레터논문-09-14-6-12

실감화상통신을 위한 실시간 재조명 기술

유 세 운^{a)}, 박 종 일^{a)*}

Real-Time Image-Based Relighting for Tangible Video Teleconference

Sae-Woon Ryu^{a)} and Jong-Il Park^{a)*}

요 약

본 논문은 실감 원격회의의 시스템을 위한 실시간 영상기반 재조명 기술을 제안한다. 구체적으로 원격 사용자의 영상을 미리 캡처된 환경맵을 이용하여 재조명해서 사용자가 같은 공간에 있도록 느끼게 한다. 일반적으로 재조명 수행에 사용자 모델의 정교한 기하학적 모델정보를 도출하는 것이 고품질 재조명 영상을 도출하는데 큰 영향을 준다. 본 논문에서는 두 개의 방향성 조명을 사용하여 실시간으로 사용자 모델정보를 도출하는데 중점을 두었다. 도출된 모델정보와 환경맵의 조명정보를 이용하여 재조명 연산을 수행하고, 그래픽 하드웨어를 사용하여 고속으로 연산을 수행한다. 본 논문에서는 두 개의 방향성조명과 동기화된 카메라를 순차적으로 접등하여 사용자 표면의 반사율 맵을 도출한다. 그리고 빛이 반사할 때 표면에서 입사각과 반사각이 동일한 특징에 근거하여 반사맵 영상의 밝기가 밝을수록 사용자 표면의 법선벡터가 조명과 카메라간의 사잇각이 될 확률이 높아진다. 그래서 양방향의 반사율 값과 사잇각 두 개의 파라미터를 곱하여 표면의 법선벡터를 완성한다. 본 연구의 결과를 이용하면 영상기반 재조명 연구의 실제적이고도 폭넓은 적용이 가능할 것으로 사료되며 고화질의 콘텐츠 양산에도 기여할 것으로 사료된다.

Abstract

This paper deals with a real-time image based relighting system for tangible video teleconference. The proposed image based relighting system renders the extracted human object using the virtual environmental images. The proposed system can homogenize virtually the lighting environments of remote users on the video teleconference, or render the humans like they are in the virtual places. To realize the video teleconference, the paper obtains the 3D object models of users in real-time using the controlled lighting system. In this paper, we use single color camera and synchronized two directional flash lights. Proposed system generates pure shading images using on and off flash images subtraction. One pure shading reflectance map generates a directional normal map from multiplication of each reflectance map and basic normal vector map. Each directional basic normal map is generated by inner vector calculation of incident light vector and camera viewing vector. And the basic normal vector means a basis component of real surface normal vector. The proposed system enables the users to immerse video teleconference just as they are in the virtual environments.

Keyword: Real-Time, Image Based Relighting, Tangible, Video Teleconference, GPU.

1. 서 론

렌더링 기법의 진보와 그래픽 하드웨어 성능의 향상으로 인하여 가상현실 시스템들은 우리들의 실생활에 보다 친숙하게 되었다^{[6][7][8]}. 가상현실 시스템은 다양한 연구 분야로 구성되는데, 예를 들어 다양한 기계장치, 센서 네트워크, 오

a) 한양대학교

Hanyang University

* 교신저자 : 박종일 (jipark@hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2009-F-208-01, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 SoC 개발]
· 접수일(2009년8월31일), 수정일(2009년11월10일), 게재확정일(2009년11월10일)

디오-시각적 신호처리 및 컴퓨터 그래픽스 분야 등의 구성으로 이루어진다. 가상현실 시스템의 한 가지 중요한 특징은 가상 환경이 마치 가상 객체가 실제 존재하는 것을 어떻게 꾸미는지에 관한 것이다. 실감 화상통신은 가상현실 응용 분야의 하나로서 화상 통신을 하면서 원격지의 조명환경과 가상으로 일치시키는 기술이다^{[1][9][10]}.

