

효율적 패턴 인식을 위한 순차적 GHT

(The Sequential GHT for the Efficient Pattern Recognition)

金秀桓*, 林承民*, 李圭台**, 李太遠***

(Su Hwan Kim, Seung Min Lim, Kyu Tae Lee, and Tae Won Rhee)

要 約

본 논문에서는 GHT 알고리즘 구현의 장애 요소인 기억용량과 처리시간의 문제를 효율적으로 해결할 수 있는 새로운 방법을 제안한다.

기존의 GHT 알고리즘을 사용하여 입력 화상내에서 회전되어 있고, 크기가 변화되는 있으며 위치가 이동된 물체를 찾고자하는 경우 4차원의 계수공간이 사용된다. GHT는 이 4차원의 계수공간의 형성을 위해 필요한 많은 기억용량과 처리 시간 때문에 여러가지 장점에도 불구하고 널리 사용되어지지 못했다. 그러나 제안된 알고리즘은 GHT 알고리즘을 입력 화상에 적용하기 이전에 기준화상과 입력화상내의 찾고자하는 물체의 상대적인 에지 방향 관계를 이용하여 찾고자하는 물체의 회전각도와 크기변화를 미리 결정한다. 그리고 회전각도와 크기의 변화가 정해진 상태에서 단위 GHT 알고리즘만을 수행함으로써 계수공간의 크기를 2차원의 배열로 감소시킨다.

이 알고리즘을 비행기 화상에 적용하여 실험한 결과 정확도의 감소없이 처리시간과 기억용량에 있어서 기존의 GHT 알고리즘보다 95% 이상 감소 효과가 있음을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes an efficient method of implementing the generalized Hough transform (GHT), which has been hindered by an excessive computing load and a large memory requirement. The conventional algorithm requires a parameter space of 4 dimensions in detecting a rotated, scaled, and translated object in an input image. Prior to the application of GHT to the input image, the proposed method determines the angle of rotation and the scaling factor of the test image using the proportion of the edge components between the reference image and test image. With the rotation angle and the scaling factor already determined, the parameter space is to be reduced to a simple array of 2 dimensions by applying the unit GHT only one time. The experiments with the image of airplanes reveal that both of the computing time and the requires memory size are reduced by 95 percent, without any degradatation of accuracy, compared with the conventional GHT algorithm.

*準會員, ***正會員, 高麗大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Korea Univ.)

**正會員, 安養工業專門大學 電子通信科

(Dept. of Telecomm. Eng., Anyang Technical Jr. College)

接受日字: 1991年 1月 8日

I. 서 론

최근 초고속 컴퓨터와 고밀도 반도체공학의 발전에 따라 컴퓨터에 입력되어지는 정보를 인간의 눈과 같이 화상으로 처리하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 디지털 화상에서 찾고자 하는 물체의 위치를 찾아내는 것은 산업, 군사, 리모트 센싱,

그리고 다른 여러가지 분야에서 중요한 문제의 하나이다.

HT(hough transform)는 1962년 중래의 방법과는 달리 새로운 방법으로 제안되었으며, 이러한 HT는 화상 전체가 아니라 특정한 형태(직선, 원, 타원 등)만을 대상으로 하기 때문에 잡음에 덜 민감한 장점을 가지고 있어 현재까지 많은 연구가 진행되어 오고 있다.^{[1][7]}

초기의 HT는 화상내의 직선을 검출하기 위해 사용되었으며 그 후에 그 효율을 증가시켜 원의 검출에 사용할 수 있도록 하였고 HT는 타원의 검출에도 응용하였다.^[2]

한편, 위에서 언급한 특정한 형태가 아닌 일반적인 모양의 물체를 회전이나 크기의 변화에 무관하게 검출할 수 있는 일반화된 HT가 요구되어졌고 1981년 Ballard에 의한 GHT(generalized hough transform)가 제안 되었다. 그러나 이 방법은 잡음에 매우 강한 반면 많은 기억용량과 처리시간을 필요로 하는 단점을 가지고 있다.^{[4][5]}

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 GHT 알고리즘을 처음부터 적용하지 않고 입력화상내의 찾고자하는 물체의 회전각도와 크기변화를 미리 결정한 후 단위 GHT 알고리즘을 수행하는 순차적 GHT 알고리즘을 제안한다.

