

전역 및 국부 기하 특성을 반영한 메쉬 분할

임 정 훈[†] · 박 영 진^{††} · 성 동 옥^{†††} · 하 종 성^{††††} · 유 관 희^{†††††}

요 약

본 논문에서는 3D 메쉬 모델의 텍스처 매핑, 단순화, 모핑, 압축, 형상정합 등 다양한 분야에 응용될 수 있는 메쉬분할 문제를 다룬다. 메쉬 분할은 주어진 메쉬를 서로 떨어진 집합(disjoint sets)으로 나누는 과정으로서, 본 논문에서는 메쉬의 전역적 및 국부적 기하 특성을 동시에 반영하여 메쉬를 분할하는 방법을 제시하고자 한다. 먼저 주어진 메쉬의 국부적 기하 특성인 곡률 정보와 전역적 기하 특성인 볼록성을 이용하여 메쉬 정점들 중 첨예정점(sharp vertex)을 추출하고, 모든 첨예정점들 간의 유클리디언 거리에 기반한 k -평균군집화 기법[26]을 적용하여 첨예 정점들을 분할한다. 분할된 첨예정점에 속하지 않는 나머지 정점들에 대해서는 유클리디언 거리상 가까운 군집으로 병합하여 최종적인 메쉬분 할이 이루어진다. 또한 본 논문에서 제안한 메쉬분할 방법을 구현하여 여러 메쉬 모델에 대해 실험 결과를 보여준다.

키워드 : 메쉬, 분할, 곡률, 볼록성, 첨예정점

A Mesh Segmentation Reflecting Global and Local Geometric Characteristics

Jeong Hun Im[†] · Young-Jin Park^{††} · Dong-Ook Seong^{†††} · Jong Sung Ha^{††††} · Kwan-Hee Yoo^{†††††}

ABSTRACT

This paper is concerned with the mesh segmentation problem that can be applied to diverse applications such as texture mapping, simplification, morphing, compression, and shape matching for 3D mesh models. The mesh segmentation is the process of dividing a given mesh into the disjoint set of sub-meshes. We propose a method for segmenting meshes by simultaneously reflecting global and local geometric characteristics of the meshes. First, we extract sharp vertices over mesh vertices by interpreting the curvatures and convexity of a given mesh, which are respectively contained in the local and global geometric characteristics of the mesh. Next, we partition the sharp vertices into the k number of clusters by adopting the k -means clustering method [29] based on the Euclidean distances between all pairs of the sharp vertices. Other vertices excluding the sharp vertices are merged into the nearest clusters by Euclidean distances. Also we implement the proposed method and visualize its experimental results on several 3D mesh models.

Key Words : Mesh, Segmentation, Curvature, Convex hull, Sharp vertex

1. 서 론

일반적으로 메쉬분할(mesh segmentation)은 주어진 메쉬와 제한조건 하에서 주어진 메쉬를 서로 떨어진 집합(disjoint sets)으로 분할하되 제시된 기준조건을 극대화하는 최적화 문제로 볼 수 있다. 응용 목적에 따라서는 메쉬의 정점 집합, 간선 집합 혹은 면 집합을 분할하기도 한다. 만약 각 면을 그래프(graph)의 노드(node)로 나타내고 그래프

의 간선을 인접관계에 의하여 나타내면 메쉬 분할 문제는 그래프 분할 문제로 볼 수 있으며 이는 NP-문제에 속한다 [1]. 즉 같은 제한조건과 기준조건이 주어진다 하더라도 메쉬분할의 최적화를 위한 완전한 해결책은 없다. 더구나 각 응용에 따라 제한조건과 기준조건이 매우 다양하게 주어지고 있으므로 그 조건들을 어떻게 줄 것인가도 별도로 연구되어야 할 주제라고 할 수 있다. 또한 같은 조건에 대한 같은 분할 방법도 주어진 모델이 인공 모델이나 자연 모델 등 주어진 모델 형태에 따라 그 효과가 다를 수 있다. 따라서 메쉬분할 최적화를 근사시키는 여러 방법들이 시도되고 있으나 분할 최적화 문제는 형상정합(shape matching)과 같이 한 응용 분야에 그 목적을 둔다 할지라도 그 연구 범위는 광범위하며 많은 연구 주제를 포함하고 있다.

