

# 볼륨 렌더링에서 산란과 음영 표현을 위한 빛-분포 템플릿 설계

이병준<sup>1</sup>, 권구주, 신병석\*

\*인하대학교 컴퓨터정보공학과  
e-mail : [dlqudwns1296@gmail.com](mailto:dlqudwns1296@gmail.com)

## Light-distribution Templates for scattering and shades expression in volume rendering

Byeong-Joon Lee<sup>1</sup>, Koojoo Kwon, Byeong-Seok Shin\*

\*Dept. of Computer Science and Information Engineering, Inha University

### 요약

볼륨 렌더링에서 가시화된 물체를 더욱 사실적으로 표현하기 위해서는 조명효과의 표현이 중요하다. 이를 위해 빛의 직접적인 영향과, 산란, 흡수에 따른 소멸, 반사등을 고려하여 빛의 에너지를 누적시켜 표현한다. 이러한 모든 연산을 수행하려면 많은 자원과 연산이 필요하기 때문에, 여러 근사 방법들이 제안되어 왔다. 본 논문에서는 3 차원 정보를 갖는 템플릿을 통해 광원의 위치에 상관없이 산란효과와 음영 효과를 표현한다. 램버트의 조명 모델을 기반으로 볼륨 데이터 전체에 대한 광원맵이 아닌 물체의 성질로부터 적은 자원을 차지하는 빛 분포-템플릿들을 생성한다. 생성된 템플릿들을 빛의 영향에 따라 누적 계산하여 3 차원 볼륨 데이터를 가시화하는 방법을 제안한다.

### 1. 서론

하드웨어의 발전으로 대용량의 데이터들을 처리 할 수 있게 되면서 볼륨 데이터를 더욱 사실적으로 표현하는 방법에 대한 관심이 높아졌다. 볼륨 렌더링(volume rendering)은 볼륨 데이터를 가시화하기 위한 방법으로, 물체를 작은 크기의 정육면체인 복셀(voxel)로 표현하는 방법이다.[1] 볼륨 데이터를 이용하면 물체의 표면뿐만 아니라, 내부도 자유롭게 표현 할 수 있으며 반투명한 물체의 내부 표현에도 용이하다. 볼륨 렌더링은 주로 의학분야나 공학분야에 자주 사용되는데, 이 기법을 통하여 초음파, CT, MRI 등을 통해 얻는 데이터를 가시화 할 수 있다. 최근에는 사실적인 표현을 위해서 조명 처리가 중요한 이슈가 되었다.

조명 모델(illumination model)은 전역 조명(global illumination)과 지역 조명(local illumination)으로 구분된다. 볼륨 렌더링은 각 위치의 음영(shading)을 결정할 때 일반적으로 지역 조명을 계산하여 표현한다. 각 지점에 대한 법선벡터와 조명의 방향으로만 계산되기 때문에 연산량이 적지만, 물성이나 물체들 사이의 관계를 고려하지 않으므로 비사실적으로 강한 음영이 생기는 단점이 있다. 좀 더 자연스런 음영 처리를 위해 폐색 쉐이딩을 활용해 표현하기도 한다 [2]. 더욱 높은 품질의 영상을 만들기 위해서는 전역 조명과 같은 고급 조명 처리 기술들이 필요하게 되었다. 다만, 전역 조명은 많은 컴퓨팅 자원을 소모하기 때문에 이를 근사 시켜서 자원의 소모를 줄이거나, 가속화시키는 연구가 많이 진행되고 있다 [3].

