사용자 의도의 메쉬분할을 위한 기하적 속성 가중치 기반의 그리디 병합 방법

Greedy Merging Method Based on Weighted Geometric Properties for User-Steered Mesh Segmentation

하종성*, 유관희**
우석대학교 게임콘텐츠학과*, 충북대학교 컴퓨터교육과**

Jong-Sung Ha(jsha@woosuk.ac.kr)*, Kwan-Hee Yoo(khyoo@chungbuk.ac.kr)**

요약

이 논문은 삼차원 메쉬의 의미있는 조각의 기하적 속성을 나타내기 위하여 정의한 병합우선순위메트릭에 기반한 사용자 의도 메쉬분할의 그리디 방법을 제시한다. 우선순위메트릭은 가우시안사상의 분포, 경계경로의 오목성, 경계경로의 길이, 면의 개수, 분할해상도의 5 가지 기하적 매개변수로 구성된 가중치 함수이다. 이러한 방식은 구도의 변경 없이 다른 기하적 매개변수를 정의하고 추가함으로써 확장될 수 있다. 실험 결과, 분할된 조각의 모양은 기하적 매개변수의 가중치를 부여함으로써 사용자 의도대로 조절될 수 있음을 보여준다.

■ 중심어 : | 메쉬분할 | 그리디병합 | 특징추출 | 사용자의도 |

Abstract

This paper presents a greedy method for user-steered mesh segmentation, which is based on the merging priority metric defined for representing the geometric properties of meaningful parts. The priority metric is a weighted function composed of five geometric parameters: distribution of Gaussian map, boundary path concavity, boundary path length, cardinality, and segmentation resolution. This scheme can be extended without any modification only by defining more geometric parameters and adding them. Our experimental results show that the shapes of segmented parts can be controlled by setting up the weight values of geometric parameters.

■ keyword : | Mesh Segmentation | Greedy Merging | Feature Extraction | User-Steered |

I. 서 론

일반적으로 메쉬분할은 어떠한 기준이 최대로 만족되도록 주어진 메쉬를 떨어진(disjoint) 조각들로 나누는 하나의 최적화문제로 형식화된다. 메쉬의 면들과 그들의 인접관계를 각각 그래프의 정점과 간선으로 나타

* 본 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (KRF-2006-D00413)

접수번호 : #070228-003
접수일자 : 2007년 02월 28일
심사완료일 : 2007년 05월 04일
교신저자 : 하종성, e-mail : jsha@woosuk.ac.kr

내면 이 문제는 그래프분할문제와 동일해진다. 이 최적화는 현재 다항시간인 어느 알고리즘도 알려져 있지 않은 NP-부류 문제의 하나이다. 게다가 메쉬분할은 또한 입력에 민감하여(input-sensitive) 인공물에서 자연물까지 그 분할 효과의 변화가 크기 때문에 대부분의 메쉬분할은 메쉬의 모델링, 변형, 압축, 단순화, 형상정합, 충돌탐지, 텍스처사상, 뼈대추출과 같은 특정 응용에 맞게 경험적 (heuristic) 알고리즘으로 개발되고 있으며 모든 경우에 항상 최적인 알고리즘을 개발하기는 거의 불가능하다고 볼 수 있다.

메쉬분할 방법들이 분류될 수 있는 몇 가지 기준이 있을 수 있는데 기법에 따라 메쉬의 면을 점진적으로 병합해가는 상향식 방식[1-3]과 메쉬를 계속적으로 나누어가는 하향식 방식[4-6]이 있다. 또한 위상적 방식[7], 물리기반 방식[8], 오류메트릭기반 방식[9] 등과 같은 다른 방식들도 있다.

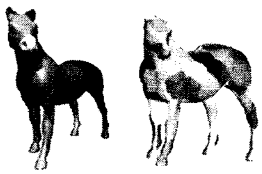


그림 1. 분할 조각의 두 형태: 특징 및 디스크

분할된 조각 모양의 의미 기준에 따라서는 [그림 1]과 같이 기하적인 특성으로 분할된 특징(feature 또는 part) 형태 또는 평평한 모양의 디스크(disc 또는 patch) 형태의 두 부류로 분할 방법을 나눌 수 있는데 메쉬분할에 관한 조사연구들[10][11]에서와 같이 일반적인 견해로 받아들여지고 있다. 최근에 특징 형태의 분할 방법이 재메쉬화와 형상정합과 같은 메쉬 응용에서 더 자연스럽고 효과가 있기 때문에 많은 관심을 받고 있다.