메쉬분할 방법들을 분류하는데에는 몇 가지 기준이 있을 수 있는데 분할된 조각 모양의 의미 기준에 따라서는 (그림

* 본 논문은 2007년 정부(산업기술자원부, 한국산업기술재단)의 지역혁신 인력양성지원과 2006년 정부(교육인적자원부, 한국학술진흥재단)의 재원(KRF-2006-D00413)의 지원을 받아 수행된 연구임

† 준 회원 : 충북대학교 컴퓨터교육과 석사과정

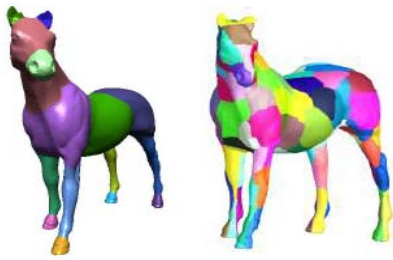
†† 정 회원 : 충북대학교 정보산업공학과 박사과정

††† 준 회원 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

†††† 중신회원 : 우석대학교 게임콘텐츠학과 교수

††††† 중신회원 : 충북대학교 정보산업공학과 및 컴퓨터교육과 교수

논문접수 : 2007년 9월 14일, 심사완료 : 2007년 11월 5일



(a) 특징 형태 (b) 디스크 형태
(그림 1) 메쉬분할의 조각 모양[3]

1)과 같이 객체를 의미있는 부분(meaningful part)으로 분할하는 특징(feature) 형태 또는 평면성, 크기와 볼록성을 고려한 평평한 모양의 디스크(disk 또는 patch) 형태의 두 부류로 분할 방법을 나눌 수 있는데 메쉬분할에 관한 조사연구들[2,3]에서와 같이 일반적인 견해로 받아들여지고 있다. 최근에 특징 형태의 분할 방법이 재메쉬화와 형상정합과 같은 메쉬 응용에서 더 자연스럽게 효과가 있기 때문에 많은 관심을 받고 있다. 본 논문에서는 주어진 메쉬를 구성하는 면, 간선과 정점의 형태에 따른 전역적 및 국부적 기하 특성을 반영하여 메쉬를 특징 형태로 분할하는 기법을 제시하고자 한다.

기법에 따라 메쉬의 면을 점진적으로 병합해가는 상향식(bottom-up) 방식[4-6]과 메쉬를 계속적으로 나누어가는 하향식(top-down) 방식[7-9]이 있다. 또한 위상적 방식[10], 물리 기반 방식[11], 오류메트릭 기반 방식[12] 등과 같은 다른 방식들도 있다. 많은 기존의 연구들 중에 본 논문과 같이 인간이 물체의 어떠한 영역의 경계를 인지하는 데에는 주곡률(principal curvature)의 음의 최소값 또는 오목한 주름이며 오목성의 깊이가 인식에 직접 영향을 준다는 인지과학적인 연구 결과[13,14]에 기반하여 첨예정점(sharp vertex)과 같은 특징점을 이용하여 메쉬를 분할하는 기존 연구 결과를 조사 요약하면 자동 또는 임의로 극점(extreme point)의 하나를 루트(root)로 정하고 그로부터 측지거리(geodesic distance) 트리를 만들고 국부적 극점이나 새들(saddle) 등의 특징점을 구하여 후위범람(backward flooding) 알고리즘을 사용하여 메쉬를 분할하는 방법이 Zhou와 Huang[15]에 의하여 제시되었다. Mortara 등[16]은 메쉬의 정점에 위치한 증가하는 반지름을 갖는 여러 개의 구(sphere)와 메쉬의 교차 곡선의 길이와 형태에 따라 메쉬를 분할하는 방법을 제시하였다. 그 후 Katz 등[17]은 포즈(pose)에 불변인 표현 방법인 다차원 신축(multi-dimensional scaling)으로 메쉬를 변환하여 측지거리에 의한 특징점을 추출하고 구면 반사(spherical mirroring)이라는 볼록성과 오목성의 이원성(duality)를 이용하여 핵심구성요소를 먼저 찾아내는 기법을 제시하였다. 최근에는 볼록성을 주로 이용하는 앞의 두 방법과 달리 오목성을 주로 이용하는 방법으로 Lien과 Amato[18]이 오목성의 정량화를 정의하고 가장 오목성이

큰 부분을 인식하여 반복적으로 분할해나가는 방법을 제시하였다.

본 논문의 2장에서는 주어진 메쉬의 국부적 기하 특성인 곡률과 전역적 기하 특성인 볼록성을 이용하여 첨예정점을 계산하는 방법을 설명하고, 3장에서는 정해진 첨예정점들을 유클리디언 거리에 기반한 k -군집화로 분할하고 다른 정점들은 가까운 군집에 병합하여 메쉬분할을 완성한다. 4장에서는 제안된 기법을 구현하고 실험한 결과를 보여주고, 마지막 5장에서는 본 연구의 의의와 향후 연구 과제를 언급한다.

