

유니티 게임 엔진 기반의 의료 시뮬레이션을 위한 초점 배경 볼륨 가시화

하태준*, 계획원*

한성대학교 정보시스템공학과, 한성대학교 컴퓨터공학부
gmlakd21c@gmail.com, kuei@hansung.ac.kr

Focus+context volume rendering for medical simulation based on Unity
game engine

Tae-Jun Ha*, Heewon Kye**

Dept. of Information Systems Engineering, Hansung University*
Division of Computer Engineering, Hansung University**

요 약

상용 게임 엔진이 개인에게 공개되면서, 게임 엔진을 범용 연구에 사용하려는 시도가 계속되고 있다. 본 연구는 의료 시뮬레이션 개발에 게임 엔진을 이용하려 한다. 구체적 방법으로, 인체의 주요한 부분을 사용자가 선택하면, 선택한 부분의 가시화 파라미터를 두드러지게 변경하는 초점 배경 가시화를 볼륨 데이터에 적용하려 한다. 그 과정에서 본 연구는 누적 기반 초점 배경 볼륨 가시화 방법을 제안하며, 배경 부분은 초점 부분과 자연스럽게 투명해져 융합된다. 또한 제안 방법은 기존 볼륨 가시화 방법과 잘 결합되기 때문에 절개와 같은 가상 수술 기능이 원활하게 수행된다. 충돌 처리 및 사용자 입력 기능을 가진 게임 엔진은 범용 연구를 효율적으로 개발하는 데 도움이 된다.

ABSTRACT

As commercial game engines become available to the public, attempts have been made to use it for general purpose research. This study uses the game engine to develop a medical simulation. Specifically, when the user selects an important portion of the human body, the focus+context visualization is applied to the volume data. We proposes the accumulation based method to make the background part more transparent and naturally fuse it with the focus part. Since the proposed method combines well with the existing volume visualization, the virtual surgery function such as incision is performed smoothly. The game engine is useful for general-purpose research, because auxiliary functions such as collision handling and UI can be efficiently created with the help of it.

Keywords : Volume Visualization(볼륨 가시화), Focus+context Visualization(초점 배경 가시화), Game Engine(게임 엔진)

Received: May. 29. 2018 Revised: Aug. 13. 2018
Accepted: Aug. 20. 2018
Corresponding Author: Heewon Kye (Hansung Univeristy)
E-mail: kuei@hansung.ac.kr

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1598-4540 / eISSN: 2287-8211

1. 서론

현대 게임 엔진이 자유롭게 사용될 수 있도록 공개되고 그 기능이 확장되면서, 이를 일반적인 연구에 사용하는 시도가 계속되고 있다. 게임 엔진은 다양한 개발도구를 내장하고 있어서, 연구자는 필요한 핵심기능 개발에 집중할 수 있다. 예를 들면, 게임 엔진은 간단한 충돌처리 기능을 자체적으로 지원하고, 가상현실 기기를 기본 설정으로 사용할 수 있어, 몰입도 높은 그래픽스 콘텐츠의 빠른 제작이 가능하다.

본 연구는 대표적인 게임 엔진인 Unity3D[1]를 이용하여 가상현실 기반의 의료 진단 시스템을 구축하고자 하며, 그 초기 단계로서 의료 시스템의 주요 기능인 초점 배경(focus+context) 볼륨 가시화[2]를 구현하고, 볼륨 절단 기능을 결합하는 방법을 제안한다.

초점 배경 가시화는 사용자가 지정한 부분인 초점 부분은 두드러지도록, 나머지 배경 부분은 더 투명하게 조작하는 방법이다. 즉, 전체적인 구조를 파악할 수 있으며 동시에 초점부를 부각하는 복합적인 가시화 방법이다. 본 연구는 Unity3D의 셰이더 프로그램(shader program)으로 볼륨 가시화 알고리즘을 구현하며, 배경부분의 투명도를 일관성 있게 제어하기 위해 누적 기반 초점 배경 가시화 방법을 제안한다.