서로 다른 분할 방법들을 평가하기 위하여 정량적인 방식으로 메쉬 조각의 의미성을 형식적으로 정의하는 것은 어렵다[10]. 메쉬 조각의 의미성을 정량적으로 형식화한다면 메쉬를 분할하는데에도 매우 효과적으로 이용될 수 있을 것이다. 이 논문에서는 정량화할 수 있는 몇 가지 기하적 속성을 정의하고 사용자가 대화적으로 조각의 모양을 제어할 수 있는 사용자 의도형 메쉬분할의 기본 틀을 개발한다.

제안된 방법은 특징 형태의 조각을 얻어내기 위한 상향식 방식의 메쉬분할에 속하는데 논문 [1-3]과는 달리 가능하면 볼록한 기하적 모양을 유지할 수 있도록 병합될 가장 작은 단위로 면 대신에 면의 집합으로 구성된 볼록패치(convex patch)가 사용된다. 또한 기하적 속성을 나타내는 값으로서 [1]에서는 곡률, [2]는 곡률과 측지길이(geodesic distance), [3]은 근사평면과의 오차에 각각 기반하여 정의하여 사용하는 반면 본 논문에서는 가우시안사상의 분포, 경계경로의 오목성, 경계경로의 길이, 면의 개수, 분할해상도의 5 가지 기하적 속성에 기반하여 정의한다. 병합방법으로는 정의된 기하적 속성을 매개변수로 가지는 가중치함수를 최대화하는 인접 조각을 찾아 점증적으로 병합해나가는 그리디 기술을 이용한다. 실험 결과, 사용자가 분할 조각의 개수와 정의된 기하적 속성의 가중치를 경험적으로 부여함으로써 메쉬로부터 특징 형태로 잘 정의된 조각을 추출할 수 있음을 알 수 있다.

II. 기하적 속성 정의 및 알고리즘

1. 볼록패치

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[12][13]가 있다. 따라서 메쉬분할시 어떤 볼록한 영역 안에 존재하는 면들은 하나의 조각에 속하는 것이 자연스러운 것으로 생각할 수 있다. 이 관점에 근거하여 본 논문에서는 점진적으로 조각을 병합해가는 상향식 방식에서 최초에 면을 기본단위로 하지 않고 볼록한 일부 면의 집합을 기본단위로 한다. 이 방법은 면을 기본단위로 하는 것보다 볼록성을 유지할 수 있을 뿐만 아니라 대용량 메쉬에서 수행시간을 더 단축시킬 수 있다. 메쉬에서 어떠한 면의 집합이 연결되어 있고 모든 면이 그 집합의 볼록껍데기상에 존재하면 볼록패치(convex patch)라 부른다.

Chazelle 등[14]은 주어진 메쉬에 대하여 서로 떨어진 볼록패치를 최소의 개수로 나누는 문제는 NP-완전 문제임을 증명하였다.

Lien과 Amato[15]는 Chazelle 등이 정의한 볼록패치를 ECP (exact convex patch)라 부르고 효과적이고 실제적인 계산을 위하여 근사적인 볼록패치인 ACP (approximate convex patch)를 정의 및 계산하는 방법을 제시하였는데 이 ACP가 바로 특징 형태의 조각이 된다. 본 논문에서는 기하적 의미는 크지 않지만 ECP 대신 쉽게 구할 수 있는 볼록성을 가지는 면의 집합인 매우 간단한 ACP를 정의하고 이 ACP 또는 ECP 두 형태의 볼록패치 중 하나를 선택하여 병합의 기본단위로 사용할 수 있도록 한다. 또한 메쉬가 보통 곡면의 근사치라는 점을 감안하여 간선의 볼록성을 체크할 때 허용오차 각이 줄어들 수 있게 한다.

① ECP: Chazelle 등[14]은 ECP를 계산하기 위한 방법을 공간분할, 공간스위핑, 범람 기술의 세 부류로 나누었다. 우리는 가능하면 ECP를 디스크 형태로 구성하기 위하여 BFS (breadth first search)로 메쉬 면을 방문하는 간단한 범람 기술을 사용한다.

