Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 21 No. 4, pp. 9-15, April 2016
www.ksci.re.kr
http://dx.doi.org/10.9708/jksci.2016.21.4.009

Symmetry Detection Through Hybrid Use Of Location And Direction Of Edges

Ja Young Koo*

Abstract

Symmetry is everywhere in the world around us from galaxy to microbes. From ancient times symmetry is considered to be a reflection of the harmony of universe. Symmetry is not only a significant clue for human cognitive process, but also useful information for computer vision such as image understanding system. Application areas include face detection and recognition, indexing of image database, image segmentation and detection, analysis of medical images, and so on. The technique used in this paper extracts edges, and the perpendicular bisector of any two edge points is considered to be a candidate axis of symmetry. The coefficients of candidate axis are accumulated in the coefficient space. Then the axis of symmetry is determined to be the line for which the coefficient histogram has maximum value. In this paper, an improved method is proposed that utilizes the directional information of edges, which is a byproduct of the edge detection process. Experiment on 20 test images shows that the proposed method performs 22.7 times faster than the original method. In another test on 5 images with 4% salt-and-pepper noise, the proposed method detects the symmetry successfully, while the original method fails. This result reveals that the proposed method enhances the speed and accuracy of detection process at the same time.

▸ Keyword : symmetry detection, reflectional symmetry, coefficient space histogram, directional information of edges

I. Introduction

은하계에서 미생물의 구조에 이르기까지 인간을 둘러싼 세계에는 수많은 대칭들이 존재한다. 자연뿐 아니라 인간의 생김새에도 많은 대칭성이 내포되어 있어서 대칭은 고대로부터 조화로운 우주를 반영하는 현상으로 인식되기도 하였다. 인간들이 세운 많은 대칭적 구조물도 이러한 의식의 표현이라고 할 수 있을 것이다. 사람의 인식과정에서 주요 단서로 작용하는 대칭성은 인간 수준의 인식능력을 추구하는 컴퓨터 비전 분야에서도 오래전부터 관심의 대상이었다[1-5].

컴퓨터 비전에서 대칭성이 활용되는 영역은 다양하다. 얼굴의 검출과 인식분야에서는 얼굴의 비대칭인 부분을 데이터베이스화하고, 이를 이용하여 얼굴의 분류, 또는 성별, 개인 식별 등에 사용하거나[6], 얼굴의 절반만을 이용한 얼굴 인식을 수행한 후 이 결과가 전체 얼굴을 사용한 인식 결과와 유사하다는 것을 보여주기도 하고[7], 영상 내에서 기울어진 얼굴의 회전 각도를 구하는 등의 활용이 이루어졌다[8]. 대칭성은 영상 데이터베이스의 인덱싱[9], 영상의 분할과 검출 분야에 활용되기도 하였다[10,11]. 영상의학 분야에서는 대칭성을 갖는 내부기관의 MRI 영상에 대하여 병리학적 평가 및 진단 가설을 제공하는 연구가 이루어졌고[12], 프랙탈 분석 기법을 도입하여, 대칭 영역에서 누락되어 있는 부분을 탐색하는 연구로 확장되기도 하였다[13].

본 논문의 대칭축 검출방식은 에지 추출을 통해서 영상을 점의 집합으로 변환하고 그 가운데 임의의 두 점 사이의 수직이등분선을 전체 점의 집합에 대한 대칭축 후보로 간주하여 그 계수를 계수공간에 누적시킨다. 다른 대칭축 후보들에 비해서 실제의 대칭축을 중심으로 더욱 많은 쌍들이 서로 대칭관계에 있고 그 쌍들의 수직이등분선들은 같은 계수 값을 가지므로 계

• First Author : Ja Young Koo, Corresponding Author : Ja Young Koo
*Ja Young Koo(jykoo@dankook.ac.kr) Dept. of Software, Dankook University
• Received: 2016. 03. 04, Revised: 2016. 03. 18, Accepted: 2016. 03. 30.

수공간에서 해당 계수 값의 위치에 더 큰 값이 누적된다. 이 같은 방식으로 모든 점의 쌍들에 대한 히스토그램을 구하여 최댓값을 찾음으로써 주어진 영상의 대칭축을 검출하게 된다. 이 방식은 단순 드로잉과 사람의 얼굴에 대하여 기대할만한 실험결과를 보여주었다[8].

