

영상합성을 위한 3D 공간 해석 및 조명환경의 재구성

황용호, 홍현기⁰

중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
uhurtme@empal.com, honghk@cau.ac.kr⁰

3D Analysis of Scene and Light Environment Reconstruction for Image Synthesis

Yong-Ho Hwang, Hyun-Ki Hong⁰

Dept. of Image Eng., Graduate School of Advanced Imaging Science Multimedia & Film,
Chung-Ang University

요약

실 세계 공간에 가상 물체를 사실적으로 합성하기 위해서는 공간 내에 존재하는 조명정보 등을 분석해야 한다. 본 논문에서는 카메라에 대한 사전 교정(calibration)없이 카메라 및 조명의 위치 등을 추정하는 새로운 조명공간 재구성 방법이 제안된다. 먼저, 어안렌즈(fisheye lens)로부터 얻어진 전방향(omni-directional) 다중 노출 영상을 이용해 HDR (High Dynamic Range) 래디언스 맵(radiance map)을 생성한다. 그리고 다수의 대응점으로부터 카메라의 위치를 추정한 다음, 방향벡터를 이용해 조명의 위치를 재구성한다. 또한 대상 공간 내 많은 영향을 미치는 전역 조명과 일부 지역에 국한되어 영향을 주는 방향성을 갖는 지역 조명으로 분류하여 조명 환경을 재구성한다. 재구성된 조명환경 내에서 분산광선추적(distributed ray tracing) 방법으로 렌더링한 결과로부터 사실적인 합성영상이 얻어짐을 확인하였다. 제안된 방법은 카메라의 사전 교정 등이 필요하지 않으며 조명공간을 자동으로 재구성할 수 있는 장점이 있다.

Abstract

In order to generate a photo-realistic synthesized image, we should reconstruct light environment by 3D analysis of scene. This paper presents a novel method for identifying the positions and characteristics of the lights-the global and local lights-in the real image, which are used to illuminate the synthetic objects. First, we generate High Dynamic Range(HDR) radiance map from omni-directional images taken by a digital camera with a fisheye lens. Then, the positions of the camera and light sources in the scene are identified automatically from the correspondences between images without a priori camera calibration. Types of the light sources are classified according to whether they illuminate the whole scene, and then we reconstruct 3D illumination environment. Experimental results showed that the proposed method with distributed ray tracing makes it possible to achieve photo-realistic image synthesis. It is expected that animators and lighting experts for the film and animation industry would benefit highly from it.

Keywords : Image Synthesis, Illumination Environment, HDR Map, Global Illumination

1. 서론

실사영상에 가상 물체를 사실적(photo-realistic)으로 합성

하는 기술은 컴퓨터 비전과 그래픽스 분야에서 오랫동안 연구되고 있는 분야이다[1~7]. 사실적인 합성영상을 얻기 위해서는 실제 카메라와 가상의 물체 간의 기하학적인 특

성을 매칭시키고, 배경영상의 다른 물체에 적용된 같은 밝기의 조명으로 가상의 물체에 적용해야 한다.

일반적으로 대상 공간 내에 존재하는 조명들의 위치와 밝기를 결정하는 작업은 상당히 많은 시간과 노력이 필요하며, 그림에도 불구하고 사실적인 장면을 얻기는 매우 어렵다. 이는 광원(light source)들에 의한 직접 및 간접 조명, 그림자, 반사, 굴절 등의 실 세계에 존재하는 복잡한 조명의 영향들을 충분히 고려하기 어렵기 때문이다. 이러한 합성 과정을 자동화하는 많은 렌더링 도구들이 지금까지 제안되었지만, 대부분의 연구는 광원과 물체가 움직이지 않는 정적인 상황으로 제한되었다. 실제 장면에는 여러 광원들이 존재하기 때문에 카메라의 위치에 따라 장면의 라디언스(radiance) 분포는 다르게 취득된다. 따라서 대상 공간에서 움직이는 가상 물체에 대한 다양한 장면을 표현하기 위해 전체 공간의 조명 환경을 재구성해야 한다. 그러나 다수의 카메라로부터 얻어진 환경맵을 하나의 공간으로 구성하고 동적인 상황을 표현하는 연구는 지금까지 제안되지 않았다.

