

論文2001-38SP-1-4

3차원 영상 검색을 위한 중심축 변환에 의한 그래프 표현 기법 (Graph Representation by Medial Axis Transform Image for 3D Retrieval)

金 德 勳*, 尹 逸 東**, 李 商 郁*

(Duck Hoon Kim, Il Dong Yun, and Sang Uk Lee)

요 약

최근 거리 데이터와 CAD로부터 생성된 3차원 영상에 대한 관심이 급격하게 증가하여 다양한 3차원 영상 데이터베이스가 구축되고 있다. 원하는 영상 자료를 효과적이면서 고속으로 검색할 수 있는 시스템은 인터넷과 디지털 도서관 분야에서 중요한 문제로 부각되고 있다. 그러나, 3차원 영상 자료의 방대한 크기로 인하여 데이터베이스 관리에 어려움이 있다. 따라서 영상의 효율적 관리와 함께 내용 기반의 검색을 위한 적합한 기술자가 필요하게 된다. 본 논문에서 제안하는 형상 기술자는 3차원 영상에 대한 체적소화(voxelization)를 기반으로 한다. 체적소화된 3차원 영상에 대하여 수학적 형태학에서 파생된 골격화를 수행하고, 골격으로부터 노드(node)와 에지(edge)로 구성된 그래프를 생성한다. 생성된 그래프는 3차원 영상의 기하학적인 정보를 소실하지 않고, 인간의 직관과 유사하여 새로운 형상 기술자로 적합하다. 따라서 제안하는 형상 기술자는 3차원 물체 인식과 압축 그리고 내용 기반의 검색에 유용하게 사용할 수 있다.

Abstract

Recently, the interests in the 3D image, generated from the range data and CAD, have exceedingly increased, accordingly a various 3D image database is being constructed. The efficient and fast scheme to access the desired image data is the important issue in the application area of the Internet and digital library. However, it is difficult to manage the 3D image database because of its huge size. Therefore, a proper descriptor is necessary to manage the data efficiently, including the content-based search. In this paper, the proposed shape descriptor is based on the voxelization of the 3D image. The medial axis transform, stemming from the mathematical morphology, is performed on the voxelized 3D image and the graph, which is composed of node and edge, is generated from skeletons. The generated graph is adequate to the novel shape descriptor due to no loss of geometric information and the similarity of the insight of the human. Therefore the proposed shape descriptor would be useful for the recognition of 3D object, compression, and content-based search.

* 正會員, 서울 大學校 電氣工學部

(School of Electrical Engineering Seoul National Univ.)

** 正會員, 韓國外國語大學校 電子制御工學部

(School of Electrical and Control Engineering, Hankuk Univ. of F.S.)

※ 이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 연구되었음. (KRF-99-99-041-E00276)

接受日字:2000年8月23日, 수정완료일:2000年10月12日

I. 서 론

최근 레이저 스캐너와 공간 부호화 기법 등과 같은 3차원 거리 데이터의 측정 기술이 발달함에 따라 물체 표면의 정확한 3차원 거리 정보를 얻을 수 있게 되었다. 이렇게 취득된 거리 영상은 3차원 물체의 모델링에 매우 유용하게 이용되며, 특히 컴퓨터 이용 설계(Computer Aided Design), 재공학(Reverse Engi-

neering), 컴퓨터 그래픽스(Computer Graphics) 등의 분야에 응용되고 있다.

거리 영상으로부터 얻은 3차원 데이터가 기하급수적으로 늘어남에 따라 여러 방면에서 3차원 영상과 모델 데이터베이스의 구축이 시도되고 있다^[1]. 그러나 일반적으로 레이저 스캐너로 구한 3차원 영상은 방대한 좌표 정보로 인하여 크기가 커져 그대로 저장하거나 전송할 수 없다. 그러므로 데이터베이스의 효율적 관리를 위해서 적합한 기술자가 필요하게 된다. 또한 기존의 2차원 영상 검색 기법에서 사용하는 형상 기술자는 3차원 영상 데이터베이스 관리에 있어서 효율의 저하를 가져온다. 왜냐하면 3차원 영상은 2차원 영상과 달리 기하학적인 정보가 소실되지 않기 때문이다. 따라서 3차원 영상 데이터베이스 관리를 위한 새로운 형상 기술자가 필요하게 된다^[2].