2. 메쉬의 첨예정점 계산

일반적으로 메쉬분할은 첨예정점(sharp vertex) 및 첨예간선(sharp edge, feature edge, crestline 등으로 불림) 등을 결정하여 분류하고 분류된 정점과 간선을 기반으로 면을 병합함으로써 이루어진다. 여기서 첨예정점은 볼록형(convex hull)의 극점(extreme point)과 같이 인간에게 볼록하다고 인지되는 정점이며 첨예간선도 유사하게 설명된다. 따라서 효과적인 메쉬분할을 위해서는 첨예정점을 찾는 것이 매우 중요하다. 그런데 기존의 첨예간선 추출 연구[19-21]는 대부분 곡률 정보만을 이용하고 있으나 곡률 정보는 기하적인 면에서 국부적 속성만을 반영하고 있으므로 다음 단계에서 형상정합 등의 응용에서 필요한 돌출 및 함몰 부분을 추출하기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 곡률로부터 얻는 국부적 첨예정점 및 첨예간선뿐만 아니라, 기하적 연산으로부터 얻는 전역적 첨예정점 및 첨예간선 등의 기하적 정보를 동시에 이용한다. 이것은 사람의 인식에서 분별력에 가장 큰 영향을 주는 기하적 요소 중 하나가 전역적인 첨예정점과 첨예간선이라는 사실에 근거를 두고 있다. 본 논문에서는 근사곡률을 이용하여 국부적 기하를 반영하는 첨예정점뿐만 아니라 전역적 기하를 반영하는 기하적 연산을 이용한 첨예정점을 결정하는 방법을 설명한다.

2.1 근사곡률의 국부적 첨예정점

삼차원 물체 표면의 곡률은 분할 각 과정의 결과에 영향을 미치는 가장 중요한 값이다. 그러나 메쉬에서 정점의 곡률은 수식으로 정의되는 표면과 달리 정의되지 않으므로 근사 곡률을 구하기 위한 다양한 방법들이 제시되고 있다. 그 방법들은 크게 두 가지 방식으로 나누어지는데, 첫째 주어진 정점에 이웃한 정점들을 매개변수화한 곡면으로 적합(fitting)시키는 수식을 구하여 그 수식에서 해석학적으로 주요 곡률 및 방향을 구하는 연속적 근사 방식[22,23]과, 둘째 주어진 정점에 속한 간선 방향으로 정규곡률(normal curvature)들을 구하여 대수적인 근사식으로 주요 곡률 및 방향을 구하는 이산적 근사 방식[24-25]이 있다. 연속적 방식에서는 구하여진 곡면과 주어진 정점들의 거리에 따라 정밀도가 달라지며 일반적으로는 밀집 메쉬에서 좋은 결과를

나타내지만 정점 분포의 비정규적인(degeneracy) 경우에 안정적이지 않다. 이산적 근사 방식 중에는 정점 분포에 관계 없이 안정적인 계산 방법이 많으며 두 가지 방식 모두 여러 응용에서 많이 사용되고 있다.

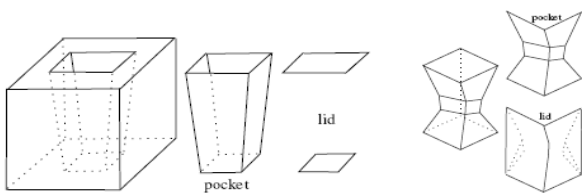
본 논문에서는 곡면과 다각형면에 통일된 방법으로 곡률 텐서를 계산하기 위하여 미분기하학의 정규사이클(normal cycle) 이론을 적용한 Cohen-Steiner 등[26]의 방법을 사용한다. 미분기하학에서는 오래전부터 곡률값은 물체의 오프셋(offset)을 고려함으로써 얻어졌으나 볼록하지않은 다면체 같은 경우 적용할 수 없다. 이를 해결하여 모든 차원과 조건의 물체로 일반화기 위하여 오프셋을 상위 차원 공간으로 퍼는 개념이 정규사이클 이론이다. 이 방법은 곡면과 다각형면에 각각 연속적 방식과 이산적 방식을 적용할 수 있을 뿐만 아니라 효율적이고 신뢰도가 높고 특히 곡면을 들로니(Delaunay) 삼각화한 다각형면의 경우 근사곡률의 오차범위를 한정시켜 수렴시킬 수 있다는 장점이 있다.

2.2 볼록성의 전역적 침예정점

기존의 침예 간선 추출 연구[2,15,16,24]는 대부분 곡률 정보만을 이용하고 있으나 곡률 정보는 기하적인 면에서 국부적 속성만을 반영하고 있으므로 다음 단계에서 형상정합에 필요한 돌출 및 함몰 부분을 추출하기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 곡률로부터 얻는 국부적 침예정점 및 침예간선뿐만 아니라, 기하적 연산으로부터 얻는 전역적 침예정점 및 침예간선 등의 기하적 정보를 동시에 이용한다. 이것은 사람의 인식에서 분별력에 가장 큰 영향을 주는 기하적 요소 중 하나가 전역적인 침예정점과 침예간선이라는 사실에 근거를 두고 있다.

먼저 전역적 특징을 찾아내기 위하여 하나의 기하적 요소로 볼록 연결요소(convex connected component)를 정의한다. 볼록 연결요소는 오목연결요소(concave connected surface)[28]와 대응되는 것으로 내부각이 180°보다 작은 인접한 면들을 연결한 메쉬의 부분집합이다. (그림 2)에서 보여주고 있는 포켓(pocket)과 리드(lid)는 주어진 삼차원 물체와 그 볼록껍질(convex hull)과의 차인 디피전시(deficiency)를 계산하는 기하학 연산으로 얻을 수 있으며 이 경계간선은 전역적으로 고려한 침예간선과 관련이 있다고 보는 것이 매우 합리적이다.

