

## 계층적 공간 분할 방법을 이용한 의복 시뮬레이션 시스템의 설계 및 구현\*

김주리\*\*, 조진에\*\*\*, 정석태\*\*\*\*, 이용주\*\*\*\*, 정성태\*\*\*\*

### Design and Implementation of a Cloth Simulation System based on Hierarchical Space Subdivision Method

Ju-Ri Kim \*\*, Jin-Ei Cho \*\*\*, Suck-Tae Joung \*\*\*\*, Yong-Ju Lee \*\*\*\*, Sung-Tae Jung \*\*\*\*

#### 요 약

본 논문은 여러 옷감 조각들을 이용하여 가상의 3차원 인체 모델에 옷을 입히기 위한 의복 시뮬레이션 시스템을 제안한다. 본 논문에서 의복은 서로 꿰매지는 2차원 재단 패턴으로 구성된다. 제안된 시스템은 3차원 인체 모델 파일과 2차원 재단 패턴 파일을 읽어 들인 다음에 질량-스프링 모델에 기반한 물리적 시뮬레이션에 의해 의복을 착용한 3D 모델을 생성한다. 본 논문의 시스템은 사실적인 시뮬레이션을 위하여 인체 모델을 구성하는 삼각형과 의복을 구성하는 삼각형 사이의 충돌을 검사하고 반응 처리를 수행하였다. 인체를 구성하는 삼각형의 수가 매우 많으므로, 이러한 충돌 검사 및 반응 처리는 많은 시간을 필요로 한다. 이 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 공간 분할 기법을 이용하여 충돌 검사 및 반응 처리 수를 줄이는 방법을 제안한다. 실험 결과에 의하면 본 논문의 시스템은 사실적인 영상을 생성할 수 있었고 수초 이내에 가상 인체 모델에 의복을 입힐 수 있었다.

#### Abstract

This paper describes a cloth simulation system for dressing 3D virtual human model with different pieces of clothing. The garments are constructed of cutting patterns seamed together. The system reads a body file and a cutting pattern file and produces a new model dressed with the specified garment by using a physical simulation based on a mass-spring model. For the realistic cloth simulation, it performs collision detection and response between triangles of the 3D human model and the garment. Because the number of triangles of a human model is very large, the collision detection and response requires a lot of time. To overcome this problem, we propose a pruning method which decreases the number of collision detection and response by a space-subdivision method. Experimental results show that the system produces realistic images and makes it possible to sew a garment around a virtual human body in several seconds.

▶ Keyword : cloth simulation, 충돌 처리, mass-spring model, hierarchical space subdivision method

• 제1저자 : 김주리

• 접수일 : 2004. 10. 16, 심사완료일 : 2004. 11. 17

\* 본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단에서 시행한 지역전력산업 석·박사 연구인력 양성사업의 지원에 의해서 수행하였음.

\*\* 원광대학교 컴퓨터공학과 박사과정, \*\*\* 원광보건대학 패션코디네이션과 교수

\*\*\*\* 원광대학교 컴퓨터 및 정보통신 공학부 교수

## I. 서론

오늘날 컴퓨터의 발달과 인터넷 보급의 확산으로 의류뿐만 아니라 모든 상품에 대한 창의적인 디자인 개발과 소비자 욕구 충족 결과에 의해 상품의 판매나 수출의 매출을 가름하게 되는 시대가 되었다. 정보화 사회인 현실에서 의상 디자인은 보다 빠르고 다양한 디자인을 창출해냄으로써 개발된 제품을 의류 업체, 판매 업체, 소비자 사이에 편리하고 효과적으로 공유할 수 있는 의상 디자인 시스템 기술이 필요하고 있다. 하지만, 현재의 의상 디자인 시스템 기술은 대부분 2D 영상에 의존하고 있다. 이는 주어진 사진 객체에서 디자인을 카탈로그 형식으로 보여주거나 같은 디자인에 옷감의 종류만을 바꾸어볼 수 있는 효과만을 가지고 있을 뿐 다른 디자인을 적용 시켜보거나 옷감의 종류에 따라 디자인을 바꾸어 볼 수 있는 방법은 가지고 있지 않다. 그렇기 때문에 패션디자인 분야에서는 직접 의상의 샘플을 제작하는데 많은 시간과 비용을 필요로 하고 있다. 그러나 패션 디자인 분야에서도 웹과 인터넷을 활용한다면 생산자, 판매자, 소비자 사이의 거리를 단축시킴으로써 생산과 판매의 효율성을 높일 수 있을 것이다(9)(10). 본 논문에서는 3차원 인체 모델이 주어진 상태에서 2D 디자인 패턴을 이용하여 의복이 모델에 입혀지는 과정을 보여주는 시스템을 제안한다. 본 논문의 시스템은 의상 디자이너가 의복을 실제로 제작해보지 않고서도 가상으로 그 결과를 시각적으로 확인할 수 있게 함으로써 디자인 시간과 비용을 줄이는데 활용될 수 있다. 더 나아가 향후에는 Web3D 기술을 적용시켜, 웹에서 사용자가 원하는 의상을 자신의 신체 사이즈에 맞게 미리 입어보고 구매할 수 있는 의류 전자상거래 분야에 사용될 수 있을 것이다.

