

가상 수술 의료 시뮬레이션을 위한 소작 효과 애니메이션 기법

이정진[†], 이 호^{**}, 계획원^{***}

요 약

최근 의료 환경에 도입되고 있는 가상 의료 시뮬레이션을 통한 실습 교육은 학습 효과를 최대화한다. 특히 최소 침습적 수술 분야에서 가상 수술 의료 시뮬레이션의 필요성이 매우 증가하고 있다. 최소 침습적 수술 환경에서 많이 발생하는 소작 효과는 단순 출혈 효과로 표현되고 있어 아직까지 현실감이 있는 소작 효과 애니메이션 기술은 제안되지 않고 있다. 본 논문에서는 사실적인 실시간 소작 애니메이션 기법을 제안한다. 제안 기법은 메쉬의 정점에 대한 칼라 값을 구성하는 각 요소 색상을 개별적으로 변화시키고, sigmoid 함수를 이용한 가중치 부여로 유효 영역 메쉬 내부의 부드러운 색상 변화를 통하여 사실적이고, 자연스러운 소작 효과의 애니메이션이 가능하였다. 또한, 소작 칼라 버퍼를 제안하여 중첩된 소작 효과 애니메이션도 자연스럽게 표현하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 가상 수술 의료 시뮬레이션의 현실감, 몰입감을 크게 증진시켜 이러한 시뮬레이션을 사용하는 의사 혹은 의대생들에 대한 교육의 효과를 극대화시킬 수 있다.

Cauterizing Effect Animation for Virtual Surgery Medical Simulation

Jeong-Jin Lee[†], Ho Lee^{**}, Hee-Won Kye^{***}

ABSTRACT

Practice education using virtual medical simulation has been recently introduced to maximize the learning efficiency in clinical environment. Specially, in minimally invasive surgery, the necessity of virtual surgery medical simulation has been substantially increased. Since cauterizing effect occurred frequently in minimally invasive surgery has been represented by simple bleeding, realistic cauterizing effect animation has not been proposed yet. In this paper, we propose realistic real-time cauterizing effect animation. Proposed method changes the individual element of each vertex color of the mesh and uses sigmoid function to impose weights for the smooth color change inside the valid mesh region so that the results of cauterizing effect animation was realistic. In addition, by proposing cauterizing color buffer, overlapped cauterizing effects can be realistically represented. Proposed method greatly improves the sense of the real and absorption in virtual surgery medical simulation so that the education efficiency of doctors and students using medical simulation can be maximized.

Key words: Virtual Surgery Medical Simulation(가상 수술 의료 시뮬레이션), Cauterizing Effect Animation(소작 효과 애니메이션), Special Effect(특수 효과), Cauterizing Effect Visualization(소작 효과 가시화), Cauterizing Color Buffer(소작 칼라 버퍼)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이호, 주소 : 서울특별시 동작구 노량진동 쌍용에가아파트 103동 1207호(156-050), 전화 : (02)2164-4911, E-mail : leeho@stanford.edu
접수일 : 2011년 5월 9일, 수정일 : 2011년 7월 16일
완료일 : 2011년 8월 29일

[†] 계획원, 가톨릭대학교 디지털미디어학부 조교수
(E-mail : imagination@catholic.ac.kr)

^{**} 정희원, 스탠포드대학교 방사선종양학과 박사후연구원

^{***} 정희원, 한성대학교 정보시스템공학과 조교수
(E-mail : kuei@hansung.ac.kr)

※ 본 연구는 2011년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음. 또한, 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원과제임. 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2011-0014041). 또한, 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2011년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음.

1. 서 론

최근 다양하고, 새로운 질병들이 발생하고, 수많은 의료 장비와 기술들이 개발되어 임상에 적용되고 있으므로 의사와 의대생들에게는 이에 맞는 새로운 의료 기술의 학습이 요구된다. 교육에 있어서 가장 효과가 높은 방법은 실제와 유사한 상황을 재현하여 직접 실습해 보는 시뮬레이션이다. 따라서 컴퓨터 기술을 이용한 의료 시뮬레이션을 통한 실습 교육은 학습 효과를 최대화한다[1].

