기하학적인 의복시뮬레이션에서 가상원통을 이용한 의복 3차원모델의 고속 관통검사와 수정

(High-Speed Penetration Detection and Correction of the 3-Dimensional(3D) Cloth Models Using a Virtual Cylinder in Geometrical Cloth Simulation)

최 창 석 †

(Changseok Choi)

요 약 본 논문에서는 가상원통을 이용하여 기하학적인 의복시뮬레이션에서 발생하는 의복 3차원모델의 관통을 고속으로 검사하고, 의복 3차원모델을 수정하는 새로운 방법을 제안한다. 의복을 개인 캐릭터에 기하학적으로 맞추는 경우, 의복이 인체를 국부적으로 관통하는 경우가 있다. 본 방법은 인체모델과 의복모델을 둘러싼 가상원통을 설정하고, 가상원통을 이용하여 관통지점의 후보들을 한 번에 압축하여, 후보 중에서 관통지점을 찾는 방법이다. 관통된 부분에서는 의복모델의 꼭지점을 밀어내거나 삼각형을 분할하여, 의복모델을 기하학적으로 수정한다. 이 방법은 바운딩볼륨을 이용하여 반복적으로 관통후보를 압축하는 물리적인 방법에 비해 고속처리가 가능하다.

키워드 : 의복 3차원모델, 인체 3차원모델, 기하학적 의복시뮬레이션, 관통검사, 의복수정

Abstract This paper proposes a new method for the high-speed penetration detection between the 3D human body model and the 3D cloth model using a virtual cylinder, and for the correction of the 3D cloth model. Penetration sometimes occurs locally, when the cloth model is adopted geometrically to the body. This method establishes the virtual cylinder surrounding the body model and the cloth model, and selects at a time the candidates of the penetrated points using the virtual cylinder. Finally, the penetrated points are detected among the candidates. Shift of the vertices or division of the edges in the penetrated points can correct the cloth model geometrically. This method works faster than the physical-based method. The latter requires the repeated detection of the penetrated points using bounding volume and the repeated corrections of the cloth model using dynamics.

Key words : 3D Cloth model, Human body model, Cloth simulation, Penetration detection, Cloth correction

1. 서 론

의복시뮬레이션은 인체에 의복을 맞추는 것으로, 인터넷 등의 응용에서는 실시간으로 개인체형에 여러 가지 의복을 번갈아 맞추기 때문에, 고속이 요구된다. 의복시뮬레이션은 물리적인 방법과 기하학적인 방법으로 나누어 볼 수 있다[1]. 물리적인 방법은 의복재질을 고려하여 의복 3차원모델의 꼭지점(vertex)을 질량이 있는 물체로, 엣지(edge)를 스프링으로 가정하여, 의복의 꼭지점에 작용하는 힘과 인체의 반발력이 균형을 이루도록 의복을 변형한다[2-5]. 이 방법은 인체와 의복간의 역학관계를 반영하기 때문에, 개인체형에 대한 의복착용모습을 현실과 유사하게 시뮬레이션할 수 있는 장점이 있다. 시뮬레이션에서는 의복모델의 꼭지점의 위치를 시간변위에 대해 에너지가 전파하는 형태로 반복적으로 구하기 때문에, 많은 시간이 소요되는 것이 단점이다. 시간변위를 크게 하거나[4], 폴리곤 수가 적은 모델을 사용하여[5] 시뮬레이션 시간을 줄이고 있지만, 인터넷 쇼핑 등 실시간 응용에는 아직은 곤란하다. 한편, 기하학적인 방법은 인체에 착용한 모습으로 제작된 의복모델을 개인체형에 맞게 기하학적으로 변형한다[6-8]. 이 방법은 개인체형과 의복의 역학관계는 반영하지는 않지만, 인체에 착용된 모습의 의복모델을 사용하기 때문에 어느 정

† 정 회 원 : 명지대학교 정보공학과 교수
cschoi@mju.ac.kr
논문접수 : 2005년 8월 5일
심사완료 : 2007년 6월 21일

도의 현실감도 있고, 의복을 고속으로 변형할 수가 있기 때문에, 인터넷 쇼핑 등 실시간 응용에 적합하다.

기하학적인 방법으로 Cordier 등은 의복모델을 제작한 후, 개인캐릭터를 구성하여 의복을 시뮬레이션하는 방법을 제안하였다[6]. 개인캐릭터는 남여 각각 1개의 기준모델을 미리 준비한 후, 기준모델을 변형하여 구성하였다. 개인체형에 대한 8항목의 계측치(키, 가랑이 높이, 팔길이, 목둘레, 가슴둘레, 가슴밑둘레, 허리둘레, 엉덩이 둘레)에 맞게 기준모델을 그룹별로 변형하고, 이외의 부분은 참조모델로부터 추정하였다. 이것은 개인캐릭터의 3차원모델구조(꼭지점의 수, 삼각형의 수와 연결성)를 모두 동일하게 유지하기 위한 것이다. 나아가서, 의복 3차원모델을 기준모델에 착용한 모습으로 제작한 후, 의복모델의 꼭지점별로 기준모델에서 가장 가까운 꼭지점과의 상대위치를 의복모델과 함께 저장하였다. 의복시뮬레이션에서는 저장한 상대위치를 이용하여 개인캐릭터에 맞게 의복모델을 변형한다. 그러나 캐릭터구성에서는 인체계측치가 8항목으로 고정되어 있기 때문에, 흔히 사용하는 4항목(키, 가슴둘레, 허리둘레, 엉덩이둘레)으로 개인체형에 대체적으로 근사하거나, 그 이상의 항목으로 좀 더 정밀하게 근사하는 것은 곤란하다. 또한, 의복시뮬레이션에서는 기준모델에 대한 의복모델의 꼭지점의 상대위치를 이용하고 있기 때문에, 이 시스템에서 제작한 개인캐릭터(모두 동일한 구조)와 의복모델만을 이용해야 하고, 다른 구조의 모델을 이용할 수 없는 단점이 있다.