## II. 옷감의 움직임 모델링

### 2.1 질량-스프링 모델

본 논문은 의복 시뮬레이션 분야에서 널리 이용되고 있는 입자 시스템 모델 중 (그림 1)과 같은 질량-스프링 모델(mass-spring model)을 사용한다. 이 모델은 옷감이 가지는 수직 방향의 씨실과 수평 방향의 날실로 짜여진 모델로 여러 개의 입자와 연결체로 이산화한 모델로서, 연결체를 통한 지역적인 입자 사이의 상호 작용에 의해 옷감 전체의 움직임과 주름을 표현할 수 있다. 즉, 각 질점은 씨실과 날실이 교차된 망형태로 구성할 수 있는데, 직물에 대해 입자(질량)와 입자들을 서로 연결하는 스프링으로 간략화한 모델이다. 대각선 방향 스프링이 쉬어링(shearing) 힘을 모델링하고, 수평, 수직 방향 스프링이 스트레칭(stretching) 힘을 모델링 한다. 휘어지거나 구부러지는 방향 스프링이 밴딩(bending) 힘을 모델링 한다.(1)(2)(5)

이때, 실제 천은 길이의 변형이 거의 없으며, 단지 씨실과 날실이 이루는 위상에 따라 굽어지고 휘는 변형이 일어난다.

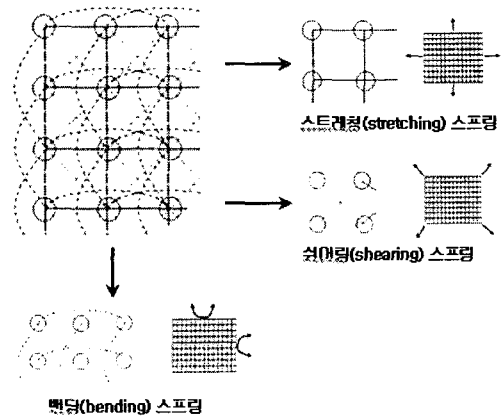


그림 1. 질량-스프링 모델  
Fig 1. Mass-spring model

이 모델은 입자와 스프링간의 상호작용을 통해 힘을 계산하고, 수치적 적분법을 통해 옷감의 움직임을 생성한다.

힘의 계산이 쉽고, 간단한 미분 방정식을 풀어 입자의 위치를 계산할 수 있으므로, 구현이 쉽고 옷감의 움직임을 빠르게 생성할 수 있는 장점이 있다.

### 2.2 힘의 계산

각 입자에 작용하는 힘은 내부 힘과 외부 힘으로 나누어진다.[4] 내부 힘은 주변 입자들과 연결된 스프링의 균형을 이룬다. 입자  $i$ 에 대한 스프링 힘은 Hook'법칙에 기반하여 식 (1)과 같이 모델링 된다.

$$F_i^{spring} = -k_{ij}(x_i - x_j) - l_{ij} \frac{(x_i - x_j)}{|x_i - x_j|} - k_{ij}^{damp} \left( (v_i - v_j) \cdot \frac{(x_i - x_j)}{|x_i - x_j|} \right) \quad \text{식(1)}$$

여기서  $x_i$ 는 입자  $i$ 의 위치,  $v_i$ 는 입자  $i$ 의 속도,  $k_{ij}$ 는 입자  $i$ 와 입자  $j$  사이의 스프링 상수,  $k_{ij}^{damp}$ 는 스프링 댐핑 상수,  $l_{ij}$ 는 입자  $i$ 와  $j$  사이의 스프링의 원래 길이를 나타낸다.