본 논문에서는 동적인 조명 환경에서 보다 사실적인 장면을 표현하기 위해 대상공간 내에 존재하는 조명들의 위치와 특성을 추정하는 새로운 방법이 제안된다. 먼저 어안렌즈(fisheye lens)를 장착한 디지털 카메라로부터 전방향(omni-directional) 다중 노출 영상을 취득하여 HDR (High Dynamic Range) 라디언스 맵을 생성한다[6]. 그리고 취득된 영상에서 대응점(corresponding points)을 이용해 카메라 및 조명의 위치 등을 추정하며, 조명을 대상 공간 대부분에 영향을 미치는 전역(global) 조명과 일부 지역에 제한된 영향을 주는 방향성을 갖는 지역(local) 조명으로 분류하여 조명 환경을 재구성한다. 재구성된 조명환경 내에서 가상의 물체를 이동시키며 렌더링한 실험결과로부터 사실적인 합성영상이 얻어짐을 확인하였다. 제안된 방법은 카메라의 사전 교정(calibration) 과정 없이 실세계의 조명공간을 자동으로 재구성할 수 있는 장점이 있으며, 영화 및 애니메이션 분야의 영상합성, 시각효과, 조명 설계 및 디자인 등에 다양하게 활용될 수 있다.

2장에서는 영상기반 재조명 기술과 관련된 기존 연구를 설명하고, 3장에서 다중 환경맵(environment map)을 이용한 동적 조명환경의 구성방법을 제안하고 실험 결과를 기존의 방법과 비교한 다음, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 기존 연구

실 세계를 찍은 영상으로부터 조명정보를 취득하여 대상 장면과 가상의 물체에 적용하는 영상기반 재조명 관련 연구들이 1990년대 중반부터 현재까지 많이 제안되었다. [표 1]과 같이 기존의 연구들을 장면의 기하 모델 구성 방법, 조명 취득 방법, 그리고 렌더링 방법 등의 세가지 관점으로 크게 분류할 수 있다.

기존연구	장면 모델링	카메라 교정	조명 취득	렌더링
[1]	사용자 수작업	이용하지 않음	2D 사진	라디오시티
[2]	조명기반모델 (사용자 직접 입력)	이용하지 않음	HDR1 미러볼	분산 레이프레이싱 (RADIANCE)
[3]	전방향 스테레오 알고리즘	카메라 교정 필요 전방향 영상 스테레오	HDR1 어안 렌즈	레이 캐스팅
[4]	사용자 입력	자동 카메라 교정 및 사용자 보정	HDR1 구 조명	OpenGL

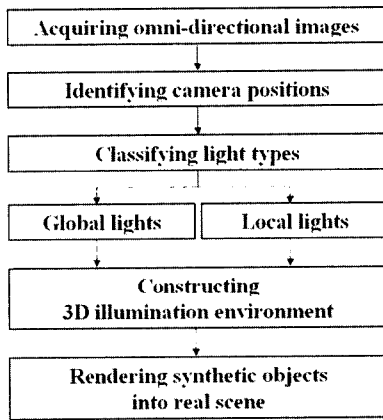
[표 1] 영상기반 재조명 기술 관련 기존 연구

[표 1]에서, Fournier 등은 2D 사진으로부터 조명을 취득하였기 때문에 사용자의 추가 입력 없이는 입력영상의 외부에서 입사되는 여러 조명을 전혀 고려할 수 없다[1]. Debevec은 대상 장면의 모든 방향에서 입사되는 조명 정보를 취득하기 위해 미러볼(mirror ball)을 사용하여 실 공간으로부터 반사된 조명을 3D 모델에 맵핑해서 조명기반(light-based) 모델을 구성하였다[2]. Sato 등은 어안렌즈를 이용해 취득한 영상으로부터 전방향 스테레오 알고리즘을 이용하여 대상 장면에 대한 기하 모델을 구성하여 라디언스 분포를 취득했다. 그러나 카메라의 위치와 내부 파라미터를 알기 위한 사전 교정이 요구된다[3]. 또한, Gibson 등에 의해 사용자와의 양방향 인터페이스를 통해 보다 쉽게 증강현실(augmented reality)를 구현할 수 있는 방법이 제안되었다[4].