한편, 필자 등도 기하학적인 방법으로, 개인캐릭터의 구성, 의복시뮬레이션의 방법을 제안하였다[7,8]. 개인캐릭터의 구성[7]에서는 성별, 체형별, 나이별로 인체기준모델 38종을 준비하고, 개인 계측치에 가장 가까운 기준모델을 변형하기 때문에, 개인체형에 좀 더 가까운 개인캐릭터를 구성할 수 있다. 나아가서, 4항목에서 36항목까지의 계측치를 계층적으로 나누어, 개인체형을 대체적으로 근사하거나 정밀하게 근사한 개인캐릭터도 구성할 수 있다. 의복시뮬레이션[8]에서는 모델구조에 대한 제한은 없고, 인체와 의복을 부위별로 그룹핑하여, 그룹별 특징점과 공극(인체와 의복사이의 거리)을 이용하여 개인캐릭터에 의복을 맞추는 방법이기 때문에, 다양한 구조의 모델을 이용할 수 있는 장점이 있다.

기하학적인 의복시뮬레이션에서는 의복이 인체를 국부적으로 관통하는 문제가 발생할 수 있기 때문에, 본 논문에서는 그 문제의 해결에 초점을 맞춘다. Cordier 등[6]은 의복모델의 제작단계에서 기준모델과 의복모델의 관통을 미리 방지한 후, 의복 꼭지점별로 기준모델과의 상대위치를 구해 놓는다. 의복시뮬레이션에서는 개인캐릭터에 상대위치를 적용하여 의복을 변형하기 때문에, 관통문제가 발생하지 않는다. 대신에 다양한 구조의 모델을 사용할 수가 없다. 한편, 필자 등[8]은 다양한 구조의 인체모델과 의복모델을 조합하여 의복시뮬레이션을 할 수 있는 대신에, 개인캐릭터에 의복모델을 맞추는 의복시뮬레이션의 단계에서 관통문제를 해결해야 한다.

관통문제를 해결하기 위해서는 관통이 발생한 지점의 탐색과 그 지점에서 의복모델의 수정이 필요하다. 특히, 관통지점의 탐색에 많은 계산과 시간이 소요된다. Cordier 등은 관통지점의 탐색방법에 대한 구체적인 서술은 없으나, 충돌검사에서 개발된 계층적인 바운딩 박스 트리(hierarchical bounding box tree) 등을 사용하였을 것이다[2]. 이 방법은 바운딩볼륨을 계층적으로 나누어 가면서 반복적으로 검사하여 관통지점을 찾아내는 방법이기 때문에, 많은 계산과 시간이 소요된다[3,4].

본 논문에서는 가상원통을 이용하여 의복 3차원모델이 인체를 관통하는 지점을 고속으로 탐색하여, 의복모델을 수정하는 새로운 방법을 제안한다. 즉, 인체모델과 의복모델을 둘러싼 가상원통을 설정하여, 원통중심에서 각 모델의 표면까지 거리를 비교하여, 관통을 탐색하는 방법이다. 이 방법은 의복이 인체를 감싸고 있다는 것을 이용한 것으로, 관통지점의 후보영역을 한 번에 지정할 수 있고, 의복수정도 간단한 장점이 있다. 이 때문에, 반복적으로 검사하는 방법보다 고속으로 관통 지점의 탐색과 의복수정이 가능하다.

2. 기하학적인 의복 시뮬레이션

의복시뮬레이션을 위해서는, 의복 3차원모델 DB를 구축하고, 개인 캐릭터에 의복 3차원모델을 맞출 필요가 있다[7,8].

2.1 인체와 의복의 3차원모델

그림 1과 같은 3차원모델은 꼭지점리스트와 삼각형리스트로 구성되어 있다. 꼭지점리스트는 표 1과 같이 모델의 꼭지점(2,700개 정도)을 정의한 3차원 좌표들의 집합이고, 삼각형리스트는 표 2와 같이 모델표면을 구성하는 작은 삼각형(5,000개 정도)을 정의한 꼭지점번호들의 집합이다. 본 논문에서는 편의를 위해, 표 1의 맨우측에 삼각형번호를 설정한다. 그 번호의 의미는 추후 설명한다. 또한, 표 3은 표 2로부터 구성한 인접삼각형의 리스트이다. 즉, T_m번째의 삼각형은 각각 T_p, T_q, T_r번째의 삼각형과 엣지를 하나씩 공유하고 있다. 2번째의 삼각형은 공유하는 삼각형이 2개 있는 경우이다.

