

스테레오 영상 기반 야간 및 우천시 조명 반사 제거 기술

(Removing Lighting Reflection under Dark and Rainy Environments based on Stereoscopic Vision)

이 상 웅 [†]
(Sang-Woong Lee)

요 약 조명반사 문제는 영상 분석에서 흔히 존재하는 문제점이며, 영상 분석에서 필요로 하는 주요 특징들을 검출하는 데 많은 어려움을 야기한다. 특히 이러한 문제점은 야간이나 우천 시에 더욱 두드러지는 것으로 알려졌다. 본 논문에서는 조명 반사에 의해 특징 분석이 어려운 영역에서 조명 반사를 제거하거나 반사되지 않은 상태로 복원하는 것을 목표로 한다. 본 논문에서는 다중 영상에서 획득된 다중 기하 정보를 이용한 3차원 공간 분석과 기하학적 접근을 시도한다. 이러한 방법들에서 얻어진 정보들을 바탕으로 조명 반사가 이루어지는 영상들을 조합하여 조명 반사를 제거하는 방법을 제안한다. 조명 반사 영역을 제거하기 위하여 영상 내에서 조명 및 반사영역을 수직 히스토그램의 국부 최대값을 이용하여 추출한다. 이후, 각 영상 내에서 도로 표면에 해당하는 영역을 추출하기 위해서 필요한 기본 행렬과 상동 관계 행렬을 다중 영상들의 대응점들을 분석하여 계산한다. 이렇게 얻어진 각 영상들의 도로표면을 기준 영상에 배치하여, 양쪽 영상에서 조명 반사가 상대적으로 적은 영역을 선택하는 방법을 취한다. 이러한 과정에 의하여 중복되지 않는 도로표면의 반사는 효과적으로 감소되었으며 도로가 가지고 있는 고유한 정보 또한 손실되지 않았다. 수집된 데이터를 이용하여 실험한 결과는 계산 속도에 비하여 뛰어난 성능을 보여주었으나 기하학적 공통 영역 부분의 복원은 상대적으로 부족한 것으로 판단되었다.

키워드 : 반사 영역 제거, 다중 기하학, 반사 모델

Abstract The lighting reflection is a common problem in image analysis and causes the many difficulties to extract distinct features in related fields. Furthermore, the problem grows in the rainy night. In this paper, we aim to remove light reflection effects and reconstruct a road surface without lighting reflections in order to extract distinct features. The proposed method utilizes a 3D analysis based on a multiple geometry using captured images, with which we can combine each reflected areas; that is, we can remove lighting reflection effects and reconstruct the surface. At first, the regions of lighting sources and reflected surfaces are extracted by local maxima based on vertically projected intensity-histograms. After that, a fundamental matrix and homography matrix among multiple images are calculated by corresponding points in each image. Finally, we combine each surface by selecting minimum value among multiple images and replace it on a target image. The proposed method can reduce lighting reflection effects and the property on the surface is not lost. While the experimental results with collected data shows plausible performance comparing to the speed, reflection-overlapping areas which can not be reconstructed remain in the result. In order to solve this problem, a new reflection model needs to be constructed.

Key words : removing lighting reflection area, multiple geometry, reflection model

· 이 논문 또는 저서는 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-331-D00538)
· 이 논문은 제35회 추계학술대회에서 '스테레오 영상 기반 야간 및 우천시 조명 반사 제거 기술'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 종신회원 : 조선대학교 컴퓨터공학부 교수
swlee@chosun.ac.kr

논문접수 : 2008년 12월 19일
심사완료 : 2009년 11월 2일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제37권 제2호(2010.2)

1. 서론

최근 CCTV 카메라의 보급에 따라 CCTV 영상 분석을 이용한 많은 지능형 시스템들이 증가하고 있다. 이러한 시스템들은 주간에는 정상적으로 작동하나 야간이나 악천후 시에는 조명 및 조명의 반사에 의한 영상 분석의 한계가 존재한다. 야간에 영상을 분석하기 위해서는 빛을 감지하는 영상 카메라의 특성상 조명이 필수적으로 등장하게 되며 그림 1에서 보이는 것처럼 조명 및 조명 반사에 의해 영상은 다양하게 변화하여 주요 특징 요소들을 검출하기 어려워지게 된다. 본 논문은 조명 반사에 의해 특징 분석이 어려운 영역에서 조명 반사를 제거하거나 반사되지 않은 상태로 복원하는 것을 목표로 한다.

