

# 볼륨 렌더링에서 다중 광원 표현을 위한 템플릿 조합

<sup>1</sup>이병준\*, 신병석\*  
\*인하대학교 컴퓨터공학과

e-mail : [bjl34@naver.com](mailto:bjl34@naver.com), [bsshin@inha.ac.kr](mailto:bsshin@inha.ac.kr)

## Template Combination for Multiple Lighting in Volume Rendering

<sup>1</sup>Byeong-Joon Lee\*, Byeong-Seok Shin\*  
\*Dept. of Computer Engineering, INHA University

### 요 약

사실적이고 정확한 영상 표현을 위해서는 조명 효과가 필수적이다. 사실적인 조명처리를 위해서는 전역 조명을 계산해야 하는데 특히 볼륨 데이터는 더 많은 연산을 필요로 한다. 하나의 광원만으로는 볼륨 전체에 조명을 표현하여 뚜렷한 영상을 만들 수 없다. 여러 개의 광원을 통해 조명효과를 주게 되면 더 사실적인 영상을 얻을 수 있지만 광원의 수가 많아 질수록 연산량이 증가하게 된다. 본 논문에서는 광자 분포를 표현한 템플릿을 특정 방향에 대해 생성하고, 생성된 템플릿 조각들의 조합을 통해 여러 개의 광원에 대한 볼륨 조명을 표현하고자 한다. 조합된 템플릿을 이용하면 여러 개의 조명을 사용해도 단일 광원을 사용하는 정도의 연산량과 자원만을 사용해도 동일한 결과를 얻을 수 있다.

### 1. 서론

볼륨데이터는 물체의 내부와 외부를 일정한 간격으로 샘플링해서 만든 3차원 데이터로서 의학 및 공학 분야에 주로 사용된다. 볼륨 데이터로부터 사실적인 영상을 만들어내기 위해서는 조명효과가 필수적이다. 음영을 명확하게 처리해주면 더욱 입체적인 영상을 만들 수 있다.

볼륨 렌더링은 기본적으로 복셀(voxel)의 색상을 결정하는 과정을 반복함으로써 진행된다. 볼륨 렌더링은 표면 렌더링(surface rendering)에 비해 연산량이 많기 때문에, 주로 지역 조명만 사용해왔다[1]. 하지만, 지역 조명 만으로는 볼륨 데이터의 세부적인 특징을 표현하기 어렵기 때문에, 간접 조명까지 고려한 전역 조명 기법들이 제안되었다[2]. 볼륨 데이터는 물체의 내부 정보를 가지고 있기 때문에, 내부에서 일어나는 광학 현상을 계산하여 빛의 산란을 표현해야 한다. 광선 추적법(ray-tracing)을 이용해 빛의 산란을 계산할 수 있지만, 물체 내부에서 빛의 흡수와 방사에 따라서 추적해야 하는 광선의 수가 많아지기 때문에 실시간에 계산하기 어렵다. 품질을 높이기 위해 광선의 수를 증가 시키면 된다. 하지만 광선의 수를 늘리게 되면 렌더링을 수행 할 때 처리 비용이 기하급수적으로 증가

하게 되는 문제가 있다. 이러한 문제는 전처리 과정을 통해 광학 현상을 미리 계산하고, 계산된 광자들을 저장하는 방식으로 개선하였다. 저장된 포톤맵(photon-map)을 이용하여 샘플링 되는 복셀 주변의 광자값을 이용해 전역 조명을 계산하는 방법도 있다[3]. 그러나 이러한 방법은 전처리 과정에서 매우 많은 시간을 소모하고 포톤맵을 저장하기 위해 많은 메모리가 필요하다는 문제가 있다. 또한 조명의 작은 변화에도 기존에 생성한 포톤맵을 다시 사용 할 수 없다.