② ACP: 본 논문에서는 볼록 간선으로 연결된 면의 집합을 ACP로 정의한다. 이 ACP는 오목 간선을 포함할 수 있지만 인접한 모든 면간에는 적어도 하나의 볼록 간선을 공유하고 있다. 따라서 이 ACP는 항상 결정적(determinant)이라는 좋은 특징이 있어 BFS 또는 DFS (depth first search)와 같은 그래프 탐색 방법으로 쉽게 구할 수 있다.

2. 기하적 속성

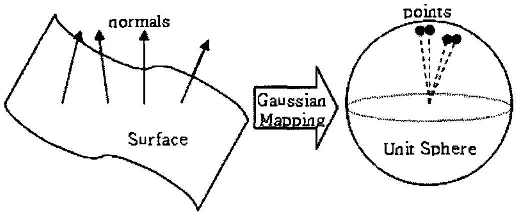


그림 2. 가우시안 사상

메쉬 조각들의 그리디 병합을 위하여 사용자 의도대로 병합된 조각의 모양을 제어하는 몇 가지 기하적 매개변수를 가지는 가중치함수로써 우선순위메트릭을 정의한다. 다음은 주로 특징 형태의 메쉬분할 관점에서 정의된 기하적 매개변수로서 본 논문 내용의 주요 공헌이다. 알고리즘의 변경 없이 다른 기하적 속성도 추가될 수 있다.

① 가우시안사상 분포: 가우시안사상은 [그림 2]와 같이 각 면의 법선벡터를 단위구상의 점으로 사상시킨 결과이다. 메쉬 조각이 평평할수록 가우시안사상의 영역은 더 작다. 이 가우시안사상의 분포도는 구상의 볼록껍데기를 구하거나 최소포함구를 계산함으로써 비교될 수 있다. 본 논문에서는 병합된 조각의 가우시안사상의 볼록껍데기나 최소포함구의 크기가 작을수록 병합순위가 높다고 보는 것이다. 우리는 가우시안사상의 최소포함구의 반지름을 기하적 매개변수로 사용한다. 이 매개변수에 큰 가중치를 줌으로써 특징 형태의 조각을 추출하는데 유용하다.

② 경계경로 오목성: 두 조각 사이의 경계경로는 공유되는 연속된 간선 집합이다. 두 조각 사이의 오목성은 경계경로를 구성하는 오목 간선의 평균각으로 측정하고 이 각은 두 면의 수직벡터의 내적으로 계산된다. 본 논문에서는 두 조각 사이의 이 평균각이 작을수록 (내적 평균값이 클수록) 병합순위가 높다고 보며 이 매개변수 또한 특징 형태의 조각을 추출하는데 유용하다.

③ 경계경로 길이: 경계경로 길이는 경계경로를 구성하는 간선 개수로서 조각 안의 면의 응집성과 관계가 있다. 즉, 지그재그 패턴의 경계를 가지는 조각의 경계경로 길이는 디스크 형태의 조각의 그것보다 더 크다. 따라서 이 매개변수에 큰 가중치를 주고 위의 두 매개변수에 작은 가중치를 줌으로써 디스크 형태의 조각을 추출할 수 있다. 본 논문에서는 일반적으로 두 조각 사이의 경계경로 길이가 상대적으로 다른 조각과의 그것보다 클 때 병합우선순위가 높다고 본다.

④ 면의 개수 (cardinality): 어느 조각이 다른 기하적 속성을 많이 가지고 있다 하더라도 그 면의 개수가 어떤 문턱값보다 작으면 그 조각은 의미가 없다. 이 매개변수의 가중치는 이 문턱값을 정의하게 된다.

⑤ 분할 해상도: 조각들의 병합은 모든 조각들이 주어진 기하적 속성의 조건을 만족하거나 분할 해상도 즉 정해진 조각의 개수를 만족할 때까지 반복된다.

위 다섯 가지 기하적 매개변수를 고려하여 많은 실험을 한 결과 결국 조각의 병합우선순위를 잘 나타내도록 우리는 인접한 두 조각 P_i와 P_j에 대하여 우선순위메트릭 M_{ij}를 다음 식과 같이 정의하였다.

$$M_{ij} = w_g \cdot (2 - g_{ij} - \frac{g_i}{2} - \frac{g_j}{2}) + w_e \cdot e_i + w_l \cdot (\frac{l_{ij}}{L_i} + \frac{l_{ij}}{L_j}) + w_f \cdot (2 - \frac{f_i + f_j}{F \cdot S}) \quad (1)$$