또한 게임 엔진에서 기본적으로 제공하는 도형 생성 및 조작, 충돌 처리 기능 등을 그대로 사용하기 위해, 가시화를 가상 평면이 아닌 Unity3D 생성 객체인 육면체상의 표면에서 수행한다. 그 결과, 초점 배경 볼륨 가시화를 수행하면서 볼륨의 절개 명령이 원활하게 수행된다.

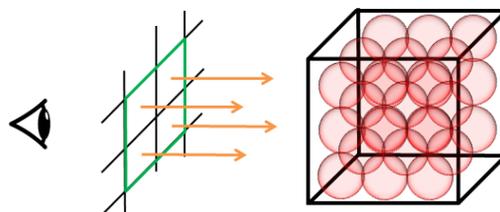
본 논문의 구성은 2장에서 기초적인 볼륨 가시화 및 초점 배경 가시화에 대해 설명하고, 3장에서 제안 방법인 누적 기반의 초점 배경 볼륨 가시화와 볼륨 절개 방법을 설명한다. 4장에서 실험 결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 볼륨 가시화

볼륨 가시화란 삼차원 배열 데이터를 가시화 하는 수단이다[3, 4]. 본 연구의 삼차원 데이터는 인체 CT 데이터로, 인체에 X선을 투영하여 획득한 많은 수의 단면 영상이다. 신체의 장기 및 골격은 밀도가 높을수록 더 많은 X선을 흡수하는 점을 이용하여 가시화를 수행한다. 볼륨 가시화 방법은 다음과 같다, 삼차원 배열 데이터를 입력으로 삼아, 사용자가 부여한 전이함수(Transfer Function; TF)를 이용하여 색상과 투명도로 변환한다[5]. 예를 들면 X선 흡수도가 높은 뼈는 불투명한 흰색으로, X선 흡수도가 약간 낮은 근육은 반투명한 붉은색으로 변환하는 TF를 생성할 수 있다. 그리고 사용자의 관찰 방향으로 색상과 투명도를 누적하여 출력 영상을 생성한다.

본 연구에서는 [Fig. 1]과 같이 많이 이용되는 광선 투사법(ray casting)을 이용한다[5]. 광선 투사법은 관찰 지점에서 가상의 평면을 생성하고, 관찰 방향으로 각 픽셀마다 가상의 광선을 발사한다. 각 광선은 일정한 간격마다 볼륨 데이터에서 샘플링을 통해 배열 값을 얻는다. 배열 값은 TF를 통해 색상과 투명도로 변환되고, 이들의 누적된 값이 출력 픽셀이 된다.



[Fig. 1] Ray casting Algorithm

2.2 초점 배경(focus + context)가시화

초점 배경 가시화란 사용자가 중점적으로 관찰할 영역을 초점으로 정의하고, 나머지 영역을 배경으로 정의하여 초점과 배경을 함께 가시화하는 방

법이다. 초점을 부각하여 관찰하기 위해서 일반적으로 초점과 배경에 서로 다른 TF를 사용한다.

예를 들어, 인체의 다리 데이터에서 무릎을 초점으로 정의하고, 나머지를 배경으로 정의할 수 있다. 초점은 골격을 보고, 배경 부분은 피부를 보고 싶다면 초점 부분은 X선 흡수도가 높은 부분만 보이도록 TF를 생성하고, 배경은 반대가 되도록 TF를 생성한다. 초점 내부인지 여부를 판단하여 서로 다른 TF를 적용하여 가시화하면 원하는 영상이 출력된다.

사용자가 초점 부분을 지정하는 방법은, 출력 영상에서 영역을 결정하는 이차원 기반 방법과 삼차원 공간상에서 원하는 부분을 지정하는 삼차원 기반 방법으로 나눌 수 있다.

이차원 기반 방법은 물체가 초점 속하는지 배경에 속하는지 판단이 간단하다는 장점이 있다. 마술 볼륨 렌즈(magic volume lens)[2]는 사용자가 출력 영상의 관심 부분에 가상의 렌즈를 위치시키고, 렌즈에 효과를 부여하여 다시 가시화를 수행하는 방법이다. 렌즈의 위치에 따라 광선의 경로를 변경하여, 초점 부분이 확대된 영상을 생성한다. 가상 렌즈(virtual lens) 방법[6]은 화면 좌표계 기준으로 사각형 영역을 설정하여, 서로 다른 TF로 가시화한다.