그림 1. 실감 원격회의의 시스템 개념도
Fig. 1. Tangible Video Teleconference System Concept

실감 화상통신 시스템의 핵심 기술은 새로운 환경맵을 사용하여 객체 표면을 실시간 렌더링 하는 것이다. 렌더링에는 객체 표면의 반사 특성 및 객체의 3차원 기하학 구조, 환경맵 정보 등을 필요로 한다. 환경맵은 사용자 주변의 조명 정보를 내포한다. 객체 표면의 반사 모델은 방향성 조명광선이 표면에서 반사하는 특성으로 정의되며 표면에서 얼마나 많은 빛이 반사되는지를 특성화 한다. 특히 사용자의 기하학적 정보는 재조명 수행시 입체감을 표현하는데 중요한 요소이다.

그러나 3차원 모델정보를 실시간으로 도출하는 것은 어려운 일이어서 기존의 재조명 연구들 중에는 3차원 모델 없이 객체 표면을 재조명하기 위한 방법 다중 광원으로부터 라이트 필드(lightning field)를 사용하는 방법이 있다. 라이트 필드는 각기 다른 위치의 조명들을 점등하여 생성된 모든 영상들을 관찰하는 것이다^{[3][4][5]}. 이러한 접근 방법으로 특정 방향성 광원에 의한 객체 표면의 반사율을 모델링 한다. 본 논문에서는 앞선 연구들에서 사용하는 반사율 정보가 객체 표면의 법선벡터의 기울기에 따라 달라지는 성질을 이용하여 사용자의 3차원 모델정보를 실시간으로 도출하는 방법을 제시한다. 제안하는 방법은 두 방향의 조명을 활용하

여 각 방향성 반사영상의 반사율 값에 기반한 객체 표면의 양 방향성 법선벡터를 추정하여 효과적으로 사용자의 기하학적 정보를 도출한다.

그림 1은 제안하는 실감 원격회의의 시스템의 개념도를 나타낸다. 두 개의 조명이 사용자 방향을 향하게 순차적으로 점등하면서 촬영한 영상을 이용하여 객체 표면의 반사율을 추출하고 표면 법선벡터를 추출한 후 환경맵과 함께 재조명을 수행한다.

그림 2는 제안하는 재조명 렌더링 시스템의 알고리즘을 보여준다. 두 개의 사용자 방향으로 위치한 조명을 순차적으로 점등하여 도출한 영상간의 차이를 이용하여 반사율을 측정하고 활용한다. 그림 2의 ㉑는 오른쪽 방향에서 사용자를 향한 조명을 점등할 때 도출한 영상이고, ㉒는 왼쪽과 오른쪽 조명을 끈 상태에서 도출한 영상이며, ㉓는 왼쪽 방향에서 사용자를 향한 조명을 점등할 때 도출한 영상이다. 그리고 영상 ㉒와 ㉑의 차이를 구하면 영상 ㉔와 같은 오른쪽 방향성 반사율 정보를 도출할 수 있고, 마찬가지로 영상 ㉓와 ㉒의 차이를 구하면 영상 ㉕와 같은 왼쪽 방향성 반사율 정보를 구할 수 있다.

그림 2. 제안하는 재조명 렌더링 시스템 알고리즘
Fig. 2. The Proposed Relighting System Algorithm

기존의 배경으로부터 사람 영역만 추출하기 위하여 반사율 영상으로부터 일정 값 이상의 영역을 추출하는데 이때 추출된 영역에서 반사가 잘 이루어지지 않는 머리카락 영역은 추출되지 않는다. 머리카락 영역을 추출하기 위해서 실제 촬영 영상으로부터 어두운 영역을 검출하여 앞서 추출된 객체 부분과 혼합하여 사람의 정확한 객체 윤곽을 추출한다.

실감 화상통신에서 추출된 객체는 재조명되는 환경맵의 배경과 잘 융합되도록 정확한 객체 추출이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 사용자 얼굴의 표면에서 반사가 잘 이루어지는 피부 부분 추출을 위해 반사율 맵으로부터 특정 값 이상이 되는 부분을 객체로 인식하고, 반사가 잘 되지 않는 머리카락 부분에서는 조명이 꺼진 상태에서 실제 촬영 영상으로부터 검은색 부분을 추출하여 사용한다. 이때 그림 2의 객체 분할장면에서 충분히 어두운 값을 본 연구에서는 0부터 255사이의 값 중에서 10의 값으로 지정하였다. 이 값은 실험환경에 따라 상대적으로 변화하는 값이어서 사용자가 지정하여 사용한다.