본 논문에서는 에지추출 과정에서 이미 얻어진 에지의 방향 정보를 활용함으로써 기존 방식에 비해 탁월한 성능을 보이는 기법을 제안한다. 기존의 방식에서는 에지 점들로부터 선택된 모든 쌍들이 대칭축 계산과정에 사용되었으나 본 논문의 방식은 방향벡터가 비대칭인 쌍들을 계산에서 제외시킴으로써 실행 속도와 정확도를 동시에 개선하는 결과를 얻는다.

2장은 계수 공간 히스토그램에 의한 대칭축 검출방식을 기술하고 있으며, 3장에서는 점의 위치와 방향을 이용한 개선된 대칭축 검출방법을 논의한다. 4장은 제안된 방식을 다양한 데이터에 대해서 적용한 실험결과를 보이고 있으며 5장에서는 결론을 기술하고 있다.

II. Symmetry Detection In Coefficient Space

직선 R에 대한 점 p의 대칭변환을 $q = T_R(p)$로 나타낼 때, R에 대한 점의 집합 P의 대칭 변환 $M_R(P)$는 $M_R(P) = \{q | q = T_R(p),\ p \in P\}$로 정의할 수 있다. P의 대칭축을 찾는 것은 식(1)을 만족하는 직선 R_{max}를 구하는 문제이다. 여기서 $|\cdot|$는 집합의 크기를 나타내는 함수이다.

$$R_{max} = argmax_{(R)} |P \cap M_R(P)| \qquad (1)$$

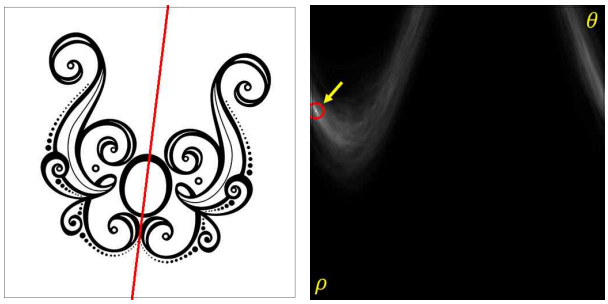
직선 R에 대응하는 계수 공간의 크기는 대단히 크므로 식(1)을 만족하는 해를 계수 공간에서 전수 탐색 할 수는 없고 효과적인 전략을 필요로 한다.

P에 속한 두 점의 수직이등분선은 $y = mx + h$로 표시될 수 있다. 따라서 xy공간의 한 쌍의 점은 mh 공간의 하나의 점으로 사상되고, xy공간상의 모든 쌍들에 대해서 대응하는 계수를 mh공간에서 누적시키면 계수 공간 히스토그램이 구성된다. 식 (1)이 의미하는 바와 같이, 다른 직선에 비해서 대칭축을 중심으로 더 많은 쌍들이 대칭을 이루므로 계수 공간의 같은 위치에 더 많은 수가 누적되어 최댓값을 갖는 계수 값이 대칭축으로 검출된다.

그러나 직선을 $y = mx + h$와 같은 양함수 형식으로 나타낼 때 수직선은 m이 무한대가 되어 계수공간을 표현할 방법이 적절치 않다. 직선을 식(2)에 보이는 바와 같이 원점으로부터 직선으로의 수선의 길이 ρ와 그 수선이 x축과 이루고 있는 각도 θ를 변수로 나타내면 유한한 (θ, ρ) 공간에서 모든 직선을 표현할 수 있다.

$$\rho = x cos\theta + y sin\theta \qquad (2)$$

이를 바탕으로 하는 대칭축 검출 방법은 알고리즘 **AOS**(Axis of Symmetry)이며[8], 이의 적용 결과의 예가 그림 1에 보인다. 여기서 (a)는 단순 드로잉과 찾아진 대칭축이고 (b)는 (θ, ρ) 공간에서 검출된 대칭축의 계수이다.



(a) (b)

Fig. 1. (a) Simple drawing and its AOS (b) Coefficient of AOS found in (θ, ρ) space.

Algorithm **AOS**

//P : 에지 테이블, (x_i, y_i): i번째 에지.