삼차원 기반 방법은 사용자가 볼륨 데이터 내부에 초점에 해당하는 삼차원 영역을 정의한다. 초점 영역이 구나 육면체라면 내부/외부 관정을 간단하게 계산할 수 있으며, 원뿔이나 사용자 지정의 복잡한 도형을 사용할 때는 전처리가 필요한 경우도 있다.

ClearView 기법은 간단하게 초점과 배경을 결합하는 방법으로, 초점과 배경을 별개로 각각 렌더링한 이후에 두 영상을 합성한다[7]. 사용자가 지정한 중심 위치에 따라 가중치를 두어 합성하여, 초점부가 잘 관찰되도록 설계하였다. Monclus 등은 원뿔 모양의 가상 손전등(lantern)을 사용하였는데, 각 샘플 위치가 원뿔 내부인지 판단하여 조건 분기를 통해 물체의 색상을 결정한다[8]. 양방

향렌즈(interactive lenses)는 사용자가 정의한 렌즈 내부영역을 부각하는 방법이다[9]. 렌즈 영역 내부에 특별한 효과를 부여하기 위해 깊이 테스트의 설정을 바꿔 여러 번 가시화한다. 중요성 중심 시각화(importance driven rendering)는 객체에 부여하는 색상과 불투명도외에 중요성(importance)이라는 새로운 속성을 추가하였다[10]. 중요성 속성은 중심부와 배경에 전처리로 차등 적용되며, 가시화 단계에서 중요성이 높은 물체가 부각되도록 합성한다.

본 연구는 삼차원 기반 초점 배경 가시화를 수행하되, 초점 경계면에서 효과를 부여하는 새로운 방법을 제안한다.

3. 본 론

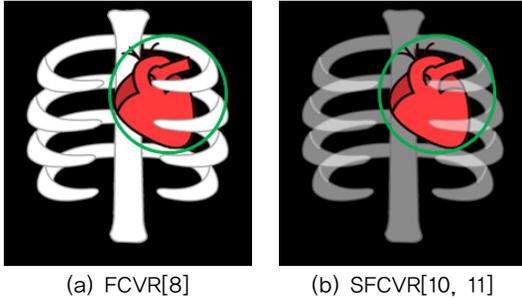
본 연구는 의료 진단 시스템의 기초적인 기능을 Unity3D를 사용하여 구현하였다. 이후 초점 배경 볼륨 가시화를 구현하는 두 가지 방법을 설명한다. 3.1절은 기존 연구의 기본적인 방법을 소개하며 3.2절은 본 연구의 제안 방법을 설명한다. 3.3절에서는 모의 수술에서 기본적인 기능인 절개의 구현방법을 설명한다. 마지막으로 3.4에서 게임 엔진에서 이벤트 처리를 위한 모델 선택방법을 설명한다.

3.1 샘플 기반 초점 배경 볼륨 가시화

전통적 광선 추적법을 초점 배경 가시화에 그대로 적용하기는 어렵다. 초점 앞에 불투명한 배경 부분이 위치하면 초점은 배경에 가려져 관측하기 어렵기 때문이다. 배경을 더 투명하게 표현하는 방법이 연구되었으며, 배경을 완전히 투명하게 만든다면[8, 9] 초점과 배경의 상호관계를 알 수 없으므로, 배경을 적절하게 반투명하게 하여[10, 11] 가시화를 수행하는 것이 일반적이다.

기존 연구에서 사용되는 샘플 기반초점 배경 볼륨 가시화(Sampling based Focus+Context Volume Rendering; SFCVR)는, 각 샘플링 위치

가 사용자 지정한 영역의 내부라면 초점으로 판단하여 정상적으로 가시화하고, 외부라면 더 투명하게 조정하여 가시화하는 방법이다.