대상 공간에 존재하는 조명정보를 해석하기 위해서는 [표 1]과 같이 다양한 방법이 이용되며, 조명의 취득 위치에 따라 다른 조명 환경이 얻어진다. 가상현실, 애니메이션 등에서는 사용자 또는 물체가 공간을 이동하는 동적인 상황이 발생하며, 이에 따라 다수의 카메라로부터 얻어진 조명정보를 이용해 하나의 공간으로 구성해야 한다. 그러나 기존 연구에서는 조명정보의 재구성을 통한 동적인 상황 등이 고려되지 않았다. 본 논문에서는 복잡한 조명 환경에서 움직이는 물체에도 정확하게 조명 정보를 적용하기 위해 조명의 위치와 특성을 자동으로 추정하는 방법이 제안된다.

3. 제안된 방법

본 장에서는 동적인 상황에서 물체와 장면을 정확히 조명하기 위해 취득 영상들로부터 조명의 위치와 특성을 추정하는 방법에 대해 설명한다. 제안된 방법은: 1) 조명의 위치를 결정하기 위한 카메라의 영상 취득 위치 추정 2) 움직이는 물체를 실제와 같이 렌더링하기 위한 조명의 특성 분류 3) 3차원 조명환경 구성 등의 단계로 구성된다. 제안한 방법의 흐름도를 [그림 1]에 나타내었다.



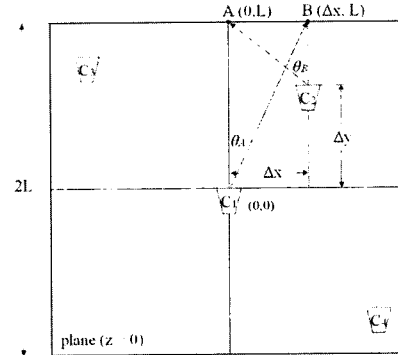
[그림 1] 제안된 방법 흐름도

3.1 카메라 위치 추정

대상 공간의 조명정보를 해석하기 위해 어안렌즈를 장착한 카메라로 전방향 영상을 촬영한다[5]. 디지털 카메라로 촬영한 영상의 화소값(pixel value)은 취득 당시의 입력 조건에 따라 고정되기 때문에 실제의 라디언스가 아닌 제한된 조명정보가 얻어지며, 조명 조건과 카메라의 위치가 변화함에 따라 새로운 장면을 표현하기 어렵다. 이런 문제점을 해결하기 위해 대상 장면에 대한 서터 속도를 각각 다르게 하여 촬영한 다중 노출 영상들로부터 카메라의 응답함수(response function)를 추정하고 HDR 영상을 생성한다[6].

환경맵은 일반적으로 먼 곳에 존재하는 광원들에 의해 조명되는 장면을 생성하기 위해 사용하며, 환경맵의 밝은 영역을 샘플링해서 대상 장면에 존재하는 광원의 분포를 취득한다[7]. 일반적으로 실세계는 복잡한 구조로 구성되기 때문에 고정된 한 지점에서 취득한 라디언스 분포가 장면 내에 존재하는 다양한 광원들의 영향을 모두 표현할 수 없다. 즉, 복잡한 구조로 구성된 공간 내에 단일 환경맵에서

샘플링할 수 없는 지역적인 특성을 지닌 다수의 광원들이 존재하기 때문이다.