//$C_{\theta\rho}$: 계수공간 배열

//N : 에지의 수

1. 입력 영상에서 에지를 추출하여 테이블에 저장

$P[i].x = x_i;\ P[i].y = y_i$

$C_{\theta\rho}[k][l] = 0$로 초기화:

2. 모든 에지 쌍에 대해서 θ와 ρ를 추출하여 누적

for$(i = 0; i < N-1; i++)$

for$(j = i+1; j < N; j++)$

2.1 에지 쌍 p_i와 p_j에 대해서 θ와 ρ를 추출하여 누적

$x_i = P[i].x;\ y_i = P[i].y$

$x_j = P[j].x;\ y_j = P[j].y$

$a = x_i - x_j$

$b = y_i - y_j$

$c = -(x_i^2 - x_j^2 + y_i^2 - y_j^2)/2$

$\rho = |c| / \sqrt{a^2 + b^2}$

θ=atan(b/a)

$h = -c/b$

if$(\theta * h < 0)\ \theta += \pi$

if$(\theta < 0)\ \theta += 2\pi$

$k = (int)(\theta * 180/\pi);\ \ l = (int)\rho$

$S_{\theta\rho}[k][l]++$

end for

end for

3. 대칭축 계수의 결정

$(\theta_{sym}, \rho_{sym}) = argmax_{(k,l)}(C_{\theta\rho}[k][l])$

III. Hybrid Use Of Location And Direction Of Edges

대칭축 검출 알고리즘의 입력으로 사용될 점의 집합을 얻기 위해서 주어진 영상으로부터의 에지검출 과정을 거친다. 에지는 영상 내에서 화소 값이 공간적으로 급격히 변화하는 위치에서 선택되는데 gradient는 이를 찾기 위해 사용되는 대표적 연산이다. 영상을 $f(x,y)$로 표현할 때 gradient는 위치 (x,y)에서 f값이 가장 급하게 증가하는 방향을 가리키는 벡터이며, 다음과 같이 정의된다.

$$\nabla f(x,y) = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}\right]^T \tag{3}$$

에지는 $\| \nabla f(x,y) \| > T_e$인 위치 (x,y)에서 선택된다. 여기서 $\| \cdot \|$는 벡터의 크기를, T_e는 에지 선택을 위한 임계값을 나타낸다. gradient는 벡터이므로 크기와 방향을 갖는데 기존의 방법에서는 벡터의 크기를 이용하여 에지를 선택하고 방향정보는 사용하지 않는다[8]. 그러나 본 논문에서는 에지검출 과정에서 이미 구해진 에지의 방향정보를 위치정보와 함께 사용함으로써 성능개선을 달성하게 되었다.

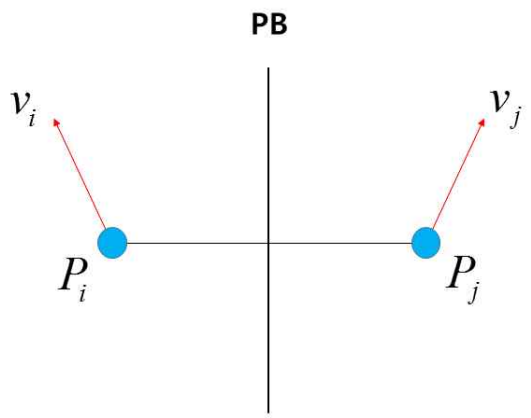


Fig. 2. Relation between symmetric edges and their gradient vectors

두 점이 대칭관계에 있다면 그 위치뿐만 아니라 두 점의 gradient 벡터 또한 대칭이어야 한다. 그림 2에 보이는 바와 같이 두 점 P_i와 P_j가 대칭관계에 있으면 둘 사이의 수직이등분선 **PB** 가 대칭축이 되고 양 점에서의 gradient 벡터 v_i와 v_j 역시 **PB** 에 대칭이다. 이것은 v_i와 v_j의 합 벡터가 벡터 $\overrightarrow{P_iP_j}$와 직교함을 의미한다. 즉,

$$a_{ij} = \frac{v_i + v_j}{\| v_i + v_j \|},\ b_{ij} = \frac{P_j - P_i}{\| P_j - P_i \|} \tag{4}$$

