

論文2001-38SP-4-10

선택적 방향 주의를 가지는 수정된 스캔라인 일반화 대칭 변환 (Modified Scan Line Based Generalized Symmetry Transform with Selectively Directional Attention)

金 東 守 , 秦 成 一

(Dong-Su Kim and Sung-Il Chien)

요 약

일반화 대칭 변환 (generalized symmetry transform, GST)은 주어진 영상에서 사전 분할이 없이 국부성과 반사 대칭성을 결합하여 대칭을 측정하고 관심 영역을 추출한다. GST의 거리 가중치 함수에서 국부적인 대칭성이 반영되며 이 함수의 표준 편차 σ 에 의해 GST의 수행 범위가 조절된다. 넓은 관심영역을 추출하기 위해 반지름 r 이 큰 검색영역 내에서의 대칭성이 추출될 필요가 있다. 이에 따라서 GST의 수행시간은 r 에 따라 2차적으로 증가하게 된다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해 선택적 방향 주의를 가지는 수정된 스캔라인 GST를 제안한다. 제안된 GST는 기존의 GST와 유사한 대칭 특성을 추출하지만 선택적 방향의 기울기만을 고려한 스캔라인 위의 에지 화소쌍에서 GST를 수행함으로써 r 에 따라서 이의 수행시간이 선형적으로 증가된다. 특히 r 이 큰 경우에 선택적 방향에 대해서만 적용하면 기존의 GST의 계산량이 비례해 지는 단점을 보완해 줄 수 있다. 제안된 GST가 기존의 GST보다 시간적으로 효과적이며 유용하다는 것이 여러 종류의 영상에 대한 실험으로 확인되었다.

Abstract

The generalized symmetry transform evaluates symmetry without segmentation and extracts regions of interest in an image by combining locality and reflectional symmetry. The demand that the symmetry transform be local is reflected by the distance weight function. When calculating large regions-of-interest, we should select a large standard deviation of distance weight function. But such a large standard deviation makes the execution time increase in the second power of r , which is a radius of search area. In this paper we propose modified scan line based GST with selectively directional attention to improve time complexity. The symmetry map of our proposed GST is found to be very similar to that of the existing GST. However the computation time of the proposed GST increases linearly with respect to r because our proposed GST evaluates symmetry between a pair of edge pixels along the scan lines. The GST computation decreases considerably when the proposed GST is performed with selectively directional attention in case of large r . Several experiments in this paper demonstrate the time efficiency and the usefulness of our proposed GST.

I. 서 론

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣컴퓨터學部
(Kyungpook National University, School of Electrical
Engineering and Computer Science)
接受日字:2001年2月28日, 수정완료일:2001年6月12日

대칭은 형태나 물체의 기본적인 특징 중의 하나이다. 이것은 인공적인 물체뿐만 아니라 자연 물체에서도 흔히 발견된다. 기하학적인 대칭에는 반사 대칭과 회전 대칭 등 여러 종류의 대칭이 존재한다. 반사 대칭은 물

체가 특정한 직선을 기준으로 반사될 때 모양이 동일한 경우이고, 회전 대칭은 물체가 이의 무게 중심에 대하여 특정한 각도로 회전할 때 모양이 동일한 경우이다. 컴퓨터 비전 분야에서 대칭에 대한 연구가 광범위하게 수행되어 왔다. 물체에서의 대칭 검출 문제가 형태 인식^[1,2] 문제로 인식됨에 따라서 반사 대칭^[3,4] 및 회전 대칭을 효율적으로 검출하는 알고리즘들이 제안되어 왔다. 주어진 영상에서 대칭의 중심 위치를 결정하고 문자열 패턴 매칭 방법을 적용하여 반사 대칭축을 추출하는 방법이 Atallah 등^[3]에 의해 제안되었다. 그러나 이 방법에서는 선분과 원 및 점들로 구성된 평면 영상에서만 유효한 단점을 가지고 있다. 그리고 평면 영상에서 개략적인 대칭 축의 위치와 수를 추정하는 문제에서 Marola^[4]는 반사 대칭 계수 (coefficient of reflectional symmetry)를 제안하였다. 실제로 완전한 대칭을 갖는 영상은 거의 존재하지 않으므로 이 방법에서 완전한 대칭이 아닌 평면 영상에 대해서도 검출하였다. 한편 Zabrodsky 등^[5]이 연속적인 특징을 추출하는 연구로의 변화를 가져 왔다. 이전까지는 영상에서 대칭이 존재하는지 아닌지의 여부와 같은 이진 특징을 검출하는 연구가 이루어졌다. 이들은 물체가 가진 모든 형태의 대칭을 측정하고 정량화하여 연속적인 특징으로 나타내는 매개변수를 제안하였다.

최근에는 Reinfeld 등^[6,7]이 사전 분할을 수행하지 않고 명도 그래디언트 (intensity gradient)에 기반한 사전 정보가 존재하지 않는 일반화 대칭 변환 (generalized symmetry transform, GST)을 제안하였다. 이들은 국부성과 반사 대칭성을 이용하여 주어진 영상에서 대칭 맵을 구하고 대칭 맵의 국부적인 최대값이 되는 화소를 관심 영역의 중심으로 추출하였다. GST에서 사용된 가우시안 거리 가중치 함수는 국부적인 대칭을 반영하며, 이의 표준 편차 σ 에 의해 GST의 수행 범위가 조절된다. N 개의 화소로 구성된 영상에서 GST를 수행하는 경우에 거리 가중치 함수를 이용해 검색영역의 반지름 r 내에서 국부적인 대칭을 획득한다. 본 논문에서는 검색영역의 반지름 r 을 3σ 로 결정한다. 이 방법은 각 화소쌍의 거리가 $2r$ 보다 작은 범위 내에서 수행되는데, 전역적인 대칭성을 가지는 임의의 관심 영역을 추출하기 위해서는 r 이 큰 값이어야만 된다. 따라서 이 방법의 time complexity는 $O(Nr^2)$ 이다^[7]. 이것은 이차원의 영역 내에서 대칭성을 추출하게 하므로, r 에 따라서 수행시간이 이차적으로 증가됨을 알 수 있다.