2.2 인체에 의복 3차원모델의 맞춤

의복시뮬레이션에서 다양한 구조의 인체모델과 의복모델을 사용하기 위해, 부위별 그룹핑, 특징점설정, 특징점에서 공극설정의 전처리를 한다. 부위별 그룹핑은 그림 1과 같이 인체모델과 의복모델을 부위별로 대응이

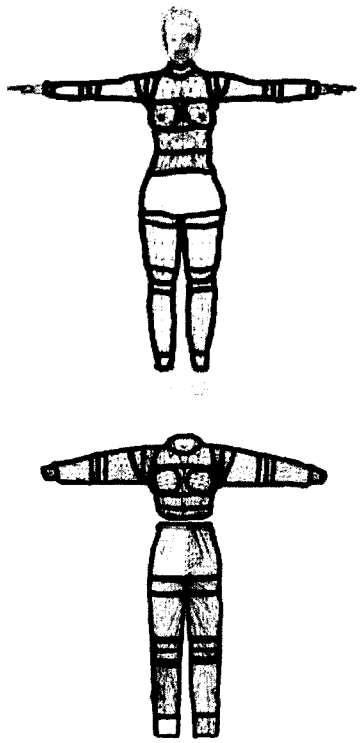


그림 1 인체모델과 의복모델의 그룹핑

되도록 한다. 상체를 예로 들면, 목, 어깨, 윗가슴, 가슴, 허리, 배, 윗팔, 팔꿈치, 아래팔, 손목 등으로 그룹핑한다. 특히, 어깨, 팔꿈치와 같이 자세변화가 심한 관절부위는 두 부분으로 나누어 그룹을 설정한다. 이와 같이 하면 인체와 의복의 자세가 달라도, 의복의 자세를 교정해가면서 인체에 맞출 수 있다. 그룹핑 방법은 모델을 부위별로 분리하는 것이 아니라, 각 부위에 속하는 삼각형의 번호를 미리 지정해 놓는 것이다. 특징점은 인접한 그룹이 공유하는 꼭지점 중에서 상하좌우 4개(1개조)의 점으로 설정된다(그림 2(a)와 (b)). 또한, 공극은 의복의 특징점별 3차원 벡터로 설정된다. 공극의 3차원 벡터는 의복의 종류와 특징점의 위치에 따라 다르다. 예를 들면, 어깨위의 특징점은 인체와 의복이 밀착되기 때문에, 공극이 매우 적다. 어깨아래 겨드랑이 특징점의 공극은 의복의 종류에 따라 다르다. 즉, 밀착되는 의복의 공극은 적고, 헐거운 의복의 공극은 크다(그림 2(c), 그림 3(b)).

의복시뮬레이션에서는 인체의 특징점에 공극을 더한 점이 의복의 특징점과 일치하도록, 의복모델을 각 그룹별로 선형적으로 변형하여 개인 캐릭터에 맞춘다. 의복모델을 그룹별로 변형해도 각 그룹이 연속되어 있기 때문에, 변형에 의해 불연속은 발생하지 않는다. 그림 2(c)는 그림 2(a)의 인체모델에, 그림 2(b)의 의복모델을 맞

표 1 꼭지점리스트

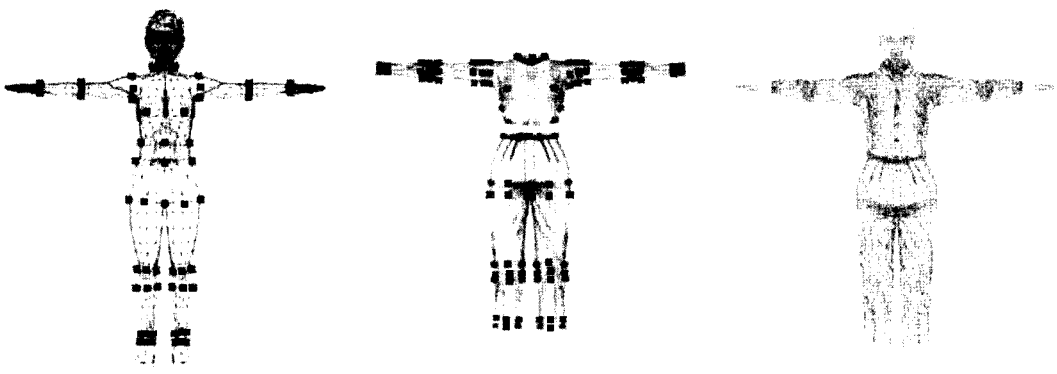
꼭지점 번호	꼭지점 좌표			삼각형 번호
1	x_1	y_1	z_1	T_m
2	x_2	y_2	z_2	T_n
…	…	…	…	…
V_i	x_i	y_i	z_i	T_k
…	…	…	…	…

표 2 삼각형 리스트

삼각형 번호	꼭지점 번호		
1	V_i	V_j	V_k
2	V_l	V_m	V_n
…	…	…	…
T_m	V_p	V_q	V_r
…	…	…	…

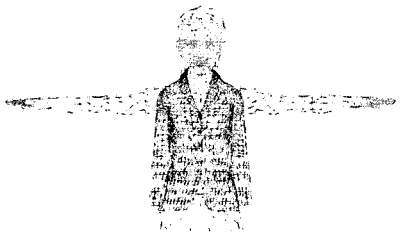
표 3 인접삼각형 리스트

삼각형 번호	인접 삼각형번호		
1	T_i	T_j	T_k
2	T_l	T_m	NULL
…	…	…	…
T_m	T_p	T_q	T_r
…	…	…	…



(a) 인체모델 (b) 의복모델 (c) 의복의 맞춤

그림 2 3차원모델의 특징점과 의복의 맞춤



(a) 맞추기 전

(b) 맞춘 후

그림 3 인체모델과 자세가 다른 의복모델의 맞춤

그림 4 의복이 인체를 관통한 경우

춘 결과이다. 그림 3은 같은 인체모델에 자세가 다른 의복을 맞춘 결과이다. 이 의복들이 대체로 인체의 굴곡을 따라 가면서 맞추어져 있는 것을 알 수 있다.