기존에는 산란광(scattering) 표현을 위해 모든 부분에 대해 빛의 흡수와 굴절 등을 계산하는 방법을 사

용하였다. 이후에는 전처리 과정을 통해 데이터에 대한 광량맵(photon-map)을 만들어 사용하는 방법을 사용하거나 [4], 시뮬레이션을 통해 근사 시킨 값들을 검색하여 처리하는 방법도 이용된다 [5]. 다만 이 방법도 많은 양의 자원을 소모하는 문제가 있다. 본 연구에서는 각 물질의 물성을 토대로, 광량을 계산하여 반사광과 굴절광, 흡수광을 근사 시킨 3 차원에서 빛-분포 템플릿(light-distribution template)을 생성하여 조명 효과를 표현하는 방법을 제안한다. 생성된 템플릿을 이용해 광원의 위치에 따른 산란광을 계산하고 색상 혼합(color blending)을 통해 해당 위치의 색을 결정한다. 또한 템플릿에서의 광량을 검사 할 때, 물체의 투과율과 재질간의 경계를 계산하여 그림자를 표현한다. 비슷한 재질은 광자의 분포가 비슷한 형상을 가진다는 성질로부터, 다른 재질간의 경계에 대한 처리를 해줌으로써 템플릿을 적용하였다. 여기서 광량은 비슷한 걸보기 정도를 가진다는 램버트의 법칙(lambert's law)에 따라 램버트 조명모델을 사용하여 광량을 계산하였다. 본 논문에서는 의료영상에서 사용 가능한, 인체데이터인 VK (Visible Korean) 데이터를 사용하여 렌더링을 하였다 [6].

### 2. 3 차원 빛-분포 템플릿

사실적인 장면 표현을 위해서는 빛의 영향을 고려해야 한다. 간접 조명을 표현하기 위해서는 물체의 재질에 따른 반사율과 굴절율을 고려해야 한다. 간접 조명의 경우 어떠한 조명으로부터 영향을 받는지 추정이 어렵고, 이를 완벽하게 가시화 할 수 없다.

제안하는 템플릿은 빛의 난반사 성질을 이용하여

생성한다. 빛의 강도는 광원으로부터 거리에 반비례함과 그 세기는 빛이 들어오는 각도에 따라 달라지는 성질을 이용한다. 이 때에 램버트의 코사인 법칙(lambert's cosine law)을 통해 광량을 계산한다. 템플릿은 연속적인 데이터들의 나열로 이루어 진다. 템플릿의 크기를 결정하기 위해 재질에 따른 투과율을 통하여 빛이 소멸되는 지점을 구한다. 이 임계점까지 템플릿 내부에서 빛의 산란을 계산한다.

본 논문에서 제안하는 템플릿은 3 차원으로 구성되는데 템플릿을 구성하는 인자는 한 지점의 3 차원 좌표와, 그 지점에서의 광량을 저장하고 있다. 템플릿 내부에서 일어나는 산란은 가시화 하려는 물체의 재질에 따라 결정된다. 처음 생성된 광자로부터 거리와 투명도에 반비례하여 빛이 소멸 되기 때문에, 하나의 템플릿은 적은 자원을 사용한다.

본 논문에서는 내부 정보를 포함하고 있는 인체 볼륨데이터를 가시화 대상으로 하였다. 이러한 데이터는 혼합물로 구성되어 있기 때문에, 산란효과 표현을 위해 범위 방정식을 사용하였다. 빛의 진행 거리를  $x$ , 빛의 광도를  $I$ 로 설정 했을 때, 거리당 빛의 입자가 줄어드는 정도는 아래 식과 같이 표현 할 수 있다.

$$\frac{dI}{dx} = -(1-a) \times I \quad (1)$$

여기서  $a$  는 투명도이다. 빛의 광도  $I$  는 처음 광원의 빛의 광도를  $I_0$ 라 하면

$$I = I_0 \times e^{(-\frac{4x}{\lambda})} \quad (2)$$

로 표현이 되는데, 램버트의 코사인 법칙에 따라 빛의 방향에 따라서 감소되는 비율이 결정된다.

$$I = I_0 \times e^{(-\frac{4x}{\lambda})} \times \cos \theta \quad (3)$$

$\lambda$  는 빛이 매질 속에서 이동 할 수 있는 평균자유행로(mean free path)를 의미한다. 이는 광자가 연속적인 충돌을 하면서 이동하는 평균 거리이다. 이 때, 광자의 이동 거리를 결정 하기 위해, 모든 광자들이 맥스웰 분포(maxwell-boltzmann distribution)를 따른다고 가정하여 계산한다.

