

## 볼륨 변형과 실시간 햅틱 시뮬레이션을 위한 하이브리드 탄성체 모델

Hybrid Elastic Model for Volumetric Deformation and Real-time Haptic Simulation

조재환, Jaehwan Cho\*, 김석, Seok Kim\*\*, 박진아, Jinah Park\*\*\*

**요약** 최근 다양한 햅틱 알고리즘과 햅틱 장비가 개발되면서 햅틱을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션이 증가하고 있다. 햅틱 시뮬레이션은 기본적으로 1000Hz 정도의 비교적 고속 리프레쉬를 요구한다. 기존 햅틱 시뮬레이션은 대상 모델을 간략화 해서 고속 리프레쉬 요구사항을 만족 시켰다. 하지만, 유연체 가변형 모델 시뮬레이션은 시각적 변형요소가 중요하기 때문에 모델을 간략화 할 경우에 시각적으로 좋지 않은 결과를 초래한다. 햅틱 렌더링만 담당하는 모델을 따로 분리하여 병렬처리를 통해 햅틱과 변형 시뮬레이션을 모두 하는 경우도 있지만 두 모델간의 관계가 명백하지 않아 문제가 발생하기도 한다. 이 논문에서는 유연체 시뮬레이션을 위한 볼륨 변형 모델과 햅틱 렌더링 모델을 정의하고 두 모델간의 관계를 정의한다. 또한, 충돌처리 등 사용자 인터렉션에 필요한 알고리즘을 제안하고 수술시뮬레이션 등에 적용해보고자 한다.

**Abstract** As various haptic algorithms and haptic equipments have developed, the computer simulation includes the haptic simulation. Basically, the haptic simulation requires very fast refresh rate approximately 1000 Hz. The traditional haptic simulations have satisfied that requirement by simplifying the target model. In soft body simulation, simplifying the deformation is not good because the visual feedback is important. Separating haptic model from deformable model can be solution of that problem. However, the user may feel a subtle distinction because the relationship between two models are not clear. In this paper, we propose the hybrid model to manipulate haptic rendering and deformation and define the relationship between two models.

**핵심어:** 볼륨 모델, 가변형 모델, 질량-스프링 모델, S-Chain 모델, 햅틱

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2008-000-11678-0)

\*주저자 : 한국정보통신대학교 공학부 CGV 연구실 석사과정 e-mail: zerodin85@icu.ac.kr

\*\*공동저자 : 한국정보통신대학교 공학부 CGV 연구실 석사과정 e-mail: gs0137@hotmail.com

\*\*\*공동저자 : 한국정보통신대학교 공학부 CGV 연구실 교수; e-mail: jinah@icu.ac.kr

### 1. 서론

컴퓨터 시뮬레이션에 대한 수요가 증가하면서 다양한 분야에 컴퓨터 시뮬레이션이 사용되고 있다. 컴퓨터 시뮬레이션의 목표는 시뮬레이션 할 대상이 무엇인지에 따라 결정된다. 이 논문에서 제안한 시뮬레이션 알고리즘의 주요 목표는 시각적으로 현실감 있는 볼륨 변형과 빠른 볼륨 촉각 피드백을 동시에 다루는 것이다.

가변형 모델을 다루는 시뮬레이션에서 볼륨(Volume) 데이터는 표면(Surface) 데이터에 비해 데이터의 양이 많으므로 큰 계산 복잡도를 요구한다. 다른 선형 연구들에서는 시뮬레이션의 스케일이나 구조를 간소화하거나 GPU를 이용하여 계산 비용을 줄이고 있다. Stephane Cotin 은 선형 유한요소법(Finite Element Model)을 이용하여 기존 유한요소법의 큰 복잡도를 줄였다 [1-2]. Yan Chen은 볼륨 데이터의 복셀 (Voxel)을 간단한 질량-스프링 모델로 표현하였다

[3]. Fabrice Jailet 은 파티클 (Particle)을 이용하여 볼륨 데이터를 반영 하였다[4].