본 논문에서는 얻어진 각 볼록 연결요소의 포켓과 리드를 구하여 전역적인 기하 속성을 나타내는 속성을 표 1과 같이 각 정점에 대해 표시한다.



(그림 2) 삼차원 형상에 대한 포켓과 리드

〈표 1〉 정점의 전역적 기하 속성

전역적 속성 마크	정점의 설명
EXTREME	볼록껍질의 극점임
IN_POCKET_FACE	포켓의 어느 면에 속함
IN_HULL_FACE	원래의 메쉬에 속하면서 꺾일인 어느 면에 속함
IN_LID_FACE	리드의 어느 면에 속함
IN_BOUNDARY_EDGE	나누어진 볼록 연결요소의 경계 간선에 속함

이 속성들을 마킹하는 알고리즘을 개념적으로 표현하면 다음과 같다. 실제 알고리즘의 구조는 더 복잡한 과정을 거쳐야 한다.

algorithm VERTEX_MARKING

input: M

output: M with marked vertices

1. Partition M into convex-connected-surfaces $\{CCS_i\}$
2. for each CCS_i do
3. Construct the convex hull CH_i of CCS_i
4. Mark the extreme vertices of CH_i with EXTREME
5. Construct the pocket P_i and the lid L_i with the deficiency of CH_i and CCS_i
6. Mark the vertices in the boundary of CCS_i with IN_BOUNDARY_EDGE
6. for each face $F_j \in P_i$ do
8. if ($F_j \in CH_i$) tag \leftarrow IN_HULL_FACE
9. else tag \leftarrow IN_POCKET_FACE
7. for each vertex $V_k \in F_j$ do
10. if (V_k is not marked with IN_BOUNDARY_EDGE)
11. mark V_k with tag
12. end if
13. end for each
14. end for each
15. for each face $F_j \in L_i$ do
16. if ($F_j \in CH_i$) tag \leftarrow IN_HULL_FACE
17. else tag \leftarrow IN_LID_FACE
18. for each vertex $V_k \in F_j$ do
19. if (V_k is not marked with IN_BOUNDARY_EDGE)
20. mark V_k with tag
21. end if
22. end for each
23. end for each
24. end for each

end algorithm

〈표 2〉 전역적 기하 속성에 의한 군집화 후보 분류

군집화후보	우선순위	정점의 속성마크
침예정점	1	EXTREME and not IN_HULL_FACE
	2	EXTREME and not IN_LID_FACE
	3	EXTREME and IN_HULL_FACE and IN_LID_FACE
경계정점	1	IN_BOUNDARY_EDGE

〈표 1〉의 정점의 전역적인 기하 속성은 EXTREME을 제외하고는 그 정점이 어느 면 또는 간선에 속하는지에 표시된 것이다. 따라서 이 하나의 정점이 동시에 다른 속성을 가질 수도 있고 어떠한 속성은 서로 배타적이다. 즉 EXTREME이면 그 정점이 IN_HULL_FACE, IN_LID_FACE, IN_BOUNDARY_EDGE 중 하나이다. 역으로 IN_HULL_FACE 이거나 혹은 IN_LID_FACE 이면 EXTREME이지만 IN_BOUNDARY_EDGE라고 반드시 EXTREME은 아니다. 또한 IN_POCKET_FACE 이면서 IN_HULL_FACE, IN_LID_FACE, IN_BOUNDARY_EDGE일 수도 있다.

본 논문에서는 마킹된 전역적 속성을 관찰하여 〈표 2〉와 같이 정점을 분류하여 이를 메쉬분할을 위한 군집화에서 전역적인 기하 속성을 고려한 침예정점으로 사용한다.

3. 정점 군집화에 의한 메쉬분할

이 장에서는 〈표 2〉와 같이 정해진 침예정점과 경계정점을 효과적으로 메쉬를 분할하는 방법을 소개한다. 이를 위해 다음과 같은 두 단계를 거친다. 먼저 첫 번째 단계로 선택된 침예정점들에 대해 가장 널리 사용되는 k -평균군집화(k -means clustering) 기법[29]을 적용하기 위하여, 사용자로부터 k 값을 입력받아 선택된 침예정점들 중에 임의의 k 개의 침예정점을 군집의 중심점으로 정한 후 이들 침예정점들에 대해 군집화를 수행한다. 두 번째 단계에서 침예정점이 아닌 나머지 메쉬 정점들을 군집화한다.

