

적응적 대칭기여도 제어 기반 일반화 대칭변환

전준형[†], 이승희^{**}, 박길흠^{***}

요 약

본 논문은 효과적인 물체 검출이 가능하도록 명도값의 변화방향에 따라 수렴하는 경우와 발산하는 경우의 대칭기여도를 적응적으로 제어할 수 있도록 가우시안 함수형태의 위상가중함수를 이용한 적응적 대칭기여도 제어 기반 일반화 대칭변환을 제안하였다. 제안한 방법에서는 먼저 수렴영역과 발산 영역을 정의한 후 정의된 수렴/발산 영역에서 대칭극점과 거리 함수로 표현된 대칭정도에 따라 대칭기여도의 반영 비율을 달리 할 수 있도록 가우시안함수 형태의 위상가중 함수를 사용하였으며, 가우시안함수 형태의 위상 가중함수에서 차단주파수 조절을 통한 대칭기여도의 적응적인 제어를 통해 효과적인 물체 검출이 가능하도록 하였다. 제안한 방안의 성능을 평가하기 위해 IR영상을 포함한 다양한 영상에서 대해 차단주파수 조절을 통한 대칭기여도의 적응적 제어가 물체검출에 미치는 영향을 기존의 GST와 비교, 분석하여 제안한 방법의 우수한 성능을 증명하였다.

An Adaptive Control of Symmetry Contribution Based Generalized Symmetry Transform

Joon-Hyung Jeon[†], Seung-Hee Lee^{**}, Kil-Houm Park^{***}

ABSTRACT

This paper propose an adaptive control of symmetry contribution based generalized symmetry transform. which can be controlled symmetry contribution according to the intensity orientation of two pixels. In the proposed method, we define the C-D(convergent and divergent)plane which represents convergence and divergence region of gradient pairs. and used the gaussian phase wight function, with respect to the distance from the gradient pair to an extreme point, in calculating the symmetry contribution. The proposed method can be detect the object more efficiently by adaptive controlling the cut-off frequency of the gaussian phase wight function. To evaluate a performance of the proposed method, we compare the proposed method and conventional GST method in various images including IR image. we prove that the proposed method have better performance in object detection.

Key words: Generalized symmetry transform(일반화 대칭 변환), Adaptive Symmetry Contribution(적응적 대칭기여도), Cut-off Frequency(차단주파수)

1. 서 론

효율적인 컴퓨터 비전 기반의 영상 인식 시스템을

위해 인간 시각 시스템과 같이 인식 대상이 될 물체에 대한 사전정보가 요구되지 않으면서 객체가 포함된 특정 관심영역을 추출할 수 있는 주목연산자

※ 교신저자(Corresponding Author): 전준형, 주소: 경기도 파주시 파주읍 주라위길 159 두원공과대학교 산학관 2401 디스플레이공학계열(413-816), 전화: 031-935-7125, FAX: 031-935-7291, E-mail: jhjeon@doowon.ac.kr
접수일: 2013년 9월 8일, 수정일: 2013년 12월 24일
완료일: 2014년 1월 13일

[†] 정회원, 두원공과대학교 디스플레이공학계열

^{**} 정회원, 대경대학교 인터넷계임과
(E-mail: shlee@tk.ac.kr)

^{***} 정회원, 경북대학교 전자공학과
(E-mail: khpark@ee.knu.ac.kr)

(attention operator)를 이용한 불특정(不特定)의 입력 영상에 존재하는 물체분할에 관한 연구들[1-5]이 진행되어 왔다.

주목 연산자는 명도 변화와 대칭성(symmetry)으로 대표되는 영상 내 객체의 객관적 속성을 이용하여 분할 결과를 재현하는 것으로서, 대표적인 접근 방법으로서 화소의 명도 변화의 크기와 방향을 모두 이용하여 일정 영역 내에서 reflectional symmetry 성분과 radial symmetry 성분의 강조를 통해 대칭성을 부각시키는 일반화 대칭 변환(generalized symmetry transform; GST)을 제안[6]되었다. 이는 대상 물체의 형태와 명도에 대한 사전 정보 없이도 일반 물체나 사람의 얼굴, 눈, 입 등의 관심 영역에 대한 분할 결과를 제공할 수 있다.

일반화 대칭변환의 적용성 및 효율성을 증가시키기 위해 수렴 및 발산 방향성을 고려한 대칭변환에 관한 연구들이[7-11] 진행되어 왔다. 그 대표적인 사례로서 Park[10]등은 두 화소의 명도 변화 방향이 수렴하는 경우에는 위상가중 함수가 음극성(-)을 가지며, 발산하는 경우에는 양극성(+)을 갖도록 하는 NTGST(noise-tolerant generalized symmetry transform)를 제안하여 수렴과 발산의 일관성이 없는 잡음 영역에서 대칭도가 상호 상쇄됨으로써 풀밭과 같이 불규칙적인 배경 영역이 포함된 경우에 대해 강한 객체 분할이 가능하게 하였다. 한편 Milgram, M [9]등은 원형 물체 검출이 용이하도록 GST의 radial symmetry 성분과 발산하는 방향의 대칭성만을 강조한 chinese transform을 제안하고 얼굴의 특징 추출과 Iris detection에 적용하였다. 또한 R. Belaroussi, R.등[11]은 수렴방향도 함께 반영될 수 있도록 chinese transform을 수정하여 Park등의 방법에서와 같이 수렴하는 경우에는 음극성(-)을 발산하는 경우에는 양극성(+)을 갖도록 GST의 위상가중 함수를 수정한 bilateral chinese transform을 제안하여 붉은색 계열의 원형과 규정화된 다각형 모양의 거리 표지판을 검출하는데 적용하였다.

이러한 방법들은 수렴영역과 발산영역의 정확한 정의 없이 대칭기여도를 결정하는 위상가중 함수를 정의함으로써 인해 대칭성이 없거나 대칭성이 상대적으로 약한 부분들도 대칭기여도에 반영시키게 되어 물체에서의 대칭기여도를 낮게 하거나 배경에서의 대칭기여도를 높게 하여 정확한 물체검출이 어려울

수 있다. 즉, 대칭 변환의 신뢰성 향상을 통한 효과적인 물체 검출을 위해서는 대칭도가 가장 강한 극점에 비해 상대적으로 대칭도가 약한 부분들의 대칭기여도의 반영비율을 줄여야 된다. 그러나 위상 가중함수로 여현 또는 정현 함수를 사용하는 전술한 방법들은 대칭성이 약한 부분들의 대칭기여도 반영 비율을 조절할 수 없으며 대칭성이 상대적으로 약한 부분들도 항상 일정비율로 대칭기여도에 반영시키게 된다. 따라서 대칭변환의 신뢰성 향상을 통한 효과적인 물체 검출을 위해서는 대칭도가 가장 높은 대칭 극점에 비해 상대적으로 약한 대칭성을 나타내는 부분들의 대칭기여도 반영 비율을 적응적으로 조절할 수 있는 방안이 요구된다.