특히 최근에는 전통적인 절개술보다 회복 시간이나 통증을 획기적으로 줄일 수 있는 최소 침습적 수술법들이 확산되고 있다[2]. 최소 침습적 수술은 수술 부위를 최소로 절개한 후에 절개 부위를 통하여 내시경과 수술 기구를 삽입하여 수술하는 방법이다. 그러나 이 방법은 수술 기구의 조작이 난해하다. 수술 부위를 긴 기구들을 통해 접촉하기 때문에 전통적인 절개술보다 촉감의 전달이 둔해진다. 기구들은 절개 부위를 중심으로 회전하기 때문에 지렛대 효과로 내부 움직임이 반대로 되어 직관적이지 못하고 동작이 증대되어 전달되기 때문에 미세한 제어가 어렵다. 또한, 모니터의 영상은 원근감이 없어 수안 능력의 저해를 가져온다. 따라서 최소 침습적 수술 기술은 전통적인 절개술보다 습득하기 어렵다.

이런 문제점들을 보완하기 위하여 최소 침습적 수술 분야에서는 그림 1에서와 같이 가상 공간에서의 가상 수술 의료 시뮬레이션을 통한 학습 방법들이 필요하다[3]. 시각 및 햅틱 인터페이스를 통하여 최소 침습적 수술을 충실하게 재연할 수 있으며, 환자들에 대한 위험 부담이 없이 학습을 할 수 있는 환경을 제공할 수 있다. 또한, 언제나 학습이 가능하여 학습의 빈도를 높일 수 있으며 평가도 즉시 정성적 및 정량적으로 이루어질 수 있다. 수술 환경을 변화하면서 여러 가지 조건과 상황에 대한 대응도 훈련할 수 있다.

하지만, 현재의 가상 수술 의료 시뮬레이션 기술들은 현실감과 몰입감이 부족하다는 문제점을 갖고 있다[1]. 가상 수술 의료 시뮬레이션을 구성하는 다양한 요소 기술 중 시각적 가시화 기술이 아직까지 수술 환경을 완벽하게 재현하지 못하고 있다. 특히 최소 침습적 수술 환경에서 많이 발생하는 소작 도구의 사용에 따른 소작 효과는 단순 출혈 효과로 표현

되고 있어 아직까지 현실감이 있는 소작 효과 애니메이션 기술은 제안되지 않고 있다.

가상 수술 의료 시뮬레이션을 위한 출혈 효과 분야에는 다음과 같은 기존 연구들이 수행되었다. Müller등은 Smoothed Particle Hydrodynamics을 사용하여 Navier-Stokes 방정식을 고속으로 해석하여 출혈 효과를 시뮬레이션하는 기법을 제안하였다[4]. 이 기법은 약 3000개 정도의 입자를 사용하면, 실시간 응용이 가능한 속도를 보여주었지만, 유체 입자들이 밀집된 형태로 움직여 사실감이 부족하였다. Andersson은 입자를 이용한 기법들과 그리드를 이용한 기법[5]을 사용한 출혈 효과 애니메이션 결과를 비교하였다[6]. 이 논문은 출혈의 종류에 따라서 각각 다른 기법을 사용해야 사실감 있는 표현이 가능하다는 결론을 보여주었다. Daenzer 등은 입자와 텍스처 기법을 사용한 출혈 애니메이션 기법을 제안하였고, 속도는 빠르지만, 사실감이 매우 부족하였다[7]. Zátönyi등은 Navier-Stokes 방정식과 3차원 텍스처 매핑을 이용한 사실적인 출혈 애니메이션 기법을 제안하였으나 매우 좁은 영역에서만 실시간 응용이 가능하다는 문제점이 있었다[8,9].