[그림 2] 영상 취득 시스템 평면도

본 논문에서는 지역적인 특성을 지닌 광원을 해석하기 위해 각각 다른 위치에 카메라를 위치시켜 다수의 HDR 영상을 취득한다. [그림 2]에서 C_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)는 각각의 카메라들의 사영(projection) 중심점이고, 각 지점에서 모든 카메라들은 수직축을 중심으로 회전하지 않고 취득하였다. 본 실험에서 대상 공간은 [그림 2]와 같이 정육면체 형태로 가정한다.

각각의 위치에서 촬영한 전방 및 후방의 반구(hemisphere) 영상을 파노라믹 변환하여 위도-경도(Latitude-Longitude; L-L) 환경맵을 만든 다음, 구조적인 중요도(structured importance) 샘플링에 의해 조명들의 위치를 결정한다. 그리고 카메라의 위치를 원점으로 하는 반구 좌표계를 구성하고, 반구 영상에 존재하는 광원에 대한 단위 방향벡터를 계산한다. 각각의 L-L 영상들로부터 취득된 조명들의 3차원 좌표를 결정하기 위해 L-L 영상의 중심점인 촬영 지점 C_i 의 좌표를 다음과 같이 구한다.

첫번째 촬영지점인 C_1 을 월드 좌표계의 원점으로 정의하고 C_1 과 나머지 다른 지점들 (C_2, C_3, \dots, C_n) 간의 상대적인 위치를 계산한다. C_2 은 [그림 2, 3]과 같이 C_1 과 C_2 에서 취득한 전면의 반구 영상들의 중앙점 A, B를 $(0, L)$ 와 $(\Delta x, L)$ 로 각각 정의할 수 있다.

[그림 3]에서 사영된 중앙점 A', B' 를 특징점 추출 알고리즘[8]에 의해 검출하고, 각 θ_A ($\angle AC_1B$)와 θ_B ($\angle BC_1A$)를 식(1)에 의해 계산한다.

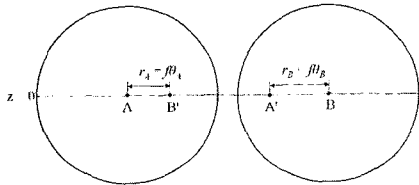
$$\theta_A = r_A / f, \quad \theta_B = r_B / f, \quad (1)$$

여기서 f 는 렌즈의 초점 거리(focal length)이며, r_A 와 r_B 는 각각 영상의 중심점과 상대 중심점이 사영된 지점 간의 거리이다. θ_A 와 θ_B 를 계산한 후, 방향 벡터와 라인들을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$v_1 = [\sin \theta_A, \cos \theta_A], \quad v_2 = [\sin \theta_B, \cos \theta_B], \quad (2)$$

$$L_1(t) = C_1 + tv_1, \quad L_2(s) = A - sv_2, \quad (3)$$

여기서, $L_1(t)$ 는 C_1 으로부터 B 지점을 통과하는 선분이고 $L_2(s)$ 는 C_2 로부터 A 지점을 통과하는 선분이다. v_1 과 $-v_2$ 는 각각 스칼라 성분 t 와 s 에 따라 변화하는 선분 $L_1(t)$, $L_2(s)$ 의 방향벡터이다. $L_1(t)$ 가 $y = L$ 인 지점과 교차할 때 Δx 를, $L_2(s)$ 가 $x = \Delta x$ 인 지점과 교차할 때 Δy 를 각각 구할 수 있으며, 이후 카메라의 위치인 C_n 도 위와 같은 방법으로 추정한다.



[그림 3] C_1 과 C_2 에서 취득한 전면 반구 영상그림

3.2 조명 특성 분류

본 논문에서는 취득한 조명들의 특성을 전역 조명과 지역 조명으로 분류한다. 전역 조명은 공간 내의 모든 영역에 직접적인 영향을 미치고 모든 환경맵에서 취득되는 반면, 지역 조명은 공간 내의 특정 지역에만 영향을 미친다. 가상의 물체가 공간 내에서 특정 지역으로 이동할 경우 전역 조명 뿐만 아니라 지역 조명에 의해 영향 받도록 하기 위해 여러 장소에서 취득한 환경맵들로부터 조명의 특성을 분류하여 조명공간을 재구성한다.