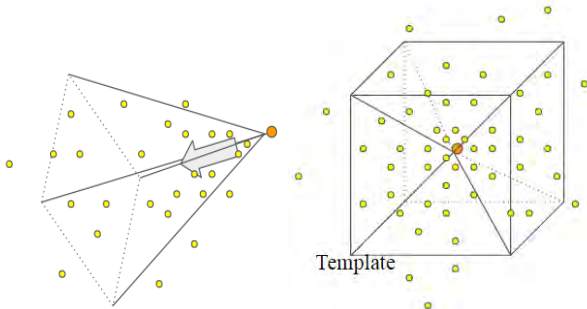
단일 광원을 이용하여 조명표현을 하는 경우 음영의 차에 의해 일부 정보들이 가려져 명확하게 보이지 않을 수 있다. 많은 정보를 효과적이고 명확하게 보여주기 위해서는 여러 개의 광원을 이용하여 조명효과를 표현해야 한다. 하지만 일반적으로 광원의 수가 늘어날수록 그에 비례하여 연산량이 증가하게 된다[4].

본 논문에서는 재질에 대한 빛의 산란 패턴을 저장한 산란자 템플릿(scatterer template)을 이용한다. 이전 연구에서 제안된 템플릿은 전 방향에 대한 산란을 저장하고, 이를 이용해 조명 효과를 표현하는데[5], 이를 확장하여 다중 광원에 적용하기 위한 방법을 제시한다. 하나의 템플릿을 생성할 때 6개의 템플릿 조각을 조합하여 만든다. 특정 벡터에 대한 빛의 산란

패턴은 광자 형태로 저장하는데 미리 저장된 템플릿 조각은 벡터에 대한 산란 패턴에 해당 된다. 템플릿의 초기 중심 광자를 기준으로 전, 후, 좌, 우, 상, 하를 가리키는 6 개의 템플릿의 조각을 정의함으로써 모든 방향으로 일어나는 산란을 계산 할 수 있다. 렌더링 과정에서 각 광원의 위치와 성질에 따라 볼륨에 투사 되는 조명을 근사 시키기 위해, 각 템플릿 조각들이 광원으로부터 영향 받는 비율을 계산한다. 각 템플릿 조각의 광자의 수는 광원의 위치와 광량에 의해 결정 된다. 따라서 합쳐진 템플릿의 총 광자의 수는 광원의 수와 상관 없이 총 광량에 의해서만 결정된다.

## 2. 템플릿의 분할 및 조합

템플릿 내부에서 거리에 따른 광량의 변화는 램버트 조명모델에 따른다. 광자의 산란여부는 평균 자유행로에 의해 결정된다. 템플릿은 한 방향에 대해 생성 된다.



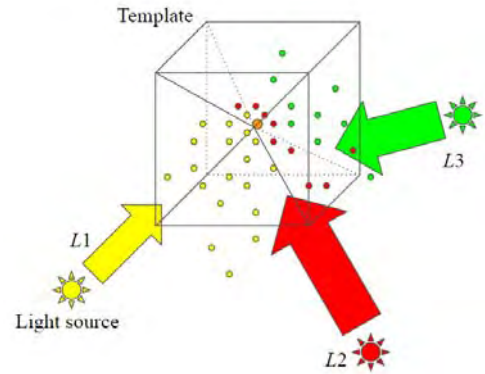
(그림 1) 다중 조명 계산을 위한 템플릿의 조각(좌), 6 개의 템플릿 조각의 조합(우)

하나의 템플릿은 6 개 템플릿 조각의 조합으로 이루어진다. 하나의 템플릿 조각은 먼저 외부 산란을 통해 광자의 분포를 결정해 준다. 각 광자들의 위치는 사용자가 정의한 벡터에 비례하게 위치를 변경시켜 준다. 광자의 분포는 벡터의 방향을 따라 변하게 되고, (그림 1)의 좌측 그림과 같은 형태가 된다. 광자의 위치  $p_i$ , 벡터  $v$ , 중심 광자의 초기 위치  $p_0$  에 대해서, 변형 된 광자의 위치  $p$  는 다음과 같이 계산된다.

$$p = p_i + v \times (p_i - p_0)^2 \quad (1)$$

생성된 템플릿 조각들은 (그림 2)와 같이 각각의 조합을 정의하는 방향 벡터를 변환함으로써 하나의 템플릿으로 합쳐진다.

렌더링 할 때, 개별 광원들의 위치를 이용하여 각 광원이 템플릿의 각 조각에 미치는 영향을 계산한다.