외부 환경에 의해 영상 분석이 어려운 경우를 해결하기 위해 제시되었던 기존 연구들은 주로 영상 획득과 전송 시 발생하는 잡음 제거[1]에 주력해왔으며, 최근 들어 영상 분석 및 인식의 복잡도를 감소하기 위한 다양한 연구가 진행되어왔다. 이러한 시도는 안개 낀 영상[2], 저해상도 영상[3], 가려진 객체[4] 등을 해결하기 위해서 시도되었다. 이 외에도 다양한 조명 문제를 해결하기 위한 방법론[5,6]도 제안되었으나 얼굴 복원 및 인식 분야에 국한되었다. 도로의 조명 반사 영역과 관련하여 이탈리아의 R. Cucchiara는 도로에서 자동차의 통행량을 측정할 경우에 방해되는 헤드라이트 반사를 제거하기 위하여 자동차 고유의 형태 정보를 사용하였다[7]. 이 논문은 가장 밝은 부분을 헤드라이트라고 가정하고, 자동차 진행 방향으로 일정 부분을 기계적으로 삭제하는 방법을 적용하였으나 도로의 특징을 복원하지는 못하였다. M. Minnaert는 1954년에 그의 저서에서 일상에서 일어나는 빛과 색상에 대한 물리적 연구를 기술하였으나 수면 위에 반영되는 현상에 대한 이론적 고찰을 다루었으며 문제에 대한 해결점을 제시하지는 못하였다[8]. 또한, Xiberpix에서는 수면의 움직임에 모델링하고 수면 위에 반영된 영상을 렌더링하는 프로그램, 'Water

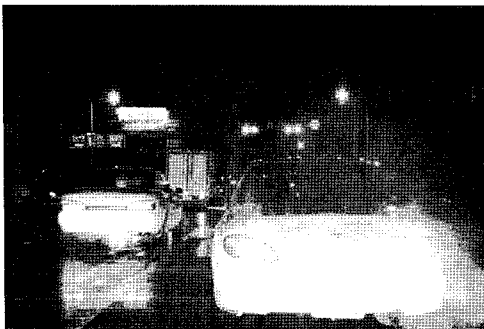


그림 1 조명으로 인한 영상 분석의 어려움

Reflections'를 개발하였다[9]. 이 프로그램에서는 수면의 출력거리와 빛물이 떨어질 때 생기는 동심원에 대한 움직임 모델을 구현하였으나 실제 광원의 반사는 고려하지 않고 있다. 광원의 반사 제거와 유사한 광휘점(highlight) 제거 연구는 과거로부터 계속 발전되어왔다. 1998년 G. J. Klinker 등은 칼라 영상에서 빛의 반사에 의해 생겨나는 광휘점 효과를 제거하기 위하여 Dichromatic 모델을 제안하여 광휘점을 물리적으로 분석하였다[10]. 또한 S. Lin 등은 본 연구와 유사하게 스테레오 영상의 상이한 칼라 영역을 추출하여 주변 영역에 의하여 보상하는 방법을 제안하였다[11]. 본 논문에서 목표로 하는 반사 영역 제거와 다르지만 Y. Ivanov 등은 그림자 영역을 제거하기 위하여 다중 카메라를 사용하여, 주 객체는 동일한 위치에 존재하지만 가려진 그림자 영역은 각기 다른 영역에 존재한다는 점에 착안하여, 그림자 영역을 찾아내고 복원하는 방법을 제안하였다[12]. 이 방법은 정적인 공간에 사용되는 방법으로서 배경 영역을 미리 학습하여 복원한다는 점[12]에서 한계점을 지니며, 광휘점을 제거하는 방법은 광휘점이 제거된 영역을 복원하기 위하여 주변 영역의 칼라 정보를 이용하는 일종의 보간법을 채택하기 때문에, 본 논문에서 목표로 하는 반사 효과가 없을 경우에 존재하는 배경 영역의 영상 정보를 유지하지 못하는 한계점[10,11]이 존재한다.

