

측광입체시법을 이용한 하이라이트 검출과 농담 차이를 이용한 물체 복원

배 철 민[†] · 문 영 식^{††}

요 약

컴퓨터 비전의 많은 응용 분야에서 매끄러운 표면으로부터 반사되어 발생하는 하이라이트는 물체의 오인식에 주요 원인으로 작용한다.

본 논문에서는 물체의 기하학적인 구조에 의해 광원의 위치가 다르면 하이라이트의 위치도 달라진다는 측광입체시법의 원리를 이용하여 하이라이트를 검출하고 물체로 복원하는 효과적인 알고리즘을 제안한다. 광원의 위치가 다르게 물체의 두 화상을 시분할로 입력받아 기준 화상과 참조 화상으로 정하고, 두 화상의 평균을 구해서 참조 화상의 밝기가 기준 화상과 같게 정규화한다. 두 화상의 농담 차이를 구하고 농담 차이 화상을 이치화하여 하이라이트의 전반사 스파이크를 검출한 후, 전반사 스파이크 주위의 전반사 로브를 검출하고 물체로 복원한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 물체 표면의 특성에 관계없이 금속체 및 절연체에도 적용할 수 있으며 배경의 밝기가 물체보다 밝은 경우에도 효과적으로 적용할 수 있다.

Highlight Detection Using Photometric Stereo and Object Reconstruction Using Difference Image

Chul Min Bae[†] · Young Shik Moon^{††}

ABSTRACT

In many vision tasks one of the major obstacles is the specular highlight of smooth objects, which causes a misinterpretation of objects.

This paper presents an efficient algorithm for highlight detection and object reconstruction, based on the theory of photometric stereo in which the location of highlight changes as the position of illumination source changes. Two images, referred to as base image and reference image, are sequentially taken with two different positions of the illumination source but from the same viewing direction. The reference image is normalized by the average of the two images. The difference image is thresholded to detect the specular spike of the highlight. Then the specular lobe around the specular spike is detected to reconstruct the object. The proposed algorithm can be applied to metals and dielectrics, regardless of the surface characteristics. This method can also be applied to the case when the background is brighter than the object.

[†] 정 회 원: LG정보통신 S/W 연구소 연구원

^{††} 정 회 원: 한양대학교 전자계산학과 조교수

논문접수: 1995년 8월 21일, 심사완료: 1997년 4월 7일

1. 서 론

우리가 눈으로 사물을 인식하는 것은 광원(irradiance)이 사물의 표면에 부딪쳐 반사되어 나오는 빛(radiance)을 보고 사물을 알게 된다. 반사되는 빛은 광원의 파장, 세기, 방향과 물질의 표면의 색, 거칠, 기하학적 인 것에 의해 반사광의 파장, 세기, 방향이 결정된다. 하이라이트는 광원이 매끄러운 물체에 반사되어 반사광이 센 것을 말한다. 입력화상을 전처리 또는 중간 처리하여 인식 하고자 할 때 입력 화상의 물체에 하이라이트가 존재하면, 전처리에서 문턱치법을 적용할 때 물체 내의 하이라이트로 인해 하이라이트 부분을 배경으로 인식하고 에지 연산자를 적용할 때 하이라이트 부분을 경계로 인식하는 오류가 발생한다. 이와 같이 하이라이트는 물체를 인식하기 위해 필수적으로 해결해야 할 과제인 것이다.

S. Tominaga[1]는 RGB 공간에서 칼라 반사 모델에 근거하여 하이라이트 영역을 검출하여 광원의 칼라 벡터를 구하고 화상의 색도 분포를 분석하여 물체의 색을 구하는 방법을 제안하였으며, L. B. Wolff[2]는 하이라이트의 편광 특성을 이용해 편광필터를 회전 시키며 256의 농담(gray)을 가지는 여러 화상을 구해 각 점에서 최고와 최저 값을 구해 물체가 금속인지 절연체 인지를 구분하는 방법을 제시하였다. 또한, S. K. Nayar, X. S. Fang과 T. Boul[3]는 편광 필터로 하이라이트의 편광 특성을 이용해 하이라이트를 검출 하고 제거하였으며, S. W. Lee와 R. Bajcsy [4]는 람베르션(Lambertian) 표면일 경우 보는 각도에 따라 반사의 스펙트럴 구성이 다르다는 점을 이용해서 화상을 구하고 화상들의 스펙트럴 차이(spectral differencing)를 이용해 전반사 성분(specularity)을 검출하는 방법을 제안하였다. 이와같은 기존의 하이라이트 검출 방법들은 배경을 고려하지 않고 물체에서 하이라이트를 검출하는 것을 목표로 하였다. 그래서 검은 색을 배경으로 하여 RGB공간에서 하이라이트와 중복되지 않았으나 배경이 물체보다 밝은 경우에는 적용하기가 곤란하다. 본 논문에서는 물체보다 배경이 밝을 경우, 금속 물질 또는 절연 물질의 하이라이트를 검출하는 알고리즘을 제시한다.