외부 힘은 중력, 공기 점성력, 풍력을 포함한다. 실제로 주변의 물체와 충돌하거나 접촉했을 때 생기는 충격력과 마찰력이 외부 힘에 포함되지만 본 논문에서는 충돌 반응 처리를 위해 힘을 생성하지 않고 속도와 위치를 변경하기 때문에 충격력과 마찰력은 고려하지 않았다. 중력은

$$F_i^{gravity} = m_i \cdot g \quad \text{식(2)}$$

가 되고, 여기서  $m_i$ 는 입자  $i$ 의 질량이고,  $g$ 는 중력 가속도이다. 공기 점성력은 속도에 저항적인 힘이므로 식(3)과 같이 정의된다. 간단한 계산을 위해 삼각형 중심이 아닌 입자 중심으로 점성력을 생성하였다.

$$F_i^{viscosity} = -k^{viscosity} v_i \quad \text{식(3)}$$

여기서  $-k^{viscosity}$ 는 스프링 상수를 나타낸다.

각 입자가 받는 풍력의 방향은 입자를 포함한 삼각형들의 평균 법선 방향이다. 이때 풍력의 크기는 바람의 방향과 삼각형의 법선 방향 사이의 각도에 따라 결정된다. 같은 방향이면 풍력은 최대가 되고, 수직을 이루면 0이 된다.

$$F_i^{wind} = \frac{\sum_{j=0}^{m-1} F_j^{wind} \cdot n_j}{m}, j \in 0, 1, \dots, m-1 \quad \text{식(4)}$$

여기서  $F_j^{wind}$ 는 풍력이고,  $m$ 은 질량,  $n_j$ 은 입자  $j$ 를

포함하는 삼각형  $j$ 의 법선 벡터이다.

입자  $i$ 에 대해 작용하는 힘은 내부의 힘인 스프링 힘과 외부 힘인 중력, 공기 점성력, 풍력을 더한 값으로 계산이 된다. 이렇게 계산 된 입자  $i$ 에 대한 힘은 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$F_i = F_i^{spring} + F_i^{gravity} + F_i^{viscosity} + F_i^{wind} \quad \text{식(5)}$$

### 2.3 움직임 계산

옷감의 움직임을 계산하기 위해서는 입자에 작용하는 힘을 계산한 후 이것을 기반으로 입자의 위치 변화를 계산해야 한다. 주어진 힘에 맞게 옷감의 움직임을 계산하게 되면 비균일 상태가 발생하게 되는데, 이 비균일 상태를 해결하기 위하여 여러 번의 움직임 계산과정을 반복해야 하고 이 과정은 많은 시간을 요구한다. 이러한 계산량을 줄이기 위하여 본 논문에서는 옷감의 균일 상태를 보장하기 위해 Provot의 explicit Euler integration으로 입자들의 위치를 구한 뒤 정해진 한계 길이 이상으로 늘어난 입자 사이의 거리, 즉 스프링의 길이를 줄여주는 길이 보정 방법을 적용하였다. [1][4]

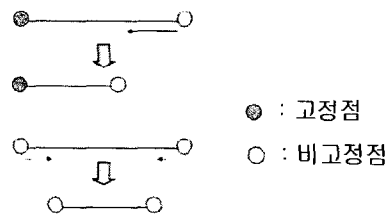


그림 2. 길이보정  
Fig. 2 Length Compensation

(그림 2)처럼 고정 입자와 비고정점 사이가 한계 길이 이상으로 늘어난 경우, 비고정점의 위치만 원래 길이가 되도록 보정하고, 비고정점들 사이인 경우는 두 점의 위치 모두 원래 길이가 되도록 보정하였다. 모든 스프링에 대해 길이 보정 과정을 적용하여 입자들 사이의 늘어난 길이를 줄임으로써 옷감의 움직임을 계산한다.