이를 개선하기 위해 r 에 따른 검색영역이 증가하지만 GST의 수행시간이 선형적으로 증가하는 스캔라인 GST를 본 논문에서는 제안한다. 기존의 GST가 특정 영역 내에 존재하는 화소쌍들의 대칭 기여도를 구해내는데 반해, 제안된 GST는 특정 기울기를 가지는 스캔라인들로 구성된 스캔라인집합내에 존재하는 에지 화소쌍들의 대칭 기여도를 추출한다. 제안된 스캔라인 GST는 스캔라인의 기울기 수가 r 보다 작을 경우에 기존의 GST에 비해 연산 속도에서 상당한 개선을 이룰 수 있으나 표현 공간의 표본화에 의해서 획득된 대칭 맵에서의 변형이 발생하는 문제점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 r 보다 상대적으로 적은 수의 스캔라인의 기울기가 존재하는 경우에 획득된 대칭 맵이 열화되는 현상을 피하기 위해 수정된 스캔라인 GST를 제안한다. 즉 다수의 스캔라인 레이블맵을 이용하여 스캔라인 GST에서 발생하는 중복 과정을 추적하여 제거함으로써 주어진 영상 내에 존재하는 물체의 코너 등에서 대칭성이 강조되는 현상을 제거한다. N_e 개의 에지 화소로 구성된 임의의 영상을 가정하면 수정된 스캔라인 GST의 time complexity는 $O(N_e r L)$ 로 나타난다. 여기서 L 값은 스캔라인의 기울기 수를 나타낸다.

특히 검출하려는 물체나 관심 영역에서 특정한 대칭 특성이 존재하면 모든 방향의 기울기에 적용하지 않고 특정한 방향을 선택적으로 수행할 수 있다. 이 때 r 이 L 에 비해 아주 크면 GST의 계산량이 비례해지지는 단점을 크게 보완할 수 있다. 본 논문에서는 사각형 모양이나 원형 모양 등이 포함된 인공 영상과 나뭇잎 영상과 얼굴 영상 등의 자연 영상에 대하여 적절한 기울기 수 L 을 선택하여 제안된 GST가 유사한 대칭 맵을 추출하지만 기존의 GST에 비해 시간적으로 효율적임을 보여 주었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 GST와 제안된 GST에 대해서 논하며, 3장에서는 제안된 GST의 실험 결과를 기술한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 선택적 방향 주의를 가지는 수정된 스캔라인 일반화 대칭 변환

1. 기존의 일반화 대칭 변환

일반적으로 대칭 연산을 수행하기 위해 물체가 대칭

인지 아닌지를 결정하기 전에 물체의 형태를 알아야 한다. 반면에 GST^[6,7]는 사전 분할을 수행하지 않고 국부성과 반사 대칭성을 이용하여 영상에서의 관심 영역이 효율적으로 추출되는 방법이다. 이것은 에지 그래디언트에 기반한 연산자이므로 주어진 영상에서 Sobel 연산자를 이용하여 에지 그래디언트를 추출한다. 또한 수행시간에 지대한 영향을 미치는 에지 화소 수를 줄이기 위해 NMS (non-maximum suppression)^[8]를 수행하였다.

GST에서는 화소쌍들 사이의 대칭값을 거리 가중치 함수 (distance weight function), 위상 가중치 함수 (phase weight function), 화소들의 그래디언트 크기 (gradient magnitude)의 로그 매핑들이 결합되어 주어진 영상에서 관심영역이 결정된다.

먼저 각 화소에서의 대칭값을 정의하자. 전체 화소가 N 개로 구성된 영상에서 임의의 화소 $p_k(x_k, y_k)$ 를 정의하고, 화소 p_k 에서의 에지 그래디언트를

$$\nabla I(p_k) = \left(\frac{\partial}{\partial x} I(p_k), \frac{\partial}{\partial y} I(p_k) \right) \quad (1)$$

라고 하며 $I(p_k)$ 는 화소 p_k 에서의 영상 밝기값이다. 화소 p_k 에서의 그래디언트 크기 r_k 및 방향 θ_k 를 각각 다음과 같이 정의한다.

$$r_k = \log(1 + \|\nabla I(p_k)\|) \quad (2)$$

$$\theta_k = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial}{\partial y} I(p_k)}{\frac{\partial}{\partial x} I(p_k)} \right) \quad (3)$$

여기서 N 개의 영상 화소 중 화소쌍 p_i 와 p_j 사이의 거리에 관계된 거리 가중치 함수 $D_\sigma(i, j)$ 와 반사 대칭성이 반영된 위상 가중치 함수 $P(i, j)$ 는 각각 다음과 같다.

$$D_\sigma(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{\|p_i - p_j\|}{2\sigma}\right) \quad (4)$$

$$P(i, j) = (1 - \cos(\theta_i + \theta_j - 2\alpha_{ij}))(1 - \cos(\theta_i - \theta_j)) \quad (5)$$

식 (4)에서 가우시안 거리 가중치 함수의 표준 편차 σ 는 GST의 수행 범위를 조절하는 매개변수이다. 여러 σ 값을 채택하면 multiresolution이 반영된다. 작은 경우에 국부적인 대칭성이 반영되며, σ 가 큰 경우에 먼 거리의 화소들에 가까운 거리의 화소들과 유사한 값이 부여된다. 그림 1에서 보인 바와 같이 θ_i 와 θ_j 는 각각

화소쌍 p_i 와 p_j 의 그래디언트 방향이며, α_{ij} 는 p_i 와 p_j 를 지나는 직선과 수평축이 이루는 반시계 방향의 각도이다.

화소쌍 p_i 와 p_j 사이에 존재하는 대칭 기여도 $C(i, j)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$C(i, j) = D_\sigma(i, j) P(i, j) r_i r_j \quad (6)$$

최종적인 대칭맵 $M_\sigma(p)$ 는

$$M_\sigma(p) = \sum_{(i, j) \in \Gamma_\sigma(p)} C(i, j) \quad (7)$$

로 구해진다. 여기서 $\Gamma_\sigma(p) = \left\{ (i, j) \mid \frac{p_i + p_j}{2} = p \right\}$ 와 같이 화소쌍의 중점을 나타내는 집합에서 최종적인 대칭맵은 대칭 기여도의 합으로 정의된다.

거리 가중치 함수를 나타내는 식 (4)에서 표준 편차 σ 는 GST의 수행 범위를 조절하는 매개변수이다. 중점으로부터 거리가 r 인 지점의 대칭값은 완전히 소멸된다. 따라서 두 화소들의 거리가 $2r$ 보다 작은 범위에서 GST가 수행된다. 본 논문에서는 가우시안 거리 가중치 함수에서의 거리가 6σ 일 때 거의 영에 가까워지므로 검색영역의 반지름 r 을 3σ 로 결정한다. 특정 반지름 r 에 의해 포함되어 연산에 기여하는 화소들은 이 증가됨에 따라서 2차적으로 증가된다. 직렬로 구현한 경우에 GST의 time complexity는 $O(Nr^2)$ 이다^[7]. 일반적으로 전역적인 대칭성이 수용되는 관심 영역을 추출하기 위해서는 검색영역이 클 필요가 있다. 따라서 넓은 범위의 대칭성을 구하기 위해 GST의 수행시간이 r 에 따라 2차적으로 증가한다는 것을 알 수 있다.