2. 물체 표면의 반사 특성과 측광 입체 시법

Torrance-Sparrow 모델에 의하면[5], 물체의 반사광 L_r 은 식(2.1)과 같이 광원과 물체 표면 특성의 곱으로 표시되며, 물체 표면의 반사 특성은 전반사와 난반사 성분 합으로 표현된다.

$$L_r = e(\lambda) \cdot s(\lambda) = e(\lambda) [\rho_s(\lambda) G_s(\theta_r, \phi_r) + \rho_B(\lambda) G_B] \dots (2.1)$$

여기서, $e(\lambda)$ 는 광원의 세기, $s(\lambda)$ 는 물체 표면의 반사 특성을 나타내며, $\rho_s(\lambda)$ 와 $\rho_B(\lambda)$ 는 광원이 물체의 표면에 부딪혀 전반사(specular reflection)와 난반사(diffuse reflection)되는 반사 특성을 나타내고, (θ_r, ϕ_r) 은 표면에 의해 반사되는 방향을 가리키고, $G_s(\theta_r, \phi_r)$ 와 G_B 는 광원의 파장과 관계없이 광원과 보는 시각의 방향과 관계있는 표면의 기하학적 요인을 나타낸다. 금속 물질(metal)에서는 난반사가 거의 없어 $\rho_B(\lambda)G_B$ 항이 0으로 되며, 절연체(dielectrics)에서는 람베르션 표면을 가정할 때 G_B 는 반사되는 방향 (θ_r, ϕ_r) 에 관계없다. 따라서 전반사는 표면의 거칠도, 보는 각도와 조명의 각도에 영향을 받는다. 물체의 하이라이트는 전반사에 의해 나타나는데, 전반사는 전반사 스파이크와 전반사 로브 성분으로 구분된다.

3. 측광입체시법을 이용한 하이라이트 검출

측광입체시법(Photometric Stereo)은 서로 다른 위치에서 조사되는 여러 조명원으로부터 얻어지는 복수의 화상에 담겨있는 물체 표면의 명암 분포 정보를 연립시켜서 물체의 3차원적 형상을 복구하는 방법으로 보는 위치(viewing position)가 고정되고 위치가 서로 다른 조명 하에서 얻은 세기(intensity) 정보로부터 물질에서 전반사 부분의 부분적인 표면 방향을 얻어 물체를 3차원으로 재구성하는 방법이다[6, 7]. 이 측광입체시법에서 보는 방향을 고정하고 광원의 방향을 변화시켜 같은 물체에 대해 한 쌍의 화상을 얻으면, 물체의 기하학적 구조에서 한 부분 표면(local surface)에 하이라이트가 일어나는 광원의 위치는 정해져 있기 때문에 광원의 위치가 다르면 물체에서 하이라이트가 일어나는 부분도 달라지게 된다. 본 논문에서는 측광입체시법에서 광원의 위치가 다르면 물체의 기하학적 구조에 의해 입사 평면에서 입사각과 카메라의 시선 방향의 이동분 각이 표면의 법선 벡터와 같

은 표면에 하이라이트가 일어난다는 것을 이용해서 기준 화상(base image)의 하이라이트를 참조 화상(reference image)을 이용해 검출하고 복원한다. 즉, 조명 위치가 다른 두 화상을 시분할로 입력받아 기준 화상과 참조 화상으로 정하고 참조 화상의 밝기를 구해 기준 화상의 밝기에 맞게 보정한 후 두 화상에서 각 점의 농도 차이를 구해 차이 화상을 구하고 차이 화상을 이치화하여 전반사 스파이크를 구한다. 검출한 전반사 스파이크를 물체로 복원하고 전반사로브와 배경의 영역 특성을 이용하여 전반사 스파이크 주위의 전반사 로브를 검출하여 물체로 복원한다.