2. 접근 방법

2.1 조명 반사 모델

조명 반사에 대한 분석을 위해 가장 널리 사용되는 것은 BRDF(Bidirectional reflectance distribution function)를 이용하는 것이며, 가장 널리 쓰이는 BRDF로서 풍(Phong) 반사 모델이 있다. 풍 반사 모델[13]은 확산 반사(diffusion reflection)와 경면 반사(Specular reflection)를 함께 고려한 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$I = K_d(N \cdot L) + K_s(R \cdot V)^\theta \quad (1)$$

여기서, I 는 반사 강도, K_d 는 확산 계수, N 은 표면 에 수직인 방향, L 은 광원 방향, K_s 는 경면광 계수, R 은 빛의 입사각과 대칭인 방향, V 는 시점 방향, θ 는 입사각을 나타낸다. 애니메이션 및 그래픽에서는 이러한 반사 모델로 현실과 유사한 렌더링 결과를 얻을 수 있지만 풍 반사 모델의 변수들만을 사용해서는 그림 2에서 제시된 조명 반사의 변화들을 모두 표현하기 힘든 실정이다. 그림 2에서는 풍 반사 모델의 변수와 이에 따른 실제 조명의 수면 반사를 보여주고 있다. 그러나, 실제에서는 풍 반사 모델의 변수 이외에 반사 표면의 재질 및 수면의 높이 등에 의해 반사 형상이 달라지므로, 기존 반사 모델은 실제 반사 현상을 표현하는 것에는 한계가 있으며, 모든 변화를 고려한 반사 모델이라 할지라

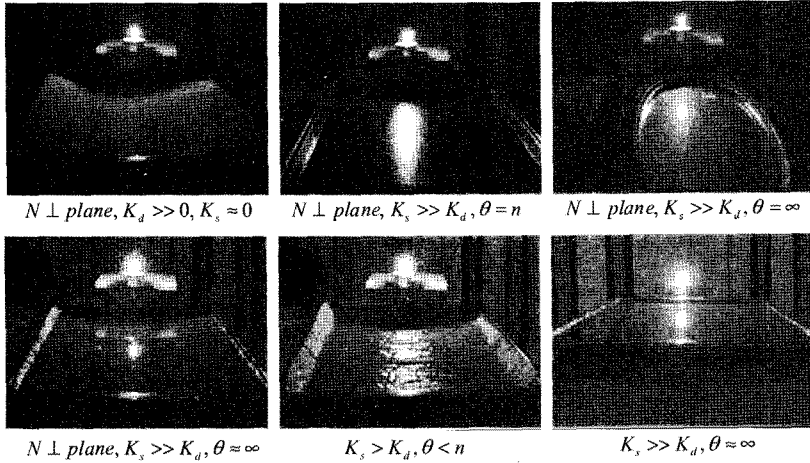


그림 2 수면과 표면 재질에 따른 조명 반사의 변화

도 필연적으로 복잡하고 많은 계산량을 요구한다는 단점이 존재한다.

2.2 핵심 아이디어

본 논문에서는 복잡한 계산 모델을 지양하고 스테레오 영상 기법을 사용한 새로운 방법을 제안한다. 본 연구의 특징은 다양한 분야에서 적용 가능하며 과급효과가 지대하나 과거에는 시도되지 않았던 조명 반사 문제를 해결하고자 하는 것에 있다.

스테레오 카메라를 이용하여 영상을 획득하게 되면 좌, 우에서 바라본 시점이 다른 두 영상이 얻어지게 된다. 시점이 다른 두 영상에서 같은 조명에 의해 반사되는 영역은 같은 위치에 존재하는 것으로 보이지만 기준 좌표계로 이동하여 위치를 분석해보면 실제로는 그림 3의 우측영상에서처럼 반사 영역은 광원과 카메라를 연결하는 서로 다른 선 영역에 존재하게 된다. 이렇게 시점이 다른 두 영상을 이용하여 좌측 영상에서 광원의 반영 영역을 우측 영상의 해당 영역으로 보정하는 것이 본 논문의 핵심 아이디어이다. 이러한 영상 보정을 해결하기 위해서는 스테레오 영상의 보정, 영상 정합, 광원 추출, 반영 영역 검출 등의 세부 기술의 개발이 필수적으로 요구된다. 제안된 아이디어를 보다 정확히 검증하기 위해서 광원 추출, 영상 정합, 광원 추출, 반영 영역

검출 등의 기술에 대한 기본 아이디어를 제시하고, 반자동으로 수행하였으며 향후 응용 시스템에서는 자동화로 발전시키고자 한다.