II. HT 알고리즘(Hough Transform)

HT는 화상공간의 특징들을 계수공간의 점들에 대응시키므로써 특정 물체의 위치를 찾는 방법으로 물체의 위치에 대한 정보가 전혀 없을 경우에도 유용하다. 화상의 특징들은 모델과 관련된 모든 계수들을 만드는 함수를 사용해서 계수공간으로 대응하게 된다. 따라서 찾고자 하는 모델에 따라 화상 공간을 계수공간으로 대응시키는 함수도 틀려진다. 직선과 원의 검출을 위한 HT의 예를 들면 다음과 같다.^[5]

무한길이를 가진 직선에 대한 방정식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = mx + c \tag{1}$$

식(1)에서 (x, y)는 화상공간의 점들의 좌표이고 (m, c)는 직선의 기울기와 y절편들을 나타내는 두개의 계수이다. 화상의 점 (x, y)는 식(2)에 의해 2차원의 계수공간(m, c)로 대응되게 된다.

$$c = -xm + y \tag{2}$$

즉, 화상공간에서의 점(x, y)는 계수공간에서의 기

울기 -x, 절편 y인 직선으로 대응된다. 따라서 화상 공간에서 직선위의 모든 점에 대응하는 계수 공간에서의 직선은 (m, c)에서 교차하게 된다. 그러나 이 방법은 m=∞일 경우 즉, x축과 수직인 직선에 대해서는 계수공간을 구성할 수 없으므로 기울기와 절편을 계수로 사용하는 대신 원점에서 직선으로 향하는 수직벡터를 사용하는 방법이 제안되었다. 이에 대한 식은 식(3)과 같다.

$$\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \tag{3}$$

윗 식에서 ρ는 벡터의 길이, θ는 벡터가 x축과 이루는 각을 나타낸다. 식(3)은 화상공간의 직선위의 점들을 계수공간에서 (ρ, θ)에서 교차하는 정현곡선으로 대응시키게 된다. 이에 대한 관계를 그림 1에 보였다.

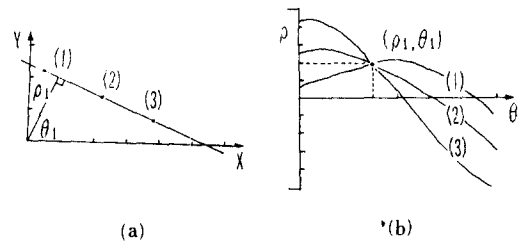


그림 1. 직선 검출을 위한 HT의 원리
(a) 화상공간 (b) 계수공간
Fig. 1. The basis of the HT for line detection.
(a) image space, (b) parameter space.

한편, 원의 검출에 있어서 중심이 (a, b)이고 반지름이 r인 원의 방정식은 식(4)와 같다.

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \tag{4}$$

식(4)에 대한 HT는 그림 2와 같이 화상위의 점 (x, y)를 계수공간에서 (x, y, 0)를 꼭지점으로 하는 원뿔면위의 모든 점으로 대응시킨다. 이렇게 되면 원에 대한 계수 (a, b, r)은 가장 많은 원뿔면들이 교차하는 점과 일치한다.

III. 일반화된 HT 알고리즘(Generalized Hough Transform)

화상에서 사물에 대한 중요한 정보는 그 사물의 외곽선의 모양에 포함되어 있는 경우가 많다. 이러한 사실은 인간의 시각체계에서도 효과적으로 적용될 수 있다는 것이 실험적으로 입증되었다.

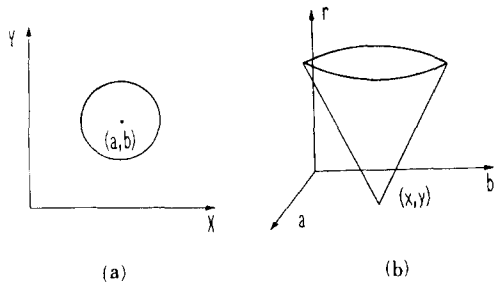


그림 2. 원 검출을 위한 HT의 원리
 (a) 화상공간 (b) 계수공간
 Fig. 2. The basis of the HT for circle detection.
 (a) image space, (b) parameter space.

GHT는 이러한 사실을 이용하여 특정한 모양만을 검출할 수 있었던 HT를 임의의 모양도 검출할 수 있도록 일반화한 것이다. 특히 이 방법은 사물의 외곽선에 포함된 많은 정보중에서 외곽선 정보를 대표할 수 있는 정보인 에지의 위치와 에지의 방향 정보를 이용한다.¹³

GHT는 이러한 에지의 방향 정보를 이용하여 에지 점들을 그 모양에 대한 기준점으로 대응시켜 매칭여부를 결정하는 패턴매칭 방법이다.¹⁴⁻¹⁵

이에 대한 처리순서는 다음과 같다.