3.1 입력 화상의 밝기 보정

조명의 위치를 다르게 하여 시분할로 기준 화상과 참조 화상을 구할때 조명의 위치와 물체와의 거리가 다르면 두 화상의 전체적인 밝기도 다르다. 그러므로 두 화상을 정규화 하여(normalize) 참조 화상의 밝기를 기준 화상과 같게 보정한다. 먼저, 식 3.1과 식 3.2에 의해 기준 화상(B)의 평균 b와 참조 화상(R)의 평균 r을 구한다.

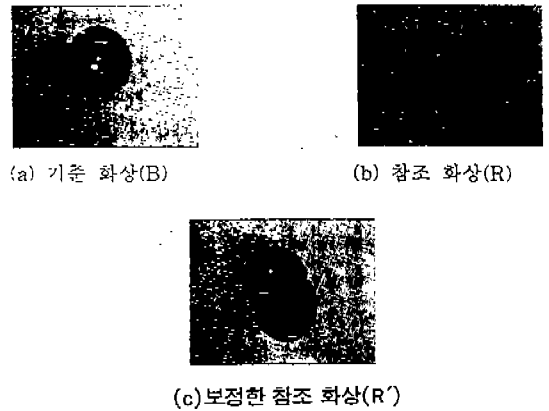
$$b = \frac{1}{NX \times NY} \sum_{y=0}^{NY-1} \sum_{x=0}^{NX-1} B[x][y] \quad (3.1)$$

$$r = \frac{1}{NX \times NY} \sum_{y=0}^{NY-1} \sum_{x=0}^{NX-1} R[x][y] \quad (3.2)$$

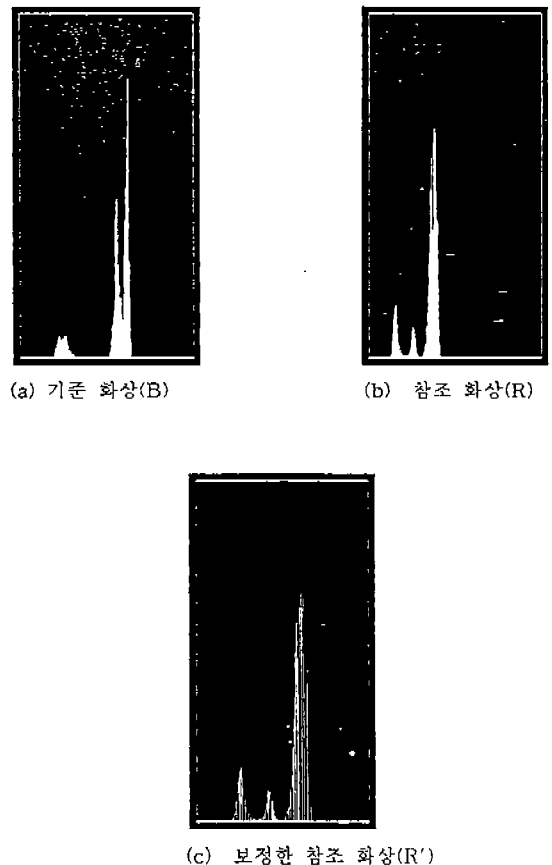
화상의 밝기는 식 3.1에 의해 광원의 양과 물체 표면의 반사 특성의 곱으로 표현되므로 밝기의 보정은 기준 화상의 평균(b)을 참조 화상의 평균(r)으로 나누어 가중치(d)를 구하고(d=b/r), 식 3.3과 같이 가중치(d)를 참조 화상(R)에 곱해 참조 화상의 밝기를 기준 화상의 밝기와 같아지게 보정한 참조 화상(R')을 구한다. (그림 1)에서 (a)는 기준 화상, (b)는 참조 화상, (c)는 참조 화상을 기준 화상의 밝기와 같게 보정한 화상이다.

$$R'[x][y] = R[x][y] \times d \quad (3.3)$$

기준 화상과 참조 화상에 대한 히스토그램은 (그림 2)의 (a), (b)와 같으며, 참조 화상을 기준 화상의 밝기와 같게 정규화한 보정 화상(R')의 히스토그램 분포