3. 관통검사를 위한 대응점 탐색

위의 방법으로 의복은 인체를 대체로 감싸도록 맞추어지지만, 의복과 인체가 밀착된 부위에서 의복이 인체를 관통하는 경우도 있다. 예를 들면, 그림 4는 그림 2(c)를 쉐이딩한 것으로, 어깨와 가슴의 일부에서 관통이 된 것을 알 수 있다. 이하에서는 가상원통(반구)을 설정하여 관통검사를 위한 대응점을 탐색하고, 의복의 관통을 방지하는 방법을 제안한다. 관통검사는 그룹별로 이루어진다.

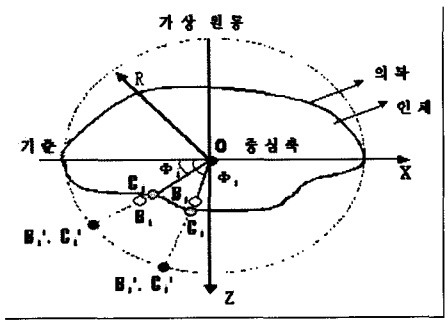
3.1 가상원통(반구)의 설정

인체모델과 의복모델을 둘러싼 가상원통 또는 가상반구를 설정하여, 원통(반구)의 중심에서 각 모델의 표면까지 거리를 이용하여, 관통검사를 한다. 가상원통(반구)의 설정은 그룹에 따라 달리하고 있다. 즉, 목, 몸통, 허리, 배, 다리와 같이 지평면과 수직인 부위는 수직원통을, 윗팔, 아래팔, 어깨와 같이 지평면과 수평인 부위는 수평원통을, 엉덩이와 여성의 가슴과 같은 부위는 가상반구를 설정한다.

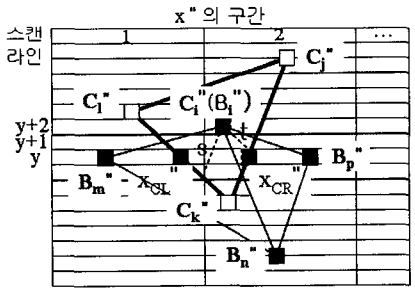
가상 수직원통의 개념을 그림 5에 나타낸다. 원통의 중심축 **O**는 인체의 전후좌우의 중심으로, Y축과 평행하다. 그림 5(a)는 XZ평면에서 인체모델에 의복모델을 맞춘 단면도이다. 인체모델의 꼭지점 B_i와 의복표면의 점 C_i는 중심축 **0**에서 수평으로 연장한 선이 가상원통과 만나는 점 B_i'와 C_i'에 각각 매핑된다. 점 B_i'와 C_i'는 동일한 점으로 관통검사에서 인체와 의복의 대응점이 된다. 점 C_i가 인체를 관통한 예이다.

그림 5(b)는 그림 5(a)의 기준선(-X축)을 중심으로 가상원통을 펴서 평면상에 매핑한것이다. 예를 들면, 의복모델의 꼭지점 C_j 는 가상원통상의 점 C_j'에, 점 C_j'는 다시 그림 5(b)의 점 C_j''에 매핑된다. 즉,

$$C_j = (x_j,\ y_j,\ z_j)^T,\ C_j'' = (x_j'', y_j'',\ L_{Cj})^T$$



(a) 인체와 의복의 단면도



(b) 가상원통을 편 평면

그림 5 가상원통의 설정

라고 가정하면, 매핑함수는

$$\Phi_j = \tan^{-1}(-z_j / x_j) \quad (1)$$

$$x_j'' = R\,\Phi_j \quad (2)$$

$$y_j'' = y_j \quad (3)$$

$$L_{cj} = (x_j^2 + z_j^2)^{1/2} \quad (4)$$

이다. 여기서 R은 가상원통의 반경이고, Φ_j는 점 C_j가 기준선과 이루는 각이고, L_{cj}는 원통 중심축 **0**에서 꼭지점 C_j까지 거리이다. 또한, 그림 5(b)의 세로는 y에 대해 화소별로, 가로는 x"를 일정한 구역으로 나누어서 생각한다. 이 구역의 크기는 인체모델과 의복모델의 삼각형들이 차지하는 x"의 최대범위정도로, 항상 일정한 값이다.

한편, 엉덩이와 여성의 가슴과 같은 부위는 가상원통

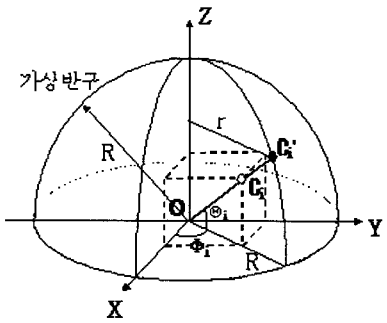


그림 6 가상반구의 설정

대신에 그림 6과 같이 가상반구를 설정한다. 반구의 중심점 **O**로부터 모델의 꼭지점을 구표면에 방사상으로 매핑한다. 의복모델의 점 C_i를 가상반구상의 점 C_i'에, 다시 가상반구를 편 평면의 점 C_i''에 매핑한다면, 가상원통의 경우와 유사한 방법으로 매핑함수는

$$\Phi_i = \tan^{-1}(y_i / x_i) \quad (5)$$

$$\Theta_i = \tan^{-1}(z_i / (x_i^2 + y_i^2)^{1/2}) \quad (6)$$

$$r_i = R \cos \Theta_i \quad (7)$$

$$x_i'' = r \Phi_i \quad (8)$$

$$y_i'' = z_i \quad (9)$$

$$L_{ci} = (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)^{1/2} \quad (10)$$