라고 정의할 때

$$I_{ij} = a_{ij} \cdot\ b_{ij} = 0 \tag{5}$$

이다. 본 논문에서는 $I_{ij} > T_v$ (T_v는 대칭판별을 위한 임계값)인 쌍들, 즉 gradient 벡터들이 비대칭인 쌍들을 처리대상에서 제외시킴으로써 대칭축 검출의 속도와 정확도를 동시에 개선한다. 예를 들어, 512×512 크기를 갖는 그림 3의 영상에서 추출된 에지들에 대한 I_{ij}값들은 그림 4에 보이는 분포를 갖는다. 가로축은 내적 값을, 세로축은 이와 같은 값을 갖는 쌍들의 빈도를 나타낸다. 그림 4.(a)는 모든 쌍들의 내적 값 분포를 나타내고, 그림 4.(b)는 발견된 대칭축에 기여하는 쌍들의 내적 값 분포를 나타낸다. T_v=0.05로 하면 $0 \le I_{ij} < 0.05$ 구간에는 모든 에지 쌍(2,126,953)의 21%(439,618), 대칭축으로 매핑된 쌍들(3,753)의 74%(2,782)가 포함된다. 이것은 처리하는 쌍들의 수는 21%로 줄어들고, 그 가운데 대칭축을 결정하는데 기여하는 유효한 쌍들의 비율은 3.6배 높아짐을 의미한다.

Algorithm **AOS-V**

//P : 에지 테이블, (x_i, y_i): i번째 에지

//V : gradient 벡터 테이블, (v_{ix}, v_{iy}):i번째 gradient

//$C_{\theta\rho}$: 계수공간 배열

1. 입력 영상에서 에지를 추출하여 위치와 gradient를 테이블에 저장

$P[i].x = x_i;\ P[i].y = y_i$

$V[i].x = v_{ix}; V[i].y = v_{iy}$

$C_{\theta\rho}[k][l] = 0$로 초기화:

2. 벡터가 대칭인 에지 쌍에 대해서만 θ와 ρ를 추출하여 누적

for$(i = 0;\ i < N;\ i++)$

for$(j = i+1;\ j < N;\ j++)$

$a_{ij} = \frac{v_i + v_j}{\| v_i + v_j \|},\ b_{ij} = \frac{P_j - P_i}{\| P_j - P_i \|}$

$I_{ij} = a_{ij} \cdot\ b_{ij}$

if $(I_{ij} < T_v)$

알고리즘 **AOS**의 step 2.1 실행

end if

end for

end for

3. 대칭축 계수의 결정

$$(\theta_{sym}, \rho_{sym}) = argmax_{(k,l)}(C_{\theta\rho}[k][l])$$

벡터 대칭성이 고려된 알고리즘이 위의 **AOS-V**에 보인다. 3장에서 논의한 바와 같이 모든 에지 쌍들 중에서 벡터가 대칭이지 않은 쌍들($I_{ij} > T_v$)을 처리 대상으로부터 제외함으로써 속도와 정확도의 개선을 얻게 되는데 이에 대한 실험 결과가 4장에 기술된다.

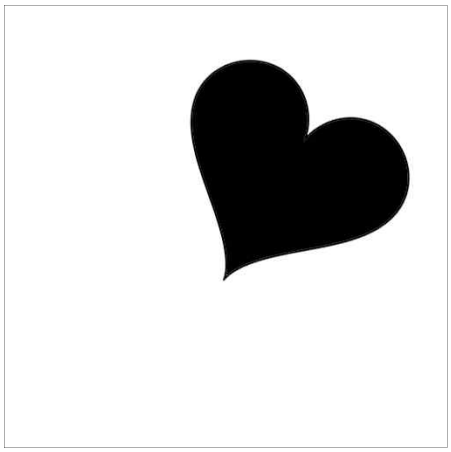
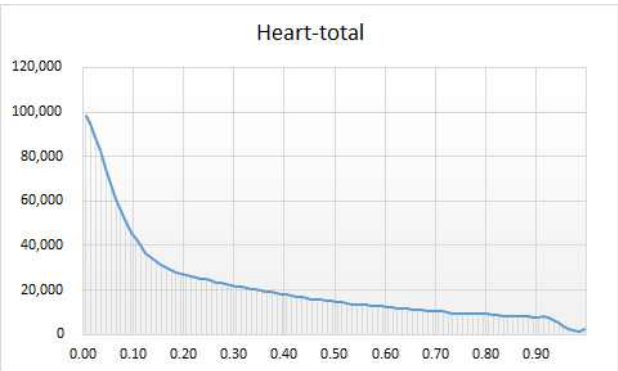
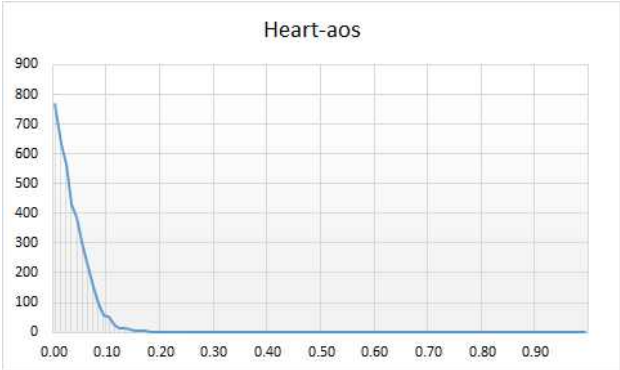