한편 대부분의 영상들을 보면 모든 화소에서 급격한 명도값 기울기가 발생되지는 않는다. 따라서 적절한 그래디언트 크기를 문턱값으로 이용하여 에지를 추출할 때 전체 에지 화소의 수 N_e 는 전체 화소의 수 N 에 비해 매우 작다. 그런데 GST는 대칭 값이 존재하는 중심을 기준으로 추출하므로 모든 화소에 대한 대칭연산을 수행해야만 한다. 이러한 비효율성을 개선하기 위해 GST의 수행에 있어서 임의의 에지 화소를 중심으로 비중복적으로 화소쌍이 선택되어 대칭맵이 구해지는 것이 바람직하다. 이 때 에지 화소만을 고려하면 GST의 time complexity는 $O(N_e r^2)$ 로 줄어든다.

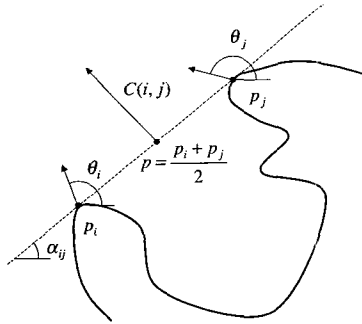


그림 1. 화소쌍 p_i 와 p_j 에서의 그래디언트의 대칭 기여도

Fig. 1. Contribution to symmetry of the gradients at edgels p_i and p_j .

2. 스캔라인 일반화 대칭 변환

기존의 GST에 사용된 거리 가중치 함수의 표준 편차 σ 가 커짐에 따라서 검색영역의 반지름인 r 도 커지게 되며 이에 따라서 GST의 수행시간이 2차적으로 증가된다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 스캔라인 GST를 제안하여 수행시간이 r 에 따라서 선형적으로 증가하게 한다.

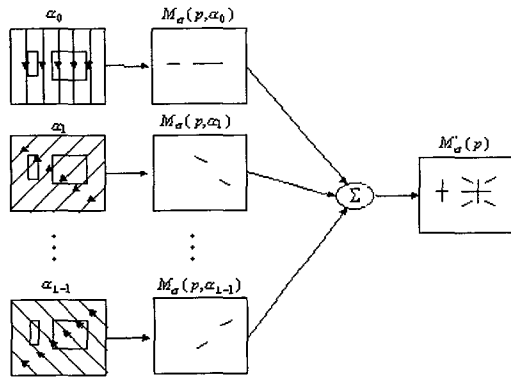


그림 2. 제안된 스캔라인 GST

Fig. 2. Proposed scan line based GST.

먼저 제안된 스캔라인 GST에 사용되는 스캔라인의 기울기 수를 L 개라고 하자. k 번째 스캔라인의 기울기는 α_k 로 나타내고, 이는

$$\alpha_k = \frac{\pi}{2} - \frac{k\pi}{L}, \quad (k=0, \dots, L-1) \quad (8)$$

와 같이 동등한 간격으로 결정된다.

실제 영상의 크기는 가로가 W 이고 세로가 H 라고

가정하자. 실제 영상에서 특정 기울기를 가지는 직선은 널리 알려져 있는 Bresenham 알고리즘^[9]에 의해 구해진다. 제안된 스캔라인 GST는 그림 2에서와 같으며 임의의 기울기 α_k 에 대해서 영상 내에서 T 개의 일련의 스캔라인 $L_k(m) (m=1, \dots, T)$ 들이 정의된다. 여기서 T 는 특정한 기울기가 α_k 일 때, 실제영상에서 스캔라인의 개수를 나타낸다. T 는 α_k 가 $\frac{\pi}{4}$ 미만인 경우에

$$W\alpha_k + H \text{이며, } \frac{\pi}{4} \text{를 초과할 경우에 } H\alpha_k + W \text{이다.}$$

이러한 스캔라인에 존재하는 에지 화소쌍들의 집합을 k 번째 스캔라인집합 $\Gamma_\sigma(p, \alpha_k)$ 라 한다. 여기서 $\Gamma_\sigma(p, \alpha_k) = \{(i, j) | \frac{p_i + p_j}{2} = p, p_i, p_j \in L_k(m), m=1, \dots, T\}$ 와 같이 두 에지 화소쌍으로 구성된다. 기존의 GST는 중점을 기준으로 특정 영역 내에 존재하는 화소쌍들의 대칭 기여도가 추출되는데 반해, 제안된 스캔라인 GST에서 정해진 기울기를 가지는 스캔라인들로 구성된 스캔라인집합에서 각 스캔라인 위에 존재하는 반지름 내의 에지 화소쌍들로부터 대칭 기여도 $C(i, j)$ 가 구해진다. 식 (5)에서 에지 화소쌍을 연결하는 직선의 기울기 α_{ij} 는 스캔라인의 기울기인 α_k 로 대체된다. 결과적으로 α_k 의 기울기를 가지고 스캔라인 위에 존재하는 에지 화소쌍들의 집합인 k 번째 스캔라인집합 $\Gamma_\sigma(p, \alpha_k)$ 에서 구해지는 대칭맵인 k 번째 방향 대칭맵 $M_\sigma(p, \alpha_k)$ 는 다음과 같다.

$$M_\sigma(p, \alpha_k) = \sum_{(i, j) \in \Gamma_\sigma(p, \alpha_k)} C(i, j) \quad (9)$$

이러한 L 개의 방향 대칭맵을 합하면, 전체 대칭맵 $M'_\sigma(p)$ 를 구성할 수 있다.

$$M'_\sigma(p) = \sum_{k=0}^{L-1} M_\sigma(p, \alpha_k) \quad (10)$$

여기서 스캔라인의 기울기 수인 L 은 제안된 스캔라인 GST의 수행시간과 획득된 대칭맵의 정밀도를 결정하는 중요한 매개변수이다. N_e 개의 에지 화소가 존재하는 영상에서 L 개의 방향이 동등한 간격의 기울기로 결정되면, 하나의 에지 화소에서 L 개의 방향에 대해서 스캔라인집합이 결정되고 에지 화소쌍의 거리와 관계된 r 개의 대칭 연산이 수행된다. 따라서 제안된 스캔라인 GST의 time complexity는 $O(N_e rL)$ 이다. L 이

r 보다 클 때 제안된 스캔라인 GST의 대칭맵은 기존의 GST에 의한 대칭맵과 유사하지만 제안된 스캔라인 GST의 수행시간이 기존의 GST의 수행시간보다 늘어날 수 있다. 반대로 L 이 r 보다 작을 때 제안된 스캔라인 GST의 수행시간이 감소하게 되어 고속 수행이 가능하게 된다.