한편 대칭 극점에 비해 상대적으로 약한 대칭성을 나타내는 부분들에 의한 누적 대칭도 맵의 부분침투치(local peak)부근에서의 부효과(side effect)를 활용한다면 대칭변환의 활용도를 더욱 높일 수 있다. 즉, 대칭 극점에 비해 상대적으로 약한 대칭성을 나타내는 부분들의 반영 비율을 크게 할 경우 부효과가 강하게 나타나게 되어 상대적으로 약한 대칭성을 나타내는 부분들도 강조되는 반면, 상대적으로 약한 대칭성을 나타내는 부분들의 반영 비율을 작게 할 경우 부효과가 약하게 되어 대칭성이 강한 극점 주변의 좁은 영역만 강조되게 된다. 따라서 부효과를 작게 할 경우 대칭성이 강한 대칭 중심점 부근의 좁은 영역의 추출이 가능하며, 부효과를 크게 할 경우 대칭 중심점에 비해 상대적으로 약한 대칭성을 나타내지만 물체내에서 가능한 넓은 영역의 추출이 가능하다. 부효과의 반영 정도를 제어할 수 있다면 추출될 물체의 크기를 조절할 수 있으며 이는 대칭변환의 활용성을 더욱 높이는 방안이 될 수 있다. 즉 물체간 거리가 아주 작거나 물체가 서로 겹쳐져있는 상황에서는 정확한 물체의 검출이 어려울 수 있다. 이러한 경우 부효과를 작게 하여 물체의 대칭 중심점만 추출하게 하면 정확한 물체 검출이 가능하다. 또한 물체 분할의 전처리로 물체 추출이 요구 될 경우 부효과를 크게하여 대칭 중심점에 비해 상대적으로 약한 대칭성을 나타내지만 객체내에서 가능한 넓은 영역을 추출하는 것이 효과적이다. 그러나 전술한 방법들은 여현 또는 정현 함수를 위상 가중 함수로 사용하여 부효과의 반영정도를 조절할 수 없다.

본 논문에서는 효과적인 물체 검출이 가능하도록

명도값의 변화방향에 따라 수렴하는 경우와 발산하는 경우의 대칭기여도를 적응적으로 제어할 수 있도록 가우시안 함수형태의 위상가중함수를 이용한 적응적 대칭기여도 제어 기반 일반화 대칭변환을 제안하였다. 제안 방법에서는 명도 변화 방향의 수렴 및 발산이 동일하게 반영되는 기존 GST의 여현(cosine) 위상 가중 함수와 달리, 화소간 명도 변화 방향의 수렴 및 발산 평면상에 존재하는 비대칭선과 각 화소의 명도 변화 방향과의 거리에 따른 수렴 및 발산 영역을 정의하여 대칭성이 없는 부분들의 대칭기여도 반영을 억제시켜 오 검출 가능성을 줄여 대칭변환의 신뢰성을 향상시킨다. 또한 정의된 수렴 및 발산 영역에서 대칭성이 가장 큰 대칭 극점과 화소쌍의 명도 변화 방향과의 거리 함수로 표현된 가우시안 함수를 위상 가중함수로 사용하여 부효과의 반영 정도를 적응적으로 조절 할 수 있도록 하여 대칭변환의 활용성을 높이면서 효과적인 물체 추출이 가능하도록 하였다.

제안한 방법의 신호적 특성 및 성능을 확인하기 위해, 물체간 거리가 아주 작으면서 물체가 서로 겹쳐져 있는 알약 개수 판별실험과 발산 특성이 강한 IR영상의 탱크 추출에 대해 차단 주파수를 가변 시키면서 진행한 실험을 통해 제안한 방법의 실제적 가치를 확인하였다.

2. 일반화 대칭 변환

Reisfeld 등[6]은 물체의 형태 분석 등에 사용되던 대칭 변환을 일반화하여 그림 1(a)에 나타낸 바와 같이 각 화소의 명도 변화의 크기와 방향을 이용하여 일정 영역 내에서 대칭성이 강한 부분을 부각시키는 GST를 제안하였다. 각 화소의 명도변화의 크기 r_k 및 그 방향 θ_k 는 각각

$$r_k = \log(1 + \|\nabla g_k\|) \tag{1}$$

$$\theta_k = \arctan\left(\frac{\partial g_k}{\partial y} / \frac{\partial g_k}{\partial x}\right) \tag{2}$$

와 같이 정의된다. 식에서 g_k 는 위치 (x_k, y_k) 에서의 화소 p_k 의 명도 (intensity)를 의미하고, ∇g_k 는 화소의 명도변화 (intensity gradient)를 의미하며

$$\nabla g_k = \left(\frac{\partial g_k}{\partial x}, \frac{\partial g_k}{\partial y}\right) \tag{3}$$

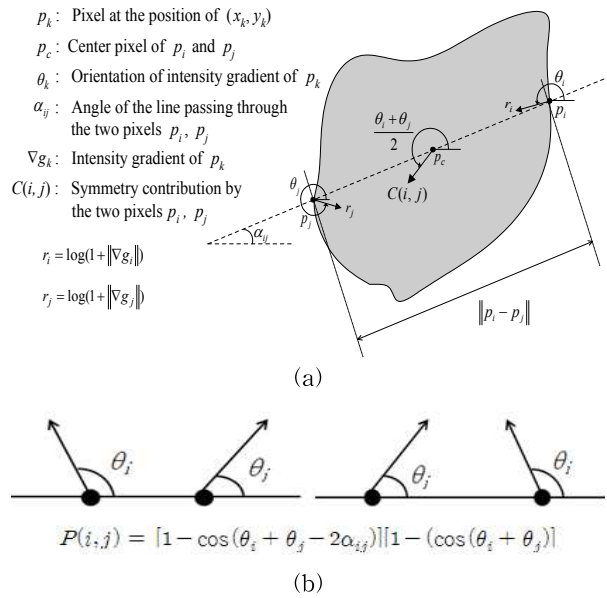


그림 1. GST: (a) 화소의 명도변화 크기 $r_k = \log(1 + \|\nabla g_k\|)$ 와 그 방향 θ 및 (b) 위상 가중 함수의 특징