이다. 여기서, Φ_i는 반구의 중심으로부터 점 C_i에 이르는 앙각이며, r_i는 중심축 **O**에서 C_i'에 이르는 반경이다. 거리평면에 매핑하기 위한 기준선은 그림 5(b)와 같이 -X축으로 하고 있다. 이 경우는 식 (1)~식 (4)의 대신에 식 (5)~식 (10)을 사용하는 것 외에는 동일하기 때문에, 이하 가상원통에 대해서만 기술한다.

지평면과 수직 또는 수평이 아닌 관절부위의 경우는 부위의 축을 수평 또는 수직으로 변환하여 관통을 검사한 후에, 다시 원래의 위치로 변환한다. 축은 관절부위의 양단에 설정된 4개 꼭지점의 평균위치를 각각 구하여, 각단의 평균위치를 잇는 선으로 한다.

3.2 인체와 의복의 대응점 탐색

관통검사를 위해, 대응점을 탐색한다. 예를 들면, 인체모델의 꼭지점은 대체로 의복모델의 삼각형내부의 점에 대응된다. 대응점 탐색을 위해, 인체모델의 꼭지점 정렬리스트를 표 4와 같이 구성하여, 가상원통에 매핑된 인체모델의 꼭지점을 저장한다. 예를 들면, 그림 5(b)의 $B_m'' = (x_m'', y_m'', L_m)^T$는 $y = y_m''$이고 x''의 제1구역에 속하기 때문에, 표 4의 y행 제1열에 (x_m'', L_m, V_m)를 저장한 자기참조구조체의 포인터를 저장한다. 여기서 V_m은 꼭지점의 번호이다. 꼭지점이 속하는 구역 I는 식 (11)과 같이 계산한다.

$$I = \lfloor x_m'' / D \rfloor \quad (11)$$

표 4 인체모델의 꼭지점 정렬리스트

스캔 라인	등록수	x''의 구역		
		1	2	…
…	…	…	…	…
y	2	포인터 (B_m'')	포인터 (B_p'')	NULL
y+1	0	NULL	NULL	NULL
y+2	1	NULL	포인터 (B_i'')	NULL
…	…	…	…	…

D는 구역의 크기이고, $\lfloor X \rfloor$는 X를 넘는 최소정수이다. 동일구역에 다수의 꼭지점이 있을 경우에는 구조체를 연결하여 x''의 크기순으로 저장한다. 꼭지점이 없는 구역은 NULL을 저장한다.

표 4를 이용하여 그림 5(b)에서 의복모델의 삼각형 $C_j''C_k''C_l''$의내부와 대응되는 인체의 꼭지점 B_i''를 탐색한다. 이 과정은 의복 삼각형 $C_j''C_k''C_l''$내에서 관통이 발생할 수 있는 인체 꼭지점의 후보의 압축과 후보중에서 대응 꼭지점의 탐색으로 이루어진다.

Step1. 이 삼각형에 외접하는 사각형의 x''와 y의 범위를 구한다. x''범위에 대해 식 (11)과 같이 계산하면, x''범위의 구역(그림 5(b)에서는 제1구역과 제2구역)을 지정할 수 있다. 외접사각형의 y범위내에서 x''범위의 구역을 후보구역으로 하면, 표 4의 후보구역내에 등록되어 있는 점들만(B_i'', B_m'', B_p'')이 삼각형을 관통할 가능성이 있는 점의 후보로서, 한 번에 선택할 수 있다. 다음은 후보구역내에서 B_i''를 탐색하는 방법이다. y의 최소값부터 차례로 조사한다.

Step2. 표 4의 조사할 y행에서 x''의 제1구역부터 조사하여 꼭지점(포인터)이 발견되면(NULL이 아니면), 그 꼭지점의 x''좌표를 x_S''라고 하고, 다음 단계로 진행한다. y+1번째 행과 같이 등록된 꼭지점의 수가 0이면, Step 5로 진행한다.

Step3. 등록된 꼭지점이 있으면, 그림 5(b)와 같이 스캔라인 y에서 삼각형의 양측 엣지 x_{CL}''과 x_{CR}''를 구한다. $x_S'' > x_{CR}''$이면, B_p''와 같이 모든 꼭지점이 삼각형의 우측밖에 있기 때문에, 더 이상 조사하지 않고 Step 5로 진행한다. 아니면, $\max(x_S'', x_{CL}'')$와 x_{CR}''이 각각 속한 구역사이에서 $x_{CL}'' \le x'' \le x_{CR}''$을 만족하는 꼭지점을 모두 탐색한다. 탐색된 꼭지점이 있으면 다음 단계로, 없으면 Step 5로 진행한다.

Step4. 탐색된 인체의 꼭지점들에 대해, 4.와 같이 관통여부를 검사하고, 관통된 지점에서 의복모델을 수정한다. 또한, 표 1의 맨 우측에 이 삼각형의 번호를 등록하고, 이 꼭지점들은 표 4에서 삭제하여 등록수를 줄인다.