식 (1)에서 각 기호는 다음과 같이 정의된다.

g_i: P_i의 가우시안사상의 최소포함구 반지름

g_{ij}: P_i와 P_j의 가우시안사상의 최소포함구 반지름

e_i: P_i와 P_j사이의 경계경로에 있는 오목 간선을 공유하는 두 면의 수직벡터의 내적 평균

l_{ij}: P_i와 P_j사이의 경계경로 길이

f_i: P_i의 면의 개수

w_m: 각 매개변수 m의 가중치

L_i: P_i의 전체 경계경로 길이

F: 메쉬의 면의 전체 개수

S: 얻고자하는 조각 개수, 즉 분할 해상도

3. 그리디 알고리즘

식 (1)에서 w_m과 S를 사용자가 직관적으로 적절히 선택함으로써 메쉬 조각을 병합하기 위한 우리의 그리디 알고리즘에서 보다 효과적인 메쉬분할이 이루어지도록 할 수 있다. 그리디 병합 알고리즘은 튜플 집합과 활성 튜플과 소멸 튜플을 각각 삽입하고 삭제하는 우선순위큐를 사용하여 개발된다. 하나의 튜플은 한 쌍의 인접한 조각과 그것의 병합 우선순위 및 기타 정보를 포함한다. 우선 인접한 볼록패치의 각 쌍에 대하여 모두 튜플을 생성하여 우선순위큐에 삽입한다. 그런 후에 정지 조건이 만족될 때까지 최대 메트릭값을 가지는 활성 튜플을 우선순위큐로부터 삭제, 삭제된 튜플의 두 조각을 병합, 병합된 조각을 포함하는 튜플을 갱신 또는 삭제하는 과정을 만족한다. 알고리즘을 의사코드로 표현하면 다음과 같다.

```
procedure GREEDY_MERGER
input:  a set of convex patches {CP1,Λ ,CPn}
output: a set of merged parts {P1,Λ ,Ps}
begin
  Initialize a tuple priority queue PQueue;

  foreach a pair of adjacent parts Pi and Pj do
     PQueue.push(CREATE_TUPLE(i, j));
  end foreach

  loop
     TP(Pi, Pj, Mij) ← PQueue.pop();
    Merge the parts Pi and Pj into Pi;
    Initialize a temporary tuple priority queue
     tmpPQueue;
    while PQueue is not empty do
      TP(Pa, Pb, Mab) ← PQueue.pop();
      if a = i or b = i then
         tmpPQueue.push(CREATE_TUPLE
         (a, b));
      else if a = j or b = j then
```

if $a = j$ then $k \leftarrow b$ else $k \leftarrow a$;
if P_i was not adjacent with P_j then
tmpPQueue.push (CREATE_TUPLE (i, k));
end if
else
tmpPQueue.push ($TP(P_a, P_b, M_{ab})$);
end if
end while
PQueue $\leftarrow$ *tmpPQueue*;
until a given criterion is satisfied
while *PQueue* is not empty do
Output *PQueue.pop* ();
end while
end procedure

function CREATE_TUPLE(a, b)
begin
Compute the priority metric M_{ab} of the equation (1) P_a and P_b;
Create a tuple $TP(P_a, P_b, M_{ab})$;
return $TP(P_a, P_b, M_{ab})$;
end function

III. 구현 및 실험

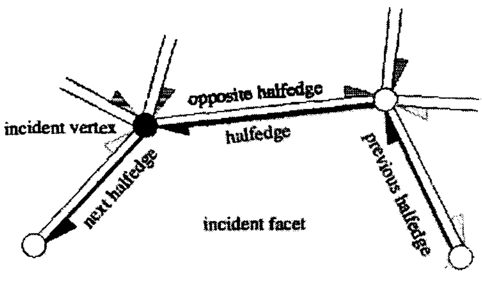


그림 3. halfedge 자료구조

테스트하기 위한 3D 메쉬 모델은 거의 Princeton 벤치마크[16]로부터 얻어졌으며 .off(Object File Format) 파일들은 CGAL의 내부 자료구조인 halfedge로 변화되어 읽혀진다. halfedge는 3D 물체의 경계표현으로 가장 많이 사용되는 자료구조로서 간선을 중심으로 정점, 간선 그리고 면의 인접관계를 다룰 수 있는 간선 중심의 자료구조이다. [그림 3]과 같이 메쉬의 각 간선마다 서로 반대 방향인 두 halfedge가 있다. 단 경계 부분의 간선에는 한 방향의 halfedge만 존재한다. 하나의 인접 면과 부속 정점이 각 halfedge마다 저장되고 각 면과 각 정점에는 하나의 인접 halfedge가 저장된다.