[Fig. 2] Focus-context rendering (a) and SFCVR (b) to make background samples more transparent

[Fig. 2]에서 사용자는 심장 부분을 초점 영역으로 정의하여 붉은색을 부여하고, 배경 부분은 흰색으로 골격을 표현하였다고 가정하였다. 단순히 두 개의 TF를 사용한다면(a) 골격이 심장을 가리게 되지만, SFCVR(b)은 골격부를 투명하게 하여 심장을 드러내어 사용자가 원하는 영상을 생성한다. 물론 사용자가 배경의 TF를 더 투명하게 제작한다면 (b)와 동일한 효과를 얻을 수 있다.

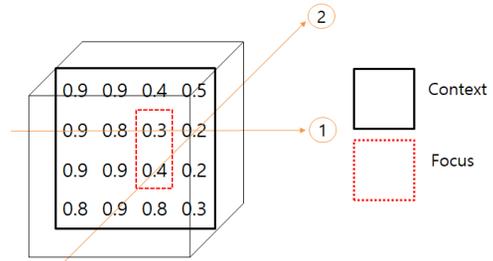
3.2 누적 기반 초점 배경 볼륨 가시화

3.1절의 SFCVR를 이용하면, 배경이 투명해져서 초점 관찰이 쉽다. 하지만 초점 앞에 배경 물체가 두텁게 존재한다면, 초점 부분을 가리는 문제가 있다. 이 과정을 [Fig. 3]을 이용하여 설명한다.

[Fig. 3]은 입력 데이터의 각 위치별로 불투명도(alpha)가 표시되어 있으며 초점이 불투명도가 높은 배경에 둘러싸여 있는 상태이다. 일반적인 누적은 alpha blending(eq. 1)을 사용하나[5], SFCVR은 배경 부분을 더욱 투명하게 만드는 사용자 지정 상수 β 를 곱해 (eq. 2)와 같이 계산한다.

$$acc_n = acc_{n-1} + \alpha_n(1 - acc_{n-1}) \quad (eq. 1)$$

$$acc_n = acc_{n-1} + \alpha_n\beta(1 - acc_{n-1}) \quad (eq. 2)$$



[Fig. 3] An example of alpha blending along the ray

단, acc_n 은 현재까지 누적된(accumulated) 불투명도, acc_{n-1} 은 직전 샘플까지 누적된 불투명도이고 α_n 은 현재 샘플의 불투명도이다. [Fig. 3]의 1번 광선의 경우 광선이 진행하면서 누적되는 불투명도를 계산하여 보았다. 예를 들어 $\beta=0.5$ 라고 가정하면, 광선이 진행하면서 0.9, 0.8, 0.3, 0.2와 같은 값을 만나며 이들 (eq. 2)식에 반복 적용하면 (eq. 3)와 같은 변화를 겪는다.

$$\begin{aligned} acc_0 &= 0 & (eq. 3) \\ acc_1 &= 0 + (1 - 0) \times 0.9 \times 0.5 = 0.45 \\ acc_2 &= 0.45 + (1 - 0.45) \times 0.8 \times 0.5 = 0.67 \end{aligned}$$

즉, 불투명한 배경에 여러 번 누적을 수행하면 초점부에 도달하기 전에 점점 불투명해져서 초점이 가려진다. 이를 방지하고자 β 를 매우 작게 설정하면, 배경이 지나치게 투명해지는 문제가 있다 ([Fig. 4](a) 참고).

이 문제를 해결하기 위해, 초점과 배경 각각을 가시화하고 영상처리 기법으로 두 결과 영상을 혼합하거나 [10, 11], 배경의 투명도를 자동으로 조절 [12]하는 기존 연구도 있으나, 여러 번 반복적으로 가시화를 수행해야 하는 단점이 있다.

본 연구는 이 문제를 해결하기 위해 누적 기반 초점 배경 볼륨 가시화(Blending based Focus+Context Volume Rendering; BFCVR)을 제안한다. BFCVR은 한 번의 가시화를 수행하면서, [Algorithm 1]과 같이 배경에서 초점으로 진입

하는 지점에서만 누적된 투명도를 조절한다.