### III. 충돌 처리

#### 3.1 충돌 검사

의복 착용에서 옷감이 인체를 파고들면 옷감 사이로 인체가 보이게 되고 이것은 현실성을 엄청나게 떨어뜨리기 때문에 정확한 충돌 검사와 반응 처리가 필요하다.

옷과 인체 사이의 충돌 여부는 매 시간 간격마다 옷의 입자가 인체 표면의 안쪽에 위치하는지의 여부로 판단할 수 있다. 기존 연구[4]에서는 충돌 검사와 반응 처리 속도를 높이기 위한 방법으로 타원과 구를 사용한 바운딩 볼륨을 이용하고 있다. 그러나 이 방법을 사용하게 되면 충돌 검사에 대한 시간은 줄일 수 있으나, 옷감이 인체로부터 떨어져서 움직이는 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 인체를 구성한 다각형과 옷의 입자 사이의 충돌 검사를 함으로써 보다 정확한 시뮬레이션을 위해 충돌 검사 방법을 (그림 3)과 같이 물체를 이루는 공간을 8개의 트리로 분할해 나가는 계층적 공간 분할 방법[6][7]을 이용하여 옷감을 이루는 입자 점들 사이의 충돌을 검사하였다.

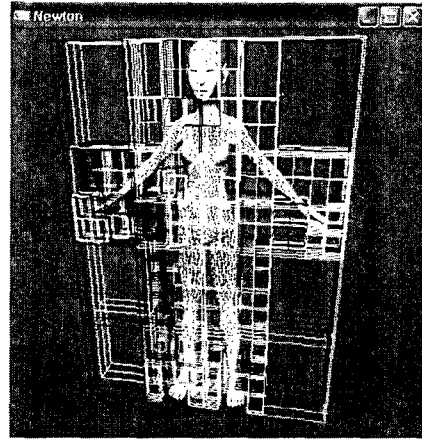


그림 4. 계층적 공간 분할 방법을 이용한 인체 모델의 분할  
Fig 4. Division of a human model by using hierarchical space subdivision method

좀 더 자세히 살펴보면, 인체 모델은 (그림 4)와 같이 Octree 공간 분할 방법을 이용하여 나누어진 서브트리 각각의 공간 안에서 일어나는 충돌을 검사하고 처리한다. 충돌은 시간 간격동안의 옷의 입자와 인체 표면을 이루는 점의 움직임을 선형으로 가정하고 시간에 따라 움직이는 점과 삼각형(vertex-triangle), 변과 변(edge-edge) 사이의 충돌을 검사하였다. 즉 두 개의 삼각형이 시간의 흐름에 따라 충돌하는 상황은 (그림 5)와 같이 삼각형의 한 점이 다른 삼각형의 면과 충돌하는 경우와 삼각형의 한 선분이 다른 삼각형의 한 선분과 충돌하는 두 가지 경우로 나눌 수 있다.

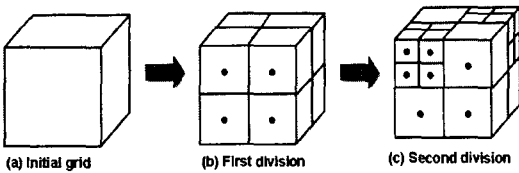


그림 3 계층적 공간 분할 방법  
Fig 3. Hierarchical space sharing method

이 방법을 사용하면 바운딩 볼륨 방법[4]을 사용하는 것에 비해 시뮬레이션 속도는 느리지만, 각 공간 안에 삼각형의 점과 면이 충돌하는 경우만 체크하여 저장하기 때문에 계산량을 줄일 수 있고 보다 자연스러운 시뮬레이션 결과를 볼 수 있었다.

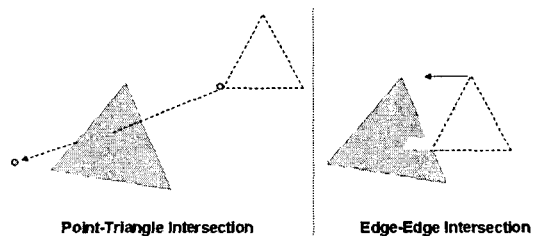


그림 5. 삼각형 사이의 충돌 상황  
Fig 5. Collision situation between triangles

Provot은 충돌하기 위한 필요조건을 설정함으로써 문제를 간단하게 풀 수 있는 방법을 개발하였다. 필요조건은 점과 삼각형이 충돌할 때 삼각형을 포함하는 평면과 점이 같은 평면상에 위치한다는 것이다. 따라서 (그림 6)과 같이 시간  $t$ 에 따라 이동하는 점  $P(t)$ 와 삼각형(ABC)이 같은 평면이 있게 되는 시간을 계산함으로써 점과 삼각형의 충돌

검사를 수행할 수 있다.