II. 방향성 조명에 의한 객체 반사 모델

본 논문은 Shafer의 이색성 반사모델에 기초한 방법^[2]을 활용하여 객체의 반사 모델을 정의하였다. 수식 1은 본 논문에서 제안하는 이색성 반사모델에 대한 정의이다. 이때 광선이 입사해서 표면 법선벡터에 의해 반사되는 벡터는 수식 2와같이 정의된다. 이때 k_d 와 i_d 는 난반사의 계수와 칼라를 의미하며, k_s 와 i_s 는 전반사 계수와 칼라를 나타낸다. $\hat{l}^{(g)}$ 는 환경맵의 조명 벡터를 Ω_+ 는 반구상의 각도 공간을 의미한다. $\hat{r}$ 은 반사벡터로 $\hat{r} = 2\hat{n}(\hat{l} \cdot \hat{n}) - \hat{l}$ 로 정의된다. $\hat{n}$ 는 법선벡터, $\hat{v}$ 는 시선벡터를 의미한다. 이때 반사모델 R 은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$R = \int_{\Omega_+} k_d(\hat{l}^{(g)} \cdot \hat{n})i_d + k_s(\hat{r} \cdot \hat{v})^n i_s d\hat{l} \quad (1)$$

본 논문에서는 그림 3과 같이 카메라에 동기화된 왼쪽과 오른쪽 조명을 순차적으로 점등한 반사영상을 사용한다. 그리고 왼쪽 방향의 조명에 대한 반사 영상은 수식 2로 정의할 수 있다. 오른쪽 방향은 마찬가지로 구한다.

$$R_L = \int_{\Omega_+} k_d(\hat{l}^{(L)} \cdot \hat{n})i_d + k_s(\hat{r}^{(L)} \cdot \hat{v})^n i_s d\hat{l} \quad (2)$$

본 논문에서는 사람의 얼굴을 대상으로 재조명을 수행하는데, 사람의 피부는 전반사(specular) 성분의 n 거듭제곱 값이 크지 않기 때문에 전반사와 난반사의 차이가 크지 않

다. 그래서 본 논문에서는 반사율 영상의 난반사(diffuse) 성분을 전반사 값에 포함된 것으로 가정하고 왼쪽 방향의 반사율 영상은 수식 3과 같이 간략화 할 수 있다. 오른쪽 방향의 반사율 또한 마찬가지로 방법으로 구한다. 이것은 그림 2의 ㉔와 ㉕와 같은 결과영상을 도출할 수 있다.

$$R'_L = R_L - R \cong \int_{\Omega_+} k_s(\hat{r}^{(L)} \cdot \hat{v})^n i_s d\hat{l} \quad (3)$$

III. 실시간 객체 표면 법선벡터 추출기술

본 논문에서 사용하는 실시간 객체 표면 법선벡터 추출 기술은 객체 표면에서 반사되는 영상으로부터 기울기 정보를 연산하는 방식을 사용한다.

그림 3. 고속 객체 표면 법선벡터 추출 과정
Fig. 3. Fast Surface Normal Extraction Algorithm

그림 3은 객체 표면의 법선벡터를 고속으로 추출하는 과정을 설명한다. 본 논문에서는 객체의 거리정보가 일정한 평면으로 가정을 하고 그림 3의 ㉔와 ㉕와같이 카메라의 시선벡터와 조명의 방향벡터간의 사잇각을 도출한다. 이때 영상속 모든 픽셀 위치 (x, y) 좌표에 대하여 $\hat{n}_{L,xy} = \frac{\hat{l}_L + \hat{v}}{2}$ 와 $\hat{n}_{R,xy} = \frac{\hat{l}_R + \hat{v}}{2}$ 로 정의하였다. 이때 $\hat{l}_L$ 과 $\hat{l}_R$ 은 각 왼쪽과 오른쪽 방향의 조명의 방향벡터를 의미한다. 그림 3의 ㉔와 ㉕는 각방향의 반사율을 의미하며, 빛이 반사할 때 표면