$$\lambda = \sqrt{2} \times n \times \sigma \quad (4)$$

$n$  은 산란원의 밀도,  $\sigma$ 는 산란 될 때의 유효면적을 의미한다. 템플릿 내에서 빛의 산란이 일어나는 거리는  $\lambda$  를 따른다.  $\lambda$  만큼 이동 된 후의 지점에서  $I$  만큼의 광량이 흡수되고 이를 좌표와 함께 템플릿에 저장 한다. 이 후 그 지점을 중심으로 굴절되어 투과되는 광량과, 난반사되는 광량을 결정한다. 이 때 이동하기 위한 방향은 임계각도 이내에서 무작위로 결정되고, 그에 따른 굴절된 광량  $refr$  은

$$refr = a \times I \times \cos \theta' \quad (5)$$

으로,  $\theta'$ 은  $\lambda$  만큼 이동한 임의의 위치에 대한 각도이다. 반사의 경우도 혼합물이기 때문에 난반사가 일

어난다고 가정하여 임의의 방향으로  $\lambda$  만큼 진행하게 되고, 반사되는 광량  $refl$  은

$$refl = a \times I \times (1 - \cos \theta') \quad (6)$$

과 같이 계산된다. 계산된  $refr$  과  $refl$  에서 다시 각각에 대해 식 (3)~(6)을 수행한다. 저장되는 광량이 빛의 소실로 보는 임의의 임계점보다 낮아 질 때까지, 생성되는 굴절광과 반사광들에 대해서 계속 반복한다. 이 때, 같은 지점에 광자가 만나게 되면 그 지점의 광량을 합쳐준다. 이 때, 하나의 템플릿에 빛이 들어와 산란된 광자들의 총 광량의 합은, 템플릿에 처음 주어진 광량과 같아야 한다.

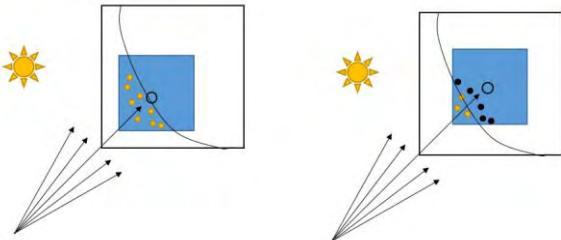
같은 재질 내에서 일어나는 빛의 산란은, 같은 재질 내부에서라면 비슷한 형태를 유지하며 일어나게 된다. 빛이 깊게 전진 할수록 빛의 세기는 약해지지만, 그에 따른 산란의 형태는 큰 변화를 보이지 않는다. 따라서 이러한 성질을 이용해 산란광에 대해 무작위 패턴으로 생성한 템플릿들을 정의하고 이를 이용해 광원의 위치에 상관없이 상호적인 볼륨 렌더링을 수행한다. 광선 투사법(ray-casting)을 통해 광선이 투과되는 각각의 지점에 대해서 생성된 템플릿을 누적시켜 적용하기 때문에 하나의 템플릿을 생성하기 위해 많은 양의 빛 연산을 할 필요가 없다. 다만 재질에 따른 템플릿의 종류가 적으면 비슷한 패턴의 노이즈가 발생 할 수 있다. 이를 해결하기 위해 여러 개의 템플릿을 생성하여 이를 혼합하여 사용한다. 이렇게 만들어진 템플릿은 이후 산란광을 표현 할 때 연산량을 줄이기 위해 광량의 순서대로 저장한다.

### 3. 템플릿을 통한 산란광 및 표현

산란광을 표현하기 위해서 광선 투사법을 이용한다. 눈으로부터 점진적으로 진행하는 광선이 가장 처음 원하는 볼륨 데이터가 존재하는 위치에 도착하게 되면, 그 지점을 기준으로 템플릿을 적용한다. 템플릿에는 각 광자의 위치정보와 광량정보를 가지고 있다. 광선이 만난 지점을 기준으로, 템플릿의 산란 지점을 참고하여 명암과 색상을 결정하게 된다.

광선이 있는 지점으로부터, 빛의 위치에 대해 방향벡터를 구한다. 이러한 방향벡터를 이용해 광원의 상대 위치를 알 수 있다. 템플릿에서 산란 지점과 광원과의 거리를 구한다. 광선이 도달한 지점과 광원과의 거리와 비교하여, 광선이 도달한 지점보다 광원 쪽에 가까운 광자들을 구분한다. 우선적으로 광원의 방향에서 반대쪽에 있는 광자들을 통해, 현재 지점에서의 색상을 결정한다. 각 산란된 지점의 광도와 볼륨 데이터의 색상정보를 곱하여 이들의 총 합을 통해 현재 지점의 색상을 결정한다. 이후 광원의 방향에 있는 광자들을 통해 음영을 결정한다. 만약 광원 쪽의 산란된 광자들의 위치에 볼륨 데이터가 존재하지 않거나, 투명하다면 각 광자들의 광도만큼 밝기를 증가시킨다. 그러나 광자들의 위치에 보여주고자 하는 볼륨 데이터가 존재하고 있다면, 빛이 투과되지 못한다고 판별하여 해당 광자들의 광량만큼 음영을 증가시킨다.