첫 번째 단계에서 주어진 메쉬에 대해 제 2장에서 설명한 기법에 따라 선택된 침예정점이 입력정보로 사용된다. 논의를 시작하기 전에 주어진 메쉬로부터 m 개의 침예정점들이 선택되었다고 가정하자. 본 논문에서는 m 개의 침예정점들을 k 개의 군집으로 분할하기 위해 널리 사용되는 k -평균군집화 기법을 적용한다. 여기서 m 은 k 보다 충분히 크다고 가정한다. 이를 위해 초기 단계에서 m 개의 주어진 침예정점들 중 임의로 k 개 침예정점을 선택하여 k 개 군집 각각의 중심점(centroid)으로 설정한다. 군집의 유사성을 측정하기 위해 k -평균군집화 기법에서는 같은 군집에 속하는 모든 침예정점들에 대해 평균점을 계산한 후 그 점을 중심점으로 하였으나 이럴 경우 구해진 중심점이 메쉬 표면에 존재하지 않을 수도 있어 본 논문에서는 그 점으로부터 가장 가까이 존재하는 침예정점을 군집의 중심점으로 결정한다. 이러한 과정을 k 개의 모든 군집에 적용하여 각 군집에 대

한 중심점을 새로 구한다.

위의 작업을 완료한 후, k -평균군집화 기법에서는 주어진 침예정점에 대한 군집화 정도를 판단하기 위해 각 군집에 대해 이전의 중심점과 새로 구한 중심점간의 거리를 계산하고, 만약 이들 거리의 합이 주어진 경계값 보다 크면 군집화가 잘 이루어 지지 않았다고 판단하고 위의 과정을 반복하고, 그렇지 않은 경우 잘 된 군집화라고 판단한 후 위의 과정을 종료한다. 여기서 k 는 사용자에게 의해서 입력된 군집의 수를 의미한다.

k -평균군집화 방법을 이용하여 메쉬의 표면에 존재하는 정점들을 군집화할 때, 가장 중요한 요소는 메쉬 표면에 존재하는 두 정점사이의 거리를 계산하는 방법이다. 본 논문에서는 메쉬 표면에 있는 두 정점 $v_p = (p_x, p_y, p_z)$ 와 $v_q = (q_x, q_y, q_z)$ 사이의 거리로 식 (1)과 같이 삼차원 공간에서 널리 사용되는 유클리디언(Euclidean) 거리를 사용한다.

$$d(v_p, v_q) = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2 + (p_z - q_z)^2} \quad (1)$$

또한 각 군집에 대해 이전 중심점과 새로 구한 중심점간의 거리를 구해야 하는데 본 논문에서는 이 거리 또한 유클리디언 거리를 이용하였다. 이들 거리 정보를 가지고 모든 군집의 중심점들에 대해 식 (2)의 조건을 만족할 때까지, 즉 각 군집의 이전 중심점과 새로 구한 중심점간의 거리 합이 일정 수준 T_d 이하일 때까지 반복된다.

$$\sum_{i=1}^k d(pvc_i, vc_i) \leq T_d \quad (2)$$

식 (2)에서 vc_i 는 i 번째 군집의 새로 구한 중심점이고, pvc_i 은 이전 중심점이다.

첫 번째 단계인 제 2장의 기법을 통해 선택된 m 개의 침예정점들만을 군집화를 완료한 후, 두 번째 단계인 침예정점을 제외한 나머지 메쉬 정점들의 군집화는 매우 간단한 기법을 통해 처리하였다. 침예정점이외의 나머지 각 정점과 침예정점들의 군집화 결과로부터 얻어진 k 개의 중심점과의 유클리디언 거리를 구한다. 각 정점으로부터 이들 거리 중 가장 가까이 존재하는 중심점이 속한 군집 번호를 그 정점의 군집 번호로 부여하였다.

4. 구현 및 실험 결과

본 논문에서 제안한 메쉬분할 기법은 PC의 Microsoft Windows와 Visual Studio .NET 2003 환경에서 CGAL (computational geometry algorithm library)[30]를 사용하여 구현되었다. 구현된 결과를 시험하기 위해 사용된 메쉬 데이터는 Princeton Shape Benchmark[31]로부터 얻어졌으며, 실제 시험 데이터는 하나의 요소로 구성되어 있는 하프에지(half-edge) 자료구조로 표현되어 있는 삼차원 모델들이다.

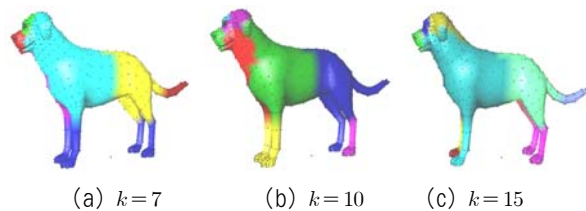
〈표 3〉 삼차원 메쉬 모델 정보 및 침예정점의 수

모델	정점의 수	간선의 수	면의 수	침예정점의 수
개	1618	4830	3220	127
물고기	1604	4812	3208	107
새	567	1695	1130	59
호랑이	956	2862	1908	115