3. 광원 추출

반사 영역을 자동으로 복원하기 위해서는 영상 내에서 광원의 위치와 광원이 반사되는 영역을 검출하는 것이 필수적이다. 반사되는 영역 및 조명이 존재하는 영역을 추출하기 위해서 광원과 반영이 카메라 렌즈의 중심을 향해 일직선으로 늘어지는 현상을 이용하여 후보 영역을 검출할 수 있다(그림 4).

수직 누적 그래프를 통하여 광원과 반사 영역이 존재할 수 있는 후보 영역을 추출한 후, 반사 영역의 검증을 위하여 스테레오 영상을 사용한다. 일반적으로 잔잔한 수면 위에 반사되는 객체의 경우는 실제 영상과 똑같은 반영을 가지므로 스테레오 영상을 이용한 카메라와 객체와의 거리 측정을 통하여 객체의 높이를 함께 계산할 수 있다.

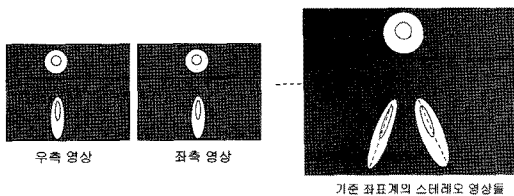


그림 3 다중 영상들의 실제 위치

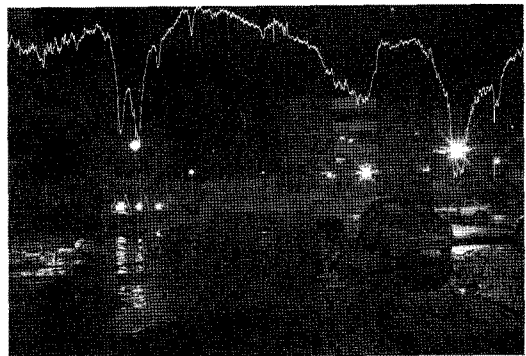


그림 4 광원 영역을 찾기 위한 수직 누적 그래프

스테레오 영상을 이용하여 측정한 객체와 카메라와의 거리를 이용하여, 객체의 높이를 계산하면 진상(眞像)과 허상(虛像)을 구별할 수 있다. 그림 5에서처럼 진상의 경우는 실제 같은 위치에 존재하므로 실제 높이가 계산되지만 허상의 경우는 실제로 같은 위치가 아닌 부분을 정합하여 계산하기 때문에 그림 5의 허상의 위치에 해당하는 음의 높이가 계산될 것이다. 이를 이용하여 추출된 후보들을 스테레오 정합해보면 반사된 영역은 음의 높이를 가지기 때문에 반사 영역과 실제 영역을 구별하는 것이 가능하다.