Fig. 3. Sample image



(a)

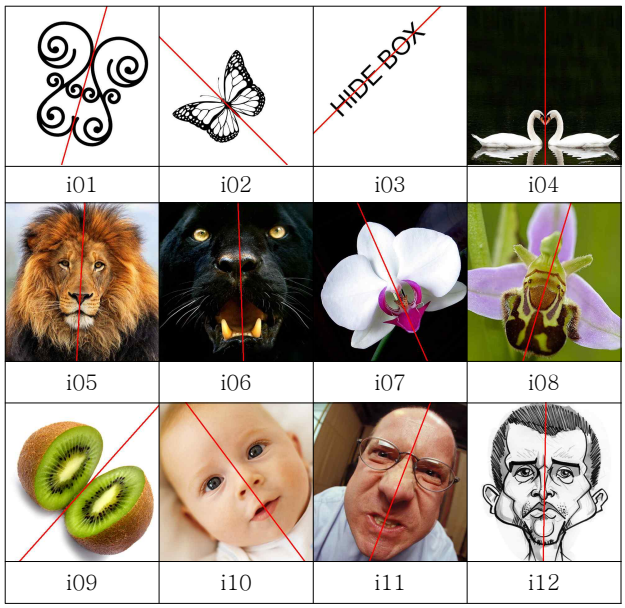


(b)

Fig. 4. (a) Distribution of I_{ij} for all pairs of points of image of Figure. 3. (b) Distribution of I_{ij} for pairs which are symmetric with respect to the axis of symmetry.

IV. Test and Evaluation

제안된 대칭축 검출방식의 성능을 테스트하기 위해서 그림 5에 보이는 바와 같은 20개의 영상으로 구성된 데이터 집합이 사용되었다. 각 영상은 512×512의 크기를 갖고, 단순 드로잉(i01-i02)과 문자(i03), 동물(i04-i06), 식물(i07-i09), 사람(i10, i11), 인물 캐리커처(i12, i13), 건축물 및 인테리어(i14, i15), 의료영상(i16,17), 비행체(i18, i19), 충격파 실험영상(i20) 등 다양한 영상들이 포함되어있다.



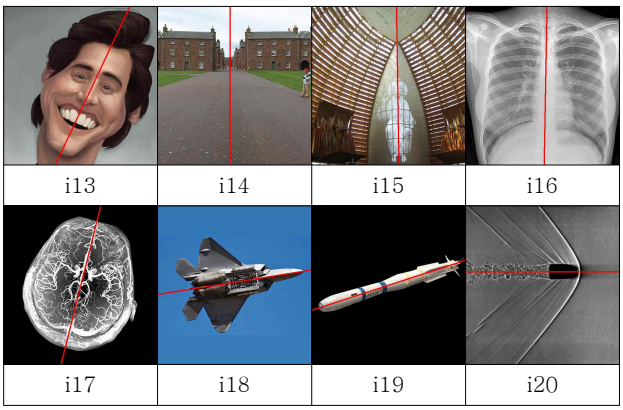


Fig. 5. Test images

4.1 속도 개선

표 1의 실험결과는 제안된 방식의 성능개선을 보여준다. (θ, ρ)는 검출된 대칭축의 계수들로서 그림 5에 보이는 대칭축의 계수이다. **N**은 각 영상에서 추출된 에지의 수이고, **PAIRS**는 제안된 방식에 따라 선별된 쌍의 수이다. **ORG_PAIRS**는 기존 알고리즘이 처리하는 쌍의 수이고, **GAIN=ORG_PAIRS/PAIRS**는 속도개선비율을 나타낸다. 대칭축 계산시간은 처리되는 쌍들의 수에 비례하는데 제안된 알고리즘 **AOS-V**를 벡터 대칭판별을 위한 임계값 T_v=0.05로 하여 그림 5에 보이는 20개의 영상에 대해서 적용한 결과, 표1에 보이는 바와 같이 평균 22.7배의 속도개선이 이루어졌다(**GAIN**의 평균값).