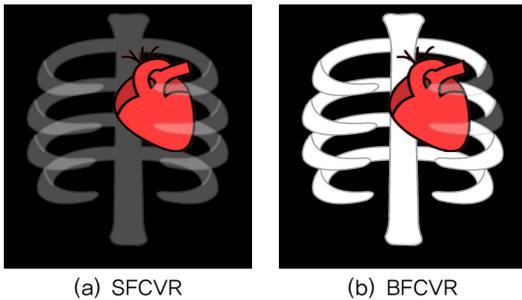
[Algorithm 1] Proposed method for BFCVR

if(crossBoundary) then $acc_{n-1} = acc_{n-1} \times \beta$
 $acc_n = acc_{n-1} + (1 - acc_{n-1}) \times a_n$

배경이 두껍게 위치하더라도 누적된 불투명도는 1을 넘을 수 없으므로, 제안 방법은 경계면을 통과 하면서 누적된 배경의 불투명도가 β 이하로 조절된다. 그 결과 배경 뒤의 초점부를 용이하게 관찰할 수 있다. 예를 들어 (eq. 3)의 식은 (eq. 4)와 같이 계산되어 누적 값이 결과가 β 이하가 된다.

$$\begin{aligned} acc_0 &= 0 && \text{(eq. 4)} \\ acc_1 &= 0 + (1 - 0) \times 0.9 = 0.9 \\ acc_2 &= 0.9 + (1 - 0.9) \times 0.8 = 0.98 \\ acc_3 &= 0.98 \times 0.5 = 0.49 \end{aligned}$$

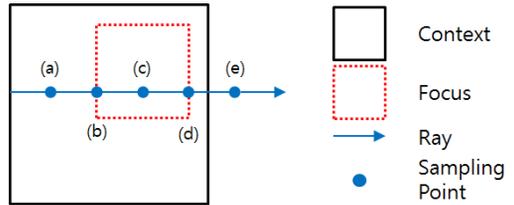
제안한 BFCVR 방법은 배경 두께에 독립적으로 투명도를 제어할 수 있다. 그 결과 기존 SFCVR이 [Fig. 4](a)와 같다면 제안하는 BFCVR은 [Fig. 4](b)와 같은 일관된 영상이 생성된다.



[Fig. 4] Comparison of previous method(a) and proposed method(b)

한편 BFCVR을 구현하기 위해서는 경계면을 통과하는 위치를 알아야 한다. 초점 부분의 모양은 사용자가 입력하므로, 샘플이 초점 내부인지의 판정은 간단하게 할 수 있다는 점에 착안하여 본 연구는 다음과 같이 구현하였다.

광선 진행 과정에서 직진 샘플링 지점이 배경에 속하였으나 현재 샘플링 지점이 초점에 속한다면 경계면을 통과 하였다고 정의할 수 있다. 본 연구는 광선의 직진 샘플링 상태를 preState, 현재 샘플 위치가 초점에 속하는지 여부를 inFocus로 두고 상태 변화를 이용하였다.



[Fig. 5] An example of ray casting for BFCVR

[Table 1] State transition for each sampling point

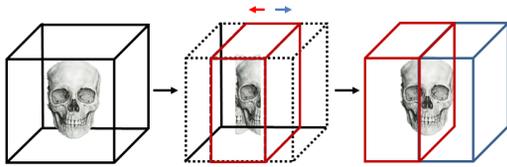
Sampling point	state	
	preState	inFocus
(a)	0	0
(b)	0	1
(c)	1	1
(d)	1	0
(e)	0	0

[Fig. 5]는 제안 방법을 이용한 광선 진행의 예시이다. 광선위의 각 점은 샘플링 위치를 나타내며 초점진입 이전(a), 초점진입 지점(b), 초점 내부(c), 초점탈출 지점(d), 초점 외부(e)를 가정하였다. 각 상황에 따른 상태변수를 계산하면 [Table 1]과 같다. 따라서 본 연구는 [Algorithm 1]의 crossBoundary를 $(1 - \text{preState}) \times \text{inFocus}$ 로 정의하여 초점 경계면 진입을 판단하였다.