1. 기준화상에 대한 R-테이블의 구성
2. R-테이블에 근거하여 종합화상을 계수공간으로 변환
3. 최대값 검출
4. 매칭여부 결정

에지점들의 위치와 그들의 방향 찾기 위한 에지 연산자는 국부 gray level의 변화를 어떻게 모델링하는가에 따라 여러가지가 있으나 가장 많이 쓰이는 것은 gray level 변화를 램프형으로 모사하는 gradient 연산자(Sobel, Prewitt 등)와 계단형으로 모사하는 Hucckel 연산자가 있다. 이들 연산자들은 gradient 값과 함께 에지의 방향 정보를 추출할 수 있다.

한편 GHT의 구현을 위해서는 몇가지 정의가 필요하다.

그중 하나가 계수공간에 대한 정의이며 임의의 모양에 대한 계수들은 다음과 같이 정의한다.

$$a = \{y, s, \theta\}$$

위에서 $y = (x_r, y_r)$ 은 모양에 대한 기준점이고 θ 는 회전각도에 대한 변수, 그리고 $s = (s_x, s_y)$ 는 x, y 두 방향으로의 크기에 대한 변수이다. 이러한 계수들을 모두 나타내기 위해서는 5차원의 계수공간이 필요하다

지만 실제 응용에서 대부분 s 는 스칼라 양이므로 4차원의 공간이 사용된다.

또 다른 하나는 R-테이블에 대한 정의이다. R-테이블에 실제 매칭과정에서 기준 데이터 역할을 하는 것으로서 그 구성 방법은 임의의 기준점을 정하고 이 기준점을 중심으로 주어진 화상을 표시한다. 한편 기준점이 찾고자 하는 물체의 무게 중심일 경우 에러를 최소화 할 수 있다.¹¹ 기준점 (y) 을 임의로 정한후 외각선 위의 각점 (x) 에 대하여 방향 $\phi(x)$ 와 $r = y - x$ 를 계산하고 r 를 $\phi(x)$ 의 함수로써 저장한다. 일반적으로 R-테이블에서 인덱스 $\phi(x)$ 는 많은 r 벡터를 갖는다.

그림 3(a)는 R-테이블을 형성하기 위한 기하학적 모형을 나타낸 것이고 그림 3(b)는 일반적인 R-테이블의 형태이다.

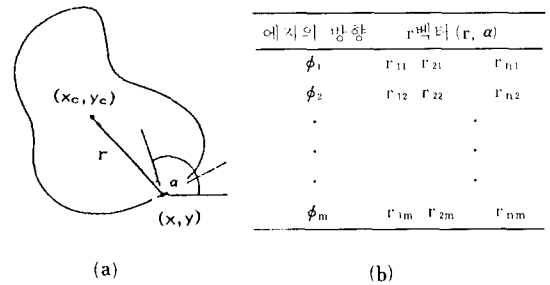


그림 3. R-테이블의 형성
 (a) R-테이블을 형성하기 위한 기하학적 모형
 (b) 일반적인 R-테이블의 형태

Fig. 3. The formation of the R-Table.
 (a) geometry used to form the R-Table,
 (b) general form of the R-Table.

찾고자 하는 물체의 회전과 크기의 변화를 고려하지 않은 단위 GHT의 알고리즘은 다음과 같다.

1. 화상에 대한 R-테이블을 만든다.
2. 가능성 있는 기준점들의 집합인 누적배열 A를 영(0)으로 초기화한다.
3. 각 에지들에 대해 다음을 반복한다.
 - (1) 화상에 대한 R-테이블을 만든다.
 - (2) 에지의 방향 ϕ 를 가진 각 r-벡터를 참조하고 식(5)를 사용하여 가능성 있는 중심점들을 계산한다.

$$\begin{aligned} x_c &= x + r(\phi) \cos[\alpha(\phi)] \\ y_c &= y + r(\phi) \sin[\alpha(\phi)] \end{aligned} \tag{5}$$

- (3) 누적배열 A를 증가시킨다. 즉,

$$A(x_c, y_c) = A(x_c, y_c) + 1 \tag{6}$$

4. A에서 최대값을 찾으면 그 좌표가 찾고자 하는 모양 S의 가능성있는 위치가 된다.

만약에 들어오는 모양이 R-테이블을 만들었던 기준화상과 크기가 다르고 회전이 되었을 경우에는 변환된 R-테이블을 적용한다.

a. 크기가 변화된 경우

모양의 크기가 원래 크기의 S배로 변화되어 입력되었을때 R-테이블의 변환식은 식(7)과 같다.