가상 환경에서 인간이 물체를 인지할 때, 촉각 피드백은 시각 피드백만큼 중요한 요소이다. 우리는 이전에 S-Chain (Shape retaining Chain) 모델을 이용하여 볼륨 가변형 모델의 촉각 피드백을 실시간으로 계산하는 방법을 제안 한적이 있다 [5]. 시각 렌더링은 실시간 시뮬레이션에서 30 Hz 정도의 리프레쉬를 요구하지만 실시간 촉각 렌더링은 1,000 Hz 정도의 고속 리프레쉬를 요구한다. S-Chain은 계산 복잡도가 낮은 모델이기 때문에 촉각 렌더링의 고속 리프레쉬 요구 조건을 만족시킬 수 있었다. 하지만, 볼륨 변형을 계산하는 알고리즘이 선형식이기 때문에 변형의 모양이 선형으로 나타나고 이것은 시각적으로 사실적이지 않았다. 이 논문에서는 촉각 피드백을 실시간으로 계산하는 동시에 변형이 시각적으로 사실적으로 묘사되는 하이브리드 모델을 제안한다.

우리는 다른 이전 연구 중 에서 유연체(Soft Body)를 시물레이션하는 방법으로 듀얼 모델을 제안한적이 있다 [6-7]. 듀얼 모델은 2개의 모델로 구성되어 있다. 하나는 볼륨 S-Chain 모델을 이용하여 햅틱 피드백을 실시간으로 계산하였고, 다른 하나는 서피스 질량-스프링 모델을 이용하여 변형의 모양을 효과적으로 계산하였다. 하지만, 듀얼모델에서는 서로 다른 두 모델간의 연관 관계가 정의되어 있지 않고, 시각적인 변형 모양은 볼륨 데이터를 반영 하지 못한다. 이 논문에서 제안하는 모델에서 촉각 피드백을 계산하기 위한 모델과 시각적 변형을 계산하는 모델 간의 연관관계를 정의하여 듀얼 모델의 한계를 극복 하고자 한다.

## 2. 햅틱 모델

햅틱 모델은 촉각 피드백만을 계산하기 위한 모델로 빠른 리프레쉬(1,000Hz 정도)를 요구하기 때문에 서론에서 언급한 S-Chain 모델이 매우 적합하다.

### 2.1. S-Chain 모델

S-Chain 모델의 기본요소는 체인이며 크기와 이동할 수 있는 범위로 정의 된다. 이동할 수 있는 범위는 그림 1과 같이 이차원의 경우 최소X, 최대X, 최소Y, 최대Y로 정의되며 굵기로 표현 될 수 있다. 각각 이동 할 수 있는 범위가 작은 경우 굵은 체인, 이동 할 수 있는 범위가 넓은 경우 얇은 체인에 대응된다.

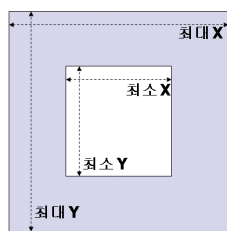


그림 1 푸른색 부분은 체인의 이동할 수 있는 범위를 나타낸다.

체인의 크기는 볼륨데이터의 복셀 크기를 반영 할 수 있으며 모델의 해상도를 결정한다. 체인의 굵기가 복셀의 강성 변수를 결정한다. 굵은 체인은 강성 변수가 크며 단단한 부분을 표현하고 얇은 체인은 강성 변수가 작고 부드러운 물질을 표현한다 (그림 2).

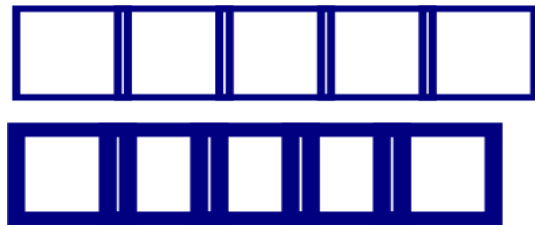


그림 2 얇은 체인(위)이 굵은 체인(아래)보다 변형 될 수 있는 길이가 길며 이것은 보다 부드러운 물질을 나타낸다.

모델의 변형은 그림 3에서와 같이 상호작용이 일어나는 체인 (그림3에서 붉은색 체인)에 인접한 체인들이 움직일 수 있는 범위내에 있도록 움직인다. 그림 3의 변형의 결과에서 노란색 체인들은 인접한 체인 중에 변형에 의해서 움직인 체인만을 표시하였다. S-Chain은 변형 시에 인접 체인만 계산에 포함되므로 모델전체를 시물레이션 하는 다른 알고리즘에 비해 시간복잡도를 줄일 수 있다. 하지만, S-Chain은 물리기반 알고리즘이 아니므로 변형의 결과 모양이 실제와 비슷하게 나타나지 않는다.