3.3 볼륨 절단

본 연구는 의료 시뮬레이션에서 사용되는 절단 기능을 초점 배경 볼륨가시화에 적용하였다. 절단 축(x, y, z) 좌표와 절단 비율을 지정하여 생성 위치를 결정하였다. Unity3D에서 두 개의 상자를 생성한 다음 [Fig. 6]과 같이 크기 조절과 평행이동

을 각각 적용하여 나란하게 배치할 수 있다. 이 방법은 Ha 등의 사전 연구[13]와 같으며, 제안 방법인 초점 배경 가시화기능과 잘 결합된다.



[Fig. 6] Volume object division

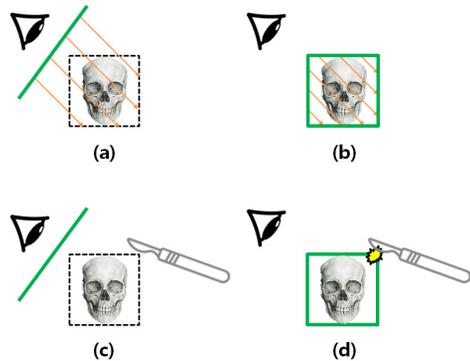
3.4 게임 이벤트 처리를 위한 모델 선택

볼륨가시화 알고리즘은 사용자가 지정한 관찰자 위치에 가상의 평면을 생성하고 평면상에 영상을 생성하는 것이 일반적이다(Fig. 1 참고). 그러나 본 연구에서는 부피가 존재하는 육면체를 생성하고, 육면체상의 각 겉면에 영상을 생성하는 방식을 사용한다.

두 방식의 비교를 [Fig. 7]에 보이고 있다. (a), (b)에 붉은 선으로 표시한 부분은 Unity3D에서 생성한 객체 표면이며, 객체의 충돌연산이 발생하는 기준이 된다. 볼륨 가시화한 결과 기존 방법 (a)에 상이 맞으면 관찰자는 (c)와 같이 영상 뒤쪽에 물체가 존재하는 것처럼 가상적으로 느끼게 된다.

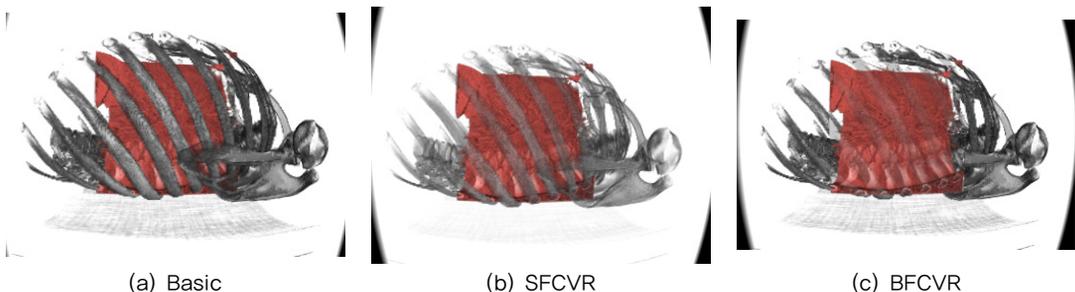
한편, 제안 방법 (b)의 경우 육면체에서 관찰자에게 가까운 3개의 면에서 가시화가 수행되며, 겉면에 영상이 대응된다. 그 결과 관찰자는 육면체 내부에 물체가 존재하는 것처럼 느끼게 된다. 결과적으로 관찰자가 느끼는 영상은 차이가 없다.

이 때, 사용자가 인체를 폴리곤으로 생성한 가상 수술도구로 접촉하였을 경우, (c)의 경우는 접촉이 발생하지 않았다고 판정하게 된다. 한편 본 연구의 제안 모델은 (d)와 같이 충돌 검사의 주체가 육면체가 되므로 올바른 충돌 판정을 얻게 된다. 즉, 제안 방법을 사용하면 Unity3D에서 제공하는 충돌 검사 기능을 그대로 활용할 수 있는 장점이 있다.