그러나 제안된 방법에서 소수의 방향을 가지고 있는 경우에 즉 L 이 r 보다 아주 작을 때 그림 3에서처럼 근접한 에지 화소들에서 더욱 강한 대칭이 추출된다. 그림 3의 (a)는 기존의 GST에 의해 구해진 대칭 기여도이고, 그림 3의 (b)는 제안된 스캔라인 GST에 의한 대칭 기여도이다. 그림 3의 (a)에서 윗 부분의 p_1 과 아래 부분의 p_2 에 기여하는 에지 수가 $l_1 : l_2$ 로 다른 반면에, 그림 3의 (b)에서는 윗 부분의 p'_1 과 아래 부분의 p'_2 에 기여하는 에지 화소의 수가 같다는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 제안된 스캔라인 GST가 계산량을 줄이기 위해 L 개의 스캔라인집합에 존재하는 에지 화소쌍들만을 이용해서 대칭값을 구함에 따라서 기존의 GST에 의해 구해진 대칭값과 일치하지 않는다는 것을 의미한다. 그러나 L 의 개수를 적당히 늘이면 이러한 현상을 줄일 수 있다. 또한 대칭값 자체가 아닌 관심점을 추출하는 문제에 대해서는 제안된 방법이 유용하게 사용될 수 있다.

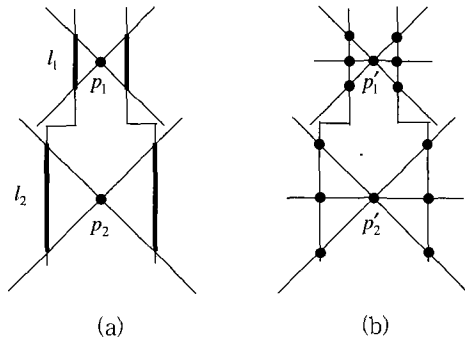


그림 3. 기존 GST와 제안된 스캔라인 GST의 대칭 기여도 비교

Fig. 3. Comparison between symmetry contributions of existing GST and proposed scan line based GST.

3. 선택적 방향 주의를 가지는 수정된 스캔라인 일반화 대칭 변환

각 방향에 대해서 구해진 대칭맵 $M_\alpha(p, \alpha_k)$ 를 이용하여 그림 2에서처럼 모든 방향 성분을 합하여 전체

대칭맵 $M_\alpha'(p)$ 를 추출할 수 있다. 이 경우 가까운 에지 화소들에서 대칭성이 중복적으로 기여하게 된다. 임의의 두 스캔라인의 방향사이의 각도가 45° 이하이면 중복적인 연산이 발생할 수 있다. 그림 4에서는 0° 의 스캔라인과 25° 의 스캔라인을 나타내고 있으며 이 때 두 스캔라인에서 4번과 5번 화소가 중복적으로 발생되었다. 이러한 중복성 문제는 근본적으로 직선이 무한개의 점으로 구성된 것이 아니고 유한한 화소로 구성되는 표본화 과정에 기인하여 발생된다. 이를 보완하기 위해서 중복성을 배제하는 방법을 수행하고자 한다.

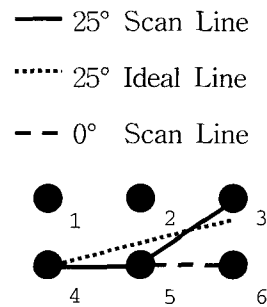


그림 4. 두 스캔라인의 중복성
Fig. 4. Duplication effect of two scan lines.

L 개의 스캔라인 기울기가 존재한다고 가정할 때 임의의 기울기를 갖는 일련의 스캔라인으로 구성된 스캔라인집합을 정의할 수 있다. 이러한 각각의 스캔라인집합 내에 존재하는 스캔라인에 라인 번호를 부가하여 인덱싱하자. 여기서 중복을 추적하기 위해 라인 번호를 저장하는 맵을 이용하며 이를 스캔라인 레이블맵(scan line label map)이라고 정의한다. 스캔라인 레이블맵은 실제 영상크기와 같으며 그 값은 스캔라인 $L_k(m)$ 의 번호 m 을 레이블로 저장하게 된다. 완전히 중복을 제거하기 위해서는 $L-1$ 개의 스캔라인 레이블맵이 필요하지만 이는 방대한 메모리 낭비를 초래한다. 따라서 본 논문에서는 스캔라인 방식에서 발생하는 중복을 제거하기 위해 s 개의 스캔라인 레이블맵(SM_1, \dots, SM_s)을 이용하는 수정된 스캔라인 GST를 구현한다. 이 알고리즘은 다음과 같다.

a) 첫번째 스캔라인 기울기에 의한 첫번째 스캔라인 집합 $\Gamma_\alpha(p, \alpha_1)$ 에 존재하는 두 에지 화소 p_i 와 p_j 사이에 존재하는 대칭 기여도 $C(i, j)$ 를 식 (6)과 같이 구한다. 이 때 식 (9)에서처럼 첫번째 방향 대칭맵 $M_\alpha(p, \alpha_1)$ 이 구해진다. 스캔라인집합 $\Gamma_\alpha(p, \alpha_1)$ 에서 각

스캔라인 $L_k(m)$ 의 라인번호 m 을 첫번째 스캔라인 레이블맵 SM_1 에 저장한다.

b) 다음 순번의 스캔라인 기울기 a_k 에 의한 스캔라인 집합 $\Gamma_o(p, a_k)$ 내에 존재하는 임의의 두 에지 화소 p_i 와 p_j 에서 S개의 스캔라인 레이블맵(SM_1, \dots, SM_S)에 저장된 레이블값이 모두 다른 경우에는 대칭 기여도를 추출하고 같은 값이 하나라도 존재하는 경우에는 두 에지 화소에 대한 연산이 수행되었다는 의미이므로 중복 연산을 피하기 위해 대칭 연산을 수행하지 않는다. 이 때 k 번째 방향 대칭맵 $M_o(p, a_k)$ 이 구해진다. k 번째 스캔라인 집합 $\Gamma_o(p, a_k)$ 에 존재하는 에지 화소쌍의 연산이 모두 완료되면 각 라인번호 m 을 임시 스캔라인 레이블맵 SM_{temp} 에 저장한다.

c) S개의 스캔라인 레이블맵의 값을 이전의 스캔라인 레이블맵으로 이동시킨다. 이 과정에서는 임시 스캔라인 레이블맵 SM_{temp} 은 첫번째 스캔라인 레이블맵 SM_1 으로, 첫번째 스캔라인 레이블맵 SM_1 은 두번째 스캔라인 레이블맵 SM_2 으로 값을 이동시키며, S개의 스캔라인 레이블맵의 값이 모두 이동된다.

d) L개의 스캔라인 기울기에 대해서 각 방향 대칭맵을 모두 구하게 되면 이 과정을 종료하고 그렇지 않은 경우에는 b) 단계에서 c) 단계를 반복한다.

e) L개의 방향 대칭맵을 식 (10)과 같이 합하여 전체 대칭맵 $M_o'(p)$ 를 최종적으로 구한다.

여기서 최적의 S가 얼마인가 하는 문제는 3.2 절에서 다루어진다.