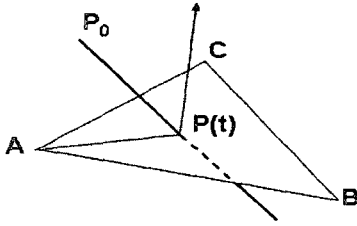


그림 6 충돌 검사  
Fig 6. Collision Detection

시간에 따른 정점의 위치는 다음과 식(6)과 같다.

$$P(t) = P_0 + t \times V, \quad t \in [0, \Delta t] \quad \text{식(6)}$$

여기서  $P_0$ 은 시작 위치이고,  $V$ 는 속도벡터,  $\Delta t$ 는 시뮬레이션 시간 간격을 나타낸다.

점과 삼각형이 같은 평면에 있게 되면 삼각형의 꼭지점  $A$ 와 점  $P(t)$ 가 이루는 벡터  $AP(t)$ 와 평면의 법선 벡터  $N$ 의 사이 각도는 90도이고 두 벡터의 내적 값은 법선 벡터가 수직이므로 0이다. 이를 식으로 나타내면 식(7)과 같다.

$$AP(t) \cdot N = 0 \quad \text{식(7)}$$

$$V = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}, N = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} o_x \\ o_y \\ o_z \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \text{라 가정}$$

하고, 식(7)을 풀면  $t$ 는 다음 식(8)과 같이 계산할 수 있다.

$$t = \frac{(a_x n_x + a_y n_y + a_z n_z) - (o_x n_x + o_y n_y + o_z n_z)}{v_x n_x + v_y n_y + v_z n_z} \quad \text{식(8)}$$

이와 같이 구한 충돌 시간은 점과 평면과의 충돌을 계산한 것이므로, 충돌이 삼각형 내부에서 발생할 수도 있고, 삼각형 외부에서 발생할 수도 있다. 따라서 충돌 시간을 계산한 다음에는 충돌 위치를 검사한다. 충돌이 삼각형 내부에서 발생하면 식(9)의 조건을 만족하는  $u, v$  값이 존재한다.

$$t \in [0, \Delta t], \exists u, v \in [0, 1], u + v \leq 1, \quad \text{식(9)}$$

$$AP(t) = uAB + vAC$$

식(8)과 같이 구한 충돌 시간을 식(9)에 대입하고 연립 방정식을 풀면  $u, v$  값에 대한 계산 식은 식 (10)과 같다. 을 얻을 수 있다.

$$u = \frac{(p_x - a_x)(c_y - a_y) - (p_y - a_y)(c_x - a_x)}{(b_x - a_x)(c_y - a_y) - (b_y - a_y)(c_x - a_x)} \quad \text{식(10)}$$

$$v = \frac{(p_x - a_x)(b_y - a_y) - (p_y - a_y)(b_x - a_x)}{(c_x - a_x)(b_y - a_y) - (c_y - a_y)(b_x - a_x)}$$

여기에서  $P(t), A, B, C$ 의 위치는 다음과 같이 가정하였다.

$$P(t) = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix}$$

$u, v$  값을 계산한 다음에는 식(9)의 조건이 만족되는지 검사하여 충돌 위치가 삼각형 내부인지 외부인지를 판별한다.

### 3.2 충돌 반응 처리

반응 처리는 충돌 검사 후에 충돌된 물체들을 적절히 위치시키는 과정이다. 이 과정을 통해 옷감이 인체 안으로 들어가거나 인체를 뚫고 지나가는 침투 현상을 막아야 한다. 또한 반응 처리 후에 옷감의 전체적인 균일을 유지해야 한다. 이 두 가지가 충돌 반응 처리의 목표가 된다. 정확한 반응 처리를 위해서는 정확한 충돌 시간과 위치를 알아내고 충격량과 마찰력을 생성하여 다음 위치를 계산해 주어야 한다. 인체와 옷감 사이의 충돌은 완전 비탄성 충돌로 생각하고 충돌 반응 처리를 계산한다.