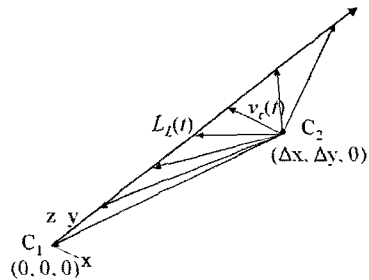
3.2.1 전역 조명

전역 조명들의 3차원 좌표는 L-L 영상간의 대응점들을 사용해서 추정할 수 있다. 그러나 L-L 영상은 구면 사영으로 인한 왜곡 때문에 기존의 특징점 추출 알고리즘으로 대응점을 효과적으로 구하기 어렵다. 본 논문에서는 L-L 영상에서 대응점을 검색하기 위해 조명위치의 방향벡터에 기반한 적응적 검색영역을 이용하는 특징점 추출 알고리즘이 제안

된다. 본 논문에서 C_1, C_2 의 위치에서 취득된 L-L 영상들을 각각 III_1 와 III_2 로 표기한다.

먼저, III_1 에서 샘플링한 광원 중 임의의 방향벡터 v_L 를 직각 좌표계 변환에 의해 계산하고, 식 (4)에 의해 3D 선분 $L_L(t)$ 를 정의한다. 그리고 III_2 상에서 대응점을 검색하는 탐색영역(search region)을 설정하기 위해, C_2 로부터 $L_L(t)$ 를 향하는 방향벡터 $v_C(t)$ 를 정의한다. $v_C(t)$ 는 [그림 3]에서 보는 바와 같이 t 에 따라 결정된다.

$$L_L(t) = C_1 + tv_L, \quad v_C(t) = L_L(t) - \overline{C_1 C_2} \quad (4)$$



[그림 4] 대응점의 검색 영역 설정을 위한 방향벡터

다음 과정에서 직각 좌표계를 구 좌표계로 변환하여 $v_C(t)$ 의 궤적을 III_2 상에 [그림 5] (b)와 같이 표현할 수 있다. [그림 5] (a)의 붉은 원으로 표시한 지점과 [그림 5] (b)의 흰 점을 중심으로 하는 마스크 속의 영상의 밝기에 대한 SSD(Sum of Squared Differences)를 구해 가장 적은 값이 나오는 지점을 대응점으로 결정한다. [그림 5] (c)에 III_1 에서 샘플링한 조명들에 대한 III_2 에서의 대응점들을 각각 표시했다. [그림 5]의 실험영상에서 카메라로 입사된 라디언스 에너지 중 대부분이 천장의 조명으로부터 블루 스크린에 반사된 것이기 때문에 블루 스크린상의 많은 점들이 전역 조명으로 샘플링되었다.



(a) III_1 에서 샘플링된 조명



(b) 임의의 조명에 대한 III_2 에서의 대응점 검색 영역



(c) LLI₁에서 조명된 LLI₂에서 샘플링된 조명된 대응점

[그림 5] 샘플링된 조명과 검출된 대응점

3.2.2 지역 조명

물체가 C₁에서 C₂ 위치로 이동하는 장면을 더욱 사실적으로 표현하기 위해 C₂ 지역에만 영향을 주는 지역 조명이 고려되어야 한다. LLI₂에서 샘플링된 조명은 지역 조명뿐만 아니라 전역 조명도 포함되어 있다. 본 논문에서는 지역 조명을 검출하기 위해 샘플링된 k개의 조명에 대한 층(strata) S_j 정보를 사용한다기. [그림 6]과 [그림 7]에 각각 지역 조명을 검출하는 슈도 코드와 LLI₂상에 샘플링된 조명의 층들을 중첩한 영상을 나타내었다.

```

Cp is the corresponding point
n is the number of Cp
for i = 1,2,3 ... n
    for j = 1,2,3 ... n
        if Cp · S then false
        else true
    loop j
if true then S is the stratum of local light
loop i
    
```