식 (8)과 같이 등간격의 기울기를 갖는 수정된 스캔라인 GST는 임의의 대칭성을 검출하는 데 유효하다. 그러나 사전에 검출하려는 물체가 특별한 방향에서 대칭을 갖는다는 것이 알려지면 제안된 방법은 주어진 방향에 대한 기울기만을 정의해 수행하도록 하는 방법으로 즉, 선택적 방향 주의를 갖는 방법으로 변형될 수 있는 장점이 있다. 이런 선택적 방향 주의를 가지는 수정된 스캔라인 GST는 기존의 GST에 비해 소요되는 계산량을 크게 감소시킬 수 있다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. 실험 영상 및 시스템 환경

제안된 선택적 방향 주의를 가지는 수정된 스캔라인

GST는 인공 영상들과 자연 영상들에 대한 실험을 통하여 그 타당성을 확인한다. 인공 영상으로 실내 환경에서 빈번히 발생하는 형태인 정사각형과 원형을 포함하는 영상들을 사용하였다. 정사각형인 경우에 r 이 클 때 대칭 위치가 가로와 세로의 중점을 지나는 두 직선이고 r 이 작을 때 대칭 위치가 네 코너쪽이다. 원형인 경우에 r 이 원의 반지름보다 클 때 모든 방향에서 대칭이 발생되므로 대칭점이 복원되기는 상당히 어렵다. 따라서 원형 영상은 주어진 스캔라인 GST의 복원성을 평가하기 위해 사용되었다. 인공 영상 외에도 나뭇잎 영상과 얼굴 영상 등 여러 형태의 자연 영상에 대해 제안된 GST를 적용하여 기존의 GST에 대한 속도 개선 정도를 평가하였다. 본 논문에서는 Pentium II-333MHz PC를 이용하여 윈도우 98 환경 하에서 비주얼 C++ 언어로 실험을 수행하였다.

2. 실험 결과

먼저 2.3 절에서 언급한 중복성 문제를 해결하기 위해서는 수정된 스캔라인 GST에 필요한 스캔라인 레이블맵의 개수를 결정할 필요가 있다. 그림 5(a)의 영상을 이용하여 180개의 등간격 기울기를 갖는 각각의 스캔라인 집합을 형성하고 1-3개의 스캔라인 레이블맵을 적용한 수정된 스캔라인 GST를 수행하였다. 그림 5(b)의 영상은 r 이 30일 때 기존의 GST에 의해 구해진 대칭맵이며 그림 5(c)는 2.2절에서 제안된 중복을 고려하지 않은 스캔라인 GST에 의해 구해진 대칭맵이다. 표 1에서 볼 수 있듯이 이 결과 영상은 중복 연산의 결과로 기존의 GST에 의해 구해진 대칭맵과 많은 차이를 보인다. 제안된 GST에 스캔라인 레이블맵의 수를 1개 적용하여 구해진 대칭맵은 그림 5(d)와 같다. 이 대칭맵에서는 스캔라인 GST에 의해 구해진 대칭맵에 비해 중복 연산이 스캔라인 GST에 의한 중복 연산 수에 비해서 81.24% 정도가 감소되었다. 또한 스캔라인 레이블맵을 각각 2개와 3개를 적용한 경우에는 그림 5(e)와 5(f)와 같이 구해지며 스캔라인 GST에 의한 중복 연산 수에 비해서 93.93%와 97.81%의 중복 연산이 제거되었다. 위의 실험 및 기타 여러 실험을 통하여 3개의 스캔라인 레이블맵을 적용하면 수정된 스캔라인 GST를 효율적으로 구현할 수 있음을 알 수 있었다.

제안한 수정된 스캔라인 GST를 수행하여 대칭맵을 추출할 때 사각형 영상에 비해 원형 영상에서 복원이 더욱 더 난해하다는 것을 예상할 수 있다. 그림 6과 7

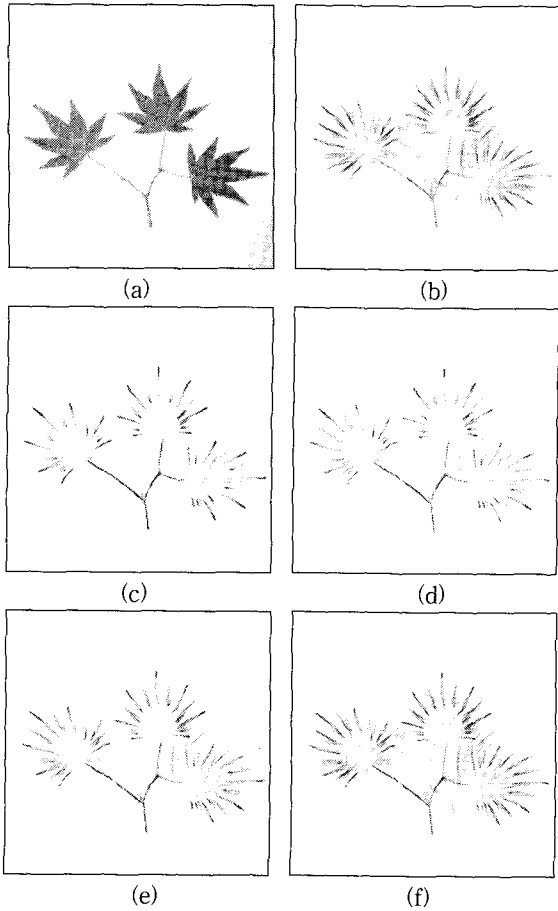


그림 5. 실제 나뭇잎 영상의 기존 및 제안한 수정된 스캔라인 GST에 의해 구해진 대칭맵 (a) 원 영상 (b) 기존의 GST에 의해 구해진 대칭맵 (c) 제안된 스캔라인 GST에 의해 구해진 대칭맵 (d) 1개의 스캔라인 레이블맵을 가진 경우 (e) 2개의 스캔라인 레이블맵을 가진 경우 (f) 3개의 스캔라인 레이블맵을 가진 경우

Fig. 5. Symmetry map of real leaf image by existing and modified scan line based GSTs: (a) original image. Symmetry map by existing GST(b) and by proposed scan line based GST(c). Symmetry maps based on 1 scan line label map(d), 2 scan line label maps(e), and 3 scan line label maps(f).

은 각각 정사각형과 원형 모양이 포함된 인공적인 물체에 대한 기존 및 수정된 스캔라인 GST의 대칭맵이다. 정사각형인 경우에는 r 이 클 때 대칭 위치는 가로와 세로의 중점을 지나는 두 직선이고, 원형인 경우에는 r 이 원의 반지름보다 클 때 원의 중점이다. 수정된 스캔라인 GST를 구현시 스캔라인의 기울기 수가 증가함에 따라 기존의 GST에 의해 구해진 대칭맵과 매치

표 1. 스캔라인 레이블맵 수에 따른 중복 화소 수

Table 1. Number of duplication edgels according to the number of scan line label maps.