(그림 2) 각 조명이 템플릿에 미치는 영향, 각 광원의 영향에 비례하여 적용된 템플릿

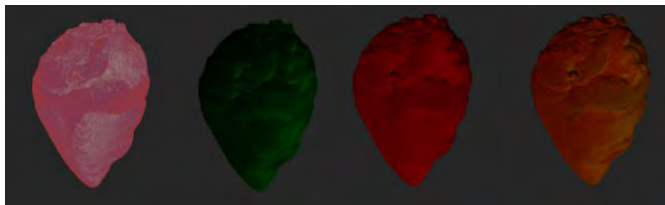
(그림 2)의 예에서 정면을 향하고 있는 템플릿 조각의 면에는 노란색의 광원과 빨간색의 광원이 비추고 있다. 광원이 충분히 먼 거리에 존재 한다면, 볼륨의 한 면에 비춰지는 광량은 균일하다고 가정할 수 있다[4]. 렌더링을 수행 할 때, 화면 각각의 픽셀에서 샘플링을 수행하게 된다. 각 템플릿들은 재질에서 산란되는 광자의 분포만 저장한 것이지만, 모든 픽셀에 대해 템플릿을 참조하여 샘플링을 수행하게 된다. 따라서 템플릿은 볼륨 전체에 적용이 되므로 볼륨 전체에 산란 조명효과가 적용되게 된다. 각 템플릿에 대해 6 개의 방향으로 들어오는 광량의 비율을 통해 산란을 계산하면, 최종적으로 누적된 결과는 볼륨에 균일하게 들어오는 광량과 같아지게 된다. 이를 이용하여 (그림 2)과 같이, 각 광원으로부터 입사되는 광량에 비례하여 광자들의 함량을 조절한다. 예를 들어 각 광원들이 노란색이  $L1$ , 빨간색이  $L2$ , 초록색이  $L3$ 의 비율로 포함된다고 하면, 노란색 광원은 정면의 방향에 영향을 주고, 빨간색 광원은 정면과 측면에 영향을 준다. 초록색 광원은 측면에만 영향을 준다. 이렇게 되면 정면에 존재하는 템플릿의 조각은 노란색에  $L1$ , 빨간색에서  $L2$ 의 영향을 받는다. 따라서 정면의 템플릿 조각은 전체 광량 중 ( $L1+L2$ )를 가지고 있고, 노란색  $L1$ 와 빨간색  $L2$ 로 구성된다. 템플릿 조각을 이루는 정면 방향의 광자들의 광량에  $L1$  배를 하여, 사용자가 정의한 임계값보다 낮은 광량을 가진 광자는 계산에 사용하지 않는다. 측면에 존재하는 템플릿의 조각은 빨간색 광원으로부터  $L2$ , 초록색 광원으로부터  $L3$ 의 영향을 받고 있다. 따라서 광량의 ( $L2+L3$ )를 받고 있고, 그에 따라서 템플릿의 광자들을 조정한다. 변형된 템플릿 조각들을 다시 바꿔줌으로써 최종적으로 사용할 템플릿으로 변경한다.

구현을 위해 광선 투사법(ray-casting)에 제안하는 템플릿 조합기법을 적용하였다. 여기서는 광선을 따라서 일정 간격으로 샘플링을 수행하게 된다. 각 광원의 위치와 색상, 광량에 따라 각 템플릿 조각들의 색상이 결정된다. 샘플링을 통해서 광자의 위치를 통해 차폐

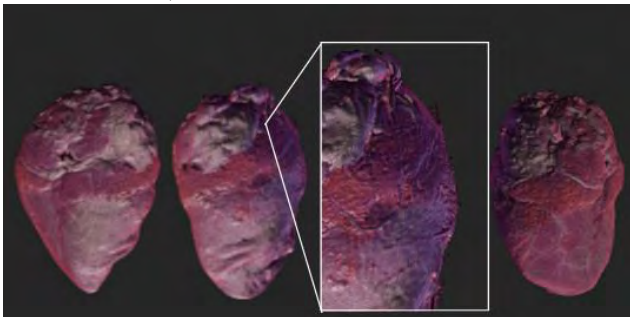
를 검사 한 후, 광원의 색상과 산란된 볼륨 내부의 색상을 더하여 최종 색상을 결정하게 된다. 6 개의 템플릿 조각을 사용하지만, 각 광원의 비율에 따라 광자들의 수가 조절되어, 최종적으로 얻어지는 템플릿의 광자의 수와 광량은 기존의 방식으로 얻어지는 템플릿과 같다. 따라서 같은 광자에 대해 차폐 검사와 산란을 계산하기 때문에 광원의 색을 조합하는 추가 연산만이 늘어나게 되고, 하나의 템플릿의 크기 변화는 없으므로 소모되는 자원량도 일정하다.