$$T(s)[R(\phi)] = sR(\phi) \quad (7)$$

b. θ 만큼 회전된 경우

모양이 θ 만큼 회전되어 들어 왔을때 R-테이블의 변환식은 식(8)과 같다.

$$T(\theta)[R(\phi)] = Rot\{R[(\phi - \theta) \bmod 2\pi], \theta\} \quad (8)$$

c. 크기가 s만큼 변화되고 θ 만큼 회전된 경우

모양의 크기가 s만큼 변화되고 θ 만큼 회전되어 들어올때 R-테이블의 변환식은 식(9)와 같다.

$$T(s, \theta)[R(\phi)] = s * Rot\{R[(\phi - \theta) \bmod 2\pi], \theta\} \quad (9)$$

결국 GHT 알고리즘은 R-테이블을 변환시키는 방법에 의해 크기의 변화와 회전에 무관하게 패턴 매칭을 할 수 있다. 그러나 이 경우 계수공간의 크기는 4차원이 필요하며 이는 GHT 알고리즘의 많은 장점에 도 불구하고 이용에 장애가 되어 왔다.

IV. 순차적 GHT 알고리즘

GHT 알고리즘은 회전, 크기의 변화 그리고 위치에 이동에 무관하게 우리가 찾고자하는 물체를 화상 내에서 정확하게 찾을 수 있으며 잡음에도 매우 강한 특성을 요구하기 때문에 실제 응용에 많은 제약조건이 따르게 된다. 이러한 문제점의 실질적인 원인은 GHT 알고리즘의 핵심이라고 할 수 있는 계수의 공간의 크기에 있다. 즉, 회전, 크기의 변화 그리고 위치의 이동에 무관하게 원하는 물체를 찾고자하는 경우 계수 공간의 크기는 4차원의 배열을 필요로 한다.

따라서 GHT 알고리즘의 연구에 가장 중요한 문제는 계수공간의 크기를 줄이는데 있다고 할 수 있다. 계수공간의 크기가 이처럼 4차원의 크기를 갖는 이유는 GHT 알고리즘내에 물체의 회전각도를 정하는 부분과 크기의 변화 정도를 결정하는 부분을 포함하고 있기 때문이다.

본 논문에서는 찾고자 하는 계수 공간의 크기를 줄일 수 있는 방법으로 찾고자 하는 물체의 회전각도와 크기의 변화를 미리 정한뒤 GHT 알고리즘을 적용하는 방법을 제안했고 이를 위해 GHT 알고리즘 적용 이전에 찾고자하는 물체의 회전 각도와 크기의 변

화를 미리 정하는 방법을 제안 함으로써 계수공간의 크기를 4차원에서 2차원으로 줄였다.

이 방법의 순서도는 다음과 같다.

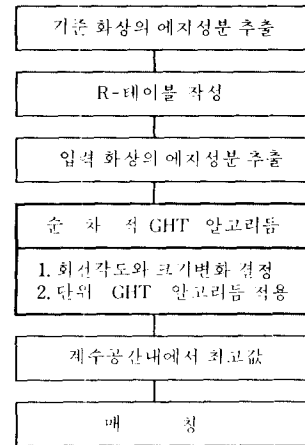


그림 4. 순차적 GHT 알고리즘의 순서도

Fig. 4. The flow chart of the sequential GHT algorithm.

순서도의 주요 부분을 다시 설명하면 다음과 같다.

1. 찾고자하는 물체의 회전각도 및 크기변화 결정 이 방법의 가장 핵심적인 원리는 유동적이지 않은 물체는 위치와 크기의 변화에서도 기준화상과의 상대적 관계는 유지한다는 것이다.

1) 화상의 에지 위치와 방향 추출

우선 기존의 GHT와 마찬가지로 기준화상과 시험 화상의 에지 요소들과 그들의 방향을 결정해야 한다. 이러한 정보를 얻기 위해서 본 논문에서는 Sobel 연산자를 사용하였다. Gradient 연산자중에 하나인 Sobel 연산자는 비교적 잡음에 덜 민감하며 구현이 간단하다는 장점이 있다.^{[6][9]} Sobel 연산자에 의해 에지의 위치와 방향을 구하는 경우 gradient 값은식(10)에 의해 계산 되어지며 방향은 식(11)에 의해 계산 되어진다.

$$G[f(x, y)] = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (10)$$

$$\text{여기서 } G_x = (X_7 + 2X_8 + X_9) - (X_1 + 2X_2 + X_3)$$

$$G_y = (X_3 + 2X_6 + X_9) - (X_1 + 2X_4 + X_7)$$

$$\phi = \tan^{-1}(G_y/G_x) \quad (11)$$

2) 회전 각도의 결정

찾고자 하는 물체의 각도 결정의 가장 핵심적인 근거는 모양이 고정적인 물체는 회전시에도 그 모양을 유지 한다는 것이다.

