 대한 두 알고리즘의 처리과정과 처리시간은(표 1)과 같다. 표 1에서 비교한 바와 같이, Fourier Descriptor를 이용할 경우 많은 삼각함수 계산과 복소함수 계산을 해야하기 때문에 시간이 오래 걸리는 것을 알 수 있다. 그리고 Modified Incremental Circle Transform을 이용할 경우에는 간단한 사칙 연산만으로 변환이 가능하므로 시간이 적게 소비되는 것을 알 수 있다.

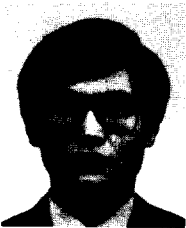
V. 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 이차원 평면내에 존재하는 물체의 경계를 단위 원내로 변환시키는 Modified Incremental Circle Transform 이론을 제안하였다. 또한, 이 이론을 다각형 물체의 인식에 적용하여 물체의 위치, 회전, 크기의 변화에 무관하게 빠른 속도로 효율적으로 물체를 인식하였다. 이 알고리즘을 이용하여 생산라인에서 부품을 식별하고 분류하는 작업을 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

- [1] M.K. Hu, "Visual pattern recognition by moment invariants," *IRE Trans. Information Theory IT-8*, 1962, 179-187.
- [2] T. Pavlidis, "A review of algorithms for shape analysis," *CGIP*, 7, pp. 243-258, 1978.
- [3] E. Persoon and K.S. Fu, "Shape discrimination using fourier descriptors," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel.*, vol. PAMI-8, May, 1986.
- [4] T. Pavlidis and F. Ali, "Computer recognition of handwritten numerals by polygonal approximations," *IEEE Trans. SMC*, vol. SMC-5, pp. 610-614, 1975.
- [5] C.T. Zahn and R.Z. Roskies, "Fourier descriptors for plane closed curves," *IEEE Trans. Computers*, vol. C-21, pp. 269-281, 1972.
- [6] G.H. Granlund, "Fourier preprocessing for hand print character recognition," *IEEE Trans. Computers*, pp. 195-201, 1972.
- [7] R.C. Gonzalez and P. Wintz, "Digital image processing," Addison-Wesley Inc, 1983.
- [8] H. Freeman, "Computer processing of line-drawing images," *Computing Surveys*, vol. 6, no. 1, March, 1974.
- [9] H. Blum, "A transform for extracting new descriptions of shape," *In Symposium on Models for the Perception of Speech and Visual Form*, M.I.T. Press, 1964.
- [10] B.J. You, H. Lee, and Z. Bien, "A theory of incremental circle transform and its application for vision-based robotic assembly," *Submitted to IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Sep. 1989.
- [11] 한동일, "Modified Incremental Circle Transform 이론과 2차원의 다각형 형태를 갖는 물체 인식에의 응용," KAIST 석사학위 논문, 1990.

著 者 紹 介



韓 東 一 (正會員)

1966年 2月 23日生. 1988年 2月 고려대학교 전자전산공학과 학사 학위 취득. 1990年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학 석사학위 취득. 1990年 3月~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 패턴인식, 로봇트 비전, 영상처리 등임.



劉 凡 材 (正會員)

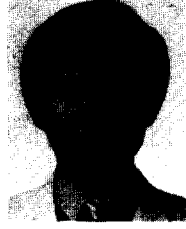
1963年 3月 12日生. 1985年 2月 서울대학교 제어계측공학과 학사 학위 취득. 1987年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 학위 취득. 1987年 3月~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 로봇트 비전을 위한 고속 영상처리 및 조립자동화를 위한 지능제어 등임.



卞 增 男 (正會員)

1943年 10月 11日生. 1969年 2月 서울대학교 전자공학과 공학사 학위취득. 1972年 Iowa 대학 전기과 공학석사 학위취득. 1972年 Iowa 대학 수학과 공학석사 학위 취득. 1975年 Iowa 대학 전기과

공학박사 학위취득. 1977年 Iowa 대학 전기과 객원 조교수. 1981年 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수. 1982年 Iowa 대학 전기과 객원부교수. 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수. 주관심분야는 자동제어이론, 로보틱스 및 인공지능, 공장자동화 등임.



吳 尚 錄 (正會員)

1958年 6月 7日生. 1980年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과 공학사 취득. 1982年 2月 한국과학기술원 전기및 전자공학과 공학석사 취득. 1987年 2月 한국과학기술원 전기및 전자공학과 공

학박사 학위취득. 1987年 3月~1988年 1月 한국과학기술원 시스템제어 연구실 Post Doc. 1988年 1月~현재 한국과학기술연구원 제어 시스템 연구실 선임 연구원. 주관심분야는 공장자동화, 로보틱스, 로봇트 비전 시스템, 기계학습제어 등임.