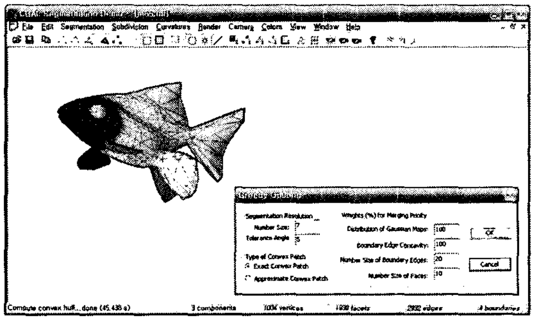
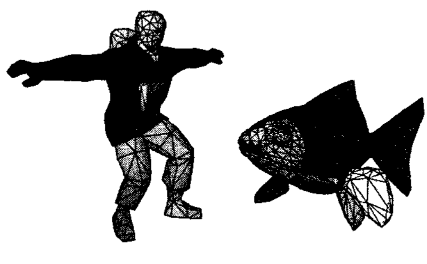


그림 4. 구현 시스템의 사용자 인터페이스

제안한 그리디 병합 방법은 마이크로소프트사의 윈도우즈 운영체제와 Visual Studio .NET 2003 컴파일러 환경에서 CGAL (computational geometry algorithm library) 라이브러리[17]를 사용하여 구현하였다. 구현된 시스템은 [그림 4]와 같이 분할 해상도와 오차허용각 및 2장에서 정의된 기하적 매개변수의 가중치를 부여할 수 있다.



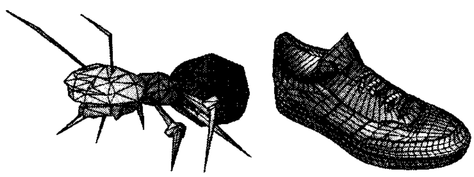
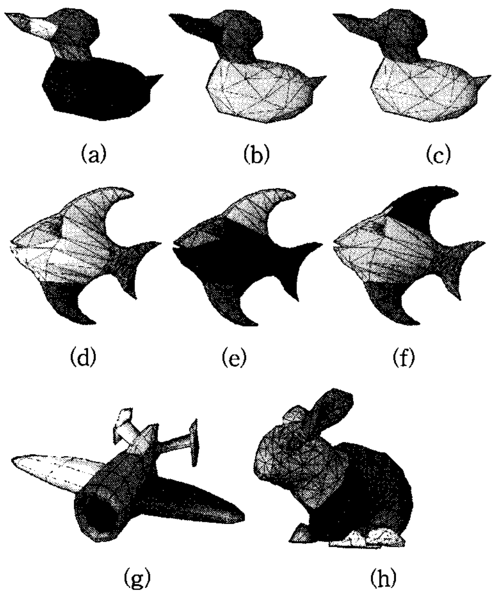


그림 5. 여러 요소로 구성된 모델에서의 예: 요소 개수는 각각 4, 3, 17, 12

여러 요소로 이루어진 모델에서 각 요소를 찾는 것은 그래프 알고리즘에서 연결요소를 찾는 것과 동일한 것이므로 메쉬 면의 인접관계를 고려하지 않는 자료구조보다 halfedge 자료구조를 사용하는 우리의 구현에서는 여러 요소(component)로 구성된 모델의 경우 큰 장점을 가지고 있다. 실제 디자인 단계에서는 하나의 요소로 구성된 모델보다는 여러 요소를 각각 디자인하여 구성하는 경우가 매우 많은데 halfedge 자료구조와 같이 경계 표현 방법을 사용하지 않는 대다수의 기존연구들의 구현에서는 이 특성을 활용할 수 없으나 우리의 구현에서는 [그림 5]와 같이 여러 요소로 구성된 모델의 경우 정의한 기하적 속성의 가중치를 크게 고려하지 않아도 메쉬의 특성 조각들로 매우 잘 분할될 수 있음을 볼 수 있다.