X_1	X_2	X_3
X_4	X_5	X_6
X_7	X_8	X_9

(a)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(b)

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(c)

그림 5. Sobel 연산자

- (a) 3×3의 화상 영역
- (b) 3×3 영역의 중심점에서 G_x 를 계산하기 위한 마스크
- (c) 3×3 영역의 중심점에서 G_y 를 계산하기 위한 마스크

Fig. 5. The Sobel operators.

- (a) 3×3 image region,
- (b) Mask used to compute G_x at center point of the 3×3 region,
- (c) Mask used to compute G_y at that point.

다시 말하면 찾고자하는 물체의 모양을 가장 잘 나타낼 수 있는 것은 그 물체의 외곽선이므로 찾고자 하는 물체의 외곽선과 회전된 물체의 외곽선의 상대적 관계를 측정함으로써 회전 각도를 알 수 있다. 한편 물체의 외곽선 정보를 가장 잘 나타내는 것은 외곽선을 구성하는 에지들의 방향이다. 따라서 기준 화상을 구성하는 모든 에지들의 방향과 입력화상을 구성하는 모든 에지들의 방향의 차의 누적 배열중 최대값을 갖는 각도가 찾고자하는 물체의 회전 각도이다.

이에 대한 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 누적 배열 B를 초기화 시킨다.
- (2) 기준화상내 모든 에지점들과 입력화상의 각 에지점들에 대해서 다음을 반복한다.
 - ① 입력화상내 에지들의 방향(ϕ_1)와 기준화상내 에지들의 방향(ϕ_2)의 차 θ_a 를 구한다.

$$\theta_a = \phi_1 - \phi_2 \quad (12)$$
 - ② 누적배열 B를 증가 시킨다.

$$B(\theta_a) = B(\theta_a) + 1 \quad (13)$$
- (3) B에서 최대값을 찾으면 그 인덱스가 찾고자하는 물체의 회전 각도이다.
- 3) 크기의 변화 결정
 찾고자하는 물체의 크기 변화를 알아내는 원리는 기준화상과 입력화상에서 특정 방향성분을 갖는 에지

의 비는 일정하게 유지한다는 것이다.

이러한 관계를 이용하여 크기의 변화정도를 결정하기 위해 기준화상의 크기를 증가 시켜가면서 입력 화상내의 물체들과의 상대적 에러를 계산하여 최소의 에러 제곱의 합을 갖는 크기를 찾고자하는 물체의 크기 변화 정도로 선택하였다.

이에 대한 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 찾고자하는 물체의 회전 각도(θ_a)를 미리 정한다.
- (2) 누적배열 C, D를 초기화 시킨다.
- (3) 기준화상내 모든 에지들의 방향(ϕ_1)에 대해 다음을 반복한다.

$$C(\phi_1) = C(\phi_1) + 1 \quad (14)$$
- (4) 입력화상내 모든 에지들의 방향(θ_1)에 대해 다음을 반복한다.

$$D(\phi_1) = D(\phi_1) + 1 \quad (15)$$
- (5) 모든 가능한 크기의 변화정도(S)에 대해서 다음을 반복한다.

① 기준화상의 누적배열 C를 모든 각도에 대해 θ_a 만큼 이동시킴으로써 기준 화상을 θ_a 만큼 회전시키는 효과를 갖도록 한다.

$$C(\phi_1) = C(\phi_1 + \theta_a) \quad (16)$$

② 기준 화상의 누적 배열 C를 모든 각도에 대해 S배함으로써 기준화상의 크기를 S배 증가시키는 효과를 갖도록 한다.

$$C(\phi_1) = S \times C(\phi_1) \quad (17)$$

③ 입력화상의 누적배열 D(ϕ_1)와 기준 화상의 입력 배열 C(ϕ_1)의 에러 제곱의 합을 계산하기 위해 모든 각도에 대하여 다음을 반복한다.

$$SSE = SSE + (C(\phi_1) - D(\phi_1))^2 \quad (18)$$

(6) 에러 제곱의 합이 최소가 되는 S가 찾고자하는 물체의 크기의 변화정도이다.

2. 단위 GHT 알고리즘의 수행

기존의 방법과는 달리 찾고자하는 물체의 회전 각도와 크기의 변화를 GHT 알고리즘 수행 이전에 결정했기 때문에 회전각도와 크기의 변화를 고려하지 않은 단위 GHT 알고리즘을 실행하므로써 찾고자하는 물체의 기준화상에 대한 회전각도, 크기의 변화 그리고 위치 이동을 찾아낸다.