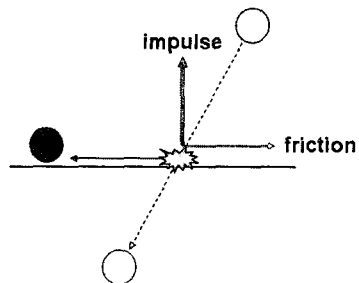


그림 7 충돌 반응 처리 모델  
Fig 7. Collision response processing model

(그림 7)은 입자가 이동하여 인체를 뚫고 지나가는 상황을 나타낸다. 여기서 입자가 이동하다가 인체의 평면과 충돌하는 순간에는 충격량이 발생한다. 이를 통해 충돌한 평면의 수직 방향에 해당하는 속도가 결정되는데, 이는 운동량 보존의 법칙에 의해 좌우되며 완전 비탄성 충돌인 경우 수직 방향 속도는 없어진다. 본 논문에서는 충돌 평면에 수직 방향으로 더 이상 진행이 불가능하므로 수직 방향의 속도 성분을 제거하고 충돌 평면에 수평 방향 성분의 속도만을 유지하여 다음 위치를 계산한다. 다음 위치는 충돌이 발생한 경우와 충돌이 발생하지 않은 경우로 나누어진다.

충돌이 발생한 경우에는 먼저 입자의 위치를 수정한다. 입자의 새로운 위치는  $P'$ 는

$$P' = P + t \times V \tag{식(11)}$$

로 계산하며 여기서  $t$ 는 충돌 시간을 나타내고  $P$ 는 이전의 위치,  $V$ 는 속도 벡터를 나타낸다.

충돌이 발생하지 않은 경우, 입자의 위치는

$$P' = P + \Delta t \times V \tag{식(12)}$$

로 계산하며,  $\Delta t$ 는 시뮬레이션 시간 간격을 나타낸다.

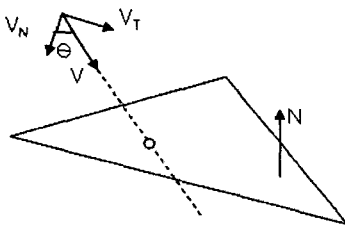


그림 8. 충돌 상황  
Fig 8. Collision situation

(그림 8)과 같이 충돌이 발생한 경우 입자의 속도는 수직 방향 성분은 없어지고 수평 방향 성분만 남게 된다. 수직 방향과 수평 방향의 속도는 식(13)으로 계산한다.

$$\begin{aligned} V_N &= -N \times |V| \times \cos \theta \\ &= -N \times |V| \times \left( \frac{V \cdot N}{|V|} \right) \cdot (-M) \\ V' &= V_T = V - V_N \end{aligned} \tag{식(13)}$$

$N$ 은 평면의 법선벡터로 정규화 된 값을 나타내고  $V$ 는 속도벡터,  $V'$ 는 새로운 속도벡터를 나타낸다.

정리하면 옷감과 인체사이의 충돌이 검출되면, 옷의 입자의 다음 시간 간격에서의 속도는 충돌한 인체 표면의 법선

방향의 속도와 부합되도록 충돌 면에 수직 방향으로는 더 이상 진행할 수 없기 때문에 수직 방향의 속도 성분을 제거하고 수평 방향 성분의 속도만을 유지한다.

#### IV. 의복 시뮬레이션의 3D 렌더링

본 절에서는 2D 패턴을 인체 모델에 입히는 과정에 대해 설명한다. 이 과정은 크게 두 가지로 나누어진다. 하나는 의상의 한 부분을 인체 모델에 부착시켜 인체 동작과 똑같이 움직이도록 하는 방법이고, 다른 하나는 여러 개의 2D 패턴을 재봉하여 인체 모델에 입히는 방법이다. 본 논문에서는 2D 패턴을 재봉하여 인체 모델에 입히는 방법을 사용하였다. 2D 패턴이 인체 모델에 입혀지는 과정을 보이기 위하여 우선 입의로 (그림 9)와 같은 샘플 패턴을 작성하여 사용하였다.