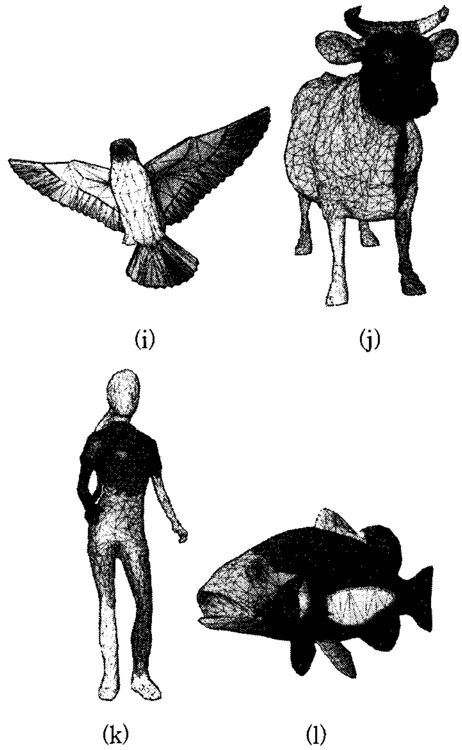


그림 6. 하나의 요소로 구성된 모델에서 예

표 1. [그림 6]의 모델에 대한 매개변수 및 가중치 값

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
F	182			478			160	902	1130	5804	2500	3208
S	7	3	2	7	4		6	7	7	10	8	10
W_g	100			100	100	20	100			100	10	50
W_e	100			100	100	20	100			100	100	50
W_l	20			20	20	100	20			100	100	20
W_f	10			10	10	10	10			100	10	20

halfedge 자료구조를 사용함으로써 얻는 장점 외에 본 논문에서 제안한 알고리즘의 효과를 제대로 평가하려면 하나의 요소로 구성된 모델에서 실험되어야 알 수 있다. [그림 6]은 하나의 요소로 구성된 메쉬 모델들에서 매개변수 가중치를 부여함으로써 조각 모양을 제어하는 사용자 의도의 메쉬분할의 결과를 보여준다. [표 1]은 [그림 6]의 분할에서 사용자 인터페이스를 통하여 대화적으로 부여된 매개변수 값들을 나타낸 것이다.

[그림 6]의 (a)에서 (e)는 하나의 모델에 대하여 분할 해상도를 달리했을 경우이고 (e)와 (f)는 매개변수 가중치를 달리했을 경우이다. 즉 같은 모델이라도 (e)에서는 가우시안사상 분포와 경계경로 오목성에 가중치를 높게 부여하여 특징 형태의 분할을 한 반면, (f)에서는 경계경로 길이에 가중치를 높게 부여하여 디스크 형태의 분할을 할 수 있다. (d), (e), (g)~(i)는 모두 본 논문에서 주안점을 두고 있는 특징 형태의 분할을 보여주고 있다.

IV. 결론 및 향후 과제

볼록패치를 기본단위로 조각을 병합하는 제안된 그리디 방법은 메쉬 조각의 기하적 유사성을 비교하는 3D 형상의 부분정합(partial matching)의 응용에 전 단계로 필요한 특징 형태의 메쉬분할이 동기가 되었다. 3D 형상 정합에서 유사도 측정값의 복잡도와 효율성은 회전 등 변환에 따라 그 측정값이 달라지므로 포즈(pose)의 정규화라는 다른 처리가 필요하다. 일반적으로 전체적인 기하적 특성을 유사도 측정치로 표현하는 전역적정합(global matching)은 이러한 포즈의 변화에 따라 측정치가 달라져 분별력이 저하될 수 있으나, 부분정합은 형상의 부분들의 유사도를 측정하여 비교하여 인체와 같이 팔다리 부분의 포즈가 달라지는 경우에도 식별력을 높일 수 있는 방법이 된다. 또한 하나의 장면에서 꽃과 같은 일부분의 모양을 검색하는 것은 부분매칭으로만 가능하다.

이 그리디 방법은 분할 해상도, 가우시안사상 분포, 경계경로 오목성, 경계경로 길이, 그리고 면의 개수의 다섯가지 기하적 속성으로 정의된 병합 우선순위메트릭에 기반하고 있다. 구현 및 실험 결과, 이러한 기하적 속성에 적당히 가중치를 줌으로써 특징 형태의 조각을 얻을 수 있었다. 의미 있는 조각의 기하적 속성을 정의하는 다른 매개변수를 개발함으로써 전체적인 구조를 변경하지 않고 이 방법의 효과성을 향상시킬 수 있는 잠재성이 있다고 할 수 있다. 예를 들면 모델 전체 또는 조각의 볼록껍데기의 극점을 보다 전역적인 기하적 속성을 반영하는 새로운 매개변수를 정의하는데 사용하는 방법도 생각해볼 수 있다.