(그림 1) 기준 화상과 참조 화상
(Fig. 1) Base image and reference image



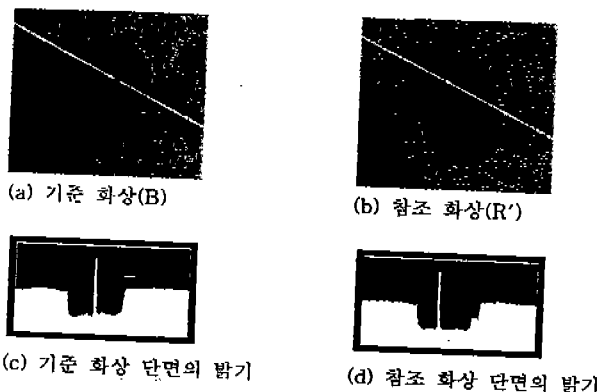
(그림 2) 기준 화상과 참조화상의 히스토그램
(Fig. 2) Histogram of base image and reference image

는 (그림 2(c))와 같다.

3.2 측광입체시법을 이용한 하이라이트 검출

보정한 두 화상에서 각 점의 농담 차이를 구해 차이 화상(difference image)을 만들고 차이 화상을 이치화하여 전반사 스파이크를 구한다. 앞으로 참조화상이라 함은 정규화 보정한 후의 화상을 의미한다.

기준 화상인 (그림 1(a))에 빗금을 그은 (그림 3(a)) 화상의 단면의 밝기 변화는 (그림 3(c))와 같고 참조 화상(R')인 (그림 1(c))에 빗금을 그은 (그림 3(b)) 화상의 단면의 밝기 변화는 (그림 3(d))와 같다.



(그림 3) 기준 화상(B)과 참조 영화(R')에서 단면의 밝기 변화

(Fig. 3) Intensity along cross section of the base image and reference image

차이 화상 D는 식 3.4에서와 같이 기준 화상에서 참조 화상을 빼서 구한다.

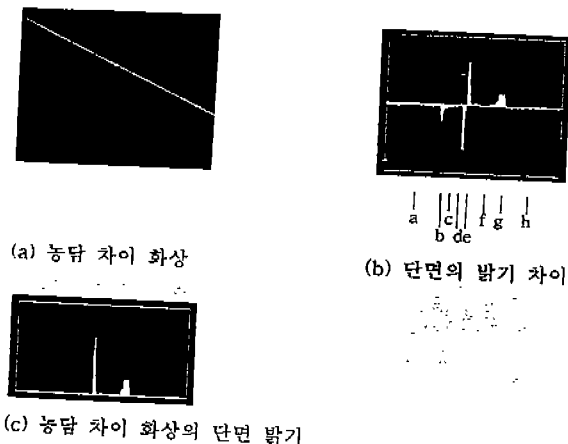
$$D[x][y] = B[x][y] - R'[x][y] \quad (3.4)$$

차이 화상 D에서 음수 부분은 참조 화상의 하이라이트 또는 기준 화상의 그림자이므로 식 3.5에서와 같이 0으로 대체한다.

$$\text{IF } (D[x][y] < 0) \text{ then } D'[x][y] = 0 \quad (3.5)$$

(그림 1(a))인 기준 화상과 (c)인 보정된 참조 화상의 농담 차이 화상은 (그림 4(a))이다. 이것을 단면의 밝기 변화로 보면 기준 화상의 단면인 (그림 3(c))에

서 참조 화상의 단면인 (그림 3(d))를 빼면 (그림 4(b))와 같이 된다. (그림 4(b))에서 a와 h는 두 화상에서 모두 배경이고 b는 기준 화상의 그림자이며 c와 f는 두 화상에서 물체 부분이다. d는 참조 화상에서 하이라이트, e는 기준 화상의 하이라이트이며 g는 기준 화상에서는 배경이나 참조 화상에서는 그림자이다. 여기서 우리가 검출하고자 하는 부분은 기준 화상의 하이라이트 부분이다. 기준 화상의 그림자와 참조 화상의 하이라이트는 음수이며, 이 부분은 무시해도 되므로 0으로 한다. 기준 화상과 참조 화상에서 단면의 밝기 차에서 기준 화상의 그림자와 참조 화상의 하이라이트를 0으로 하면 (그림 4(c))와 같다.