에서 입사각과 반사각이 동일한 특징에 근거하여 반사맵 영상의 밝기가 밝을수록 사용자 표면의 법선벡터가 조명과 카메라간의 사잇각이 될 확률이 높아진다. 그래서 픽셀 (x, y) 좌표에 대한 방향성 법선벡터의 존재 확률을 $P(\hat{n}_{Lxy}) = \frac{R'_L}{256}$ 와 $P(\hat{n}_{Rxy}) = \frac{R'_R}{256}$ 로 나타낸다. 일반적으로 백분율 값으로 변환하기 위해 반사율 영상을 256등분으로 나누어 사용한다. 그리고 수식 4의 과정과 같은 연산으로 영상 속 모든 픽셀 위치 (x, y) 에서의 최종적인 표면 법선벡터 $\hat{n}_{Total}$ 를 생성한다.

$$\hat{n}_{Total} = P(\hat{n}_{Lxy})\hat{n}_{Lxy} + P(\hat{n}_{Rxy})\hat{n}_{Rxy} \quad (4)$$

VI. 실험결과

본 논문에서는 실시간으로 객체 표면의 법선벡터를 도출하여 입체적인 재조명 수행결과를 그림 6에서 제시하였다.

그림 6. 저녁 노을 환경맵을 이용하여 재조명 결과
Fig. 6. Relighting Result with Sunset Environment

그림 6의 (a)는 환경맵 영상이고, (b)는 실린더 형태로 조명환경을 구성한 그림이며, (c)와 (f)는 왼쪽, (d)와 (g)는 중앙에서 (e)와 (h)는 오른쪽에서 밝은 빛이 비칠때의 재조명 영상과 확대물이며, 그때의 환경맵이다. 실험에 사용한 카메라는 해상도 640*480의 영상을 초당 30프레임 캡처하였고, 3프레임마다 1장의 재조명 영상을 생성하여 초당 10프

레이밍의 결과물을 도출하였다. 본 연구에서는 재조명 영상의 병목현상을 해소하기 위해 CPU에서는 법선벡터 생성 및 데이터 구조화하고 GPU에서는 입력영상을 화소별로 병렬 처리를 수행하여 고속 재조명 연산을 수행하였다. 실험에 사용한 하드웨어는 쿼드코어 CPU, 4GB의 RAM, Nvidia Geforce 9800GTX의 GPU를 사용하였다.

VII. 결 론

종래의 영상기반 라이팅 기술이 정지된 환경맵 영상을 사용하거나 정지된 객체를 라이팅하였던 연구를 한 반면에 본 논문은 양방향의 조명 반사영상을 이용하여 실시간으로 객체의 3차원 모델링 정보를 추출하고 재조명을 수행하였다. 향후 더 많은 방향의 조명을 이용한 반사영상을 사용하면 더 큰 해상도의 정밀한 모델링이 가능할 것으로 예상된다. 또한 본 연구의 결과를 이용하면 다양한 실감 방송, 화상통신용 영상기반 재조명 콘텐츠 연구에도 폭넓게 적용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Hanhoon Park, Jong-Il Park, and Sang Hwa Lee, "Image-based relighting of moving objects with specular reflection," LNCS 3617, pp.519-526, Sep. 2005.
- [2] S. Shafer, "Using color to separate reflectance components," Color Research and Application, vol. 10, pp. 210-218, 1985.
- [3] Charles-Felix Chabert, et. al., "Relighting human locomotion with flowed reflectance fields," ACM SIGGRAPH, Article No. 76, 2006.
- [4] Marc Levoy, and Pat Hanrahan, "Light field rendering," ACM SIGGRAPH, pp.31-42, Aug. 1996.
- [5] Paul Debevec, "Image-Based Lighting," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 22, no. 2, pp. 26-34, March 2002.
- [6] James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner, John F. Hughes, "Computer Graphics: Principles and Practice," Addison Wesley, 1997.
- [7] O. Bimber and R. Raskar, "Spatial Augmented Reality," A K Peters, 2005.
- [8] R. Azuma, "A survey of augmented reality," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- [9] Sae-Woon Ryu, Sang-Hwa Lee and Jong-Il Park, "Video architecture and real-time lighting technology for tangible teleconference," IEEE ISCE, pp. 1-4, 2008.
- [10] Sae-Woon Ryu, Sang Hwa Lee, Jong-Il Park, "Tangible video teleconference system using real-time image-based relighting," IEEE Transactions on CE, Vol. 55, Issue 3, pp.1162-1168, August 2009.