[Fig. 7] Interaction with a polygon game object

게다가 육면체 모델을 이용하면, Unity3D에서 기본적으로 제공하는 회전, 이동, 크기변환 등의 기하학적 변환을 편리하게 적용할 수 있다. 그 결과로 3.3절에서 설명한 볼륨 절개는 두 개의 육면체 게임 객체를 생성하고 볼륨 텍스처 좌표를 절개 위치에 대응하여 설정하면, 자연스럽게 기능이 수행된다.



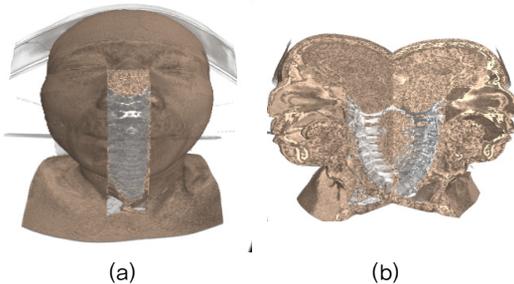
[Fig. 8] Comparison of rendering result using previous(a, b) and proposed method

4. 실험 결과

본 연구의 실험은 Intel i5-4670 @ 3.40GHz CPU와 GeForce GTX 1060 GPU를 장착한 개인용 컴퓨터에서 수행되었다. Unity3D의 버전은 5.5.4p4이고 셰이더 언어는 HLSL을 사용하여 광선 추적법을 구현하였다.

[Fig. 8]은 3.1, 3.2에서 제안한 SFCVR과, BFCVR을 사용한 가시화 결과이다. 초점은 육면체 영역으로 근육을 붉은색으로 보이도록 설정하였고, 배경은 초점 외의 영역으로 설정되며 골격을 흰색으로 관찰하도록 설정하였다. 기법에서 사용되는 감소율(β , Algorithm 1 참조)은 각각 0.25로 동일하게 지정하였으며, 볼륨 데이터는 512×512×512 크기의 CT 데이터를 사용하였다.

[Fig. 8]에서 기존 방법 (a)는 초점 부분이 외부의 골격에 가려 관측이 방해되고 있다. 이를 해결하는 SFCVR(b)은 배경에 해당하는 골격을 투명하게 만들어 내부 관찰이 용이하나, 주변부 골격도 모두 투명해지는 부작용이 있다. 제안 방법인 BFCVR(c)에서는 초점 부분 앞쪽에 위치한 골격만 투명하게 하여 중심부 관찰이 가능하며, 초점의 외부에 해당하는 다른 골격부는 그대로 유지시켜 복합가시화가 원활하게 일어나고 있다.



[Fig. 9] Volume cutting operation with focus+context rendering

[Fig. 9]는 3.3절에서 제안한 볼륨 절단을 적용한 가시화 결과이다. 512×512×512 크기의 머리 부분 CT영상을 사용하였으며, 초점은 경추 영역으로

골격이 흰색으로 보이도록 설정하였고, 배경은 근육부를 노란 색으로 설정하였다. (a)는 절단 이전의 결과이며, (b)는 중앙을 기준으로 절단한 결과이다. 절개 기능이 원활하게 수행되고 있으며, (b)에서 볼 수 있듯이 두개골 부분을 제외한 경추 부분만이 흰색으로 올바르게 표시되어 있다.



[Fig. 10] Sphere shaped focus+context rendering

[Fig. 10]는 초점부를 육면체가 아닌 구 형태로 설정한 결과이다. TF는 상기 [Fig. 9]와 동일하며 512×512×512의 다리부분 CT 데이터를 사용하였다. 초점 부분을 구로 설정하여 골반에 위치하였다. 이렇게 초점 부분의 설정은 내부/외부 관정이 원활한 임의의 도형으로 제작 가능하며, Unity3D에서 제공하는 원기둥, 구 등의 기본 도형을 이용할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 게임 엔진 Unity3D를 이용하여 의료 진단 프로그램에서 사용자의 요구에 즉각적으로 반응하는 두 가지 응용 기술을 제안하였다.