일부가 볼륨 데이터 밖에 있고, 일부는 볼륨데이터에 존재한다면 각 상황에서의 광량을 더해주거나 차감함으로써 해당 지점의 명암을 결정한다.



(그림 1) 광선 투사법에서 해당 지점의 명암 결정. 노란색 광자는 명도를 높이고, 검정색 광자는 명도를 낮춤

복잡한 연산이 아닌 템플릿의 광자들에 대해 단순 연산을 하여 색상과 명암을 결정한다. 광선 투사법을 통해 색상이 누적되는 동안, 투과된 광선의 세기와 광자들의 광량의 곱이 임계점보다 낮으면, 이후의 광자들은 영향이 거의 없다고 볼 수 있다. 템플릿은 광량에 따라 순차적으로 저장되어 있으므로, 해당 임계점을 넘는 지점부터는 연산을 수행하지 않는다.

#### 4. 실험 및 결과

CPU Intel Core i5-5570, 8GB 메모리, GPU 는 AMD Radeon HD7800(2GB)를 통해 실험을 진행하였다. 그림 2는 제안한 방법을 통해 빛의 분포를 보여준다.



(그림 2) VHK 인체 데이터의 머리 내부  $a=0.2$ , (위)광자 분포, (왼쪽아래)기존 광선추적법을 통한 볼륨렌더링, (오른쪽아래)템플릿을 이용한 산란 및 음영 표현.

단일 광원에 대해서 실험을 수행하였다 (그림 3). 물체의 투명도가 낮을수록 음영의 경계가 강하게 나타남을 확인 할 수 있다.



(그림 3) VHK 인체 데이터의 머리 외부  $a=0.4$ , (왼쪽)기존 볼륨 렌더링, (오른쪽)템플릿을 이용한 산란 및 음영 표현

#### 5. 결론

본 논문에서는 볼륨 렌더링에서 빛의 산란과 이를 따르는 음영 표현을 하는데 필요한 연산 비용과 자원을 감소시키고자 하였다. 물체의 성질에 따르는 작은 크기의 템플릿을 생성하고 이를 통해 산란과 음영 표현을 위해 적용하는 방법에 대해 제안하였다. 대부분의 연산이 단순 누적 연산을 이용하기 때문에 적은 연산량으로 표현이 가능하였다. 또한 광원의 위치를 렌더링 시에 참조하기 때문에 광원의 위치로부터 자유로운 표현이 가능하다.

#### 6. 감사의 글

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2015R1A2A2A01008248).

#### 참고문헌

- [1] Kruger, Jens, and Rüdiger Westermann. "Acceleration techniques for GPU-based volume rendering." Proceedings of the 14th IEEE Visualization 2003 (VIS'03). IEEE Computer Society, 2003.
- [2] 김석연, 유상봉, and 장윤. "등위면 볼륨렌더링을 위한 이미지 공간 폐색 쉐이딩 모델." 컴퓨터그래픽스학회논문지 20.4 (2014): 1-7.
- [3] Zhang, Yubo, and Kwan-Liu Ma. "Fast global illumination for interactive volume visualization." Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games. ACM, 2013.
- [4] Gutierrez, D., Munoz, A., Anson, O., & Seron, F. J. (2005, June). Non-linear Volume Photon Mapping. In Rendering Techniques (pp. 291-300).
- [5] 민승기, and 임인성. "빛의 내부산란의 효과적인 표현을 위한 밀도 추정기법." 컴퓨터그래픽스학회논문지 16.1 (2010): 9-20.
- [6] Kwon, Koo-Joo, and Byeong-Seok Shin. "Visualization of segmented color volume data using gpu." Advances in Artificial Reality and Tele-Existence. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 1062-1069.