(그림 4) 농담 차이 화상과 단면의 밝기 차

(Fig. 4) Difference image and intensity along cross section

기준 화상에서 참조 화상을 빼서 구한 차이 화상에서 차이가 큰 부분은 (그림 4(b))에서 e부분과 같은 전반사 스파이크이고 비교적 높은 부분은 (그림 4(b))에서 e주위인 전반사 로브부분과 g부분인 참조 화상의 그림자이다. 즉 차이 화상을 이용해 하이라이트를 검출하려고 하면 밝기 차이가 큰 전반사 스파이크와 비교적 큰 참조 화상의 그림자 부분 사이를 이치화하여 전반사 스파이크를 검출한다. 이치화 값은 차이 화상의 히스토그램을 구해 차이의 값이 큰 부분부터 작은 부분으로 검색해 가며 급격히 변화하기 시작하는 값을 구해 이치화 값으로 한다.

3.3 차이 화상을 이용한 물체 재구성

하이라이트가 검출되었으면 하이라이트를 물체로 복원해야 한다. 물체로 복원하는 방법은 두 화상의 차이 화상을 이용한다. 식 3.6과 같이 차이 화상의 값이 이치화 값보다 크면 전반사 스파이크로 인식하여 기준 화상의 점 $B[x][y]$ 에 대해 차이 화상 $D'[x][y]$ 의 값을 뺀다. 그렇게 하면 기준 화상의 전반사 스파이크를 물체로 복원할 수 있다.

$$\text{If } (D'[x][y] > \text{threshold}) \text{ then } B'[x][y] = B[x][y] - D'[x][y] \quad (3.6)$$

(그림 5(a))는 기준 화상인 (그림 1(a))를 농담 차이 화상인 (그림 4(a))를 이용해 기준 화상의 전반사 스파이크를 검출하여 물체로 복원한 화상이다. (그림 5(b))는 기준 화상의 단면 밝기인 (그림 3(c))를 차이 화상의 단면 밝기인 (그림 4(d))를 이용해 이치화 값보다 크면 전반사 스파이크로 인식하여 물체로 복원한 기준 화상의 단면 밝기이다.



(a) 전반사 스파이크 복원 화상 (b) 복원 화상 단면의

(그림 5) 전반사 스파이크를 복원한 기준 화상과 단면 밝기 (Fig. 5) Reconstruction from specular spike and intensity along cross section

3.4 주변 탐색을 이용한 전반사 로브의 복원

전반사 로브의 차이 화상은 기준 화상의 배경과 참조 화상의 그림자 성분의 차이와 비슷하므로 차이 화상을 이치화하여 복원할 수 없다. 전반사 로브는 전반사 스파이크 주위에 생기므로 전반사 스파이크를 검출하여 물체로 복원한 후 복원한 점 $b[x][y]$ 주위의 차이 화상 $d[x][y]$ 이 크면 전반사 로브로 가정하고 기준 화상 $b[x][y]$ 에서 차이 화상 $d[x][y]$ 을 빼는 방법으로 전반사 로브를 물체로 복원한다. 즉, 두 화상의 농담 차이로 전반사 스파이크를 검출하여 물체로 복원하고 주변 탐색으로 전반사 로브를 복원해 하이라이트를 물체로 복원한다. 이때 기준 화상의 하이라이트

주위에 참조 화상의 그림자가 있으면 참조 화상의 그림자 부분도 전반사 로브로 인식하게 된다. 이 경우 (표 1)의 전반사 로브와 그림자의 특성 비교에서 알 수 있듯이 전반사 로브는 주위의 점에 대해 세기의 변화가 크나 그림자 부분은 주위의 점에 대해 세기의 변화가 적으므로 이 차이를 이용해 전반사 로브와 그림자를 구분한다. 즉 농담 차이를 이용해 전반사 스파이크를 검출하여 보정하고 그 주위의 전반사 로브를 검출할 때 주위의 점(24-neighbors)에 대해 8 방향으로 차를 구해 가장 작은 값을 기준 값으로 하여 작으면 그림자로 인식하고 크면 전반사 로브로 인식하여 물체의 하이라이트에서 전반사 로브를 복원한다.