본 논문에서는 가상 수술 의료 시뮬레이션을 위한 소작 애니메이션 기법을 제안한다. 제안 기법은 메쉬의 정점에 대한 칼라 값을 구성하는 각 요소 색상을 개별적으로 변화시키고, sigmoid 함수를 이용한 거리에 따른 가중치 부여를 통하여 사실적이고, 자연스러운 소작 효과의 애니메이션이 가능하다. 또한, 소작 칼라 버퍼를 제안하여 중첩된 소작 효과 애니메이션도 자연스럽게 표현한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 2장에서는 본 논문에서 제안한 소작 효과 애니메이션 기법에 대하여 설명한다. 3장에서는 실험 결과를 기술하고, 4장에서는 결론을 맺는다.



그림 1. 가상 수술 의료 시뮬레이션 시스템 사례

2. 소작 효과 애니메이션 기법

본 논문에서 제안한 소작 효과 애니메이션 기법은 크게 세 가지 단계로 구성된다. 먼저 가상 수술 환경에서 의사의 소작 도구와 인체 장기가 접촉하면, 소작 효과 시뮬레이션을 위한 유효 영역 메쉬의 모델링을 수행한다. 다음으로 소작 효과 가시화를 위하여 선택된 중심 메쉬의 시간에 따른 색상 변화를 모델링하고, 유효 영역 메쉬 내부의 중심으로부터 거리에 따른 점진적인 색상 변화 가시화를 수행한다. 마지막으로 가시화될 칼라 값을 구성하는 붉은색(Red, R), 녹색(Green, G), 파란색(Blue, B) 요소 각각에 대하여 소작 칼라 버퍼의 값과의 비교를 통하여 소작 칼라 버퍼의 칼라 값을 갱신한다. 갱신된 소작 칼라 버퍼의 (R, G, B) 값을 이용하여 최종적으로 소작 효과를 가시화하면, 소작 효과 애니메이션이 가능하다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 기법의 전체적인 과정을 보여준다.

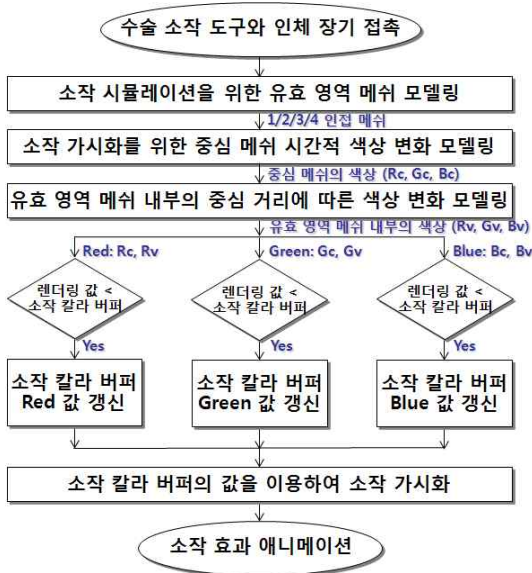


그림 2. 본 논문에서 제안한 기법

2.1 소작 유효 영역 메쉬 모델링

가상 수술 의료 시뮬레이션에 많이 사용되는 가상 간 수술의 경우 인체를 컴퓨터 단층 촬영(Computed Tomography, CT)한 후에 CT 데이터 상에서 영상의 밝기값과 기울기 크기를 바탕으로 영상 처리 기법을

이용하여 간 영역을 자동으로 분할할 수 있다[10]. 이와 같이 분할된 3차원 간 영역의 표면을 추출하고, 표면을 삼각형 메쉬 데이터로 변환하여 가상 수술 의료 시뮬레이션에 사용한다. 다른 장기의 경우에도 인체 장기 모델을 구성하는 메쉬는 비슷한 절차로 생성할 수 있다.

다음으로 가상 수술 환경에서 의사의 소작 도구와 인체 장기가 접촉하면, 소작 시뮬레이션을 위한 유효 영역 메쉬 모델링을 수행한다. 의사의 마우스 입력은 2차원으로 전달되기 때문에 의사가 선택한 점 $P_{\text{mouse}}(x, y, 0)$ 로부터 3차원 공간 상의 메쉬에 해당하는 점 $P_{\text{mesh}}(x', y', z)$ 를 계산해야 한다. 시각 행렬 M 은 3차원 공간 상의 좌표 (x', y', z) 을 컴퓨터 모니터 상의 2차원 화면 좌표 $(x, y, 0)$ 로 다음의 식과 같이 투영하는 행렬이다[11].