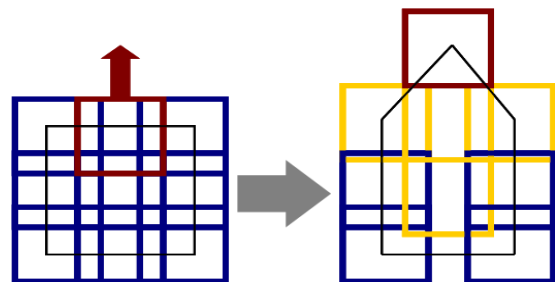


그림 3 S-Chain 알고리즘을 이용한 변형으로 붉은색 체인은 상호작용이 일어나고 있는 체인을 나타내고 노란색 체인은 변형시 고려된 체인을 나타낸다.

햅틱 피드백은 변형 후 늘어난 체인의 수와 거리에 비례해서 생성한다. 수식 (1) 에서 d는 체인이 움직인 거리를 K는 각 체인의 강성변수를 나타내며 F는 햅틱 피드백으로 생성할 힘을 나타낸다.

$$F = \sum_i^n d(i) * K_i \quad (1)$$

## 3. 물리 모델

이전 장에서 설명한 S-Chain은 물리 요소를 반영하지 않았기 때문에 변형의 결과가 시각적으로 사실적이지 않았다. 물리 기반 알고리즘에는 주로 질량-스프링이나 유한요소법을 이용하는 것이 일반적이다. 질량-스프링을 사용할 경우엔 사실적으로 표현하기 위해서 많은 매개변수 값들을 실험적으로 찾아내야 하고 유한요소법을 이용할 경우엔 시간복잡도가 모델의 스케일에 따라 기하급수적으로 증가한다는 단점이 있다. 본 논문에서는 S-Chain의 변형 정보를 기반으로

계산량을 줄일 수 있는 질량-스프링 알고리즘을 제안한다.

### 3.1. Adaptive 질량-스프링 모델

기존의 대다수의 질량-스프링 시뮬레이션은 표면 모델이기 때문에 대상 모델의 해상도가 높아져도 고려해야 하는 숫자는 크게 늘어 나지 않았다. 하지만, 표면 모델은 물체 표면의 정보만 가지고 있기 때문에 물체 내부의 성질을 표현 할 수 가 없는 단점이 있다. 볼륨 모델로 시뮬레이션을 할 경우 모델의 해상도가 높아남에 따라 시뮬레이션시 고려해야하는 질량과 스프링의 숫자가 기하급수적으로 늘어나기 때문에 실시간 시뮬레이션의 요구 조건인 30Hz 정도의 리프레쉬를 만족할 수 없다.

본 논문에서는 볼륨모델을 adaptive하게 실시간으로 질량-스프링 모델로 구성하여 계산복잡도를 줄이고 실시간으로 시뮬레이션이 가능한 알고리즘을 제안한다. 먼저, 햅틱 모델의 기본요소인 체인을 물리모델의 기본요소인 질량과 스프링으로 변환해 준다. 그림 4과 같이 S-Chain 모델의 체인간의 연결정보를 바탕으로 스프링을 생성하고 체인의 강성변수를 각 스프링의 강성변수에 반영 시켜준다.

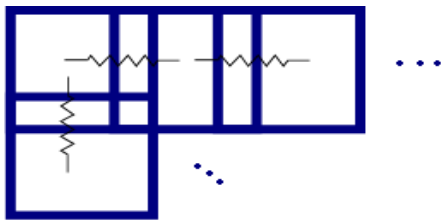


그림 4 체인간의 연결방향에 따라 스프링을 연결한다.