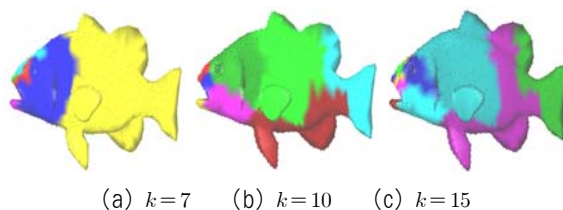
본 논문에서는 세 가지 모델, 삼차원 사자 메쉬 모델, 삼차원 물고기 메쉬 모델과 삼차원 새 메쉬 모델을 사용하여 제안한 기법을 실험하였다. 실험하기 전에 이들 메쉬에 대한 정점, 간선과 면의 수에 대한 정보를 알아보았고, 또한 이들 메쉬에 대해 제 3장에서 제안된 주어진 메쉬로부터 침예정점 추출한 결과를 알아보았다. 그 결과가 <표 3>에 잘 나타나 있다. 표에서 보는 바와 같이 삼차원 개 메쉬 모델은 1618개의 정점, 4830개의 간선과 3220개의 면으로 구성되어 있고, 추출된 침예정점의 수는 127으로 전체 정점 수의 약 7.8%이다. 물고기 메쉬 모델은 1604개의 정점, 4812개의 간선과 3208개의 면으로 구성되어 있고, 추출된 침예정점의 수는 107개로 전체 정점 수의 약 6.7%이다. 그 이외에 새 모델에서 정점의 수는 총 567개이며 59개의 침예정점이 선택되었고, 호랑이 모델에서 정점의 총 수는 956개이며 선택된 침예정점의 수는 115개이다. 이상의 결과로부터 기존 정점 수의 약 10% 정도가 침예정점으로 선택된다.

본 논문에서 제안한 전역 및 국부 특성을 이용한 메쉬분할 결과가 개, 물고기, 새 및 호랑이 모델에 대해 각각 (그림 3-6)에 나타나 있으며, 분할된 메쉬의 부분이 색깔에 의해 구분되어 가시화되어 있다. 그림에서 보이는 것처럼 같은 색상을 갖는 메쉬 부분이 같은 영역에 속함을 알 수 있다.

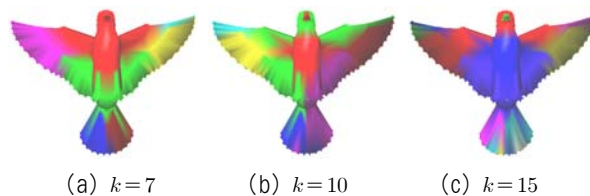
삼차원 개 메쉬 모델에 대한 분할을 보여주고 있는 (그림 3(a))는 침예정점에 대해 k -평균군집화 기법을 적용할 때, 주어진 $k=7$ 로 설정하고, (그림 3(b))는 $k=10$ 으로, (그림 3(c))는 $k=15$ 으로 설정하여 처리한 메쉬분할 결과를 보여주고 있다. 물고기, 새 및 호랑이 모델에 대해 각각 $k=7, 10, 15$ 으로 설정하여 본 논문에서 제안한 메쉬분할 기법을 수행하여 처리한 결과가 각각 (그림 3)에서 6까지의 (a), (b)와 (c)에 나타나 있다. 특히 본 논문에서는 k -평균군집화 여부를 판단하기 위한 경계값으로 10^{-7} 을 주었다. (그림 5) (d), (e), (f)와 (g)의 결과는 새 모델에 대해 각각 Attene 등[2], Katz&Tal[7], Mortara 등[16]과 Katz 등[17]에 의해 제시된 메쉬분할 기법에 따라 분할된 결과를 보여주고 있다. 유사하게 이들 네 논문에서 제시된 방법을 호랑이 모델에 각각 적용하여 메쉬분할한 결과가 (그림 6)의 (d), (e), (f)와 (g)에 나타나 있다. 본 논문에서 제시한 결과와 가시적 측면에서 기존 결과와 비교할 수 있을 것이다.



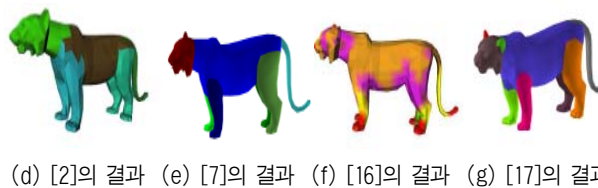
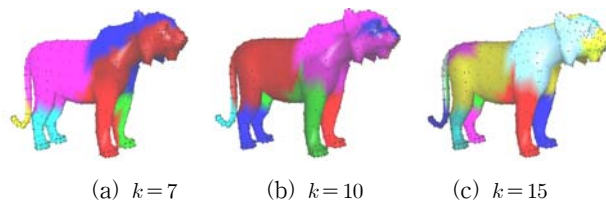
(그림 3) 삼차원 개 메쉬 모델에 대한 분할



(그림 4) 삼차원 물고기 메쉬 모델에 대한 분할



(그림 5) 삼차원 새 메쉬 모델에 대한 분할



(그림 6) 삼차원 호랑이 메쉬 모델에 대한 분할

5. 결론

본 연구는 3D 메쉬의 부분을 정합(partial matching)하는 응용에 전 단계로 필요한 특징 형태의 메쉬분할이 동기가 되었다. 부분정합은 형상의 부분들의 유사도를 측정하여 비교하여 인체와 같이 팔다리 부분의 포즈가 달라지는 경우에도 식별력을 높일 수 있는 잠재력이 있고 또한 하나의 장면에서 꽃과 같은 일부분의 모양을 검색하는 것은 부분정합으로만 가능하다.