와 같이 구할 수 있다. 명도변화 방향으로부터 두 화소의 명도변화 방향이 서로 대칭일수록 큰 값을 출력하는 위상 가중 함수 (phase weight function) $P(i, j)$ 는

$$P(i, j) = [1 - \cos(\theta_i + \theta_j - 2\alpha_{ij})][1 - \cos(\theta_i - \theta_j)] \tag{4}$$

와 같이 정의된다. 식에서 α_{ij} 는 그림 1(a)에 나타낸 바와 같이 화소 p_i 와 p_j 를 연결하는 직선이 수평선과 이루는 각도를 의미하며 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 서로 마주보는 방향일 때와 서로 반대 방향일 때를 구분하지 않고 대칭 정도가 같은 경우에는 같은 값을 출력하게 된다. 그리고, 두 화소의 거리가 가까울수록 큰 값을 출력하는 거리 가중 함수 (distance weight function) $D_\sigma(i, j)$ 는

$$D_\sigma(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\|p_i - p_j\|}{2\sigma}\right) \tag{5}$$

와 같이 정의된다. 식에서 σ 는 대칭 변환할 영역의 크기를 나타낸다. 그리고, 두 화소의 대칭 정도를 의미하는 대칭 기여도 $C(i, j)$ 는

$$C(i, j) = D_\sigma(i, j) P(i, j) r_i r_j \tag{6}$$

와 같이 구해진다. 따라서, 대칭 기여도는 두 화소의 명도변화 방향이 대칭일수록, 두 화소의 거리가 가까울수록, 두 화소의 명도변화 크기가 클수록 큰 값을 가지게 된다. 그리고, 대칭 화소 집합을

$$\Gamma(p) = \left\{ (i, j) \mid \frac{p_i + p_j}{2} = p \right\} \quad (7)$$

이라 할 때, 대칭 화소 집합에서 정의되는 중심 위치의 화소 p 의 대칭 정도를 의미하는 대칭도 $M_\sigma(p)$ 는

$$M_\sigma(p) = \sum_{(i, j) \in \Gamma(p)} C(i, j) \quad (8)$$

와 같이 구할 수 있다.

그러나 일반화 대칭변환의 경우 마스크 크기보다 작으면서 수렴과 발산특성이 함께 나타나는 경우 배경영역을 물체 영역으로 오검출할 가능성이 존재한다.

3. 적응적 대칭기여도 제어기반 일반화 대칭 변환

3.1 명도 변화에 따른 수렴과 발산

기존의 방법들[6-11]은 수렴영역과 발산영역의 정확한 정의 없이 대칭기여도를 결정하는 위상가중 함수를 정의함으로 인해 대칭성이 없거나 대칭성이 상대적으로 약한 부분들도 대칭기여도에 반영시키게 되어 물체에서의 대칭기여도를 낮게 하거나 배경에서의 대칭기여도를 높게 하여 정확한 물체검출이 어려울 수 있다. 본 연구에서는 대칭변환의 신뢰성 향상을 위해 수렴 영역과 발산 영역을 정확히 정의하고자 한다.

배경보다 어두운 물체가 존재하는 영역에서는 화소의 명도 변화 방향이 물체의 내부로 수렴하는 방향이며, 배경보다 밝은 물체가 존재하는 영역에서는 화소의 명도변화 방향이 물체의 외부로 발산하는 방향이다.

수렴 및 발산영역을 정의하기 위해 먼저 수렴 및 발산의 정의를 아래 그림 2에 나타내었다.

두 화소 p_i 와 p_j 에 대하여 화살표로 표시된 그래디언트 벡터의 방향(orientation)이 두화소를 잇는 내부 선상에 위치할 경우를 수렴으로 정의하며 외부 선상을 향할 경우를 발산으로 정의하였다. 그러나 실제 영상에서는 그림 3과 같이 그래디언트 방향이 내부 및 외부 선상에서 명확하게 수렴 및 발산하는 경우가 극히 드물다. 즉 실제 영상에서 수렴과 발산을 정의하기 위해서는 두 그래디언트가 이루는 내각의 이탈 범위를 설정함으로써 영상에 적용 가능한 수렴과 발

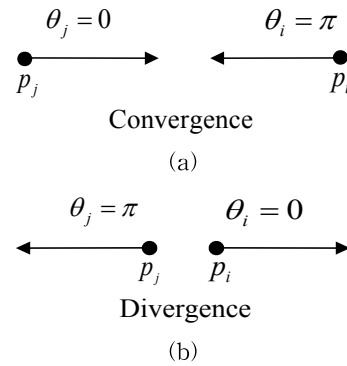


그림 2. 두 화소의 명도변화 방향의 (a) 수렴과 (b) 발산

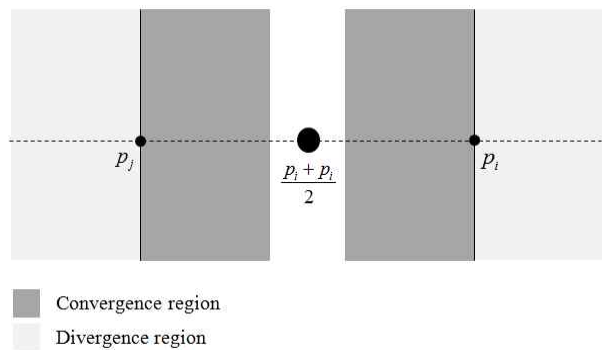


그림 3. 실제 영상을 고려한 수렴과 발산의 재정의

산으로 재정의 할 필요가 있으며 이를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 두 화소 p_i 와 p_j 의 그래디언트 방향을 θ_i, θ_j 로 할 경우, $\pi/2 \leq \theta_i \leq 3\pi/2$ 와 $-\pi/2 \leq \theta_j \leq \pi/2$ 의 경우 수렴 영역으로 정의하였다.

전술한 수렴 및 발산 영역을 정확히 정의하기 위해 θ_i 와 θ_j 축 상에서 수렴 영역과 발산 영역을 구분 짓는 경계선으로

$$\theta_i + \theta_j = 2\pi \quad (9)$$

와

$$\theta_i = \theta_j \quad (10)$$

를 정의하였다.

$\theta_i - \theta_j$ 평면에서 식 (9)와 식(10)에 나타난 수렴 영역과 발산 영역을 구분 짓는 경계선을 가진 CD-plane (convergence and divergence plane)을 정의한 후 정의된 CD-plane상에서 경계선과의 거리 함수로 수렴과 발산영역을 정확히 정의할 수 있도록 하였다. 아래 그림 4에는 수렴 및 발산영역을 정의하는데 사용된 CD-plane을 나타내었다.