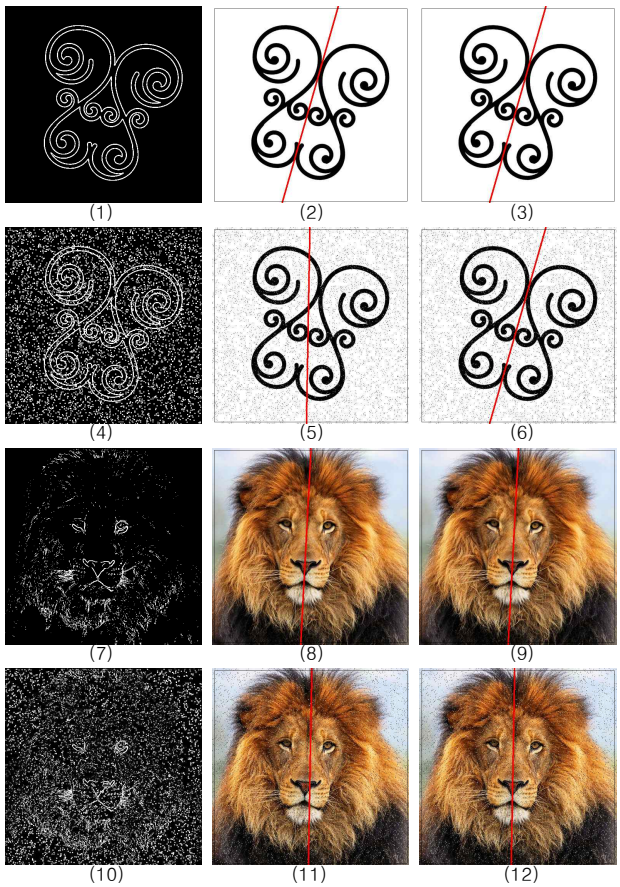
Table 1. Detection of axis of symmetry and speed enhancement ratio

Img	θ	ρ	N	PAIRS	ORG_PAIRS	GAIN
01	16	316	16,353	6,309,702	133,702,128	21.2
02	135	70	14,632	4,267,027	107,040,395	25.1
03	45	291	5,570	759,920	15,509,665	20.4
04	0	252	6,631	1,049,063	21,981,765	21.0
05	3	527	12,084	2,589,181	73,005,486	28.2
06	358	254	7,519	1,415,156	28,263,921	20.0
07	336	130	6,033	1,205,405	18,195,528	15.1
08	17	321	10,159	1,821,535	51,597,561	28.3
09	42	377	4,148	440,639	8,600,878	19.5
10	323	68	5,719	746,129	16,350,621	21.9
11	356	245	8,369	1,259,479	35,015,896	27.8
12	1	254	36,332	21,550,836	659,988,946	30.6
13	25	358	11,604	3,329,237	67,320,606	20.2
14	0	234	7,209	1,126,341	25,981,236	23.1
15	359	273	28,465	16,213,906	405,113,880	25.0
16	1	262	24,726	12,001,674	306,575,175	25.5
17	14	304	20,951	7,632,063	219,461,725	28.8
18	81	283	15,077	4,259,088	113,650,426	26.7
19	72	321	3,531	499,040	6,232,215	12.5
20	90	214	5,156	979,463	13,289,590	13.6

4.2 정확도 개선

본 논문의 방식은 비대칭 방향 벡터를 갖는 쌍들을 계산에서 제외함으로써 처리속도의 증가를 가져왔다. 이 방식은 처리속도를 높일 뿐 아니라 비대칭 쌍들을 대칭축 계산에 포함하는데서 유발되는 오동작의 가능성을 감소시켰다. 이를 입증하기 위해서 입력영상에 노이즈를 가하고 제안된 방식과 기존의 방식의 성능을 비교하였다. 그림 6은 그 결과를 보여준다. 그림 5의 데이터 집합 가운데 단순 드로잉(그림 6.1-6.6), 동물의 얼굴(그림 6.7-6.12), 식물(그림 6.13-6.18), 사람 얼굴(그림 6.19-6.24), 인공구조물(그림 6.25-6.30) 등 각 그룹의 대표적 예제들에 대해서 실험하였다. 각 예제는 두 개의 행으로 구성되며 첫 번째 행은 노이즈가 없는 영상에 대한 처리결과이고 두 번째 행은 4%의 salt-and-pepper 노이즈를 포함하는 영상에 대한 처리결과이다. 첫 번째 열은 영상에서 검출된 에지 영상이고, 두 번째 열은 기존의 방법에 의해 검출된 결과이며 세 번째 열은 본 논문에서 제안된 방법에 의한 결과이다.