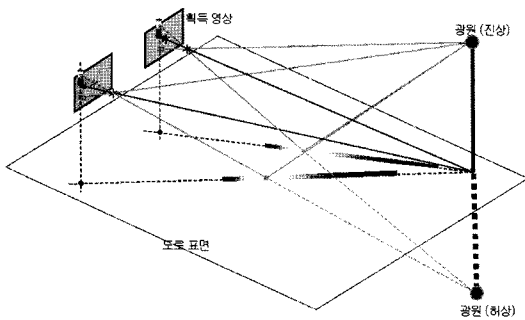


그림 5 광원 및 반영의 검출 원리

4. 조명 반사 영역 복원

본 논문은 도로 표면에 반사되는 광원의 반영을 제거하는 것으로, 2장에서 제기된 핵심 아이디어를 적용하기 위해서는 스테레오 영상의 각 영상을 하나의 기준 좌표계로 변형하는 과정이 필요하다. 또한 도로 표면에 존재하는 수면들을 정합하는 아이디어에 기반을 두기 때문에 서로 복원되는 공간은 평면위에 존재하게 된다. 따라서 본 논문에서는 한 번에 복원되는 반사 영역은 같은 평면위에 있다는 것을 가정한다. 이러한 변형 과정을 위해서는 각 영상간의 관계가 필요하며, 이러한 관계 행렬들을 구하기 위해서는 각 행렬에 해당하는 특징점들이 필요하다. 일상적인 생활공간에서 이러한 특징점들은 대부분 인위적으로 설치된 건물의 윤곽선, 전봇대, 입간판 등 인간이 잘 볼 수 있는 2 m 이상의 높이에 대부분 존재하며, 밝은 대낮의 경우는 지표면 위에 존재하는 도로 안내 표지, 도로의 절감, 도로 구분 등을 이용할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 우천시에 보이는 영상을 사용하기 때문에 지표면위에 존재하는 수면에 많은 정보들이 유실되며, 또한 지표면위에 존재하는 특징점들은 대부분 뚜렷한 특징을 가지고 있지 않기 때문에 야간 영상 내에서 육안으로 지표면이라 판단되는 특징점들을 추출하기가 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 지표면 위의 특징점들을 가능한 많이 추출하기 위하여 기본 행

렬과 상동 행렬을 이용하여 반사동으로 지표면위의 특징점들을 추출하였다.

복원하고자 하는 반사영역이 모두 같은 평면 위에 있다고 가정했기 때문에, 스테레오 영상의 반사 표면들의 상동 관계 행렬(Homography Matrix)에 의하여 한 번에 전체 영역을 복원할 수 있다. 여기서, 스테레오 영상들 I_L, I_R 간의 상동 관계 행렬, H_{LR} 은, 좌측 영상의 특징점 들의 벡터 x_L , 우측 영상의 특징점 들의 벡터 x_R , 식 (2)의 기본 행렬(Fundamental Matrix), F_{LR} 을 이용하여, 식 (3)으로 표현 가능하다[14].

$$x_R' F_{LR} x_L = 0 \tag{2}$$

$$(H_{LR} x_L') F_{LR} x_L = 0 \tag{3}$$

기본 행렬과 상동 관계 행렬을 이용하여 변형된 영상 I_L' 과 I_R' 을 얻어내고, 지표면의 특징점들을 이용하여 지표면 마스크, $M(x,y)$ 를 만들어 I_L' 과 I_R' 의 각 해당 부분만을 마스킹한다. 야간 우천시의 반사 영역은 광원에 의해 반사되지 않은 경우에 비해 밝게되므로, 각 I_L' 과 I_R' 의 화소 중 반사되지 않은 상태는 식 (4)와 같이 크기 비교를 통하여, 얻어낼 수 있으며, 최종 복원 영상 I_{result} 는 원영상에 이를 대치함으로써 얻어진다.

$$I_{result}(x,y) = \begin{cases} I(x,y), & \text{if } M(x,y) = 0 \\ \min(I_L'(x,y), I_R'(x,y)), & \text{if } M(x,y) = 1 \end{cases} \tag{4}$$

이러한 조명 반사 영역 복원 과정은 그림 6에 간략하게 설명되었다.

5. 실험 및 분석

제안 방법을 검증하기 위해서 야간 우천 시에 그림 7과 같은 상태에서 스테레오 영상을 촬영하였다. 두 영상의 시각차를 이용하는 제안된 알고리즘의 특성을 고려하면, 카메라간 거리가 길고, 조명의 높이가 높은 경우에 효과적인 것을 알 수 있다. 카메라간 거리가 긴 경우는 카메라의 시각차가 커져서 서로 반사 효과가 독립적으로 대처가 가능하며, 조명의 높이가 높은 경우에는 반사 영역이 좁아지고 중첩되는 영역이 없어지므로 보다 효과적인 성능을 낼 수 있으나, 본 논문의 실험은 일반 도로 영상에서 흔히 볼 수 있는 상태를 설정하였다. 여기서 카메라와 가로등과의 거리는 40m이며, 카메라간 거리는 1m, 카메라의 높이는 1.3m이었다. 스테레오 영상 분석을 통하여 얻어진 가로등의 계산 거리는 40.17m이었으며, 가로등의 높이는 5.12m로 계산되었다. 이러한 계산을 바탕으로 기본 행렬과 상동 행렬을 위해, 각각 20개, 12개의 대응점을 사용하였다.