Step 5. y의 다음 행으로 이동한다. 외접사각형의 y 범위내에 있으면, **Step 2**로 되돌아간다. 아니면, 다음 삼각형을 탐색한다.

이와 같이 표 4를 이용하면, 의복모델의 삼각형 $C_j''C_k''C_l''$의 외접사각형보다 약간 큰 범위에서 인체 꼭지점의 후보(B_i'', B_m'', B_p'')를 한 번에 압축하여, 대응하는 B_i''를 탐색하기 때문에, 대응점의 고속탐색이 가능하다. 그림 5(b)에서 x''구역의 크기를 삼각형들이 차지하는 x''의 최대범위정도로 정했기 때문에, 각 구역에는 꼭지점이 없거나, 있어도 대개 수개 정도가 있을 것이다. 또, 삼각형도 대개 1~2개 구역에 걸쳐 있기 때문에, 표 4의 후보구역내의 탐색에 대한 계산부담은 그리 크지 않다.

스커트와 같이 통이 넓은 의복의 경우에는 가상원통이 의복내부에 설정될 수도 있다. 이 경우에도 인체와 의복의 대응점을 구할 수 있으며, 가상원통 중심에서 의복까지 거리는 가상원통의 반경에 의존하지 않는다. 즉, 가상원통의 반경에 의존하지 않는 관통검사가 가능하다.

3.3 대응점의 거리 보간

탐색된 인체의 꼭지점 B_i''와 대응하는 의복표면의 점 C_i''의 (x'', y'') 좌표는 일치한다. 그러나 C_i''의 거리 L_{Ci}는 주어져 있지 않기 때문에 삼각형의 꼭지점으로부터 선형으로 보간한다. 그림 5(b)에서 삼각형 $C_j''C_k''C_l''$과 그 내부의 점 C_i''= $(x_{Ci}'', y_{Ci}'', L_{Ci})^T$사이에는

$$C_i'' = s(C_j'' - C_K'') + t(C_l'' - C_k'') + C_k'' \quad (12)$$

의 관계가 성립한다. 여기서, 점 C_i'', C_j'', C_k'', C_l''의 (x'', y'')의 좌표를 이용하여 s와 t를 구한 후, s와 t를 이용하여 C_i''의 거리 L_{Ci}를 구할 수 있다.

4. 관통검사와 의복모델의 수정

인체와 의복의 대응점끼리 거리를 비교하여, 관통검사를 한다. 즉, 인체거리를 L_B, 의복거리를 L_C라고 하면,

if($L_C > L_B$) 의복이 인체외부에 있어, 관통이 발생하지 않음

else 의복이 인체표면 또는 내부에 있어, 관통이 발생함

관통의 종류는 의복모델의 꼭지점이 인체 내부에 있는 경우, 인체모델의 꼭지점이 의복외부에 있는 경우, 의복모델의 엣지가 인체내부에 있는 경우로 나누어 생각할 수 있다. 관통을 방지하기 쉬운 순서이기 때문에, 관통검사도 이 순서대로 한다. 즉, 의복모델의 꼭지점이 관통되면, 근처의 인체모델의 꼭지점이나 엣지가 동시에 관통되는 경우가 많다. 관통된 지점에서 의복모델을 수정하면, 수정된 부근에서는 관통이 발생하지 않을 수도 있기 때문에, 수정 효율을 높일 수 있다.

4.1 의복모델의 꼭지점이 인체내부에 있는 경우

3.과 같은 방법으로 의복모델의 꼭지점C에 대한 인체 표면의 대응점을 탐색하여, 그 거리를 구한 후에, 관통을 검사한다. 만약 관통이 되었다면, 의복모델의 꼭지점을 인체 밖으로 밀어내어 의복모델을 수정한다. 의복모델을 수정한 후의 꼭지점을 **N** 이라고 하면,

$$\mathbf{N} = (L_B + \alpha)\, \mathbf{C}/\,|\mathbf{C}| \quad (13)$$

이다. 여기서, α는 공극으로 항상 양의 값이고, 의복의 종류, 부위에 따라 다르다.

관통은 대체로 의복과 인체가 밀착된 부위에서 발생하기 때문에, 의복 꼭지점을 인체표면 바로 밖으로 밀어낸다. 의복 꼭지점을 밀어내는 방향을 대응하는 인체 삼각형의 법선방향과 방사상 방향(본 논문)으로 하는 경우를 비교해 보면, 수정후의 의복모습은 대체로 유사하지만, 법선벡터를 계산하지 않는 방사상방향이 수정 속도가 빠르다. 또한, 의복의 수정된 꼭지점과 주변 꼭지점이 인체 삼각형의 바로 밖에 있고, 의복의 삼각형은 모두 연결되어 있기 때문에, 의복 꼭지점의 수정으로 인해 불연속은 일어나지 않는다.

4.2 인체모델의 꼭지점이 의복외부에 있는 경우

인체모델의 꼭지점 **B**에 대응하는 의복표면의 점**C**를 포함하는 삼각형을 3.과 같은 방법으로 탐색하여, 점**C**에가까운 엣지를 분할하고, 분할된 점을 인체 밖으로 밀어내어 의복모델을 수정한다.