변형을 일으키는 탄성력은 매 시뮬레이션 루프마다 후크의 법칙 식(2)에 따라 계산된다.

$$F_i = \sum_i^n -k_i d_i + b_i d_i' \quad (2)$$

일반적인 질량-스프링 알고리즘은 매 루프마다 모든 질량과 스프링의 탄성력을 다시 계산하기 때문에 시뮬레이션의 규모가 커짐에 따라서 시뮬레이션 계산 비용은 기하급수적으로 증가하게 되고 시뮬레이션이 실시간으로 이루어 질 수 없게 된다. 제안한 adaptive 알고리즘에서는 계산량을 줄이기 위해 변형시 변위가 아주 작은 질량을 무시 할 수 있다고 가정하였다. 질량-스프링의 경우 탄성위치에너지는 식(3)과 같은 2차식으로 표현된다. 변위 d가 매우 작을경우 에너지도 작아지기 때문에 어느 정도 (경계값) 이하의 에너지는 모두 무시하였다. 그 결과 매 시뮬레이션 타임마다 고려해야 하는 질량과 스프링의 숫자를 줄일 수 있었다.

$$E = \frac{1}{2}kd^2 \quad (3)$$

이것은 시뮬레이션 시 에너지가 전역 최소값에 수렴하지 않지만 지역 최소값에 수렴할 수 있게 한다. 하지만, 총 탄성 위치에너지를 너무 많이 무시할 경우에 문제가 발생할 수도 있다. 이것은 전체적인 움직임을 표현하지 못하는 문제를 야기할 수 있지만 전체적으로 큰 변형이 없으면 이것은 큰 문제가 되지 않는다 (그림 5). 또한, 모든 질량이 큰 에너지를 갖게 될 경우 adaptive알고리즘으로 얻는 이점이 사라지게 된다.

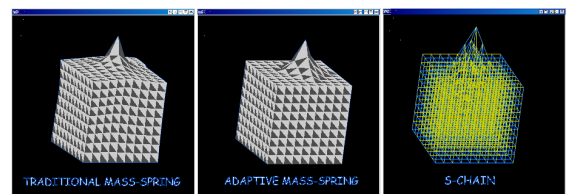


그림 5 왼쪽부터 일반적인 알고리즘, adaptive 알고리즘, S-Chain 알고리즘으로 박스의 변형을 계산한 결과. adaptive 알고리즘의 경우 변형이 많이 일어나는 부분의 모양은 일반적인 알고리즘을 사용한 부분이 비슷하지만 전체적인 움직임은 표현하지 못한다.

## 4. 비주얼 모델

비주얼 모델은 단순한 폴리곤 메쉬로 되어있다. 보통 비주얼 모델의 속을 들여다 볼 수 없기 때문에 표면 모델을 이용하여도 충분하다. 이 표면 데이터는 사실적 묘사를 위해 이전 섹션에서 설명한 두 모델들에 비해 해상도가 높다. 물리모델에서 계산된 변형의 정보는 비주얼 모델에 반영되어 비주얼 모델은 볼륨 데이터임가 아님에도 불구하고 볼륨 변형을 표현 할 수 있게 된다. 두 모델간의 해상도 차이는 보간을 이용하여 처리하였다. 평균값 좌표[8]를 이용하여 물리 모델 한개의 노드에 여러개의 정점을 연결 하였다.

### 4.1. 평균값 좌표

평균값 좌표는 간단하지만 보간을 효율적으로 할 수 있는 방법이다. 평균값 좌표는 블록 메쉬뿐 아니라 좀 더 일반적인 달린 메쉬에서도 사용할 수 있는 장점이 있다. 매 시뮬레이션 타임마다 비주얼 모델의 정점은 물리 모델의 질량의 위치에 의해 보간된다.

## 5. 충돌 모델

실시간 시뮬레이션을 위해서는 물체들 사이의 충돌 여부

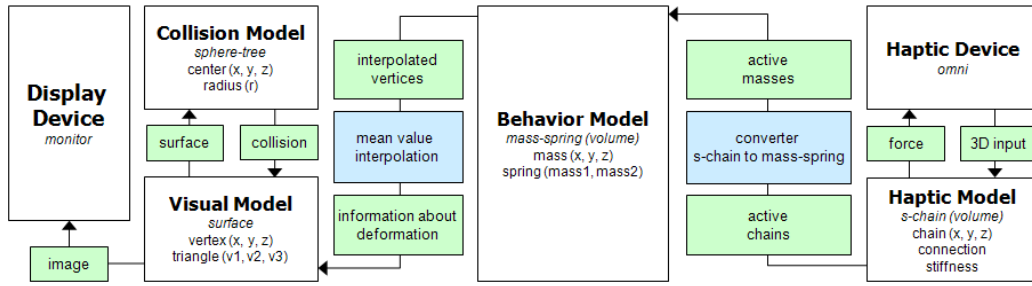


그림 6. 흰색은 모델이나 장비를 나타낸다. 녹색은 모델이나 장비에서 주고받는 데이터를 표시한다. 예를 들면, Haptic Device는 3D input을 생성하여 전달하고 force를 전달 받는다. 파란색은 주고받는 데이터가 알맞지 않을 경우 적절하게 변환하는 변환 함수이다.