그림 4에서 E_3, E_4 는 그림 3에 나타낸 바와같이 두화소의 그래디언트 벡터의 방향이 두화소를 잇는 내부 선상에 위치할 경우 즉 그래디언트 벡터 방향이 서로 마주보고 있어서 수렴특성 가장 강한 경우를 의미하는 극점이다. 또한 E_1, E_2 는 두화소의 그래디언트 벡터의 방향이 두화소를 잇는 외부 선상을 향할 경우 즉 그래디언트 벡터 방향이 서로 반대 방향이어서 발산특성 가장 강한 경우를 의미하는 극점이다. 그림에서 수렴 극점과 발산 극점을 중심으로한 수렴 영역과 발산영역은 음영으로 구분하여 나타내었다.

점E1에서 점PD1를 지나 점PC로 θ_i 의 변화에 따른 방향성은 그림 5(a)에 그리고 점E4에서 점PC1를 지나 점PC으로 θ_j 의 변화에 따른 방향성은 그림 5(b) 각각 나타내었다.

θ_j 가 π 이고 θ_i 가 0도인 발산 극점 E1에서 발산하는 방향으로의 대칭성은 최대가 되며, θ_i 가 0도에서 $\frac{\pi}{2}$ 인 발산 경계점 PD1으로 변화함에 따라 발산하는 방향으로의 대칭성이 약해져서 결국 발산 경계점인 PD1에서 발산방향으로의 대칭성이 최소가 된다. 또한 θ_i 가 $\frac{\pi}{2}$ 인 발산 경계점 PD1에서 θ_i 가 π 인 비대칭 중심점 PC1으로 변화함에 따라 대칭성이 약해져서 결국 비대칭 중심점인 PC에서는 대칭성이 전혀 없는 상태가 됨을 그림 5의 (a)를 통해 확인 할 수 있다. 또한 θ_i 가 π 이고 θ_j 가 2π 인 수렴 극점 E4에서 수렴하는 방향으로의 대칭성이 최대가 되며 θ_j 가 $\frac{3\pi}{2}$ 인 수렴 경계점 PC1까지는 수렴하는 대칭성이 존재하지만 θ_j 가 π 인 비대칭 중심점 PC1으로 θ_j 가 변화

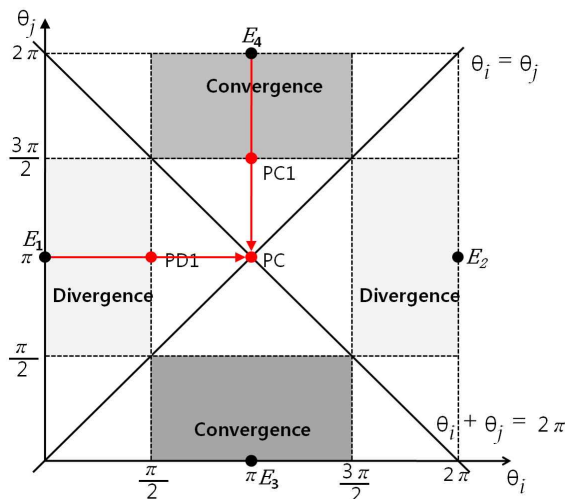


그림 4. CD-plane에서의 수렴 및 발산 영역

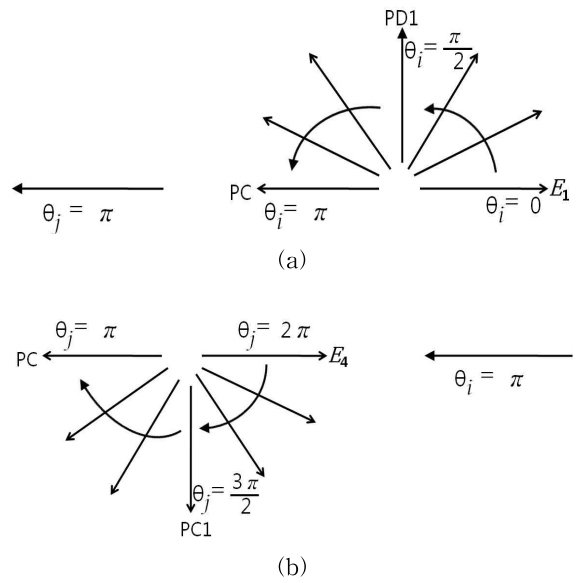


그림 5. CD-plane에서 θ_i 와 θ_j 의 변화에 따른 대칭성: (a)발산 영역, (b)수렴영역

할수록 대칭성이 사라짐을 그림 5의 (b)를 통해 확인할 수 있다.

따라서 수렴 영역은

$$R_c = (\theta_i, \theta_j) | \frac{\pi}{2} \leq \theta_i \leq \frac{3\pi}{2} \quad (11)$$

where, $(0 \leq \theta_j \leq \frac{\pi}{2} \text{ or } \frac{3\pi}{2} \leq \theta_j \leq 2\pi)$

와 같은 조건을 만족하는 영역이 되며, 발산영역은

$$R_d = (\theta_i, \theta_j) | \frac{\pi}{2} \leq \theta_j \leq \frac{3\pi}{2} \quad (12)$$

where $(0 \leq \theta_i \leq \frac{\pi}{2} \text{ or } \frac{3\pi}{2} \leq \theta_i \leq 2\pi)$

와 같은 조건을 만족하는 영역이 된다. 이 조건을 만족하는 수렴 및 발산 영역을 CD-plane상에서 표시하면 음영으로 구분된 영역과 같음을 그림 4를 통해 확인할 수 있다.

이와같이 CD-plane상에서 두화소의 그래디언트 벡터를 의미하는 점 (θ_i, θ_j) 와 그 점이 속한 영역의 극점과의 거리함수로 대칭기여도를 정의하면 수렴 영역과 발산 영역의 정확한 구분 및 각 영역내에서 대칭정도에 따른 정확한 대칭성을 반영 할 수 있을 뿐아니라 대칭성이 없는 부분들의 대칭기여도 반영도 억제 시켜 대칭변환의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

3.2 적응적 대칭기여도 제어 기반 일반화 대칭변환

일반화 대칭 변환과 관련된 기존 방법[6-11]들은

수렴영역과 발산영역의 정확한 정의 없이 대칭기여도를 결정하는 위상가중 함수를 정의함으로 인해 대칭성이 약한 부분들의 대칭기여도 반영 비율을 조절할 수 없으며 대칭성이 상대적으로 약한 부분들도 항상 일정비율로 대칭기여도에 반영시켜 정확한 물체검출이 어려울 수 있다. 또한 물체간 거리가 아주 작거나 물체가 서로 겹쳐져있어 정확한 물체의 검출이 어려울 경우 부효과를 작게 하여 물체의 대칭 중심점만 추출하게 하면 정확한 물체 검출이 가능하지만 전술한 방법들은 여현 또는 정현 함수를 위상가중 함수로 사용하여 부효과의 반영정도를 조절할 수 없다.