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}. \quad (1)$$

이 때, 3차원 공간의 점을 2차원 화면 상의 점으로 투영시키는 과정에서 화면 좌표 $(x, y, 0)$ 에서 출발하여 화면 내부로 사용자가 물체를 바라보는 방향의 직선 상에 있는 모든 3차원 점들은 동일한 2차원 화면 좌표 $(x, y, 0)$ 로 투영된다. 따라서 화면 내부의 깊이 k 에 대하여 (x, y, k) 는 M^{-1} 을 이용하여 (x', y', z') 로 다음과 같이 역변환될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = M^{-1} \begin{pmatrix} x \\ y \\ k \end{pmatrix}. \quad (2)$$

화면 내부의 깊이 k 를 0부터 증가시키면서 2차원 입력에 해당하는 3차원 좌표 (x', y', z) 을 식 (2)에 따라 계산하여 해당하는 점이 메쉬와 처음으로 교차하는 점 $P_{\text{mesh}}(x', y', z)$ 를 탐색하면, 그 점이 위치한 메쉬는 수술 소작 도구와 인체 장기가 접촉한 중심 메쉬가 된다.

다음으로 위의 방법으로 탐색된 의사에 의해 선택된 인체 장기 모델의 중심 메쉬에 대하여 연결 정보를 바탕으로 선택된 중심 메쉬와 바로 인접하는 메쉬들을 1-인접 메쉬로 구성하고, n -인접 메쉬들에 인접하는 메쉬들을 $(n+1)$ -인접 메쉬로 정의하고, 4-인접 메쉬까지 구성하여 1/2/3/4-인접 메쉬의 자료구조를 생성한다(그림 3a). 소작 효과는 이렇게 모델링된 유효 영역 메쉬(그림 3b)들의 색상 변화를 통하여 가시화된다.

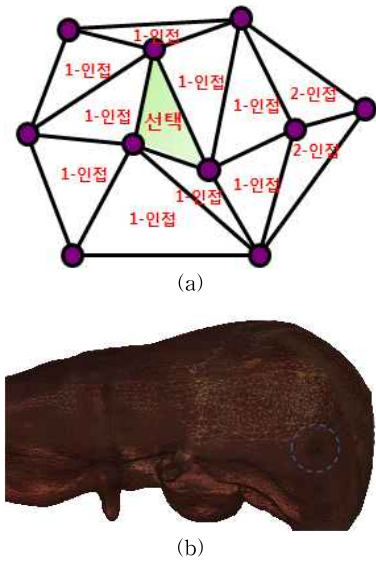


그림 3. 소작 시뮬레이션을 위한 유효 영역 메쉬 모델링 과정
 (a) 선택된 중심 메쉬와 1/2/3/4-인접 메쉬
 (b) 소작 유효 영역 메쉬의 예 (어두운 부분)

2.2 소작 효과 가시화

다음으로 소작 효과 가시화를 위하여 유효 영역 메쉬들의 소작 도구와의 접촉 시간에 따른 색상 변화를 모델링한다. 의사에 의하여 선택된 인체 장기 모델의 메쉬의 중심이 소작 도구와 접촉된 시간에 따라서 접촉되는 부위는 물리적으로 노란색으로 먼저 변화하고, 다음으로 갈색으로 변화하고, 최종적으로 검정색으로 변화한다는 관찰을 바탕으로 본 논문에서는 소작 도구와 접촉하는 메쉬의 색상을 다음과 같이 연속적으로 변화시킨다. 소작 도구와 인체 메쉬의 접촉 시간에 따라서 다음과 같은 알고리즘을 적용한다.

(1) 먼저, 푸른색 요소 밝기값을 감소시킨다. 이 과정을 통하여 시각적으로는 노란색으로 변화하는 효과를 얻을 수 있다.

(2) 푸른색 요소 밝기값이 0에 도달하였는지를 판단한다.