(표 1) 전반사 로브와 그림자의 특성 비교 (Table 1) Characteristics of specular lobe and shadow

	전반사 로브	그림자	비고
밝기	물체에서 전반사 스파이크까지	물체보다 밝고 배경보다 어두움	검치는 영역존재, 구분안됨
위치	물체 내부 또는 경계	물체 경계의 배경 부분	물체 경계에서 구분 안됨
영역 특성	주위에 대해 밝기의 변화가 크다	밝기의 변화가 작다	구분 가능



(a) 하이라이트 복원 화상 (b) 단면의 밝기

(그림 6) 전반사 로브를 복원한 기준 화상과 단면 밝기 (Fig. 6) Reconstruction from specular lobe and intensity along cross section

(그림 6(a))는 전반사 스파이크를 검출하고 복원한 화상 (그림 5(a))에서 전반사 스파이크 주위의 전반사 로브를 검출하여 복원한 화상이다. 전반사 스파이크 주위의 전반사 로브를 검색하고 영역의 밝기 변화 차로 그림자와 구분해 전반사 로브만 검출해 복원하면 기준 화상의 단면 밝기는 (그림 6(b))와 같이 된다. 전체 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

Step 1.

1.1 기준 화상의 평균 b 와 참조 화상의 평균 r 을 구함

$$b = \frac{1}{NX \times NY} \sum_{y=0}^{NY-1} \sum_{x=0}^{NX-1} B[x][y]$$

$$r = \frac{1}{NX \times NY} \sum_{y=0}^{NY-1} \sum_{x=0}^{NX-1} R[x][y]$$

1.2 가중치 d 를 구함: $d = \frac{b}{r}$

1.3 가중치 d 를 참조 화상 R 에 곱함

$$R'[x][y] = R[x][y] \times d$$

Step 2.

2.1 차이 화상 = 기준 화상 - 참조 화상

$$D[x][y] = B[x][y] - R'[x][y]$$

2.2 차이 화상 보정 - 참조 화상 하이라이트 제거

$$\text{If } (D[x][y] < 0) \text{ then } D'[x][y] = 0$$

2.3 차이 화상 이치화 - 전반사 스파이크 검출

$$\text{If } (D'[x][y] > \text{threshold})$$

$$\text{then } B'[x][y] = B[x][y] - D'[x][y]$$

Step 3.

3.1 복원한 전반사 스파이크 주위의 차이 화상이 크면 전반사 로프로 인식

$$B'[x][y] = B[x][y] - D[x][y]$$

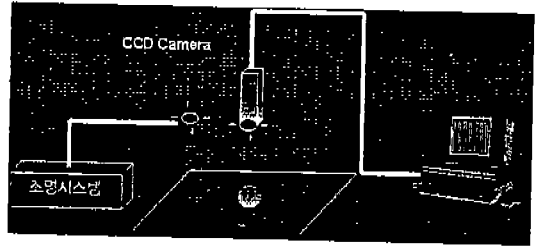
3.2 step 3.1에 의해 복원한 점 주위의 8방향에 대해 step 3.1을 적용

4. 실험 결과

H/W 구성은 (그림 7)과 같으며, CCD 카메라를 고정시키고 조명을 여러곳에 위치시켜 여러개의 화상을 시분할로 입력 받는다. 실험에 사용한 시스템은 SUN SPARC Classic이며 OSF/MOTIF 환경에서 구현하였다. 입력 화상은 TARGA + 보드를 채용한 TRUEVISION 시스템을 통해 얻은 256×200 크기의 화상으로

256단계의 농담 값을 갖는다. 물체의 배경은 하얀 종이를 사용하였으며 카메라는 RGB CCD 카메라를 사용하여 GRAY 화상을 구했으며 조명은 백열등(60W)과 할로겐등(13W)을 사용하였다.

본 논문에서 제안하는 하이라이트 검출 및 물체 복원 방법을 금속 물질인 티스푼, 매끄러운 절연체인 당구공, 약간 거친 절연체와 표면 가공된 금속 물질로 구성된 니퍼 등을 대상 물체로 실험을 하였다.



(그림 7) H/W 구성도
(Fig. 7) H/W configuration

먼저 금속 물질인 티스푼을 입력 화상의 물체로 하고 광원은 반사등이 있는 백열등을 사용하여 제안한 방법을 적용해 보았다. 먼저 광원을 물체의 수직위에 위치시켜 (그림 8)과 같이 기준화상을 구한다. 다음, 수직축과 45° 기울기를 유지한채 2시, 4시, 5시, 8시, 10시, 11시 방향의 광원을 이용해서 6개의 참조화상을 (그림 9)와 같이 얻는다.