따라서 본 연구의 의의는 곡률과 같은 국부적 기하 특성과 주어진 메쉬에 대한 불록성과 같은 전역적 특성을 동시에 사용하여 메쉬를 분할하는 새로운 방법의 제안이라는 방법론적인 것뿐만 아니라 특징 형태 위주의 이 메쉬분할 방법을 동일하게 적용하여 메쉬 모델들을 분할하여 DB로 저장하고 검색하는 내용기반 (contents-based) 검색에 응용될 수 있다는 점에 있다.

본 논문에서는 주어진 메쉬에서 곡률과 같은 국부적 기하 특성과 주어진 메쉬에 대한 불록성과 같은 전역적 특성을 동시에 사용하여 주어진 삼차원 메쉬를 분할하는 기법을 제안하였다. 이를 위해 먼저 주어진 메쉬를 구성하는 특징 정보를 잘 표현하는 침예정점을 구하였다. 특히 메쉬분할을 하기 위해 초기에 사용자로부터 k 값을 입력으로 받아 침예정점들중 임의로 k 개의 침예정점을 군집의 중심점으로 선택하여 전체 침예정점들을 k -평균군집화 기법을 k 개의 군집으로 분할한 후, 분할된 정보를 이용하여 침예정점이외의 나머지 메쉬정점을 분할하는 방법을 취하였다.

본 논문에서는 k -평균군집화 기법을 적용할 때, 단순하게 두 점점사이의 거리를 유클리디언 거리를 이용하였다. 그러나 두 정점을 연결하는 직선이 메쉬의 표면에 존재하지 않아 메쉬 상의 거리 개념을 정확히 반영하고 있지 못하다. 따라서 향후 연구 과제로 메쉬를 구성하는 두 점점사이의 거리를 좀 더 정확히 나타낼 수 있는 측정치를 이용하여 위의 기법을 적용할 필요가 있다. 다음으로 주어진 메쉬로부터 추출된 침예정점이 수준별로 분석되어 있으므로 이들 수준 정보를 고려하여 침예정점을 분할하는 기법을 고려하는 연구가 필요하고, 마지막으로 k 값을 자동으로 계산하는 기법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] B. Chazelle, *et al.*, "Strategies for polyhedral surface decomposition: an experimental study," *Computational Geometry: Theory and Applications*, 7, pp.327-342, 1997.
- [2] M. Attene, S. Katz, M. Mortara, G. Patane, M. Spagnuolo, and A. Tal, "Mesh segmentation - a comparative study," *IEEE Int. Conf. on Shape Modeling and Applications*, pp.14-25, 2006.
- [3] A. Shamir, "A formulation of boundary mesh segmentation," *Proc. of 2nd Int. Sym. on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT'04)*, pp.82-89, 2004.
- [4] D. L. Page, A. F. Koschan, and M. A. Abidi, "Perception based 3d triangle mesh segmentation using fast matching watersheds," *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.27-32, 2003.
- [5] T. Srinak and C. Kambhamettu, "A novel method for 3D surface mesh segmentation," *Proc. of the 6th IASTED International Conference on Computers, Graphics, and Imaging*, pp.212-217, 2003.
- [6] M. Garland, A. Willmott, and P. S. Heckbert, "Hierarchical face clustering on polygonal surfaces," *Proc. of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp.49-58, 2001.
- [7] S. Katz and A. Tal, "Hierarchical mesh decomposition using fuzzy clustering and cuts," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol.22, No.3, pp.954-961, 2003.
- [8] T. Kanungo, D. M. Mount, N. S. Netanyahu, A. D. Piatko, R. Silverman, and A. Y. Wu, "An efficient k -means clustering algorithm: analysis and implementation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.24, No.7, pp.881-892, 2002.
- [9] A. P. Mangan and R. T. Whitaker, "Partitioning 3D surface meshes using watershed segmentation," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.5, No.4, pp.308-321, 1999.
- [10] T. K. Dey, J. Giesen, and S. Goswami, "Shape segmentation and matching with flow discretization," *Proc. of the Workshop on Algorithms and Data Structures (WADS)*, Vol.2748, pp.25-36, 2003.
- [11] K. Wu and M. D. Levine, "3D part segmentation using simulated electrical charge distributions," *Proc. of the 1996 IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pp.14-18, 1996.
- [12] D. Cohen Steiner, P. Alliez, and M. Desbrun, "Variational shape approximation," *Proc. of the 31st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*, pp.27-34, 2004.
- [13] D. D. Hoffman and W.A. Richards, "Parts of recognition," *Cognition* 18, 1984
- [14] D. D. Hoffman and M. Singh, "Saliency of visual parts," *Cognition* 63, 1997.
- [15] Y. Zhou and Z. Huang, "Decomposing polygon meshes by means of critical points," *Proc. of MMM'04*, 2004.
- [16] M. Mortara, G. Panae, M. Spagnuolo, B. Falcidieno and J. Rossignac, "Blowing bubbles for the multi-scale analysis and decomposition of triangle meshes," *Algorithmica, Special Issues on Shape Algorithms*, Vol.