### 3. 실험 및 결과

실험은 Intel Core i5-5570 CPU, 8GB의 주메모리, 2GB의 GPU 메모리를 가진 AMD Radeon HD7800 그래픽카드가 탑재된 시스템에서 진행하였다. 템플릿의 각 광자들은 (x, y, z)좌표와 광량을 가지고 있다. 하나의 광자는 4byte로 표현되며, 50%의 투명도를 가지는 재질의 경우 사용자가 정의한 임계값에 따라서 50 개에서 120 개의 광자가 생성된다. 템플릿 조각의 경우도, 처음 생성 할 때에는 전체 템플릿과 같은 수의 광자를 생성한다. 이 후, 6 개의 템플릿 조각을 합친 후 각 광원의 비율에 따라 광자의 수가 조정되면 기존의 템플릿과 같은 수의 광자를 가지게 된다. 템플릿 생성에 매우 많은 패턴을 만들더라도 10Kbytes를 넘는 경우는 없기 때문에 매우 적은 추가 자원만을 필요로 한다. 그림 3 과 그림 4 는 양의 심장 데이터에 광원의 설정을 다르게 하여 적용한 결과이다.



(a) (b) (c) (d)  
 (그림 3) 광원에 따른 색상 혼합 결과 (a)원본 (b)우측 아래의 녹색 광원 (c)정면의 적색 광원 (d) (b), (c)다중 광원 혼합 결과



(a) (b) (c) (d)  
 (그림 4) 양 심장 데이터에 적용한 최종 결과 (a)정면 결과 (b)측면 결과 (c)광원 차이에 의한 색 변화 (d) 후면 결과

(그림 3)은 광원의 색상 변화를 선명하게 보여주기 위한 결과이다. 오직 적색 광원과 녹색 광원을 통해 조명이 자연스럽게 섞여서 보이는 것을 알 수 있다. (그림 4) 는 3 개의 광원을 각각 정면에 30%의 광량을 가지는 광원과, 정면과 측면에 걸쳐서 30%의 광량을 가지는 광원, 후면과 측면에 걸쳐서 40%의 광량을 가지고 푸른빛이 더 강한 광원으로 설정하였다. (b)에서 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 푸른색으로 변해가는 것을 확인 할 수 있다.

본 논문에서는 다중 광원을 표현하기 위해 템플릿의 구조를 변경 및 적용하였다. 기존의 템플릿과 같은 메모리 용량을 가지며, 각 광원의 비율을 계산하는 추가 연산 부분이 늘어났다. 본 연구를 통해 비교적 적은 광원으로 볼륨에 다중 조명을 표현 할 수 있지만, 연속되지 않은 데이터에는 종종 정확한 조명이 표현되지 않는 문제가 남아있다. 이러한 문제를 개선하기 위한 연구를 진행 중이다.

### 참고문헌

- [1] J. Kronander et al., "Efficient visibility encoding for dynamic illumination in direct volume rendering," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.18, No.3, pp.447-462, 2012
- [2] Yubo Zhang 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.
- [3] Jensen, Henrik Wann, and Per H. Christensen. "Efficient simulation of light transport in scenes with participating media using photon maps." Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, 1998
- [4] Sundén, Erik, and Timo Ropinski. "Efficient volume illumination with multiple light sources through selective light updates." Visualization Symposium (PacificVis), 2015 IEEE Pacific. IEEE, 2015.
- [5] 이병준, 권구주, 신병석. "볼륨 렌더링에서 산란자 템플릿을 이용한 재질별 산란광 표현." 정보처리학회논문지. 소프트웨어 및 데이터 공학 5.12 (2016): 677-684.