(3) 다음으로 붉은색 요소와 녹색 요소 밝기값을 동시에 감소시킨다. 이 때, 녹색 요소 밝기값의 감소 속도는 붉은색 요소 밝기값의 감소 속도의 2배로 하면, 갈색을 거쳐 검정색으로 변화하는 효과를 얻을 수 있다.

다음으로 유효 영역 메쉬 내부의 중심으로부터 거리에 따른 점진적 색상 변화 모델링을 수행한다. 소

작 도구로 의사가 선택한 중심 메쉬는 실제 소작 효과로 인한 색상 변화와 유사하게 색상이 변화하고, 이를 기준으로 유효 영역 메쉬의 주변 1/2/3/4-인접 메쉬의 정점 색상을 시각적으로 현실감있고, 자연스러운 표현이 가능하도록 시간에 따라서 점진적으로 변화시킨다. 중심 메쉬의 무게 중심으로부터 1/2/3/4 인접 메쉬의 정점까지의 거리 d 에 따라서 다음의 0부터 1사이의 값을 갖는 sigmoid 함수를 가중치로 두어 각 인접 메쉬들의 정점의 색상을 변화시킨다.

$$Sigmoid(d) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{d-\beta}{\alpha}}} \tag{3}$$

sigmoid 함수는 α 와 β 에 따라서 다양한 변화의 모델링이 가능하여 최적의 가시화 효과를 얻을 수 있다. 이 때, α 값이 커질수록 거리에 따른 색상 변화는 부드럽게 모델링되고, β 는 거리에 따라서 중심 메쉬의 색상 변화를 기준으로 50%의 색상 변화를 보이는 위치를 결정한다(그림 4).

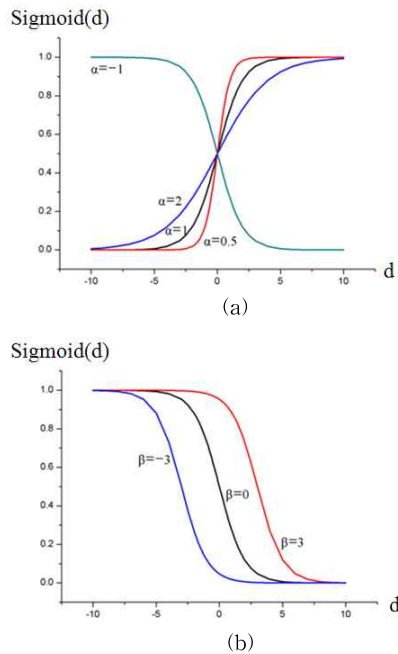


그림 4. sigmoid 함수의 변화
 (a) α 에 따른 변화 (b) β 에 따른 변화

2.3 중첩된 소작 효과 가시화

위와 같은 방법으로 중심 메쉬와 유효 영역 메쉬의 정점들에 대하여 계산된 색상 값을 직접 가시화에

사용하게 되면, 두 개 이상의 소작 효과가 위치적으로 중첩될 경우 먼저 수행된 소작 부위가 나중에 수행되는 소작 부위에 의하여 색상이 잘못 변화되는 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 2.1절과 2.2절의 방법으로 계산된 칼라 값 (R, G, B) 각각의 색상 변화를 직접 가시화하지 않고, 메쉬에 대한 소작 칼라 버퍼를 사용하여 메쉬를 구성하는 각 정점들에 대하여 (R, G, B) 칼라 값을 생성한 후 소작 칼라 버퍼의 값을 갱신한다. 이 때, 계산된 칼라 값 (R, G, B)와 현재 저장된 소작 칼라 버퍼의 값과의 비교를 통하여 R, G, B 각각에 대하여 소작 칼라 버퍼의 칼라 값보다 어두운 경우에만 소작 칼라 버퍼를 갱신하고, 갱신된 소작 칼라 버퍼의 값을 이용하여 소작 효과를 가시화하여 소작 효과 애니메이션을 수행한다. 소작 칼라 버퍼는 소작 효과 애니메이션이 적용되기 전에 흰색 (255, 255, 255)으로 초기화된다. 이와 같이 소작 칼라 버퍼를 이용하면, 두 개 이상의 소작 효과가 지역적으로 중첩되는 부위에도 자연스러운 소작 효과의 표현이 가능하다.