를 빠르게 검사해야 한다. 이를 위해 사용되는 대표적인 방법이 그림 7과 같이 모델을 감싸는 스피어 트리(Sphere Tree)를 이용하는 것이다. 즉, 가장 낮은 레벨의 스피어(그림 7의 레벨 1)을 먼저 검사하고 차츰 상위 레벨의 스피어들을 검사하면서 마지막으로 최상위 스피어가 포함하고 있는 모델의 정점이나 면만을 검사한다면, 처음부터 정점이나 면만을 검사했을 때보다 빠르게 충돌 여부를 검사할 수 있다.

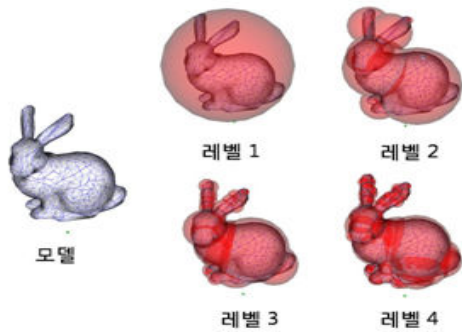


그림 7 모델을 감싸는 스피어 트리. 레벨이 증가할수록 스피어의 크기가 작아지고 모델의 좁은 범위만을 포함한다.

이러한 스피어 트리를 생성함에 있어서 중요한 것은 스피어를 생성하는 방법이다. 우리는 기존에 잘 알려진 옥트리(아닌 보르노이 다이어그램을 이용한 Medial Axis 방식[9])를 사용함으로써 모델을 더욱 타이트하게 감싸는 스피어 트리를 생성하였다. 즉, 공간을 규칙적으로 8분할하여 스피어를 생성하는 Oc트리를 사용하지 않고, 모델의 중심축인 Medial Axis를 기준으로 스피어를 생성함으로써 더욱 모델에 타이트한 스피어 트리를 만들 수 있었다. 그러나, 지금까지 언급한 스피어 트리는 강체만을 대상으로 하기 때문에, 스피어 트리는 최초로 한번만 생성되고 그 이후로는 어떠한 업데이트도 하지 않는다. 따라서, 유연체와 같이 모델 자체가 변형이 일어날 경우 이러한 스피어 트리를 사용할 수 없다. 이러한 스피어 트리의 단점을 보완하기 위하여, 기존의 스피어 트리에 BD 트리[10] 알고리즘을 적용하였다. 즉, BD-트리 알고리즘은 모델의 변형의 정도를 대략적으로 추측하여 스피어의 크기를 변경함으로써 쉽고 빠르게 모델의 변형을 스피어 트리에 적용하였다. 그러나 BD-트리 알고리즘은 스피어의 크

기가 커지는 경우만을 반영하기 때문에 한번 커진 스피어의 크기가 다시 작아지지 않는다. 이러한 점을 보완하기 위하여 우리는 모델의 변형에 따라 스피어의 크기를 작아지게 하는 쉽고 빠른 방법을 개발하였다(그림 8). 스피어의 크기를 줄이는 것에 중요한 요소는 모델의 최 외각 점들의 집합이다. 즉, 모든 최 외각 점들이 스피어의 중심 쪽으로 움직였을 경우(그림 8의 오른쪽 그림), 스피어의 크기는 감소하게 된다. 결론적으로, 강체에 사용되었던 Medial Axis 기반의 스피어 트리에 BD-트리를 적용함으로써 유연체와 같은 가변형 모델에 스피어 트리를 이용하여 빠른 충돌 처리를 할 수 있도록 하였다. 여기에다가 우리는 기존의 BD-트리의 단점까지 극복함으로써 보다 빠르고 정확하게 충돌 처리를 할 수 있었다.