그림 7(a)에서 **M**을 삼각형의 무게중심, u = 1-s-t, 삼각형의 엣지를 각각 $\mathbf{E}_i$, $\mathbf{E}_j$, $\mathbf{E}_k$라고 하면, **B**''가 속한 영역에 가장 가까운엣지 $\mathbf{E}_k$를 다음과 같이 선택할 수 있다.

if (s = min(s,t,u)),	then E_k
else if(t = min(s,t,u)),	then E_i
else,	then E_j

s와 t는 이미 식 (12)에서 구해져 있다. 다음은 그림 7(b)와 같이 $\mathbf{E}_k$를 분할하여 생성된 의복모델의 꼭지점 **N**을 식 (14)와 같이 이동하여, 의복모델을 수정한다.

$$\mathbf{N} = (L_B + \alpha)\, \mathbf{B}/\,|\mathbf{B}| \quad (14)$$

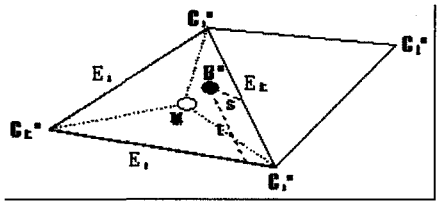
4.3 인체모델의 엣지가 의복외부에 있는 경우

인체모델의 엣지에 대한 관통을 검사한 다. 그림 8에 있는 인체모델의 삼각형의 엣지 $B_1''B_2''$에서 관통을 방지하기 위한 단계는 다음과 같다.

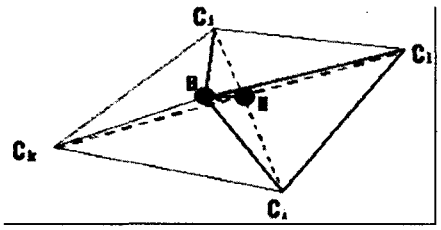
Step1. 인체의 꼭지점 B_1'',B_2''를 포함하는 의복모델의 삼각형의 번호를 표 1에서 읽는다. 읽은 삼각형 번호를 각각 T_1, T_2라고 한다.

Step2. 만약 $T_1 = T_2$라면, 엣지에서 관통은 발생하지 않기 때문에, 관통검사를 종료한다. 이유는 추후 설명한다. 만약 $T_1 \neq T_2$라면, 다음 단계로 진행한다.

Step3. B_1''이 의복모델의 삼각형 $C_1''C_2''C_3''$에 속해 있기 때문에, 엣지 $B_1''B_2''$와 $C_1''C_2''$의 교점 I_2''를 구한다. I_2''는 의복모델 엣지의 점이다. 교점에서 의복과 인



(a) 수정전



(b) 수정후

그림 7 인체모델의 꼭지점이 의복외부에 있는 경우에 의복모델의 수정

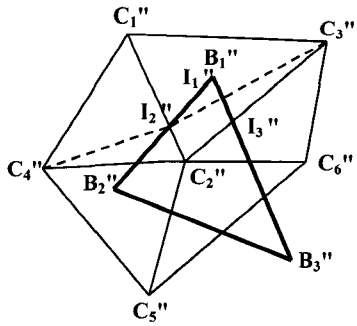


그림 8 인체모델의 엣지에 대한 관통검사

체의 거리를 비교하여 관통이 발생했다면, 그림 7(b)와 같이 교점 I_2''에서 엣지 $C_1''C_2''$를 분할하여, 의복모델을 수정한다.

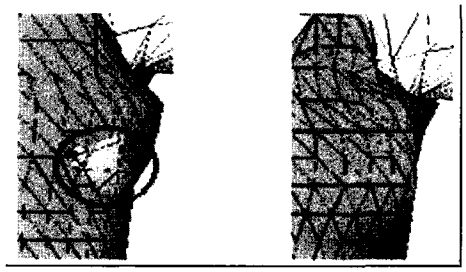
Step4. 엣지 $C_1''C_2''$를 공유하는인접삼각형 $C_1''C_4''C_2''$의 번호를 표 3에서 읽어 T_1에 대입하고, Step 2~Step 3과 같은 처리를 반복한다.

그림 8의 사각형 $I_1I_2C_2I_3$는 의복모델의 삼각형 $C_1C_2C_3$의 일부로서, 인체모델의 삼각형 $B_1B_2B_3$의 일부에 대응하고 있다. 점 I_1~I_3, C_2는 모두 **4.1**~**4.3**의 처리에 의해 삼각형 $B_1B_2B_3$의 외부에 있다. 이 경우, 두 평면 $I_1I_2C_2I_3$와 $B_1B_2B_3$는 교차할 수 없기 때문에, 엣지들의 교점에서만 관통을 검사하면, 관통은 발생하지 않는다. 또한 Step 2에서 $T_1 = T_2$일 때 관통이 발생하지 않는 이유이기도 하다.

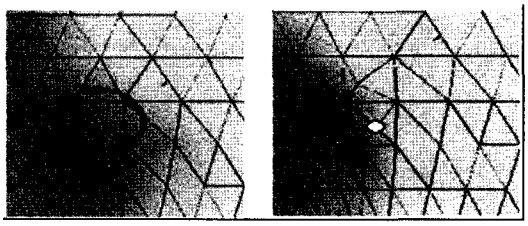
이상을 종합하면, 관통검사에서는 인체모델과 의복모델 각각에 대한 표 1~표 4를 이용하였다. 이들 중에서 의복모델에 대한 표 1의 꼭지점리스트는 의복을 맞추면서 변화된다. 관통검사에서는 의복모델에 대한 표 4와 인체모델에 대한 표 1의 가장 우측 열에 있는 의복의 삼각형 번호만을 구성한다. 이 외의 표는 의복을 맞추기 이전에 구성하여 DB에 저장해 놓을 수 있기 때문에, 관통검사의 속도에는 영향을 주지 않는다.