주어진 상동 행렬을 이용하여 도로 표면에 해당하는 영역을 좌측 영상 또는 우측 영상을 기준 영상으로 변

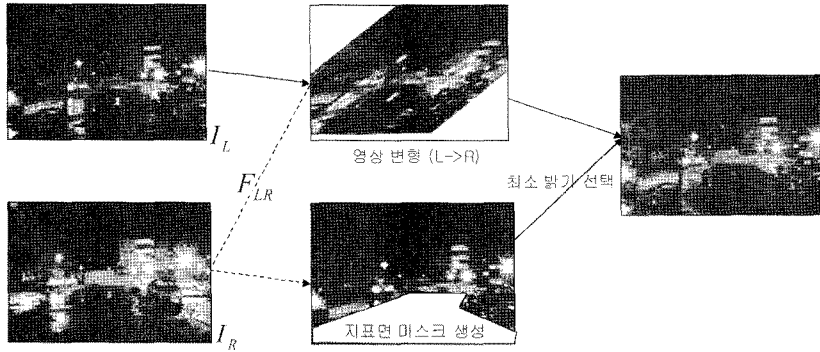
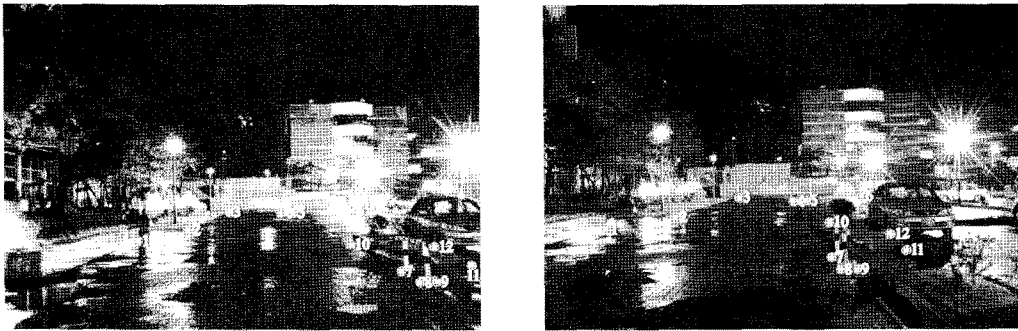


그림 6 좌측 영상의 조명 반사 영역 복원 방법



(a) (b)
그림 7 상동 관계 행렬 계산을 위한 특징점들(a-좌측영상, b-우측영상)

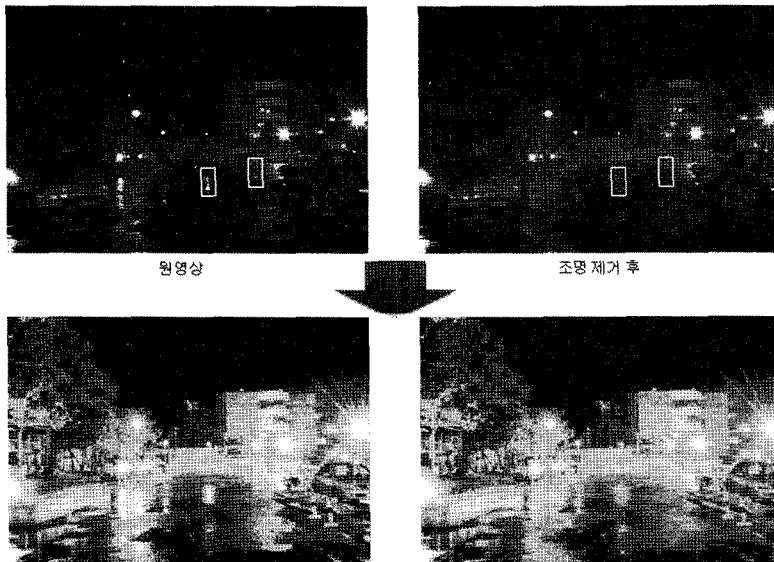


그림 8 원영상(左上)과 복원된 영상(右上) 및 각 영상의 평활화 영상들(下)

형하여 4장에 기술된 방법으로 합성해 내었다. 그림 8은 이러한 결과들의 예를 보여주고 있으며, 상단의 두 영상

을 비교해보면, 상당 부분이 제거 및 복원되었다는 것을 알 수 있다. 이 두 영상에서 표면의 특징들이 복원되었

는지를 판단하기 위해, 각 영상에 감마 보정(gamma correction)을 적용한 영상이 하단에 도시되었다. 보정된 영상의 경우 반사 영역의 밝기가 포화된 관계로 정확한 분석이 어려우나 영상 우측 영역의 사각형 안의 경우는 완벽히 복원된 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 반사 영역이 포화되지 않도록 적당한 노출에 의하여 영상이 획득된다면 충분히 적용 가능한 방법으로 판단된다. 단지 광원에 근접한 중첩 영역의 경우는 제안 방법의 한계에 의해 완벽히 보정되지 않는 단점이 존재하며 향후 개선의 여지가 있다.