	0개의 스캔라인 레이블맵	1개의 스캔라인 레이블맵	2개의 스캔라인 레이블맵	3개의 스캔라인 레이블맵
중복 화소수(개)	852,014	159,814	51,692	18,635
중복 감소율(%)	0	81.24	93.93	97.81

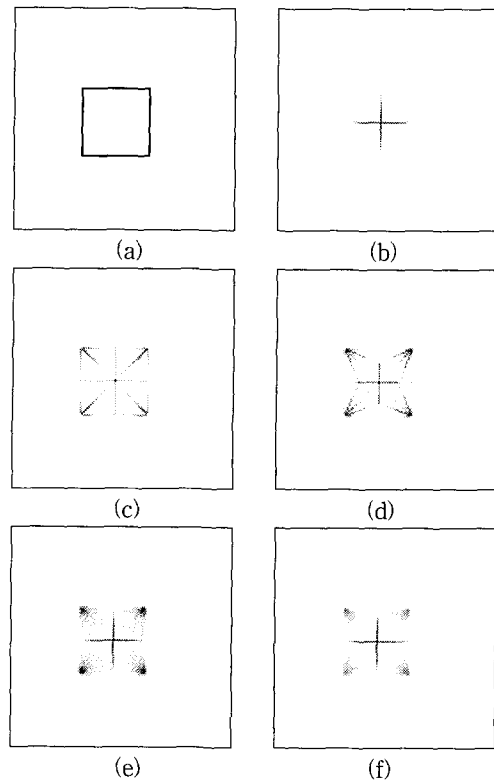


그림 6. 정사각형 영상에 대한 기존 및 제안한 수정된 스캔라인 GST의 대칭맵(=30) (a) 에지 영상 (b) 기존 GST에 의해 구해진 대칭맵 (c) 4개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (d) 8개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (e) 18개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (f) 36개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우

Fig. 6. Symmetry maps for square image by existing and modified scan line based GST with =30: (a) Edge image. (b) Symmetry map by the existing GST. Symmetry maps based on 4 slopes of scan line(c), 8 slopes of scan line(d), 18 slopes of scan line(e), and 36 slopes of scan line(f).

되어 감을 알 수 있다. 사각형 영상의 대칭맵은 8 개 정도의 기울기를, 원형 영상에 대해서는 18개의 기울기를 적용한 경우에 대략적인 대칭성이 추출됨을 알 수 있었다.

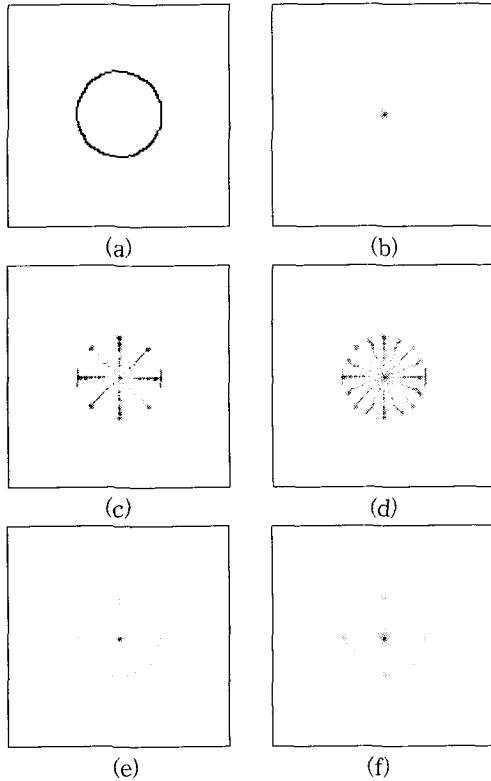


그림 7. 원형 영상에 대한 기존 및 수정된 비중복 스캔라인 GST의 대칭맵($r=30$) (a) 에지 영상 (b) 기존 GST에 의해 구해진 대칭맵 (c) 4개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (d) 8개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (e) 18개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (f) 36개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우

Fig. 7. Symmetry map for circle image by existing and modified scan line based GST with $r = 30$: (a) Edge image. (b) Symmetry map by the existing GST. Symmetry maps based on 4 slopes of scan line(c), 8 slopes of scan line(d), 18 slopes of scan line(e), and 36 slopes of scan line(f).

실제 영상인 그림 5(a)의 나뭇잎 영상에 대해 본 논문의 수정된 스캔라인 GST를 적용한 경우의 대칭맵과 수행시간이 확인되었다. 실제 나뭇잎 영상에 대해서 이 30일 때 수정된 스캔라인 GST를 적용한 경우의 대칭맵이 그림 8에서 보여진다. 수정된 스캔라인 GST를 수

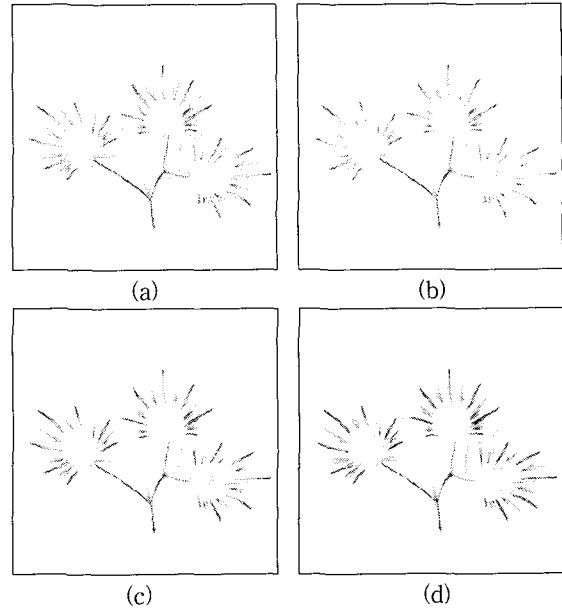


그림 8. 나뭇잎 영상의 기존 및 수정된 스캔라인 GST 알고리즘에 의해 구해진 대칭맵($r=30$) (a) 4개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (b) 8개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (c) 18개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우 (d) 36개의 스캔라인 기울기를 가지는 경우

Fig. 8. Symmetry map for leaf image by proposed scan line based GST with $r=30$: Symmetry maps based on 4 slopes of scan line(a), 8 slopes of scan line(b), 18 slopes of scan line(c), and 36 slopes of scan line(d).