한편, 이 방법의 효율성을 설명하기 위해 찾고자하는 물체가 128×128 크기의 화상안에 포함 되었고 회전 각도는 1도 단위로 360도 회전 가능하며 크기의 변화는 1배의 단위로 20배까지 가능하다고 정의하였다. 이 방법을 실제 화상에 적용한 결과 계수 공

간의 크기 면에서는 기존의 GHT 알고리즘은 117,964,800(=360×20×128×128)의 크기를 갖는 4차원의 배열을 필요로 한다. 반면에 GHT 알고리즘을 적용하기 이전에 회전 각도와 크기의 변화를 미리 정함으로써 17,484(=360×3+20+128×128)의 크기까지 계수 공간의 크기를 줄일 수 있음을 명확히 알 수 있다. 그렇게 해서 계수 공간의 크기를 95% 이상 줄일 수 있다.

다음 처리 시간의 관점에서 비교하여 불매 우선 회전이나 크기의 변화가 없는 경우 GHT 알고리즘 수행에 필요한 시간을 Δ 라 하고 GHT 알고리즘 적용 이전에 회전각도와 크기 변화를 결정하는데 필요한 시간을 δ 라고 하자. 이 경우 기존의 GHT 알고리즘은 7200Δ (=360×20× Δ)의 처리 시간을 필요로 하는 반면 제안한 방법은 단지 $\delta+\Delta$ 만큼의 시간을 필요로 한다.

따라서 $\delta+\Delta < 7200\Delta$ 의 조건을 만족한다면 제안된 방법이 처리 시간에서도 효율적임을 증명할 수 있다. 실험화상에 따라 차이가 있으나 $\delta \leq 300\Delta$ 의 조건을 만족하여 처리 시간에서도 기존의 GHT 알고리즘에 비해 95% 이상 줄일 수 있었다.

V. 실험 결과 및 고찰

실험에서 사용된 기준화상과 입력화상은 256 gray level을 갖는 CCD 카메라를 통해 얻어지며 32bit 마이크로프로세서(microprocessor)인 80386CPU(20MHz)를 사용하고 80387 코프로세서(coprocessor)를 내장한 마이크로 컴퓨터(microcomputer)를 사용하였다.

화상의 크기는 128×128로 고정되고 찾고자 하는 물체의 회전각도는 1도씩 양자화되며 크기의 변화 정도는 1배씩 양자화 되어 20배까지 확대 되어질 수 있다고 가정한다. 제안된 방법에 대한 실험 모델은 3종의 비행기 모형을 사용하였으며 입력화상은 찾고자 하는 비행기가 입력화상내에서 위치 이동, 회전, 크기의 변화, 그리고 잡음이 섞여 있는 경우에 대해 입력화상을 만들어 실험했다.

찾고자 하는 물체가 위치 이동, 회전, 그리고 크기 변화되어 있고 잡음을 포함하고 있는 입력화상에 대한 제안한 GHT 알고리즘의 실험 예는 아래와 같다.

1. 기준화상과 에지 화상

그림 6(a)는 CCD 카메라를 통해 얻은 기준화상이고 그림 6(b)는 이 기준화상에 Sobel 연산자를 적용하고 gradient값의 임계치를 300으로 하여 얻은 에지 화상이다. 이 에지화상으로부터 R-테이블을 만들기 위해 사용한 기준점의 좌표값은 (71, 33)이다.

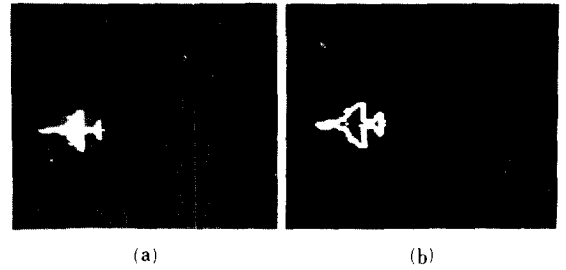


그림 6. 기준 화상과 에지 화상
(a) 기준 화상 (b) 에지화상
Fig. 6. Reference image and its gradient image.
(a) reference image, (b) gradient image.

2. 입력화상과 에지화상

그림 7(a)는 CCD 카메라를 통해 얻은 입력 화상이다. 입력화상내의 찾고자하는 비행기는 기준화상에 대해 회전되어 있고 크기가 확대되어 있으며 위치가 이동되어 있을뿐만 아니라 임펄스 잡음을 포함하고 있다. 한편 그림 7(b)는 입력화상에 Sobel 연산자를 적용하고 gradient값의 임계치를 300으로 하여 얻은 에지 화상이다.