그림 9. 2D 패턴디자인  
Fig 9. 2D pattern Design

예로써 원피스인 경우에는 텍스트 파일에 원피스의 앞면과 뒷면의 외곽선이 그려질 수 있는 패턴 정보가 있어야 하며, 옷감을 구성하는 스프링 길이와 질량 점 위치를 작업하여 계산할 수 있도록 한다. 외곽선 안에 생성된 점들은 질량 점에 해당하고, 이 질량 점 사이는 스프링으로 연결한다. 이렇게 입력한 패턴 정보와 스프링 길이, 질량 점 위치, 재봉점 등 패턴에 필요한 정보를 입력하면 이 파일은 cloth로 저장하여 스프링에 연결하고 있는  $m \times n$  질량 점의 직사각형 토폴로지 매쉬 형태로 보여준다.



그림 10. 2D 패턴의 위치 조정  
Fig 10. Positioning of 2D patterns

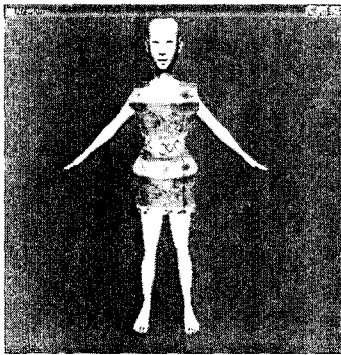


그림 11. 시뮬레이션 결과  
Fig 11. Simulation results

본 논문의 시스템에서는 먼저 (그림 10)과 같은 3D 인체 모델을 읽어 들인다. 이 인체 모델은 3D MAX에서 제작하여 ASC 형태로 저장된 것이다. 인체 모델을 읽어 들인 후에는 cloth 파일로 저장해 놓은 옷감 패턴을 읽어 들인다. 읽어 들인 옷감 패턴은 수작업으로 cloth 파일에 그 위치를 저장 시켜 놓았으며 (그림 11)과 같이 인체 모델 주위

에 옷감 패턴을 적절한 곳에 위치하도록 cloth 파일에서 조정하여 배치시킨 다음, 미리 설정된 재봉선을 따라 힘을 부여하게 되면 시뮬레이션을 수행하여 옷감 패턴을 바느질 하는 과정을 보여준다. (그림 11)은 (그림 10)에서 보여주는 두 장의 2D 패턴을 주어진 패턴 라인에 따라 옷감 조각이 함께 꿰매어지는 시뮬레이션 결과이다.

본 논문에서는 Pentium IV 1.7GHz, 448MB RAM을 가진 PC에서 C++와 OpenGL을 이용하여 구현된 시스템을 가지고 실험하였다. 시스템에서 이용한 의상은 짧은 치마, 긴 치마, T-Shirt, 원피스 등을 제작하여 사용하였고, 인체 모델을 각 공간분할 방법을 사용했을 경우와 사용하지 않을 경우로 나누어 실험하였다.

종류	짧은치마	긴치마	T-shirt	원피스
공간분할 방법을 사용한 경우(sec.)	0.358	0.410	0.451	0.577
공간분할 방법을 사용하지 않은 경우(sec.)	68	72	75	85

표 1. 시뮬레이션 시간 결과  
Table 1. Simulation Time Result

(표 1)과 같이 같은 조건상에서 시뮬레이션 했을 때, 공간분할 방법을 사용할 경우의 시뮬레이션 결과가 공간분할 방법을 사용하지 않은 경우에 비해 약 10배 가까이 빨라지는 것을 보여주고 있었다. 또한 기존 논문[4]에서는 움직이지 않는 인체 모델에 짧은 치마를 입히는 경우 5ftp의 결과를 보여주었지만 이는 선분과 선분 사이의 충돌과 다각형 모델의 점과 옷감의 삼각형 사이의 충돌을 고려하지 않았기 때문에 빠른 시뮬레이션 결과를 볼 수 있었던 반면, 본 논문에서 이용한 공간분할 방법의 경우 20ftp의 결과를 보여주고 있었다. 하지만 기존의 논문[4]은 빠른 시뮬레이션에 비해 옷감이 모델에 침투하거나 옷감이 부분적으로 늘어나는 현상을 보여주고 있으나, 본 논문에서는 옷감이 침투하거나 늘어나는 현상이 없는 보다 자연스러운 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