3. 실험 결과

제안 기법에 대한 실험은 Intel Core2Duo Q8400 2.66GHz CPU와 4GB 메모리를 갖는 시스템에서 Nvidia GeForce GT 230 그래픽스 하드웨어를 사용하여 수행되었다. 그래픽스 라이브러리는 OpenGL을 이용하여 구현되었다. 제안 기법은 간과 담낭을 절제하는 복강경 가상 수술 의료 시뮬레이션 시스템에 적용되었다. 제안 기법으로 소작 효과 애니메이션을 수행하기 위하여 필요한 sigmoid 함수 인자는 a 는 -1로, β 는 5로 설정되었다.

그림 5(a)-(d)는 가상 수술 환경에서 소작 효과를 제안 기법으로 시간에 따라서 애니메이션한 결과 예시를 보여준다. 그림 5에서와 같이 의사가 소작 도구로 선택한 부위가 자연스러운 원형의 형태로 노란색, 갈색, 검정색의 순서로 실제 물리적인 소작 효과와 유사한 현실감을 갖도록 애니메이션이 되어 가상 수술 의료 시뮬레이션 환경에서의 현실감과 몰입감을 극대화할 수 있었다.

그림 6은 중첩된 소작 효과의 애니메이션 결과를 보여준다. 소작 칼라 버퍼를 사용하지 않고, 계산된 색상 값을 직접 가시화에 사용하게 되면, 그림 6(a)와

같이 두 개 이상의 소작 효과가 위치적으로 중첩될 경우 먼저 수행된 소작 부위가 나중에 수행되는 소작 부위에 의하여 색상이 잘못 변화되는 경우가 발생하였다. 하지만, 본 논문에서 제안한 소작 칼라 버퍼를 사용하면, 그림 6(b)와 같이 중첩된 소작 효과도 자연스럽게 가시화가 가능하였다.