현재 병합 우선순위메트릭 함수에 대한 매개변수의 가중치는 직관적으로 부여하여 시행착오로 최적의 상태를 찾는다. 이러한 수동적인 작동은 메쉬분할 문제가 본래 입력에 민감한 문제라서 사용자 의도의 메쉬분할을 위해서 어느 정도는 피할 수 없을 것이라 생각된다. 그러나 최적에 가까운 가중치를 시행착오로 찾는 데에는 많은 시간을 소요될 수도 있다. 향후에는 사용자가 가중치를 효과적으로 정하는데 도움을 주거나 자동적으로 정하기 위하여 주어진 메쉬에서 정의된 기하적 속성의 통계를 분석하여 활용하는 방법을 더 연구하여 적용하고자 한다. 또한 볼록패치를 기본단위로 병합하는 방법은 면을 기본으로 하는 방법보다 볼록성은 잘 유지할 수 있지만 지그재그 패턴이 나올 가능성은 더 크므로 그런 경우 조각의 자연스런 경계 모양을 얻기 위해서는 분할된 조각의 후처리 기능도 필요하다.

참고문헌

[1] 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.

[2] T. Srinak and C. Kambhamettu, "A novel method for 3D surface mesh segmentation," Proceedings of the 6th IASTED International Conference on Computers, Graphics, and Imaging, pp.212-217, 2003.

[3] M. Garland, A. Willmott, and P. S. Heckbert, "Hierarchical face clustering on polygonal surfaces," Proceedings of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics, pp.49-58, 2001.

[4] S. Katz and A. TalHierarchical, "Mesh decomposition using fuzzy clustering and cuts," ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol.22, No.3, pp.954-961, 2003.

[5] 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.

[6] 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.

[7] T. K. Dey, J. Giesen, and S. Goswami, "Shape segmentation and matching with flow discretization," Proceedings of the Workshop on Algorithms and Data Structures (WADS), Lecture Notes in Computer Science, Vol.2748, pp.25-36, 2003.

[8] K. Wu and M. D. Levine, "3D part segmentation using simulated electrical charge distributions," Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp.14-18, 1996.

[9] D. C. Steiner, P. Alliez, and M. Desbrun, "Variational shape approximation," Proceedings of the 31st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), pp.27-34, 2004.

[10] 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.

[11] A. Shamir, "A formulation of boundary mesh segmentation," Proceedings of 2nd Int. Sym. on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT'04), pp.82-89, 2004.

[12] D. D. Hoffman and W. A. Richards, "Parts of recognition," Cognition, Vol.18, pp.65-96, 1984.

[13] D. D. Hoffman and M. Singh, "Salience of visual parts," Cognition, Vol.63, pp.29-78, 1997.

[14] B. Chazelle et al., "Strategies for polyhedral surface decomposition: an experimental study," Computational Geometry: Theory and Applications, Vol.7, pp.327-342, 1997.

[15] 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.

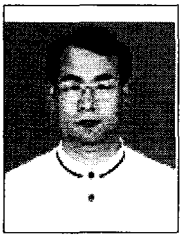
저 자 소 개

하 종 성(Jong-Sung Ha) 정회원

- 1984년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 1986년 : 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
- 1996년 : 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)
- 1986년 ~ 1989년 : (주)현대전자산업 근무
- 1990년 ~ 현재 : 우석대학교 게임콘텐츠학과 교수
- 2001년 : 미국 조지워싱턴대학교 방문교수

<관심분야> : 응용계산기하학, 컴퓨터그래픽스, 3D 콘텐츠 등임

유 관 희(Kwan-Hee Yoo) 정회원



- 1985년 : 전북대학교 전산통계학과 (이학사)
- 1988년 : 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
- 1995년 : 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)
- 1988년 ~ 1997년 : (주)데이콤 종합연구소 선임연구원
- 1997년 ~ 현재 : 충북대학교 컴퓨터교육과, 정보산업공학과 및 컴퓨터·정보통신연구소 교수
- 2003년 ~ 2005년 : 미국 카네기멜론대학교 로보틱스연구소 방문교수

<관심분야> : 컴퓨터그래픽스, 인공치아모델링, 3차원게임 등임