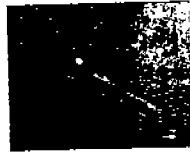


(그림 8) 기준 화상(티스푼)
(Fig. 8) Base image(tea spoon)

(그림 10)은 광원을 수직위에 위치시켜 하이라이트가 있는 기준 화상과 광원을 4시 방향에 위치시켜 얻은 참조 화상을 이용하여 하이라이트를 검출하고 복



(a) 광원 : 11시 방향



(b) 광원 : 2시 방향



(a) 기준 화상(그림 8)



(b) 기준 화상의 이치화



(c) 광원 : 4시 방향



(d) 광원 : 5시 방향



(c) 보정한 참조 화상



(d) 농담 차이 화상



(e) 광원 : 8시 방향



(f) 광원 : 10시 방향



(e) 이치화한 농담 차이 화상



(f) 전반사 스파이크 복원

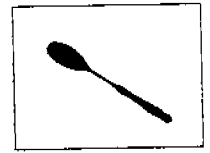
(그림 9) 참조 화상(티스푼)
(Fig. 9) Reference images(tea spoon)

원하는 과정이다. (a)는 기준 화상이고 (b)는 문턱치법을 적용한 화상이다. (c)는 참조 화상이고 (d)는 농담 차이 화상이다. (e)는 농담 차이 화상에 문턱치법을 적용한 것이고 (f)는 전반사 스파이크를 검출하여 복원한 것이고 (g)는 전반사 스파이크 주위의 전반사 로브를 검출하여 복원한 것이다. (h)는 전반사 로브를 검출하여 복원한 화상을 이치화한 것이다. 즉 제안한 알고리즘을 적용함으로써, 하이라이트로 인해 경계가 손상되고 왜곡된 것이 물체로 복원된 것을 알 수 있다.

(그림 11)은 광원을 10시 방향에 위치시켜 얻은 참조 화상을 이용하여 하이라이트를 검출하고 복원하는 과정을 보여주고 있다. 마찬가지로 방법으로 6방향에서 얻은 참조 화상 각각으로부터 하이라이트를 검출하여 손상된 화상을 복원할 수 있었다. 또한, 절연체와 금속으로 구성된 니퍼에 대하여 제안한 방법을 적용해본 결과, (그림 12)에서와 같이 물체가 복원되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 본 논문에서 제안하는 방법은 물체의 표면이 금속 뿐만 아니라 플라스틱과 같은 절연체에도 관계없이 적용될 뿐만 아니라 니퍼와



(g) 전반사 로브 복원



(h) 복원 화상의 이치화

(그림 10) 참조 화상 (그림 9)의 c를 이용한 물체 복원
(Fig. 10) Object reconstruction using reference image in Figure 9. (c)

같이 약간 거친 플라스틱과 표면 가공된 금속으로 구성된 물체에도 적용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 하이라이트로 인해 물체의 경계가 왜곡되고 형상 정보를 잃어버린 물체에 대해 효과적으로 하이라이트를 검출하고 물체를 복원해서 화상을 재구성하는 알고리즘을 제안하였다. 본 논문은 카메라를 고정시키고 광원의 위치가 다른 두 화상을 구하여 물체의 3차원 형상을 구성하는 측광입체시법을 하이라이트 검출 및 물체 복원에 응용한 것이다. 측광입체시법을 이용해 강한 전반사를 검출 및 복원 후 강한 전반사 주위의 약한 전반사를 검출하여 복원하



(a) 기준 화상(그림 8)



(b) 기준 화상의 이치화



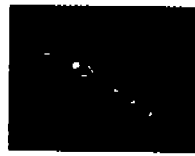
(a) 기준 화상



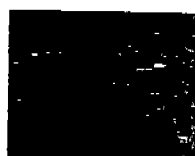
(b) 기준 화상의 이치화



(c) 보정한 참조 화상



(d) 농담 차이 화상



(c) 보정한 참조 화상



(d) 농담 차이 화상



(e) 이치화한 농담 차이 화상



(f) 전반사 스파이크 복원



(e) 이치화한 농담 차이 화상



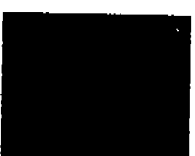
(f) 전반사 스파이크 복원



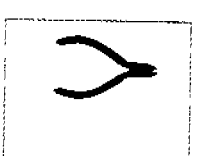
(g) 전반사 로브 복원



(h) 복원 화상의 이치화



(g) 전반사 로브 복원



(h) 복원 화상의 이치화

(그림 11) 참조 화상(그림 9)의 f 를 이용한 물체 복원
(Fig. 11) Object reconstruction using reference image in Figure 9. (f)