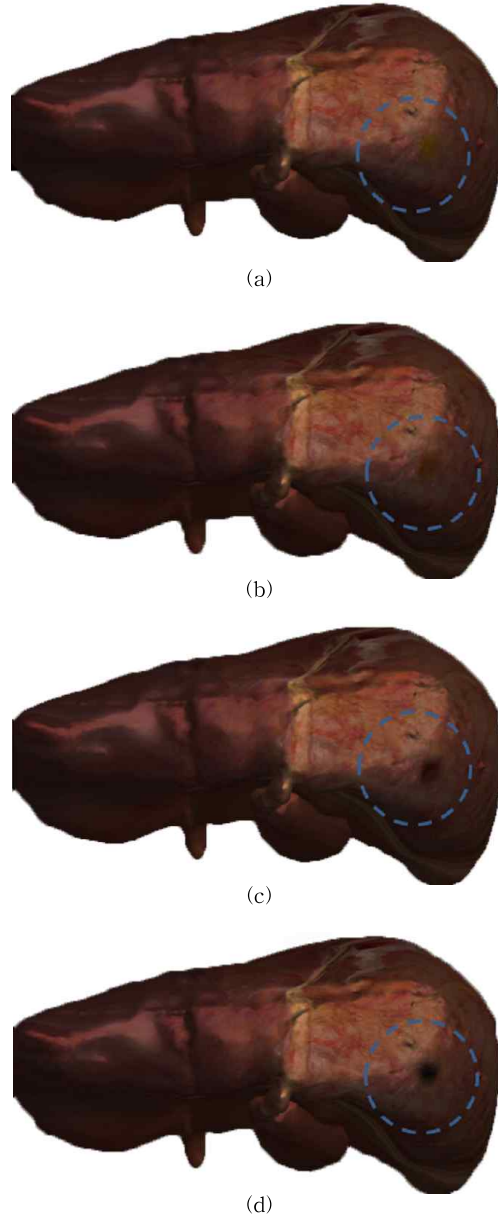


그림 5. 가상 수술 환경에서 소작 효과를 제안 기법으로 애니메이션한 결과 예시
(a)-(d) 시간에 따른 소작 효과 애니메이션

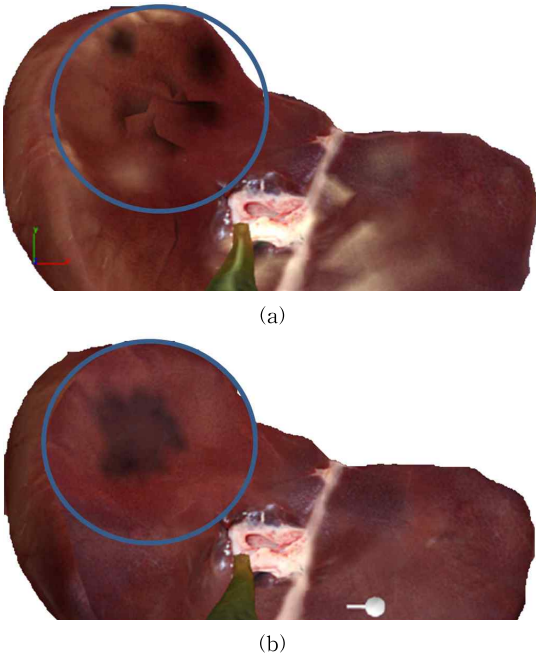


그림 6. 중첩된 소작 효과 애니메이션 결과
 (a) 소작 칼라 버퍼를 이용하지 않은 경우
 (b) 소작 칼라 버퍼를 이용한 경우

본 연구에서 제안된 기법에 대하여 다음과 같은 정량적, 정성적 분석을 5년 이상의 복강경 수술 경험이 있는 외과 의사 3명을 대상으로 수행하였다. 먼저 표 1의 정량적 평가는 중첩된 소작효과에 대한 가시화 정도, 컬러 버퍼 기법에 따른 자연도, 가상 의료 시뮬레이션 환경을 가정한 사용자 평가에 대하여 수행되었고, 각 항목들에 대하여 평균적으로 우수한 평가 결과를 얻었다. 표 2의 정성적 평가는 제안 기법의 현실감과 몰입감에 대하여 수행되었고, 역시 각 항목들에 대하여 평균적으로 우수한 평가 결과를 얻었다.

표 1. 제안 기법의 정량적 평가

(++: 매우 우수, +: 우수, 0: 보통, -: 나쁨, --: 매우 나쁨)

	중첩된 소작 효과의 가시화 정도	컬러 버퍼 기법에 따른 자연도	가상 의료 시뮬레이션 환경 사용자 평가
의사 1	++	++	+
의사 2	+	+	0
의사 3	+	+	+

표 2. 제안 기법의 정성적 평가

(++: 매우 우수, +: 우수, 0: 보통, -: 나쁨, --: 매우 나쁨)

	제안 기법의 현실감	제안 기법의 몰입감
의사 1	++	++
의사 2	0	+
의사 3	++	+

제안 기법은 2,978개의 삼각형으로 구성된 메쉬에 대하여 평균 50 fps(frame per second)의 속도를 보여주어 실시간 성능이 필요한 가상 수술 의료 시뮬레이션 시스템에 적용이 가능하였다. 메쉬를 구성하는 삼각형 숫자에 따른 속도 변화를 평가하기 위하여 삼각형 숫자를 1,489개로부터 5,956개까지 변화시켜 가면서 렌더링 속도를 측정하였다. 이 때, 렌더링 속도의 범위는 평균 31 fps으로부터 평균 97 fps까지의 성능을 보여주었다.