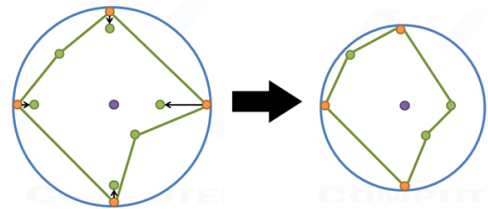


그림 8 모델의 변형에 따라 스피어의 크기를 줄이는 방법. 파란색 구가 스피어를 나타내며, 녹색선이 모델을 나타낸다. 주황색 점들은 물체의 최 외각에 있는 점들을 뜻한다. 보라색 점은 스피어의 중심을 나타낸다.

## 6. 모델간 연결 관계 정의

앞 섹션에서 햅틱, 물리, 비주얼, 충돌 4가지 모델을 설명하였다. 이번 섹션에서는 4가지 모델간의 연결 정보를 정의한다. Omni와 같은 햅틱장비를 이용하여 가상환경에서 가상 물체와 사용자가 상호작용이 일어나게 되면 햅틱 모델은 S-Chain 알고리즘을 이용하여 즉시 햅틱 피드백을 햅틱장치에 보내게 된다. 하지만, 앞서 섹션 2에서 설명한 S-Chain 모델은 물리 기반 모델이 아니기 때문에 시각적으로 사실적인 변형을 나타낼 수 없다. 제한한 모델은 물리 모델을 이용하여 이런 단점을 보완해주었다. 우선, 햅틱 피드백을 계산할 때 움직인 체인을 활성 체인(active chain)이라 정의하였

다. 활성 체인들의 정보들을 기반으로 질량-스프링 모델을 실시간으로 구성하고 시각적 변형을 계산한다. 계산된 시각적 변형의 정보는 비주얼 모델과 충돌처리 모델로 전달되어 화면에 표시되게 된다. 표1은 시스템 전반의 수도 알고리즘을 보여주고 있으며 시스템의 흐름을 설명한다.

**햅틱모델**

1. 사용자가 햅틱장치를 통해 상호작용을 한다.
2. 햅틱모델은 상호작용을 할 체인을 찾는다.
3. 사용자가 상호작용 하는 체인을 움직이면 S-Chain 알고리즘을 통해 햅틱 피드백을 전달한다.

**물리모델**

1. 햅틱 피드백을 계산할 때 활성화된 체인을 질량-스프링 모델로 구성한다.
2. adaptive 질량-스프링 알고리즘을 통해 변형의 정보를 계산한다.

**비주얼 모델**

1. 보간을 통해 물리모델 변형정보를 반영한다.

표 1 전체적인 시스템의 수도(pseudo) 알고리즘

**7. 결과**

결과의 내용은 2.4GHz, 2 GB Main Memory, NVidia Quadro 3450FX의 환경에서 수행했으며 각 결과는 햅틱 리프레쉬 약 1000Hz, 변형 리프레쉬 30Hz이상을 만족한다.

그림9 하이브리드모델을 3차원 박스에 적용하였다. 10x10x10의 S-Chain과 질량-스프링 모델에 100x100x100의 3차원 박스를 적용한 결과이다.

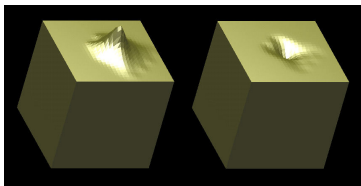


그림 9. 3차원 박스에 알고리즘을 적용

그림 10은 알고리즘을 간모델에 적용하여 수술 시뮬레이션으로의 확장을 할 수 있음을 보여준다.

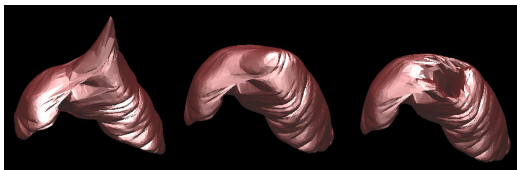


그림 10. 간모델에 알고리즘을 적용

구현한 시스템은 볼륨 모델을 사용하도록 제작되었기 때문에 그림 11과 같이 모델 내부의 정보를 반영 할 수 있다.

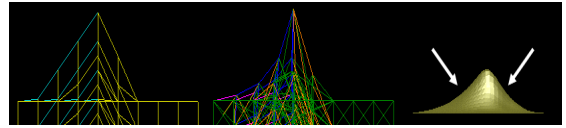


그림 11 볼륨 데이터를 사용하여 내부의 성질을 반영 할 수 있다. 변형이 일어난 곳 좌측이 우측보다 강성계수가 높은 물질로 구성되어 있다.