노이즈가 포함되지 않은 첫 번째 행의 예제에 대해서는 두 방법 모두 성공적으로 대칭축을 검출하였다. 그러나 노이즈가 4% 포함된 두 번째 행의 경우 기존의 방법은 대칭축 검출에 모두 실패하였으나(두 번째 열) 새롭게 제안된 방법은 모두 성공적으로 대칭축을 검출하고 있음을 보여주었다(세 번째 열).



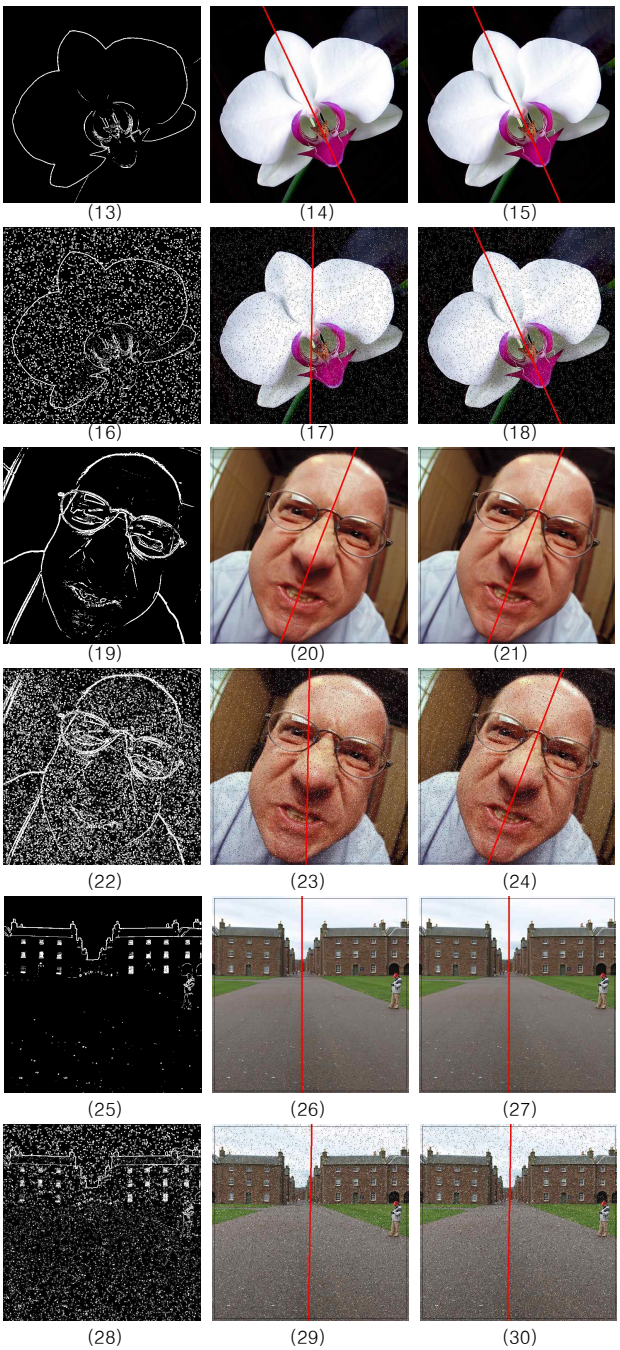


Fig. 6. Result of aos detection for several images with 4% salt-and-pepper noise

Ⅴ. Conclusions

본 논문은 주어진 점들의 대칭축을 찾아내는 효과적인 방법을 제안하였다. 점들이 주어질 때 그 점들 가운데 어떤 직선을 중심으로 대칭인 쌍의 수는 그 직선이 대칭축일 때 최대가 되고 그 쌍들은 모두 같은 계수의 직선을 수직이등분선으로 공유한다. 이러한 사실에 기초하여 기존의 대칭축 검출 방식에서는 모든 쌍들에 대한 수직이등분선의 계수를 계수공간에서 누적시키고 가장 큰 값이 누적된 위치를 대칭축의 계수로 검출하였다.