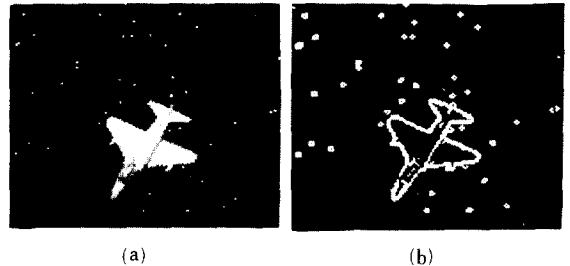


그림 7. 입력 화상과 에지 화상
(a) 입력 화상 (b) 에지 화상
Fig. 7. Input image and its gradient image.
(a) input image, (b) gradient image.

3. 회전 각도의 결정과 크기 변화의 결정

그림 8은 기준화상과 입력화상으로부터 에지 방향의 상대적 관계를 이용하여 찾고자하는 비행기의 회전각도를 결정하는 알고리즘을 적용한 결과이다. 이 결과는 찾고자하는 비행기가 입력 화상내에서 61도 회전되어 있음을 나타내고 있다.

그림 9는 크기 결정 알고리즘의 적용 결과이다. 이 결과는 찾고자하는 비행기의 크기 변화가 2배인 위치에서 가장 작은 에러 제곱의 합을 나타내고 있다.

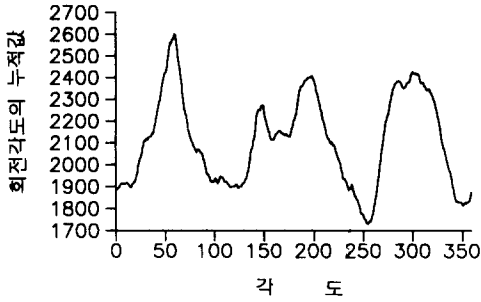


그림 8. 회전 각도의 결정 알고리즘의 적용
Fig. 8. Applying the algorithm for a rotation.

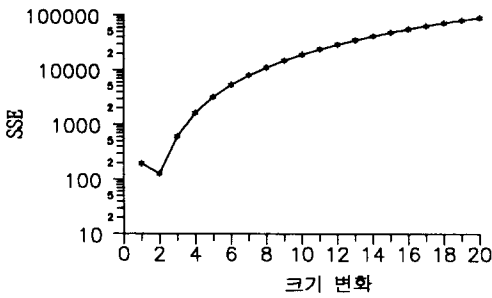


그림 9. 크기 변화 결정 알고리즘의 적용
Fig. 9. Applying the algorithm for a scale change.

4. 계수공간과 인식 결과

그림 10은 제안한 방법에 의해 형성된 2차원의 계수공간이다. 계수공간내에서 최고값은 좌표값 (81,64)에서 74를 갖는다. 좌표값은 찾고자하는 비행기의 위치를 나타낸다.

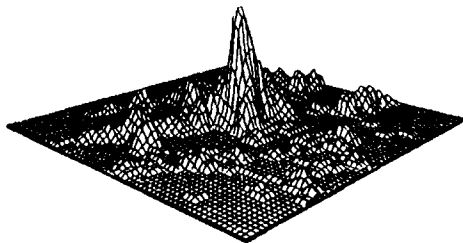


그림 10. 순차적 GHT 알고리즘의 2차원 계수공간
Fig. 10. The parameter space of the sequential GHT algorithm.

그림 11는 기준 화상으로 부터 얻은 R-테이블을 사용하여 입력화상으로부터 찾고자하는 비행기를 찾아낸 결과를 보여주고 있다. 입력화상내에 있는 찾고

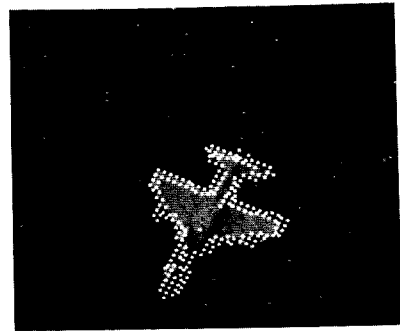


그림 11. 순차적 GHT 알고리즘의 적용 결과
Fig. 11. The result of the applying the sequential GHT algorithm.

자하는 비행기의 외곽 테두리 선은 매칭 결과를 명확하게 보여 주고 있다. 즉, 입력화상내의 찾고자하는 비행기는 61도 회전되고 2배 확대되어 있으며 x축방향으로 10만픽 이동되어 있고 y축으로 31만픽 이동되어 있다.