본 연구에서는 명도 변화 방향의 수렴 및 발산이 동일하게 반영되는 기존 GST의 여현(cosine) 위상가중 함수와 달리, 그림 4에서 정의한 수렴 및 발산영역에서 대칭성이 가장 큰 대칭 극점과 화소쌍의 명도 변화 방향과의 거리 함수로 표현된 가우시안 함수를 위상가중함수로 사용하여 부효과의 반영 정도를 적응적으로 조절할 수 있는 방안에 관해 연구한다.

CD-plane상의 두화소의 그레디언트 벡터를 의미하는 점 (θ_i, θ_j) 와 그 점이 속한 영역의 극점 사이의 거리는 $d(i, j)$ 는 아래 식 (13)과 같이 구하였다.

$$d(i, j) = \min \{ \|(\theta_i, \theta_j) - E\| \mid E \in E_1, E_2, E_3, E_4 \} \quad (13)$$

식에서 (θ_i, θ_j) 는 두화소의 그레디언트 벡터를 의미하는 점이며, E 는 관심점이 속하는 영역의 극점, 그리고 $\|\cdot\|$ 는 같은 유클리디안 거리(Euclidean distance)거리를 나타낸다. 두 화소의 그레디언트 벡터가 식(11)과 식(12)에 표현된 수렴영역인 R_c 와 발산영역인 R_d 에 포함되지 않을 외부 영역의 경우는 대칭성이 없는 경우가 되며 따라서 이러한 영역에서의 화소간 대칭도는 대칭기여도에 반영되지 않도록 해야 대칭변환의 신뢰성 및 효율성을 향상 시킬 수 있다.

수렴영역인 R_c 와 발산영역인 R_d 에 포함되지 않는 외부 영역 즉 대칭성이 전혀 없는 영역에서의 화소간 대칭도도 대칭기여도에 반영한 기존의 연구들 [57-60]과 달리 본 연구에서는 R_c 와 R_d 외부의 영역에 대해서는 가중치 부여를 하지 않는 위상가중 함수를 제안함으로서 R_c 와 R_d 에 포함되지 않는 외부 영역에 의한 대칭기여도 반영을 억제시켰다. 이를 위해서 본 연구에서는 CD-plane상에서 두화소의 그레

디언트 벡터를 의미하는 점 (θ_i, θ_j) 와 그 점이 속한 영역의 극점과의 거리함수로 대칭기여도를 정의할 수 있도록 가우스 분포를 가지는 위상가중 함수를 제안하였다. 제안한 가우스 분포를 가지는 위상가중 함수에서는 두화소의 그레디언트 벡터를 의미하는 점 (θ_i, θ_j) 가 수렴 및 발산영역에서 대칭도가 최고인 극점에 가까울수록 높은 가중치를 부여하며 극점과의 거리가 멀어질수록 상대적으로 낮은 가중치가 부여되도록 하였다. 따라서 수렴영역과 발산영역내에서 대칭정도에 따른 정확한 대칭성을 반영할 수 있다.

아래 식 (14)에는 제안한 가우스 분포를 가지는 위상가중 함수를 나타내었다.

$$P(i, j) = P_c(i, j) + P_d(i, j) \quad (14)$$

식에서 $P_c(i, j)$ 와 $P_d(i, j)$ 는 각각 두 화소 p_i 와 p_j 의 그레디언트 벡터가 수렴하는 경우와 발산하는 경우의 위상가중 함수를 의미하며 아래 식과 같다.

$$P_c(i, j) = \frac{\tau[-\text{sign}(\cos\theta_i)]}{c} \exp\left(-\frac{d(i, j)^2}{2c^2}\right) \quad (15)$$

$$P_d(i, j) = \frac{\tau[\text{sign}(\cos\theta_i)]}{c} \exp\left(-\frac{d(i, j)^2}{2c^2}\right) \quad (16)$$

식에서 P_c 는 회절함의 대칭성이 강조되는 수렴 위상가중 함수이며, 반대로 P_d 는 암결함의 대칭성이 강조되는 발산 위상가중 함수에 해당한다. 또한 $\text{sign}(\cdot)$ 은 부호 함수를, c 는 가우시안 커브의 차단 주파수를 각각 나타내며, τ 는 계단 함수(step function)로서 아래 식과 같다.

$$\tau(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (17)$$

수렴 및 발산영역을 정의한 CD-plane상에서 두화소의 그레디언트 벡터를 의미하는 점 (θ_i, θ_j) 와 그 점이 속한 영역의 극점과의 거리에 따라 대칭기여도를 반영시킬 수 있도록 식(15)와 식(16)에 나타낸 가우스 함수형태의 위상가중 함수 (phase weight function)를 정의하여 발산 및 수렴 특성이 강하게 나타나는 영상에서 효과적인 물체 검출이 가능하도록 하였다.

제안한 대칭변환의 위상가중 함수에서 차단 주파수 C 는 물체의 형태나 모양에 의존적이지만 아래 그림과 같은 타원의 경우를 예로 들어 적절한 차단 주

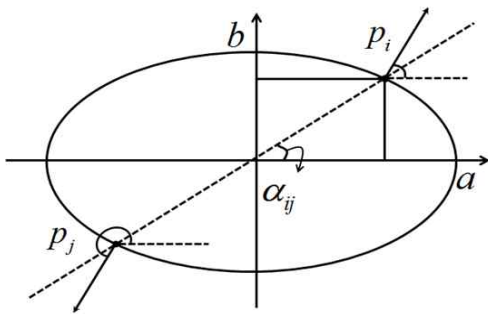


그림 6. 타원에 대한 적절한 차단 주파수 결정

파수를 찾는 방법은 물체에서 대칭성이 가장 낮은 두 점을 이용하여 구할 수 있다.