(그림 12) 니퍼에 대한 화상 복원 결과
(Fig. 12) Object reconstruction from nipper images

는 이 방법은 하이라이트로 물체의 형상 정보를 잃어 버린 경우에도 효과적으로 적용할 수 있다. 또한 기준 화상과 참조 화상을 바꾸어도 효과적으로 적용할 수 있다. 배경이 물체보다 어둡다면 추가적인 주위 탐색을 사용하지 않고 농담 차이로 하이라이트를 검출하고 복원할 수 있다. 광원의 위치와 물체의 기하학적인 구조를 이용하므로 절연 물질 및 금속 물질 모두 적용할 수 있다. 또 두 화상의 차를 이용하므로 속도가 빠르고 외각 정보를 잃어 버려도 복원할 수 있다. 그러나 이 방법은 램베르션 표면이 아닐 경우 두 광원의 입사각이 충분히 차이가 나야 하며 광원의 위치가 다른 두 화상이 있어야 한다. 또한 매우 거친 표면일 경우 강한 전반사가 발생하지 않으므로 하이라이트와 물체와의 밝기 차가 배경과 그림자의 밝기

차보다 적어 이 방법을 적용하기가 힘들다. 그러므로 제안한 알고리즘을 물질 표면의 거칠도에 관계없이 적용하려면 입력 화상의 그림자를 처리해 주는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한, 광원의 색을 다르게 하여 칼라 화상을 입력 받은 후 물체의 형상 정보를 얻는 방법에 대한 연구도 필요하다. 제안한 방법은 실내 또는 밀폐된 공간에서 부품을 인식하는 알고리즘 외에, 다른 인식 알고리즘에 앞서 광원에 의한 영향을 최소화하는 전처리 방법으로 사용할 수 있다.

참고 문헌

- [1] S. Tominaga, "Analysis of Color Images for Inhomogeneous Objects with Highlights and Inter-

reflections", Proc. Asian Conference on Computer Vision, Nov, 1993.

[2] L. Wolff, "Polarization-Based Material Classification from Specular Reflection", IEEE Trans. PAMI vol. 12, no. 11 Nov, 1990.

[3] K. Nayar, X. S. Fang, and T. Boult, "Removal of Specularities Using Color and Polarization", Proc. Computer Vision and Pattern Recognition, 1993.

[4] S. W. Lee and R. Bajcsy, "Detection of Specularity Using Color Multiple Views", Image and Vision Computing, vol. 10, no. 10 Dec, 1992.

[5] S. K. Nayar, K. Ikeuchi and T. Kanade, "Surface Reflection: Physical and Geometrical Perspectives", IEEE Trans. PAMI vol. 13 no. 7 July, 1991.

[6] K. Ikeuchi, "Determining Surface Orientations of Specular Surfaces by Using the Photometric Stereo Method", IEEE Trans. PAMI vol. 3 no. 6, 1981.

[7] H. D. Tagare, R. J. P. deFigueiredo, "A Theory of Photometric Stereo for a Class of Diffuse Non-Lambertian Surfaces", IEEE Trans. PAMI vol. 13 no. 2, 1991.



문 영 식

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1982년 한국과학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1990년 캘리포니아 주립대 전산공학과 졸업(공학박사)
 (University of California, Irvine)

1982년~1985년 한국전자통신연구소(ETRI) 연구원
 1989년~1990년 InnoVision Medical Inc.(미국) 선임 연구원
 1990년~1992년 생산기술 연구원 선임연구원
 1992년~현재 한양대학교 전자계산학과 조교수
 관심분야: 컴퓨터 비전, 패턴인식, 영상처리



배 철 민

1993년 한양대학교 전자계산학과 졸업(학사)
 1995년 한양대학교 전자계산학과 졸업(석사)
 1995년~현재 LG정보통신 S/W 연구소 연구원
 관심분야: 컴퓨터 비전, 패턴인식, 영상처리