알고리즘의 입력으로 사용될 점의 집합을 구하기 위해서는 에지 검출과정을 거친다. 이 과정에서 에지의 위치와 더불어 에지의 방향이 구해지는데 기존의 방식에서는 에지의 위치만을 이용해서 작업하였다. 본 논문의 방식에서는 에지 검출과정에서 이미 얻어진 에지의 방향정보를 사용함으로써 gradient 벡터의 방향이 대칭이 아닌 점의 쌍들을 사전에 제거함으로써 처리 속도와 검출의 정확도를 동시에 개선하였다.

단순 드로잉과 문자, 동물, 식물, 사람, 인물 캐리커처, 건축물 및 인테리어, 의료영상, 비행체, 충격파 실험영상 등 다양한 영상이 포함된 20개의 영상으로 구성된 데이터집합에 대해서 실험한 결과 새로운 방법에서 평균 22.7배의 속도 개선을 얻을 수 있었다.

또한 위의 데이터 집합 중 각기 다른 그룹에 속하는 5 개의 영상을 사용하여, 제안된 방법의 대칭축 검출 정확도가 개선되었는지를 테스트 하였다. 노이즈가 포함되지 않은 영상에 대해서는 기존의 방법과 제안된 방법 모두 정확하게 대칭축을 검출하였다. 그러나 4%의 salt-and-pepper 노이즈가 포함된 영상들에 대해서 기존의 방법은 대칭축 검출에 모두 실패하였으나 제안된 방법은 안정적으로 대칭축을 검출하였다. 결과적으로, 제안된 방법이 처리 속도와 정확도 양면의 성능을 개선하고 있음이 확인되었다.

REFERENCES

[1] M.J. Atallah, “On Symmetry Detection,” IEEE Trans. Computers, vol. 34, no. 7, pp. 663-666, July 1985.

[2] S. Lee and Y. Liu, "Curved glide-reflection symmetry detection," IEEE Trans. PAMI, vol. 34, no. 2,pp. 266-278, 2012.

[3] V. Patraucean and R. G. von Gioi. “Detection of mirror symmetric image patches.” CVPR workshop on Symmetry Detection from Real World Images, pp. 211-216, 2013

[4] H. Akbar et al. “Bilateral Symmetry Detection on the Basis of Scale Invariant Feature Transform.” PLoS ONE 9(8), 2014.

[5] V.S.N. Prasad and B. Yegnanarayana, “Finding Axes of Symmetry from Potential Fields,” IEEE Trans. Image Processing, vol. 13, no. 12, pp. 1559-1566, Dec. 2004.

[6] S. Mitra et al., “Understanding the role of facial asymmetry in human face identification.” Statistics and Computing vol. 17, pp.57-70. 2007.

[7] A.K. Singh and G.C. Nandi. “Face recognition using facial

symmetry." Proceedings of the Second International Conference on Computational Science, Engineering and Information Technology (CCSEIT '12). ACM, New York, NY, USA, pp. 550-554. 2012.

[8] B.H. Won, J.Y. Koo, "Rotated Face Detection Using Symmetry Detection," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol 16, No 1, pp. 63-70, January 2011.

[9] D. Sharvit et al. (1998) "Symmetry-based indexing of image databases." Proc. IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries. pp. 56-62. 1998.

[10] W.H Li , A.M Zhang, and L. Kleeman "Real Time Detection and Segmentation of Reflectionally Symmetric Objects in Digital Images." IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems. pp. 4867-4873. 2006.

[11] W.H Li , A.M Zhang, and L. Kleeman "Fast global reflectional symmetry detection for robotics grasping and visual tracking" Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation., 2005.

[12] S. A. Jayasuriya and A.W. C Liew, "Symmetry Plane Detection in Neuro Images based on Intensity Profile Analysis", International Symposium on Information Technology in Medicine and Education, pp.599-603, 2012.

[13] S. A. Jayasuriya et al. "Brain Symmetry Plane Detection based on Fractal Analysis," Comp. Med. Imag. and Graph. 37 (7-8), 568-580, 2013.

Author

Ja Young Koo received the B.S. degree in Electronics Engineering from Seoul National University, Korea, in 1977. He received the M.S. and Ph.D degree in Electronics Engineering from KAIST in 1980 and 1986, respectively. Dr. Koo joined the faculty of the Department of Software Dankook University, Korea, 1986. He is currently a professor in the same department. He is interested in computer vision.