먼저 그림에 나타낸 타원에 대한 방정식은

$$g(x,y) = b^2x^2 + a^2y^2 - a^2b^2 = 0, (a > b > 0) \tag{18}$$

와 같다. 타원 상의 두 점 $p_i = (x_i, y_i)$ 와 $p_j = (x_j, y_j)$ 에서의 명도 변화 방향을 각각 θ_i 와 θ_j 라 하면 타원에서 대칭성이 가장 낮은 부분은

$$(\theta_i - \alpha_{ij}) = (\pi + \theta_j - \alpha_{ij}) \tag{19}$$

과 같은 조건을 만족하는 두 점이 된다. 여기서 $0 \leq \alpha_{ij} \leq \pi/2$ 이고 $x_i, y_i \geq 0$ 이라고 가정할 경우 대칭도가 가장 낮은 점은 $(\theta_i - \alpha_{ij})$ 의 값이 최대가 되는 지점 즉 각도가 최소가 되는 지점이며 다음식과 같이 유도 된다.

$$\begin{aligned} \cos(\theta_i - \alpha_{ij}) &= \frac{\langle (x_i, y_i), \nabla g(x_i, y_i) \rangle}{\|(x_i, y_i)\| \|\nabla g(x_i, y_i)\|} \\ &\text{where, } \nabla g = (2b^2x, 2a^2y) \\ &= \frac{2(b^2x_i^2 + a^2y_i^2)}{\sqrt{((2b^2x_i^2 + 2a^2y_i^2)^2 + (2a^2 - 2b^2)^2 x_i^2 y_i^2)}} \\ &= \frac{(2a^2b^2)}{\sqrt{(4a^4b^4 + (2a^2 - 2b^2)^2 x_i^2 y_i^2)}} \\ &\text{where, } b^2x_i^2 + a^2y_i^2 = a^2b^2 \end{aligned} \tag{20}$$

식 (20)에서 $\cos(\theta_i - \alpha_{ij})$ 가 최소가 될 때 $(\theta_i - \alpha_{ij})$ 가 최대가 되며 이를 위해서는 $x_i^2 y_i^2$ 가 최대가 되어야 된다. 대수기하 평균 부등식에

$$a^2b^2 = b^2x_i^2 + a^2y_i^2 \geq 2abx_i y_i \tag{21}$$

에 의해 $bx_i = ay_i$ 일 때 $x_i^2 y_i^2$ 의 최대값은 $\frac{(a^2b^2)}{4}$ 이 된다.

식 (3.19)에 $bx_i = ay_i$ 를 대입하면 $x_i = \frac{a}{\sqrt{2}}$ 이고

$y_i = \frac{b}{\sqrt{2}}$ 일 때가 $(\theta_i - \alpha_{ij})$ 가 최대가 되는 지점으로 이 지점을 CD 평면상에서 표시하면

$$G = (\tan \frac{a}{b}, \tan \frac{a}{b} + \pi) \tag{22}$$

와 같다. 이 때 차단 주파수는 $\|G - P\|$ 로 결정 될 수 있다. 여기서 P는 G에 가장 가까운 극점을 의미한다. 이와같이 결정된 차단 주파수는 CD평면상의 수렴 및 발산 영역내에서 위상 가중함수에 사용된 가우스 함수의 기울기를 결정하는 역할을 하게 된다. 즉 대칭성이 낮은 부분들과 대칭성이 높은 부분들의 대칭 기여도 반영 정도를 결정하는 역할을 하게 된다. 아래 그림 7에는 θ_j 를 0으로 고정시키고 차단 주파수 C를 0.5로 했을 경우에 대한 기존의 대칭변환과 제안한 대칭변환의 위상 가중 함수 프로파일을 나타내었다.

그림 7은 θ_j 를 0으로 고정시키고 θ_i 가 π 인 극점 즉, 그림 4의 E1극점에서의 위상 가중함수 프로파일을 나타낸 것이다. 위상 가중함수로 여현 함수를 사용하는 기존의 방법들은 대칭 극점에 비해 상대적으로 약한 대칭성을 나타내는 부분들의 반영 비율을 조절 할 수 없으며 부효과의 반영 정도도 제어 할 수 없다. 반면 제안한 방법의 경우 차단주파수 조절을 통해 상대적으로 약한 대칭성을 나타내는 부분들의 반영 비율을 조절이 가능하며 이를 통한 부효과의 반영 비율 역시 적용적으로 제어 할 수 있음을 그림 7의 함수 프로파일을 통해 확인 할 수 있다.

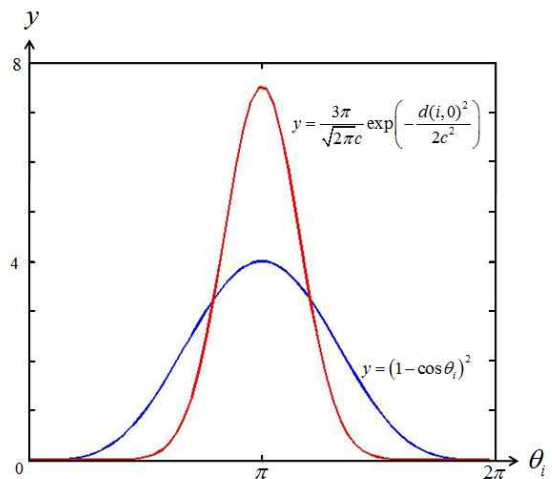


그림 7. θ_j 가 0일 경우 기존 대칭변환과 제안한 대칭변환의 위상 가중함수 프로파일

4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 제안한 방법의 타당성을 확인 하기 위해 차단 주파수 변화에 따른 대칭기여도 반영정도의 적응적 제어의 유용성을 확인하기 위해 B. Viriyasaksathian등[7]이 알약 개수 판별실험에 사용한 영상과 IR영상에서의 탱크 검출에 차단주파수를 가변시키면서 실험을 진행하였다.

차단 주파수 변화에 따른 효과를 확인하기 B. Viriyasaksathian등[7]이 실험한 영상에 대해 차단 주파수를 0.2, 0.5 그리고 1.0으로 가변시키면서 실험한 결과를 그림 8에 나타내었다.

기존의 대칭변환은 수렴과 발산특성의 구분없이 대칭성을 반영시키므로 알약의 중심 뿐 아니라 알약과 알약 사이의 영역의 대칭성이 없거나 약한 부분들도 대칭성에 반영되어 알약의 중심 뿐 아니라 알약 사이 영역도 검출함을 그림 8의 (b)를 통해 확인 할 수 있다. 따라서 기존의 대칭변환을 발산특성이 강한 물체의 검출과 같은 응용 분야에 그대로 적용하기에는 어려움이 따른다. 제안한 방법의 경우 차단 주파수를 작게 할 경우 부효과의 반영정도도 작게 되어 대칭성이 강하게 나타나는 물체내의 대칭 중심점 근처의 작은 영역이 검출되며, 차단 주파수를 크게 할

경우 부효과의 반영정도도 크게 되어 대칭 중심점에 비해 상대적으로 대칭성이 약한 물체내의 비교적 넓은 영역이 검출됨을 그림 8의 (c), (d) 및 (e)를 통해 확인 할 수 있다.

그림 9에는 영상에 대해 차단 주파수를 0.1, 0.5 그리고 1.0으로 가변시키면서 탱크를 검출한 결과를 나타내었다.