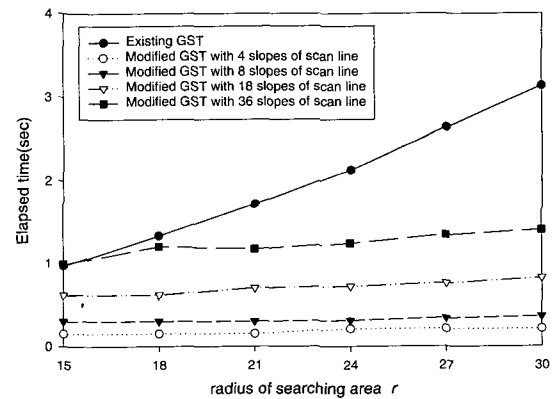


그림 9. r 값의 변화에 따른 기존의 GST와 스캔라인 기울기 수에 따른 수정된 스캔라인 GST의 시간 비교

Fig. 9. Time complexity comparison of existing and modified scan line based GST with respect to r .

행할 때 36개 정도의 스캔라인 기울기에서 대칭맵이 충분히 수렴됨을 알 수 있었다. 다음으로 기존의 GST와 수정된 스캔라인 GST와의 시간 특성을 알아보기 위해 검색영역의 반지름인 r 을 변화시키면서 나타낸 그림 9에서 알 수 있듯이, 수정된 스캔라인 GST의 경우에 기울기 수가 18개일 때 기존의 GST에 비해 수행시간이 3.8배로, 기울기 수가 36개일 때 수행시간이 2.2배로 감소되었다. 거리 가중치 함수의 표준 편차가 작으면 GST의 실행 영역 또한 줄어들게 되며 일반적으로 스캔라인의 기울기 수 또한 줄어들게 된다.

제안한 수정된 스캔라인 GST는 등간격의 스캔라인 기울기를 L 개 이용하여 스캔라인집합을 생성하고 각 방향의 대칭맵을 구하였다. 이 때 각 방향에 따른 대칭맵에서 기울기에 수직인 위상 특성이 추출된다. 그림 5(a)의 나뭇잎 영상에 대해서 네 가지 방향 즉 90° , 45° , 0° , -45° 의 스캔라인 기울기를 적용해 영상 내의 대칭 성분을 분해한 예가 그림 10에서 보여진다. 그림 10의 (a), (b), (c), (d)는 각각의 기울기에 따른 대칭맵

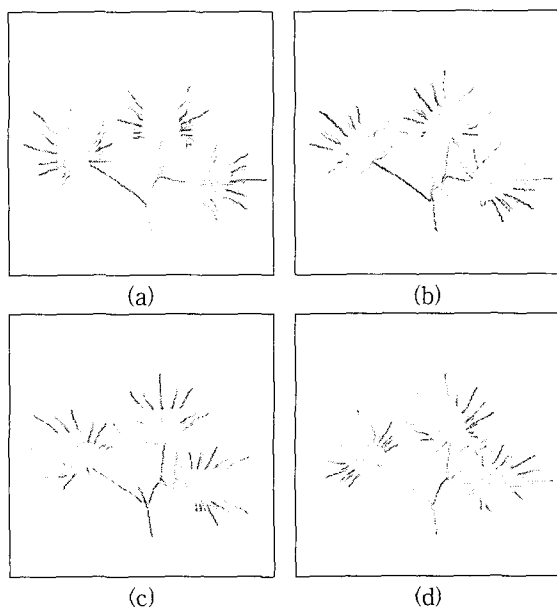


그림 10. 선택적 방향에 따른 대칭맵 (a) 스캔라인 기울기가 90° 인 경우 (b) 스캔라인 기울기가 45° 인 경우 (c) 스캔라인 기울기가 0° 인 경우 (d) 스캔라인 기울기가 -45° 인 경우

Fig. 10. Symmetry map with selectively attentional direction. Symmetry maps based on 90° slope of scan line(a), 45° slope of scan line(b), 0° slope of scan line(c), and -45° slope of scan line(d).

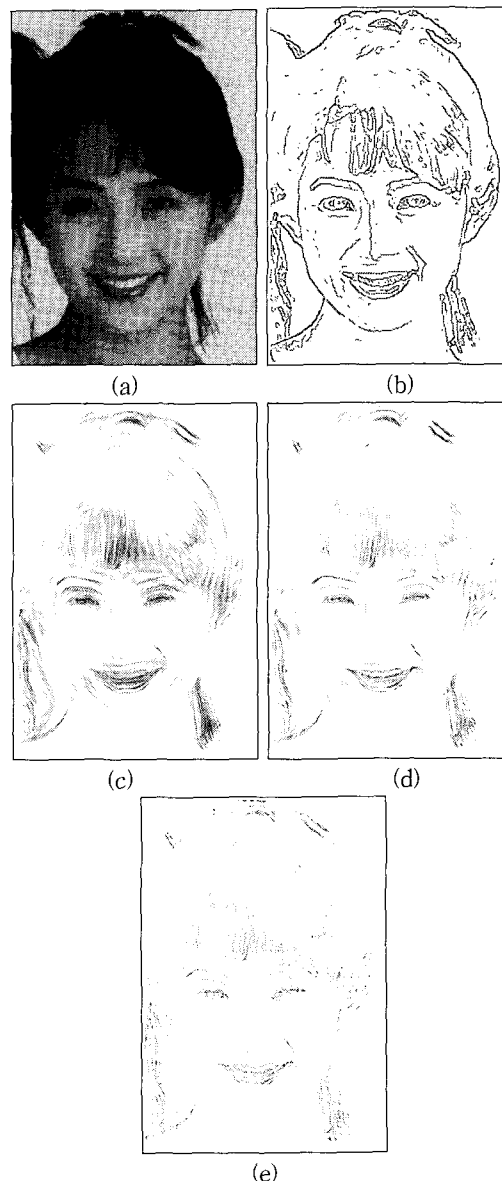


그림 11. 정면 얼굴 영상과 기존 및 수정된 스캔라인 GST의 대칭 크기맵($r=15$) (a) 원영상 (b) 에지 영상 (c) 기존의 GST의 대칭맵 (d) 18개의 스캔라인 기울기를 가지는 제안된 GST의 대칭맵 (e) 90° 와 0° 의 두 스캔라인 기울기

Fig. 11. Frontal face image and its symmetry map of existing and modified scan line based GST with respect to $r=15$: (a) original image (b) edge image (c) symmetry map of existing GST (d) symmetry map of proposed GST with 18 slopes of scan line (e) symmetry map obtained when only horizontal and vertical slopes are considered.

을 나타낸다. 그림 5(a)의 영상에서 대칭맵의 위상 성분은 -45° 를 가지고 있는 경우에 다른 방향 대칭맵보다 그림 10의 (b)에서 잘 나타나고 있어 성분을 적절히 분해할 수 있음을 알 수 있다. 영상 내에서 특정 위상 성분만 존재한다고 가정하고 이를 추출하고자 한다면 특정한 방향 즉 선택적 방향 주의를 가지는 방법으로 계산량을 감소시킬 수 있다.