4.4 의복모델의 수정 결과와 고찰

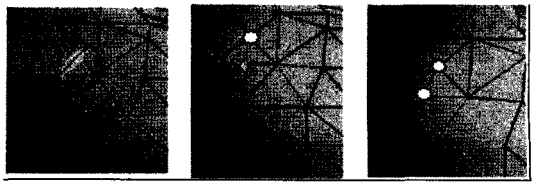
이와 같은 방법으로 그림 9와 같이 관통의 종류에 따라 의복모델의 관통을 방지한 다. 그림 9(a)는 **4.1**의 경우로, 의복모델의 꼭지점을 인체 밖으로 밀어내고 있다. 의복모델의 관통을 방지함으로써, 인체모델의 꼭지점과 주변의 엣지들도 동시에 방지되었음을 알 수 있다. 그림 9(b)는 **4.2**의 경우로, 의복모델의 엣지를 분할하여 관통을 방지한 것이다. 그림 9(c)는 **4.3**의 경우로, 2개의 엣지를 분할하여 수정한 결과이다. 그림 10은 그림 4의 의복모델에 대해서 관통을 검사하여 방지한 결과이다. 이상의 결과를 보면, 인체모델의 굴곡에 따라 의복모델을 적절히 수정하여, 관통을 방지할 수 있음을 알 수 있다.



(a)의복모델의 꼭지점이 인체내부에 있는 경우



(b) 인체모델의 꼭지점이 의복외부에 있는 경우



(c) 인체모델의 엣지가 의복외부에 있는 경우

그림 9 관통경우별 의복모델의 수정

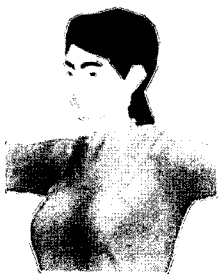


그림 10 그림 4의 의복모델의 수정

5. 결 론

본 논문에서는 가상원통(반구)을 이용하여 의복시뮬레이션에서 발생하는 관통을 검사하고, 의복 3차원모델을 수정하는 새로운 방법을 제안하였다. 이 방법은 가상원통을 이용하여 의복(인체)의 삼각형을 관통할 인체(의복)의 꼭지점의 후보를 삼각형의 외접사각형보다 약간 큰 범위내에서 일시에 압축할 수 있다. 이 때문에 바운딩볼륨을 이용하여 반복적으로 관통대상을 압축하는 종래의 방법에 비해 계산량이 현저히 적은편으로, 관통을 고속으로 검사할 수 있다.

관통이 발생한 곳에서 의복모델의 꼭지점을 밀어내거나, 엣지를 분할하여, 관통을 기하학적으로 방지하는 방법도 개발하였다. 이 방법은 역학관계를 이용하여 반복적으로 꼭지점을 이동하여 관통을 방지하는 물리적인 방법보다 계산량이 적어 속도가 빠르다.

기하학적인 방법은 의복과 개인체형과의 물리적 역학관계를 반영하고 있지는 않지만, 인체에 착용한 모습의 의복을 개인 캐릭터에 맞추기 때문에, 현실감이 있으면서도 고속의 의복시뮬레이션이 가능하여 인터넷 등의 실시간 응용에 적합하다.

본 논문에서는 의복을 여러 개 겹쳐 입는 경우 또는 같은 의복사이에서 관통이 일어나는 경우, 애니메이션의 경우는 고려하지 않고 있다. 이러한 경우에도 관통을 검사하여, 의복을 수정하는 방법에 대한 추가연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Ng, H.N. & Grimsdale R.L. "Computer graphics techniques for modeling cloth," IEEE comput. graph. appl. 16(5), pp. 28-41, 1996.

[2] P. Volino & N. M. Thalmann, "Implementing fast cloth simulation with collision response," Proc. Int. Comput. Graph., pp. 257-266, 2000.

[3] R. Bridson, R. Fedkiw & J. Anderson, "Robust Treatment of Collisions, Contact and Friction for Cloth Animation," http://graphics. stanford.edu/~fedkiw/papers/stanford2002-01.pdf

[4] D. Baraff & A. Witkin, "Large Steps in Cloth Simulation," Comput Graph. Forum, Comput Graph. Proc., SIGGRAPH, pp. 43-54, 1998.

[5] M. Oshita & A. Makinouchi, "Real-time Cloth Simulation with Sparse Particles," SIGGRAPH Sketch. Appl., Conf. Abstracts Appl., pp. 250-251, LA, U.S.A., Aug. 2001.

[6] F. Cordier, H.Seo & N. Thalmann, "Made-to-Measure Technologies for Online Clothing Store," IEEE CG&A, special issue Web Graph. pp. 38-48, 2003.

[7] 최창석, 김효숙, "가상 의복 코디네이션을 위한 개인 3D캐릭터의 구성", 한국의류학회지, 27(9/10), pp. 1015-1025, 2003.

[8] 신승철, 최창석, 김효숙, "의복 3D모델 DB 구축과 개인 체형에 의복정합", HCI 2002, SIGHCI.

최 창 석

1978년 홍익대학교 전자공학과(학사). 1988년 일본가나자와대학 전기정보공학과(석사). 1991년 일본가나자와대학 전기정보공학과(박사). 1984년~92년 산업기술정보원, 1992년 명지대학교 정보공학과 교수. 관심분야는 얼굴정보처리, 컴퓨터 그래픽스, 영상처리