또한, 그림 12과 같이 모델들을 감싸는 스피어 트리를 프로그램이 자동적으로 생성하도록 하였으며, 이를 통해 모델들의 충돌 여부를 빠르게 검사할 수 있었다.

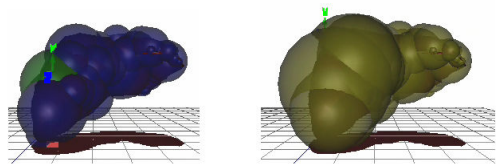


그림 12 간 모델을 스피어 트리로 구성하고 (좌) 변형이 일어났을 때 스피어 트리의 일부를 갱신 (우) 하여 빠르게 충돌처리를 할 수 있다.

**8. 결론**

이 논문은 유연체의 햅틱 렌더링과 볼륨 변형을 동시에 실시간으로 처리 할수 있는 하이브리드 모델을 제안하였다. S-Chain 모델을 이용하여 햅틱 렌더링을 계산하는 동시에 질량-스프링 모델을 이용하여 볼륨변형의 정보를 계산하여 최종적으로 비주얼 모델에 반영하였다. 결과에서 약 50,000 개 이상의 데이터들을 동시에 실시간에 처리 할 수 있다는 것을 증명하였다. 햅틱 피드백도 1,000Hz 리프레쉬 요구조건을 모델의 변형 정보도 30Hz 리프레쉬의 요구 조건을 만족시켰다.

제안된 모델은 현재 위상변이가 없는 유연체만을 다루고 있지만 수술 시뮬레이션 등의 일반 시나리오에 적용하기 위해서는 위상변이를 수반하는 모델로 확장할 것 이다. 또한, 현재는 상호작용점이 하나인 단일 상호작용만을 다루지만 여러 포인트에서 상호작용이 가능한 모델로 발전시킬 것이다.

**참고문헌**

[1] Bro-nielsen M, Cotin S, "Real-time Volumetric Deformable Models for Surgery Simulation using Finite Elements and condensation," Computer graphics forum ISSN 0167-7055.  
 [2] Cotin S, Delingette H, Ayache N, "Real-time



- Volumetric Deformable Models for Surgery Simulation," 2004.
- [3] Y. Chen, Q. Zhu, A. Kaufman, S. Muraki, "Physically-based Animation of Volumetric Objects," *ca*, p. 154, Computer Animation 1998, 1998.
- [4] F. Jaillet, B. Shariat, and D. Vandorpe, "Deformable volume object modeling with a particle-based system for medical applications," In 5th Int. Conf. in Central Europe on Comp. Graphics and Visualization WSCG'97, Plzen, CZ.
- [5] JA Park, SY Kim, SW Son, DS Kwon, "Shape Retaining Chain Linked Model for Real-Time Volume Haptic Rendering," *vv*, pp. 65-72, 2002 IEEE Symposium on Volume Visualization and Graphics (VV'02), 2002
- [6] SY Kim; SG Park; DS Kwon; JA Park, "A Hybrid Approach for a Real-time Haptic and Graphic Simulator in Virtual Environment," *Robot and Human interactive Communication*, 2007. RO-MAN 2007, The 16th IEEE International Symposium on , vol., no., pp.316-319, 26-29 Aug. 2007.
- [7] SK Park, JH Cho, JA Park, "Hybrid Deformable Model for Volumetric Haptic Rendering and Surface Graphic Rendering," 10th Germany-Korea Joint Workshop on Advanced Medical Image Processing, 2007.
- [8] Michael S. Floater, Geza Kos, Martin Reimers, "Mean Value Coordinates in 3D" *Computer Aided Geometric Design*, Vol. 22, No. 7., pp. 623-631, Oct 2005.
- [9] PHILIP M. HUBBARD, "Approximating Polyhedra with 스피어s for Time-Critical Collision Detection", *ACM Transaction*, Vol. 15, No. 3, July 1996, Page 179-210
- [10] Doug L. James and Dinesh K. Pai. BD-Tree: Output-Sensitive Collision Detection for Reduced Deformable Models. *ACM Transactions on Graphics*, 23(3), August 2004