[그림 6] LLI₂에서 지역 조명을 검출하는 의사(pseudo) 코드



[그림 7] LLI₁의 조명에 대한 대응점과 LLI₂에서 취득한 조명의 층들을 중첩한 영상

3.3 3차원 조명환경 구성

카메라들의 위치를 추정하고 조명에 대한 특성 분류가 완료되면, 3차원 조명 환경을 구성한다. 전역 조명들의 3차원 좌표값은 스테레오 알고리즘에 의해 결정된다[9]. L-L 영상에서의 2차원 좌표값은 식(5)와 같이 3차원 방향벡터 ν 로 변환할 수 있다. 식(5)로부터 LLI₁에서 샘플링된 조명에 대한 방향벡터 ν_{1i} 와 LLI₂에서 검출된 대응점에 대한 방향벡터 ν_{2i} 를 각각 구하고, 두 쌍의 벡터로부터 선분 $L_{1i}(t)$ 와 $L_{2i}(s)$ 를 식(6)과 같이 정의한다.

$$\nu = [\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta], \quad (5)$$

$$L_{1i}(t) = C_1 + t\nu_{1i}, \quad L_{2i}(s) = C_2 + s\nu_{2i}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

위 식 (6)에서, n은 전역 조명의 개수이다. 각각 쌍을 이루는 라인 $L_{1i}(t)$ 와 $L_{2i}(s)$ 의 교차점을 전역 조명의 좌표로 결정한다. 그러나 영상 취득과정에서 발생하는 오차로 인해 두 선분이 정확히 교차하지 않는 경우가 발생하며, 이 경우에는 두 라인사이의 거리가 가장 가까운 지점을 전역 조명의 좌표로 결정한다. 두 개의 3차원 라인 간의 거리는 식(7)에 의해 계산되며, 지역 조명들의 위치는 각각의 방향벡터가 가상의 공간에 교차하는 지점으로 결정된다[10].

$$t = \frac{\text{Det}\{(C_2 - C_1), \nu_1, \nu_1 \times \nu_2\}}{|\nu_1 \times \nu_2|^2}, \quad s = \frac{\text{Det}\{(C_2 - C_1), \nu_2, \nu_1 \times \nu_2\}}{|\nu_1 \times \nu_2|^2} \quad (7)$$

3.4 실험 결과

제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 가상의 물체를 대상으로 재구성된 조명 환경 내에서 분산광선추적(distributed ray tracing) 방법으로 렌더링한 결과를 합성하여 [그림 8, 9]에 각각 보였다. [그림 9]는 동적인 상황에 대한 사실적인 표현 여부를 파악하기 위해 가상 물체를 임의의 지점 C₁에서 C₂로 이동시키며 렌더링한 합성영상이다. C₁ 지점에서 렌더링한 결과, C₂에서 전역 조명만을 이용하여 렌더링한 결과, C₂에서 전역과 지역 조명을 모두 이용하여 렌더링한 결과를 [그림 9]에 각각 나타내었다. C₁에는 전역 조명만이 존재하기 때문에 일부 지역조명을 고려하는 경우와 차이가 거의 없지만, 물체가 C₂ 지점으로 이동함에 따라 지역 조명의 영향이 고려되어 보다 밝고 사실적인 장면을 표현할 수 있다. 즉, [그림 5] (a)의 대상 공간의 블루 스크린에는 많은 간접조명이 존재한다. 따라서 구, 토러스, 테이블 등의 가상물체가 블루 스크린에 가까운 C₂ 지점으로 이동함에 따라 [그림 9] (c)와 같이 전역 조명뿐 아니라 지역 조명에 의해 자연스러운 조명이 이루어짐을 확인하였다.



[그림 8] 렌더링된 합성영상.