그림 9의 (a)우측 하단부에는 바위로 추정되는 발산하는 부분과 배경의 수렴하는 부분이 일정기회를 가지며 반복적으로 나타나는 영역 즉, 명도값이 큰 부분과 명도값이 상대적으로 작은 부분 그리고 명도값이 상대적으로 큰 부분이 일정한 간격을 두고 반복적으로 나타나는 영역은 상당히 강한 대칭성분을 가지게 된다. 이 경우 수렴과 발산성분을 모두 반영하는 기존의 대칭 변환에서는 이 영역에 대한 대칭성이 상당히 크게 나타나며 결국 이를 물체로 오인하게 된다. 따라서 기존 대칭변환의 경우 어두운 배경에 비해 상대적으로 큰 명도값을 가지며 일정한 패턴을 나타내는 배경들로 둘러싸인 탱크를 검출하지 못하고 명도값이 아주 작은 어두운 부분의 배경과 상대적으로 명도값이 큰 밝은 배경이 마스크 영역내에서 일정 간격을 두고 반복되는 우측 하단부분의 배경영역을 물체로 오 검출함을 그림 9(b)와 (c)를 통해 확

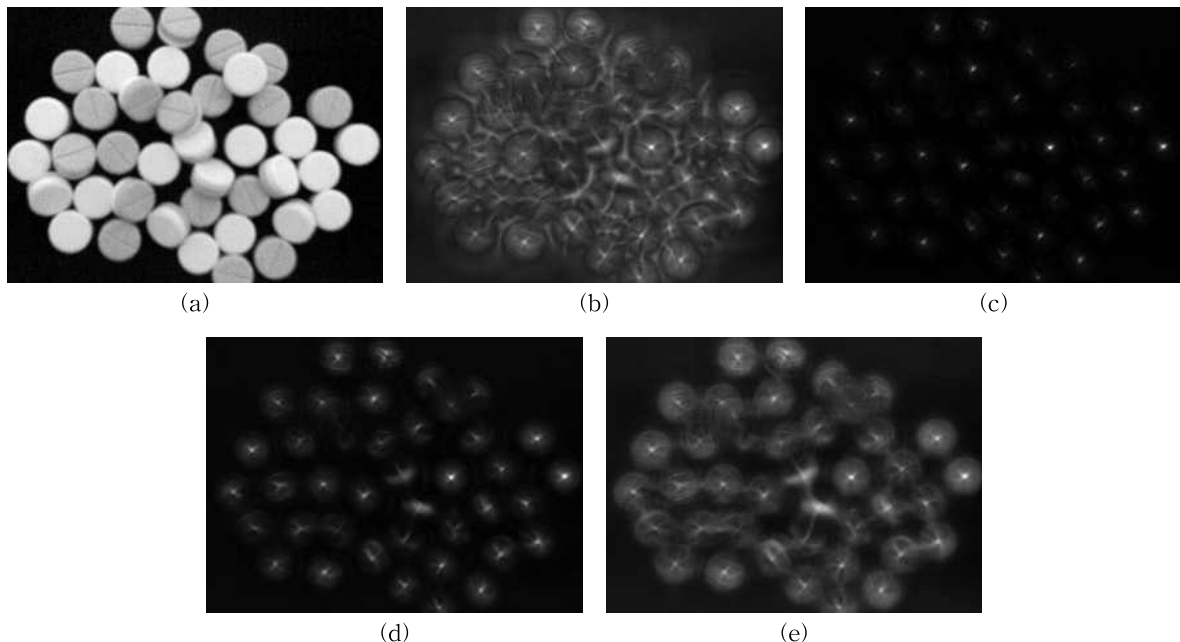


그림 8. cut-off 주파수 변화에 따른 대칭기여도 반영정도의 적응적 조절 실험: (b) 기존 GST를 적용한 누적 대칭도 맵과 제안한 대칭변환의 발산 위상가중 함수를 적용한 누적 대칭도 맵(c) $c = 0.2$ (d) $c = 0.5$ (e) $c = 1.0$ (영상 크기: 290×214 , 마스크 크기: 35×35)

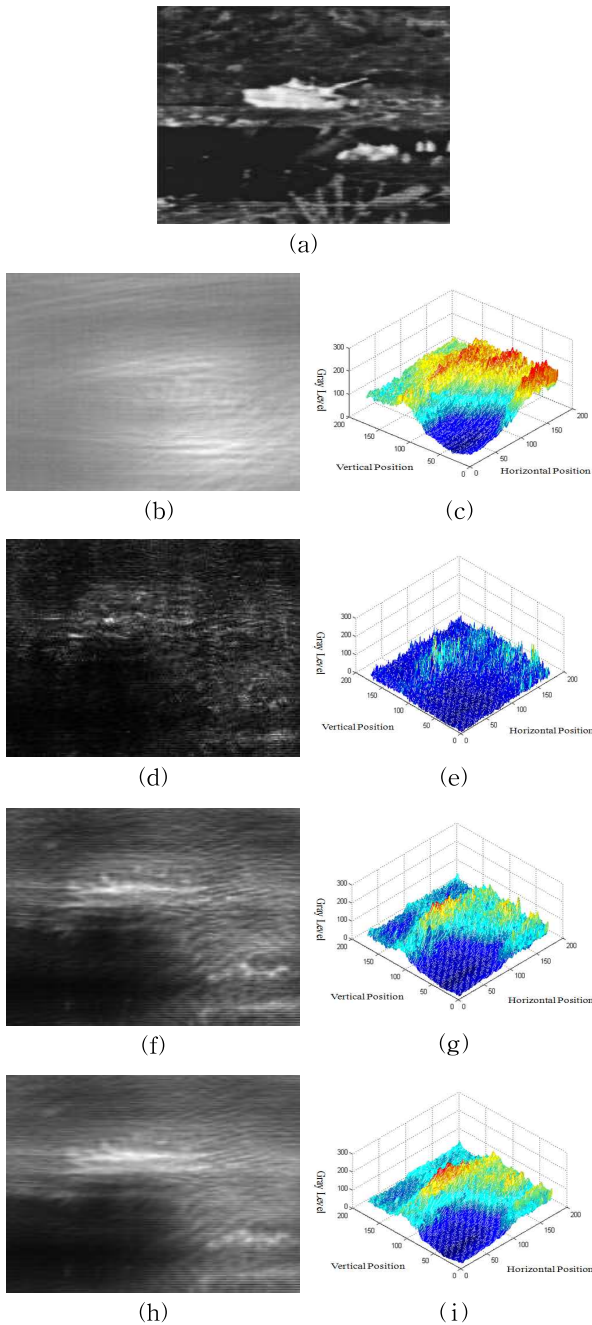


그림 9. IR 영상에서 cut-off 주파수 변화에 따른 대칭기여도 반영정도의 적응적 조절 실험: (a)원영상, 기존 일반화 대칭변환을 적용한 (b)2차원 과 (c)3차원 누적 대칭도 맵, 제안한 대칭변환의 발산 위상가중 함수를 적용한 (d)2차원 및(e)3차원 누적 대칭도 맵($c=0.1$)과 (f)2차원 및(g)3차원 누적 대칭도 맵($c=0.5$) 그리고 (h)2차원 및 (i)3차원 누적 대칭도 맵($c=1.0$)(영상 크기: 169×169, 마스크 크기: 79×79)