결국, 순차적 GHT 알고리즘을 위의 실험 화상에 적용한 결과 계수공간은 4차원에서 2차원으로 감소되어졌고 처리 시간은 기존 GHT 알고리즘이 7200초 ($20 \times 360 \times \Delta$)가 소모된 반면 제안한 GHT 알고리즘은 301초 ($\delta + \Delta$)소모되어 처리 시간에 있어서 96%의 감소 효과가 있었다. 여기서 단위 GHT 알고리즘 수행에 소모되는 시간 Δ 는 1.0초이었고 제안한 GHT 알고리즘에서 회전각도와 크기의 변화를 미리 정하는데 소모되는 시간 δ 는 300초이었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 GHT 알고리즘 구현에 가장 큰 문제점인 기억용량과 처리시간의 크기를 효율적으로 해결하기 위한 방법으로 GHT 알고리즘을 적용하기 이전에 기준화상과 입력화상내에서 찾고자하는 물체로부터 얻어진 에지 방향의 상대적 관계를 이용하여 찾고자하는 물체의 회전 각도와 크기의 변화를 결정할 수 있는 순차적 GHT 알고리즘을 제안하였다. 또한 이 알고리즘을 CCD 카메라를 통해 얻은 비행기 화상에 적용하여 양자화 에러를 고려한 범위내에서 정확도의 감소없이 기존의 GHT 알고리즘에 비해 기억용량과 처리시간의 크기에서 95%이상 감소 효과가 있음을 증명했다.

이 알고리즘을 이용할 경우 효율적인 패턴 매칭 방법인 GHT 알고리즘 구현의 가장 큰 장애인 처리시간과 기억용량의 문제를 해결할 수 있을 것으로 생

각된다.

參 考 文 獻

[1] P.C.V. Hough, "Method and means for recognizing complex pattern," U.S. Patent 3,069,654, 1962.

[2] R.D. Duda and P.E. Hart, "Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures," *Comm. ACM*, vol. 15, pp. 11-15, 1972.

[3] C. Kimme, D.H. Ballard, and J. Sklansky, "Finding Circles by an Array of Accumulators," *Comm. ACM*, vol. 18, pp. 120-122, 1975.

[4] D.H. Ballard, "Generalizing The Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes," *Pattern Recognition* vol. 13, pp. 111-122, 1981.

[5] D.H. Ballard and C.M. Brown, *Computer vision*, Prentice-Hall, 1982.

[6] R.C. Gonzalez and P. Wintz, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, pp. 331-390, 1987.

[7] R. Krisnapuram and D. Casasent, "Hough space transformations for discrimination and distortion estimation," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 38, no. 3, pp. 299-316, 1987.

[8] 김수환, 이규대, 이태원, "Standard GHT와 Line Segement Based GHT에 관한 연구," 신호처리 합동학술대회 3권 1호, pp. 119 - 123, 한국음향학회, 1990년 9월.

[9] O.A. Zuniga and R.M. Haralick, "Integrated Directional Derivative Gradient Operator," *IEEE Trans. System, Man and Cybernetics*, vol. 7, no. 3, pp. 508-517, May/June 1987.

[10] Su-Hwan Kim, Cheong-Hwan Park, Kyu-Tae Lee, and Tae-Won Rhee, "On the Improved GHT for Scaled Object Detection," *Proc. JTC-CSCC*, pp. 483-488, Dec. 1990.

著 者 紹 介



金 秀 桓 (準會員)
 1966年 9月 17日生. 1990年 2月 고려대학교 전자공학과 졸업. 현재 고려대학교 전자공학과 석사과정. 주관심 분야는 화상신호 처리, 컴퓨터 비전, 퍼지 시스템등.



林 承 民 (準會員)
 1967年 2月 24日生. 1989年 2月 고려대학교 전자공학과 졸업. 1991年 2月 고려대학교 전자공학과 대학원 석사학위 취득. 현재 현대전자 산업전자연구소 연구원. 주관심 분야는 화상신호 처리등.



李 圭 台 (正會員)
 1959年 2月 10日生. 1984年 8月 고려대학교 전자공학과 졸업. 1986年 8月 고려대학교 전자공학과 대학원 석사학위 취득. 1991년 2월 고려대학교 전자공학과 대학원 박사학위 취득. 현재 안양전문대 전자통신과 전임강사. 주관심 분야는 디지털 신호처리, 패턴인식, 퍼지시스템등.

李 太 遠 (正會員) 第25卷 第2號 參照
 현재 고려대학교 전자공학과 교수.