## V. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 옷감이 인체에 침투하는 현상이나 인체로부터 분리되지 않고 인체에 옷이 입혀질 수 있도록 실시간

에 상호 작용이 가능한 옷감 시뮬레이션을 구현하였다. 이는 실시간성에 가장 적합한 Provot의 질량-스프링 모델을 옷감 모델로 선택하였고, 자연적인 힘에 의해 변화되는 옷의 움직임 계산하는 방법으로 Explicit Euler integration과 길이 보정 방법을 선택하였다. 그리고 3D Max에서 사용하는 인체 모델 파일과 짧은 치마, 소매가 없는 셔츠, 원피스 등의 샘플 패턴에 필요한 데이터 정보를 저장한 의복 샘플 파일을 C++ 프로그램에 적용시켜 인체 모델과 옷감 샘플 패턴을 함께 불러들여 옷감 패턴을 인체 모델에 재봉하는 과정을 시뮬레이션 하였다. 향후 연구 과제로는 이러한 시뮬레이션 속도를 향상 시키고, 의상을 착용한 상태에서 인체 모델이 움직일 때 발생하는 자체 충돌을 처리하여 보다 빠르고 자연스러운 시뮬레이션 결과를 얻고자 한다. 그리고 2차원 옷감 조각을 제작하는 Fashion Studio[8] 의상 제작시스템과 같이 격자 위에서 연속적으로 격자점을 선택해 가면서 옷감 조각의 외곽선을 그리고, 그 외곽선을 이용하여 재봉할 수 있는 편집 프로그램을 개발하여 여러 가지 2D 디자인 패턴을 인체 모델에 적용시켜 보고자 한다.

**참고문헌**

[1] Vassilev, T.I "Dressing Virtual People". SCI, 2000  
 [2] Maciej Matyka & John A. De Goes, "Real Time Cloth Dynamics", <http://www.gameinstitute.com/>  
 [3] Baraff. D & Witkin. A, "Large Steps in Cloth Simulation", SIGGRAPH, 19-24, 1998  
 [4] 오승우, "Interactive Garment Animation", 한국과학기술원 석사학위 논문, 2001  
 [5] Chittaro. L & Corvaglia. D, "3D Virtual Clothing: from Garment Design to Web3D Visualization and Simulation", SIGGRAPH, 2003  
 [6] Provot. X, "Collision and self-collision handling in cloth model dedicated to design garments", 1997

[7] Volino. P & Magnenat-Thalmann. N, "Virtual Clothing Theory and Practice", P.115-119, 2000  
 [8] Fashion Studio, <http://www.dynagraphicsinc.com>  
 [9] 김영운, "도식화 피스기반 2D 패션 디자인 시스템의 설계 및 구현", 한국컴퓨터정보학회, 2004. 9.  
 [10] 김제홍, 주상호 "인터넷 비즈니스물 평가모델의 분석 연구", 한국컴퓨터정보학회, 2003. 8.

**저자소개**



**김 주 리**  
 2004년 ~ 현재 원광대학교  
 컴퓨터공학과 박사과정  
 <관심분야> 컴퓨터그래픽스, 영상 처리, XML, 컴퓨터 애니메이션



**정 성 태**  
 1999년 ~ 1999년  
 미국 Univ. of Utah 과학재단지원 해외 Post-Doc.  
 1995년 ~ 현재 원광대학교  
 컴퓨터 및 정보통신공학부 교수  
 <관심분야> 영상 인식, 영상 기반 렌더링, 컴퓨터 그래픽스



**정 석 태**  
 2001년 ~ 현재 원광대학교  
 컴퓨터 및 정보통신 공학부 교수  
 <관심분야> 공간 파서 생성기, 비주얼 시스템, 오감 정보통신



**이 용 주**  
 1994년 ~ 현재 원광대학교  
 컴퓨터 및 정보통신공학부 교수  
 2001년 ~ 현재  
 음성정보기술산업지원센터실장 (책임연구원)  
 <관심분야> 음성정보처리, 멀티미디어.



**조 진 애**  
 1988년 3월 1일 ~ 현재  
 원광보건대학 패션코디네이션과 교수  
 <관심분야> 서양의복구성, CAD