첫 번째로 광선 추적법으로 얻은 의료영상에 대해 중요부분을 조작하여 내부/외부를 복합적으로 관찰하는 방법을 제안하였다. 기존 방법은 배경이 지나치게 초점을 가리거나, 배경이 지나치게 투명해지는 단점이 있다. 본 연구는 초점부의 경계 진입시 누적된 불투명도를 수정하는 BFCVR방법을

제안하였고 이를 통해 원활한 복합 가시화를 수행할 수 있다.

또한 게임 엔진의 충돌 처리 등의 기능을 그대로 사용할 수 있도록, 기존의 가상 평면에서 광선을 발사하는 대신, 육면체 표면에서 광선을 투사하는 방법을 적용하였다. 그 결과 삼차원 CT 의료 영상을 게임 오브젝트로 취급 가능하였고, 게임 엔진에서 제공하는 이벤트 처리 및 스크립트를 사용한 동작을 구현할 수 있다. 그 활용으로, 초점 배경 가시화를 수행하면서 절개 기능을 손쉽게 추가할 수 있다.

그 결과 의료 시뮬레이션의 기초 기능인 볼륨의 조작과 절개가 게임 엔진을 통해 제작 가능함을 보였다. 향후 마칭 큐브[14]와 같이 볼륨 데이터로부터 표면 데이터를 자동으로 생성하는 알고리즘을 이용하여 초점부에 임의 형태의 메시를 사용할 수 있도록 발전시킬 예정이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was financially supported by Hansung university.

REFERENCES

- [1] Unity, Game Engine, <https://unity3d.com/kr/unity>.
- [2] L. Wang, Y. Zhao, K. Mueller, and A. Kaufman, "The magic volume lens: An interactive focus+ context technique for volume rendering", *Visualization, IEEE*, pp. 367-374, 2005.
- [3] P. Sabella, "A Rendering Algorithm for Visualizing 3D Scalar Fields", *Proceeding of the 15th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp.51-58, 1988.
- [4] K. Engel, M. Hadwiger, J. M. Kniss, C. Rezk-Salama, and D, "Real-Time Volume Graphics", *CRC Press*, 2006.
- [5] M. Levoy, "Display of Surfaces from Volume Data," *IEEE Computer Graphics and Application*, Vol. 8, No. 3, pp. 29-37, 1988.
- [6] L. Gallo and A. P. Placitelli, "High-Fidelity Visualization of Large Medical Datasets on Commodity Hardware", *ISRN Biomedical Engineering*, pp. 1-9, 2013.
- [7] J. Kruger, J. Schneider, and R. Westermann, "Clearview: An interactive context preserving hotspot visualization technique", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 12, No. 5, 2006.
- [8] E. Monclus, J. Diaz, I. Navazo, and P. P. Vazquez, "The virtual magic lantern: an interaction metaphor for enhanced medical data inspection", In *Proceedings of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 119-122, 2009.
- [9] T. Ropinski, and K. Hinrichs, "Real-time rendering of 3D magic lenses having arbitrary convex shapes", In *Proc. of International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG)*, pp. 379-386, 2004.
- [10] I. Viola, M. Feixas, M. Sbert, and M. E. Groller, "Importance-driven focus of attention", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 12, No. 5, pp. 993-940, 2006.
- [11] J. Krüger, and T. Fogal, "Focus and context-visualization without the complexity", *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, Springer, pp. 45-48, 2009.
- [12] L. Zheng, L. C. Correa, and K. L. Ma, "Visibility guided multimodal volume visualization", In *Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), IEEE.*, pp. 297-304, 2013.
- [13] T. Ha and H. Kye, "Medical data visualization using Unity3D game engine", *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, Vol. 23, No. 3, pp. 87-94, 2017.
- [14] W. E. Lorensen, and H. E. Cline, "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm", *ACM Siggraph computer graphics*, Vol. 21, No. 4, pp. 163-169, 1987.



하 태 준 (Ha, Tae-Jun)

약 력 : 2017 한성대학교 컴퓨터공학과 학사
현재 한성대학교 정보시스템공학과 석사과정

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스



계 희 원 (Kye, Heewon)

약 력 : 1999 서울대학교 전산학 학사
2005 서울대학교 컴퓨터공학 박사
현재 한성대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 실시간 가시화, 의료영상처리