4. 결 론

본 논문에서는 가상 수술 의료 시뮬레이션을 위한 소작 애니메이션 기법을 제안하였다. 제안 기법은 메쉬의 정점에 대한 칼라 값을 구성하는 각 요소 색상을 개별적으로 변화시키고, sigmoid 함수를 이용한 가중치 부여로 유효 영역 메쉬 내부의 부드러운 색상 변화를 통하여 사실적이고, 자연스러운 소작 효과의 애니메이션이 가능하였다. 또한, 소작 칼라 버퍼를 제안하여 중첩된 소작 효과 애니메이션도 자연스럽게 표현하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 가상 수술 의료 시뮬레이션의 현실감, 몰입감을 크게 증진시켜 이러한 시뮬레이션을 사용하는 의사 혹은 의대생들에 대한 교육의 효과를 극대화시킬 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 박진아, “의료 시뮬레이션: 가상 수술,” 한국정보과학회 학회지, Vol.23, No.10, pp. 49-52, 2005.
 [2] 김종혁, 전경철, “부인과 복강경수술에서의 최소 침습적 접근,” 대한산부인과내시경학회지, Vol.21, No.2, pp. 101-106, 2009.
 [3] 최수미, 김정식, “3차원 의료영상의 가시화: 기술, 응용, 전망,” 한국멀티미디어학회논문지,

Vol.8, No.1, pp. 47-57, 2004.

[4] M. Müller, S. Schirm, and M. Teschner, "Interactive Blood Simulation for Virtual Surgery Based on Smoothed Particle Hydrodynamics," *Technology and Health Care*, Vol. 12, No.1, pp. 25-31, 2004.

[5] J. Stam, "Stable Fluids," Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 121-128, 1999.

[6] L. Andersson, "Real-Time Fluid Dynamics for Virtual Surgery," Master's Thesis, Chalmers University of Technology, 2005.

[7] S. Daenzer, K. Montgomery, R. Dillmann, and R. Unterhinninghofen, "Real-Time Smoke and Bleeding Simulation in Virtual Surgery," *Studies in Health Technology and Informatics*, Vol.125, pp. 94-99, 2007.

[8] J. Zátanyi, R. Paget, G. Székely, M. Grassi, and M. Bajka, "Real-Time Synthesis of Bleeding for Virtual Hysteroscopy," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.2878, pp. 67-74, 2003.

[9] J. Zátanyi, R. Paget, G. Székely, M. Grassi, and M. Bajka, "Real-Time Synthesis of Bleeding for Virtual Hysteroscopy," *Medical Image Analysis*, Vol.9, No.3, pp. 255-266, 2005.

[10] 이정진, 김경원, 이호, "MR 영상에서 정규화된 기울기 크기 영상을 이용한 자동 간 분할 기법," 한국멀티미디어학회논문지, Vol.13, No.11, pp. 1698-1705, 2010.

[11] E. Angel and D. Shreiner, *Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach with Shader-Based OpenGL*, Addison Wesley, 2011.



이 정 진

2000년 2월 서울대학교 기계항공
학부 학사
2002년 2월 서울대학교 컴퓨터공
학부 석사
2008년 8월 서울대학교 컴퓨터공
학부 박사

2007년 10월~2009년 2월 울산대학교 의과대학 영상의
학과 연구교수
2009년 3월~현재 가톨릭대학교 디지털미디어학부 조
교수
관심분야: 영상 정합, 영상 분할, 컴퓨터 보조 수술, 가상
내시경, 컴퓨터 애니메이션



이 호

2000년 8월 숭실대학교 전자전기
정보통신공학부 학사
2002년 8월 숭실대학교 정보통신
공학과 석사
2009년 2월 서울대학교 컴퓨터공
학부 박사

2009년 9월~현재 스탠포드대학교 방사선종양학과 박
사후연구원
관심분야: 삼차원 재구성, 영상 정합, 의료 영상 처리,
컴퓨터 그래픽스



계 희 원

1999년 2월 서울대학교 전산과학
과 학사
2001년 2월 서울대학교 전기컴퓨
터공학부 석사
2005년 8월 서울대학교 전기컴퓨
터공학부 박사

2006년 1월~2007년 3월 서울대학교 컴퓨터연구소 연구원
2007년 9월~현재 한성대학교 정보시스템공학과 조교수
관심분야: 볼륨 가시화, 실시간 렌더링, 대용량 영상처리