[그림 9] 렌더링 결과영상 비교 (a) C₁에서의 렌더링 영상 (b) C₂에서 전역 조명만 이용 (c) C₂에서 전역 및 지역조명 이용

4. 결론

실제 영상에 가상 물체를 효과적으로 합성하기 위해 실제 계에 존재하는 다양한 조명환경을 재구성하는 새로운 방법이 제안되었다. 제안된 방법은 사전 보정과정이 없이 카메라 및 조명의 위치를 자동으로 추정하며, 공간 내에서 조명이 미치는 영향의 범위에 따라 전역 및 지역조명으로 분류한다. 물체 등이 움직이는 동적인 상황을 고려하기 위해 다중 HDR 맵을 이용하여 대상 장면에 대한 조명환경을 재구성하였으며, 실험 결과로부터 자연스러운 합성영상을 만들 수 있음을 확인하였다. 이후로는 카메라 및 공간 구조에 대한 본 논문의 제약을 해결하기 위해 전방향 영상의 3차원 해석에 대한 추가 연구와 다양한 전역조명 렌더링 기법 구현, 그리고 조명의 위치와 세기의 변화에 따른 실시간 렌더링 기법 등이 진행될 예정이다.

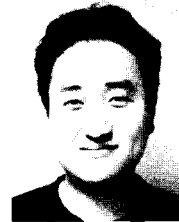
“본 논문은 교육부 두뇌한국 21(BK21)사업 지원에 의해서 연구되었습니다.”

참고문헌

- [1] A. Fournier, A. Gunawan, and C. Romanzin, “Common illumination between real and computer generated scenes”, Proc. of Graphics Interface, pp. 254-262, 1993.
- [2] P. Debevec, “Rendering synthetic objects into real scenes: bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography”, Siggraph, pp. 189-198, 1998.
- [3] I. Sato, Y. Sato, and K. Ikeuchi, “Acquiring a radiance distribution to superimpose virtual objects onto a real scene”, IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol. 5, No. 1, pp. 1-12, 1999.
- [4] S. Gibson and A. Murta, “Interactive rendering with real-world illumination”, Proc. of Eurographics Workshop on Rendering, pp. 365-376, 2000.
- [5] M. Bajura, H. Fuchs, and R. Ohbuchi, “Merging virtual objects with the real world: seeing ultrasound imagery within the patient”, Siggraph, pp. 203-210, 1992.
- [6] P. Debevec and J. Malik, “Recovering high dynamic

range radiance maps from photographs”, Siggraph, pp. 369-378, 1997.

- [7] S. Agarwal, R. Ramamoorthi, S. Belongie, and H. Jensen, “Structured importance sampling of environment maps”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 22, No. 3, pp. 605-612, 2003.
- [8] C. Tomasi and T. Kanade, “Shape and motion from image streams under orthography: a factorization method,” Int’l J. Computer Vision, Vol. 9, No. 2, pp. 137-154, 1992.
- [9] Faugeras O., “Three-Dimensional Computer Vision: A Geometric Viewpoint”, MIT Press, Cambridge, MA., 1993.
- [10] Glassner A. S., “Graphics Gems”, AP Professional, Cambridge, MA., 1990.



황용호

1996년 명지대학교 전자공학과 (학사)
 1998년 명지대학교 전자공학과 (석사)
 1998년 ~ 2000년 (주)윤의 C&C 부설연구소 연구원
 2000년 ~ 2003년 (주)콤포텍시스템 기술연구소 주임연구원
 2003년 ~ 현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 재학 중
 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터게임, 실시간렌더링 등



홍현기

1993년 중앙대학교 전자공학과 (학사)
 1998년 중앙대학교 전자공학과 (석, 박사)
 1998년 ~ 1999년 서울대학교 자동제어특화연구센터 연구원
 1999년 ~ 2000년 중앙대학교 정보통신연구소 연구교수
 2002년 ~ 2003년 Univ. of Colorado at Denver 방문연구원
 2000년 ~ 현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 부교수 재직 중
 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터게임, 실시간렌더링 등

논문투고일 - 2006년 4월 25일

심사완료일 - 2006년 6월 7일