38, No.2, pp.227-24, 2004.

[17] S. Katz, G. Leifman and A. Tal, "Mesh segmentation using feature points and core extraction," *Visual Computer* Vol.21, 2005.

[18] J. M. Lien and N. M. Amato, "Approximate convex decomposition of polyhedra," Technical Report TR06-002, *Dept. of Computer Science*, Texas A&M University, 2006.

[19] Y.J. Lee, S.Y. Lee, A. Shamir, D. Cohen-Or and H.-P. Seidel, Intelligent mesh scissoring using 3d snakes, *Proc. of Pacific Graphics*, pp. 279-287, 2004

[20] Kwan-Hee Yoo and Jong-Sung Ha, User-steered methods for extracting geometric features over 3D Meshes," *Computer-Aided Design and Applications*, Vol.2, No.1-4, 2005

[21] Kwan-Hee Yoo, Geometric livewire and geometric livelane for 3d meshes," *Journal of KIPS*, Vol.2, No.1-4, 2005

[22] F. Yamaguchi, *Curves and surfaces in Computer Aided Geometric Design*, Springer-Berlag, 1988

[23] G. Taubin, "Estimating the tensor of curvatures of a surface from a polyhedral approximation," *Proc. of International Conf. on Computer Vision*, 1995.

[24] A. Rosenfeld and E. Johnston, "Angle detection in digital curves," *IEEE Transactions on Computers*, Vol.22, pp.875-878, 1973.

[25] A.D.C. Smith, *The Folding of the Human Brain: from Shape to Function*, University of London, PhD Dissertations, 1999.

[26] G. Turk, "Re-tiling polygonal surfaces," *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH '92)*, Vol.26, No.2, pp.55-64, 1992.

[27] D. Cohen-Steiner and J.M. Morvan, "Restricted Delaunay triangulations and normal cycle", *Proc. of 19th Annual ACM Sym. on Computational Geometry*, pp.237-246, 2003.

[28] 하종성, "삼차원 제조성에 응용할 수 있는 다면체 단조성의 특성화", 한국정보과학회 논문지(A), 제24권 11호, pp. 1051-1058, 1997.

[29] T. Kanungo, et al., "An efficient k-means clustering algorithm: analysis and implementation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 881-892.

[30] Computational geometry algorithm library, <http://www.cgal.org>.

[31] P. Shilane, M. Kazhdan, P. Min and T. Funkhouser, "The Princeton shape benchmark," *Proc. of Shape Modeling International*, 2004



임정훈

e-mail : ljh417@empal.com
 2005년 서울사이버대학교 정보통신공학과 (학사)
 2007년~현재 충북대학교 컴퓨터교육과 석사과정
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 영상처리



박영진

e-mail : yjpark@jbtp.or.kr
 1986년 전북대학교 전산통계학과(이학사)
 1988년 전북대학교 전산학과(이학석사)
 2005년~현재 충북대학교 정보산업공학과 박사과정
 관심분야: 계산기하학, 컴퓨터그래픽스



성동욱

e-mail : seong.do@gmail.com
 2005년 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2007년 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2007년~현재 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야: 무선 센서 네트워크, 저장 시스템, 백업 시스템, 데이터베이스 시스템, 디지털콘텐츠 등



하종성

e-mail : jsha@woosuk.ac.kr
 1984년 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 1986년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
 1996년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)

1986년~1989년 (주)현대전자산업근무
 1990년~현재 우석대학교 게임콘텐츠학과 교수
 2001년 미국 조지워싱턴대학교 방문교수
 관심분야: 계산기하학, 컴퓨터그래픽스, 3d 콘텐츠 등임



유 관 희

e-mail : khyoo@chungbuk.ac.kr

1985년 전북대학교 전산통계학과
(이학사)

1988년 한국과학기술원 전산학과
(공학석사)

1995년 : 한국과학기술원 전산학과
(공학박사)

1988년~1997년 (주)데이콤 종합연구소 선임연구원
1997년~현재 충북대학교 정보산업공학과 및 컴퓨터교육과 교수
2003년~2005년 카네기멜론대학교 로보틱스 연구소 방문교수
관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 계산 기하학, 렌탈 및 메디칼
로보틱스 시스템