인 할 수 있다. 그러나 제안한 대칭변환의 발산 위상가중 함수를 적용할 경우 발산 방향성분만 대칭성에

반영시키므로 기존 대칭변환에서 물체로 오 검출한 배경영역 즉, 발산하는 부분과 배경의 수렴하는 부분이 일정크기를 가지며 반복적으로 나타나는 영역에 대해서는 대칭기여도를 효과적으로 억제 시킨 반면 발산 성분이 강한 탱크 부분에서 최대 대칭기여도를 나타내어 효과적인 물체 검출이 가능함을 그림 9(d)와 (e)를 통해 확인 할 수 있다.

차단 주파수를 0.1로 작게 할 경우 부효과의 반영정도도 작게 되어 대칭성이 강하게 나타나는 물체내의 대칭 중심점 근처의 작은 영역이 검출됨을 그림 9의 (d)와 (e)에서 확인 할 수 있다. 그러나 차단 주파수를 1.0과 같이 크게 할 경우 부효과의 반영정도도 크게 되어 대칭 중심점에 비해 상대적으로 대칭성이 약한 물체내의 비교적 넓은 영역이 검출됨을 그림 9의 나머지 부분들을 통해 확인 할 수 있다.

명도 변화의 방향만 고려한 기존 방법과 달리 제안한 방법에는 차단 주파수 설정을 통한 부효과의 반영 정도를 적응적으로 제어하여 배경과 물체간 명도변화가 크지 않은 물체의 검출이나 마스크 크기보다 인접한 거리에 위치한 물체의 검출에 효과적임을 실험을 통해 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 효과적인 물체 검출을 위해 명도값의 변화방향에 따라 수렴하는 경우와 발산하는 경우의 대칭기여도를 적응적으로 제어할 수 있도록 가우시안 함수형태의 위상가중함수를 이용한 적응적 대칭기여도 제어 기반 일반화 대칭변환을 제안하였다. 제안 방법에서는 화소간 명도 변화 방향의 수렴 및 발산 평면상에 존재하는 비대칭선과 각 화소의 명도 변화 방향과의 거리에 따른 수렴 및 발산 영역을 정의하여 대칭성이 없는 부분들의 대칭기여도 반영을 억제시켜 오 검출 가능성을 줄여 대칭변환의 신뢰성을 향상시킨다. 또한 정의된 수렴 및 발산 영역에서 대칭성이 가장 큰 대칭 극점과 화소쌍의 명도 변화 방향과의 거리 함수로 표현된 가우시안 함수를 위상가중함수로 사용하여 부효과의 반영 정도를 적응적으로 조절 할 수 있도록 하여 대칭변환의 활용성을 높이면서 효과적인 물체 추출이 가능하도록 하였다. 알약 개수 판별 실험과 IR영상에서의 탱크 검출 실험을 통해 본 논문의 실제적 가치를 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 전미진, 이준재, "일반화 대칭 변환 기반의 웨이퍼 위치인식," 한국멀티미디어학회논문지, 제 16권, 제 6호, pp.782-794, 2013

[2] James B. Hayfron-Acquah, Mark S. Nixon, and John N. Carter, "Automatic Gait Recognition by Symmetry Analysis," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24, Issue. 13, pp. 2175-2183, Sep. 2003.

[3] Li Bai, Linlin Shen, and Yan Wang, "A Novel Eye Location Algorithm based on Radial Symmetry Transform," *Proc. of ICPR*, pp. 511-514, 2006.

[4] Yu Sun and Bir Bhanu, "Symmetry Integrated Region-based Image Segmentation," *IEEE CVPR*, pp. 826-831, 2009.

[5] S. Holland and R. Neville, "Classification of Handwritten Characters by Their Symmetry Features," *IEEE ICACC and Telecommunication Technologies*, pp. 316-318, 2009.

[6] D. Reisfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun, "Context-Free Attentional Operators: The Generalized Symmetry Transform," *Proc. of IJCV*, Vol. 14, pp. 119-130, 1995.

[7] Boonyarat Viriyasaksathian and Yodchanan Wongsawat, "Automatic Counting Method using Fast Radial Symmetry Transform," *IEEE Proc. of ICRB Bangkok*, pp. 2174-2177, 2009.

[8] Gareth Loy and Alexander Zelinsky, "Fast Radial Symmetry for Detecting Points of Interest," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 25, No. 8, pp. 959-973, 2003.

[9] Milgram, Maurice, Rachid Belaroussi, and Lionel Prevost. "Multi-stage combination of geometric and colorimetric detectors for eyes localization." *ICIAP 2005, LNCS*, Vol. 3617, pp. 1010-1017, 2005.

[10] Chang-Joon Park, Kyung-Seok Seo, and Heung-Moon Choi, "Symmetry Polarity in Generalized Symmetry Transform," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 27, Issue 7, pp. 854-857, 2006.

[11] Rachid Belaroussi and Jean-Philippe Tarel, "A Real-Time Road Sign Detection using Bilateral Chinese Transform," *Proc. of ISVC Part2*, pp. 1161-1170, 2009.



전 준 형

1990년 경북대학교 전자공학과
공학사
1992년 경북대학교 전자공학과
공학석사
2013년 경북대학교 전자공학과
공학박사

1997년~현재 두원공과대학교 디스플레이공학계열 부
교수
관심분야: 영상신호처리, 마이컴응용



이 승 희

1992년 경북대학교 전자공학과
공학석사
1997년 경북대학교 전자공학과
공학박사
1994년~현재 대경대학교 인터넷
게임과 교수

관심분야: 신호처리, 패턴인식



박 길 흠

1982년 경북대학교 전자공학과
공학사
1984년 한국과학기술원 전기전자
공학과 공학석사.
1990년 한국과학기술원 전기전자
공학과 공학박사.

1999년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
관심분야: 영상신호처리, 패턴인식, 영상압축