선택적 방향 주의의 유용성을 보이기 위한 또 다른 예로서 그림 11의 얼굴 영상이 사용되었다. 일반적으로 인간의 얼굴은 좌우 대칭이다. 그리고 눈, 입 등이 중요한 관심 영역이 될 수 있다. 그림 11에서 r 이 30일 때 기존의 GST에 의한 수행시간은 12.7초이며 스캔라인을 이용한 제안한 수정된 스캔라인 GST는 18개의 스캔라인 기울기를 이용하여 수행한 경우에 구해진 대칭맵은 기존의 GST에 의해 구해진 결과와 유사하였으나 수행시간이 2.58초로 기존의 GST에 비해 4.9배가 단축되었다. 사전에 검출하려는 물체가 특별한 방향에서 대칭을 갖는다는 것이 알려져 특정한 관심 영역만을 획득하고자 한다면 제안된 방법은 주어진 방향에 대한 기울기만을 정의해 수행하도록 하는 방법으로 즉, 선택적 방향 주의를 갖는 방법으로 변형할 수 있는 장점이 있다. 얼굴 영상에서는 수직 수평의 정보가 많이 존재하므로 추출된 대칭맵에서 45° 와 -45° 에 대한 정보보다는 0° 와 90° 에 대한 정보가 더 중요하다는 것을 가정할 수 있다. 따라서 0° 와 90° 의 스캔라인 기울기를 적용하여 구해진 대칭맵은 눈, 입 등의 관심 영역을 추출하는 데 충분한 정보를 가지고 있다. 이상과 같이 σ 값이 클 때 선택적 방향에 대해서 적용을 하면 GST에 소요되는 계산량을 크게 감소시킬 수 있다. 그림 11(e)는 0° 와 90° 의 스캔라인 기울기를 갖는 스캔라인집합에서 얻어진 대칭맵이다. 이의 수행시간은 0.33초로 충분한 정보를 추출하면서 기존의 GST보다 38배로 고속 수행할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 r 에 따라 검색영역이 2차적으로 증가되어 GST의 수행시간이 2차적으로 증가하는 단점을 개선하기 위해 선택적 방향 주의를 가지는 수정된 스캔라인 GST를 제안하였다. GST에서 전역적인 대칭성이 추출되려면 거리 가중치함수의 표준편차 σ 가 큰 값

이어야 된다. 이 때 넓은 범위의 대칭성이 추출되므로 GST의 수행시간은 r 에 따라 2차적으로 증가하게 된다. 기존의 GST는 특정 영역 내에 존재하는 화소쌍의 대칭 기여도를 구하는데 반해, 제안된 GST는 특정한 기울기를 가지는 스캔라인들로 구성된 스캔라인집합 내에 존재하는 에지 화소쌍들의 대칭 기여도를 추출한다. 수정된 스캔라인 GST의 수행에 있어 적절한 L 이 선택될 때 기존의 GST에 의해 구해진 대칭맵과 유사한 대칭맵이 추출되지만 기존의 GST에 비해 대칭 연산이 고속으로 수행된다. 2.2절에서 제안된 스캔라인 GST의 수행시간은 기존의 GST에 비해 짧지만 복원성 측면에서 문제가 발생되는데 중복을 배제한 수정된 스캔라인 GST에서는 복원성 문제를 줄일 수 있으며 아울러 수행시간이 감소되었다.

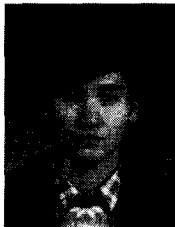
본 논문에서는 사각형 모양이나 원형 모양이 포함된 인공 영상과 나뭇잎과 얼굴 영상의 자연 영상에 대해서 기존 및 제안된 GST에 대한 실험을 수행하였다. 제안된 GST가 기존의 GST와 비교된 경우에 구해진 대칭맵은 유사하며 시간적으로 연산이 고속으로 수행되었다. 나뭇잎 영상의 실험 과정에서 제안한 수정된 스캔라인 GST를 적용한 경우에 스캔라인의 기울기 수가 18개일 때 기존의 GST에 비해서 수행시간이 3.8배로 감소되었고, 기울기 수가 36개일 때 기존의 GST에 비해 수행시간이 2.2배로 감소되었다. 특히 GST를 수행하는 과정에서 사전에 검출하려는 물체가 특별한 방향에서 대칭을 갖는다는 것이 알려지면 제안된 방법은 주어진 방향에 해당하는 기울기만을 정의해 수행되는 방법으로 즉, 선택적 주의를 갖는 방법으로 변형될 수 있는 장점이 있다. 얼굴 영상에 관한 실험에서 18개의 기울기 수를 적용하면 동등한 대칭맵을 추출할 수 있지만 눈, 입 등의 관심 영역은 두 개의 스캔라인 기울기 즉, 수직과 수평 방향만으로 충분히 획득될 수 있다. 이때 제안된 방법은 기존의 GST에 비해 38배정도로 빨리 관심영역을 추출할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] H. Heijmans and A. Tuzikov, "Similarity and Symmetry Measures for Convex Shapes Using Minkowski Addition," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,

- Vol. 20, No. 9, pp. 980~992, Sep. 1998.
- [2] S. Fukushima, "Division-Based Analysis of Symmetry and Its Application," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 2, pp. 144~148, Feb. 1997.
- [3] M. Atallah, "On Symmetry Detection," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-34, No. 7, pp. 663~666, July 1985.
- [4] G. Marola, "On the Detection of the Axes of Symmetry of Symmetric and Almost Symmetric Planar Images," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 11, No. 1, pp. 104~108, Jan. 1989.
- [5] H. Zabrodsky, S. Peleg, and D. Avnir, "Symmetry as a Continuous Feature," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 17, No. 12, pp. 1154~1166, Dec. 1995.
- [6] D. Reissfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun, "Context-Free Attentional Operators: The Generalized Symmetry Transform," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 14, pp. 119~130, 1995.
- [7] D. Reissfeld and Y. Yeshurun, "Preprocessing of Face Images: Detection of Features and Pose Normalization," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 71, No. 3, pp. 413~430, Sep. 1998.
- [8] J. Canny, "A Computational Approach to edge detection," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, No. 6, pp. 679~698, 1986.
- [9] J. Bresenham, "Algorithm for Computer Control of a Digital Plotter," *Journal of IBM Systems*, pp. 25~30, Jan. 1965.

저 자 소 개



金 東 守(正會員)
 1969년 10월 9일생. 1992년 2월 경
 북대학교 전자공학과(공학사) 졸업.
 1996년 2월 경북대학교 대학원 전자
 공학과(공학석사). 1998년 2월 경북
 대학교 대학원 전자공학과 (박사수
 료). 주관심분야는 패턴인식, 컴퓨터

秦 成 一(正會員) 第32卷 S編 第9號 參照
 경북대학교 전자전기컴퓨터학부

비전 등