6. 결론

본 논문에서는 야간 및 우천시 조명 반사로 인한 영상 분석의 어려움을 해결하기 위하여 스테레오 카메라 영상 기반 조명 반사 영역 복원 방법을 제안하였다. 이를 위해 스테레오 영상을 이용한 객체 높이 추정 방법으로 조명 및 반사 영역을 알아내었으며, 스테레오 영상들의 대응점을 분석하여 기본 행렬과 상동 관계 행렬을 계산한 후, 두 영상간의 변형 및 합성을 통하여 각 영상의 조명 반사 영역을 복원하였다. 제안 방법을 이용하여 실험한 결과에 의하면 대부분의 영역에서 유효한 특징들을 분석해 낼 수 있었다. 본 논문에서는 상동 행렬을 이용하고 스테레오 영상을 기반으로 복원하였기 때문에 같은 평면위에 존재하지 않는 반사 영역을 한 번에 처리하지 못한다는 단점이 존재한다. 이를 포함하여, 향후 원거리의 조명 근방 영역에서 복원되지 않는 중첩 영역이 발생하는 문제점을 해결할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. E. Adams, J. F. Hamilton, and F. C. Williams, "Noise reduction in color digital images using pyramid decomposition," US Patent, No. 10738658, 2007.
- [2] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, "Removing Weather Effects from Monochrome Images," Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.2, pp.186-193, June, 2001.
- [3] G. Dedeoglu, T. Kanade, and J. August, "High-Zoom Video Hallucination by Exploiting Spatio-Temporal Regularities," Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.2, pp.151-158, Jun 2004.
- [4] B.-W. Hwang and S.-W. Lee, "Reconstruction of Partially Damaged Faces Based on a Morphable Face Model," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.25, no.3, pp.365-372, 2003.
- [5] A. S. Georghiadis, P. N. Belhumeur, and D. J. Kriegman, "From few to many: illumination cone models for face recognition under variable lighting and pose," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.23, no.6, pp.643-660, Jun 2001.
- [6] S.-W. Lee, S.-H. Moon, and S.-W. Lee, "Face Recognition under Arbitrary Illumination Using Illuminated Exemplars," Pattern Recognition, vol.40, no.5, pp.1605-1620, May 2007.
- [7] R. Cucchiara and M. Piccardi, "Vehicle Detection under Day and Night Illumination," Proceedings of International ISCS Symposium on Intelligent Industrial Automation, pp.789-794, 1999.
- [8] M. Minnaert, The Nature of Light and Color in the Open Air, Dover Publications, Inc., 1954.
- [9] <http://www.xiberpix.net/SqirlzReflect.html>
- [10] G. J. Klinker, S. A. Shafer, and T. Kanade, "The Measurement of Highlights in Color Images," International Journal of Computer Vision, vol.2, pp.7-32, 1988.
- [11] S. Lin, Y. Li, S. Kang, et al, "Diffuse-Specular Separation and Depth Recovery from Image Sequences," Lecture Notes in Computer Science, vol.2352, 2002.
- [12] Y. Ivanov, A. Bobick, and J. Liu, "Fast lighting independent background subtraction," International Journal of Computer Vision, vol.37, pp.49-55.
- [13] C. Schlick, "A Survey of Shading and Reflectance Models," Computer Graphics Forum 13, vol.13, no.2, pp.121-131, 1994.
- [14] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2006.



이 상 응

1996년 고려대학교 전자공학과(공학사)
2001년 고려대학교 컴퓨터학과(이학석사).
2006년 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사).
2007년 카네기멜론대학교 로봇공학연구소
객원연구원. 2007년~ 조선대학교
컴퓨터공학부 조교수. 관심분야는
얼굴 인식, 지능 로봇, ITS, 컴퓨터비전