기존의 3차원 형상 기술자로는 EGI(Extended Gaussian Image), 3D FD(3D Fourier Descriptor), MAT(Medial Axis Transform) 등이 소개되어 있다. 3차원 물체가 다각형으로 근사된 경우에 각각의 다각형의 법선 벡터를 각도 기준으로 구 표면에 표현하여 물체를 기술하는 기법이 EGI이다^[3]. 이 방법은 3차원 영상의 워터마킹(watermarking)에도 사용되고 있다^[4]. 그러나, 물체의 국부적인 특징만을 고려하기 때문에 전체적인 형상을 기술하는 데에는 어려움이 있다. 여러 가지 주파수 변환과 마찬가지로 3차원 영상을 주파수 성분으로 표현하여 기술자로 사용하고자 하는 방법이 3D FD이다. 낮은 주파수 영역에 대부분의 정보가 포함되어 3차원 영상을 추상화하는 데에 적합한 기법이지만, 물체의 일부 가리움과 중심점 이동에 의한 오차에 민감한 문제점을 가지고 있다^[5]. MAT는 Blum에 의하여 제안된 이후로, 2차원 영상에 관한 연구가 여러 방면으로 진행되고 있다^[6,7]. 3차원 영상에서 골격(skeleton)화 연구는 본격적으로 진행되고 있지 않지만 수학적 형태학이나 계산 기하(computational geometry)를 이용하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다^[8,9]. 3차원 물체의 MAT는 인간의 직관과 유사하다는 장점을 가지고 있지만 선분과 면으로 구성되기 때문에 3차원 영상의 형상을 기술하는데 어려움이 있다. 이러한 기존의 3차원 형상 기술자는 영상의 형상을 표현할 수 있지만 이들을 실제 인식이나 검색에 사용할 수 있도록 응용하는 연구가 진행되지 않고 있다. 또한 다각형 메시로 구성된 3차원 영상은 실좌표계의 사용으로 인하여 적절한

알고리즘을 적용하는 데에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 3차원 영상을 체적소화하고 이를 바탕으로 알고리즘을 설명한다. 3차원 영상의 체적소화는 기존의 영상 처리 알고리즘을 비롯한 여러 가지 알고리즘을 적용하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

제안하는 그래프 표현 기법은 체적소화(voxelization)와 수학적 형태학(mathematical morphology)을 이용하여 3차원 영상의 골격화를 수행한 후 각 요소들을 노드(node)와 에지(edge)로 나타내고, 각 노드에 물체의 특징들을 저장하는 그래프를 생성하는 기법이다. 그림 1에서 제안하는 그래프 표현 기법의 구조를 블록 다이어그램으로 나타내었다.

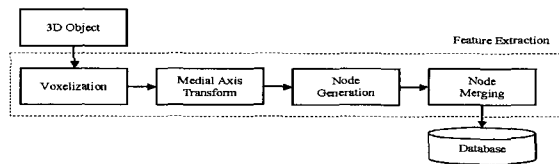


그림 1. 제안하는 기법의 블록 다이어그램
Fig. 1. The block diagram of the proposed algorithm.

그림 1의 그래프 표현 기법을 거쳐서 데이터베이스에 저장된 3차원 영상의 그래프는 골격화를 사용함으로써 기하학적 정보를 잃지 않고, 인간의 직관과 유사한 형태로 인하여 3차원 물체 인식이나 방대한 양의 데이터베이스의 효율적 관리에 유용하게 사용할 수 있다. 또한, 수학적 형태학을 이용하여 3차원 영상을 체적소의 입장에서 접근함으로써 계산 기하를 이용하는 방법에 비하여 잡음에 강건하다는 장점을 가지고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3차원 영상의 체적소화 기법에 관하여 서술하고, 3장에서는 체적소화 결과를 바탕으로 그래프를 생성하는 방법에 관하여 서술한다. 4장에서는 제안한 그래프 생성 기법에 대한 실험 결과를 제시하고 5장에서는 결론을 서술한다.

II. 3차원 영상의 체적소화 기법

본 논문에서는 삼각형 메시로 표현된 3차원 영상을 체적으로 표현하고 수학적 형태학을 이용하여 영상을 표현하는 그래프를 생성하게 된다. 체적소화 과정은 크게 두 가지로 나누어볼 수 있는데, 첫 번째 단계는 영

상의 삼각형 메쉬를 체적소로 표현하는 과정이고, 두 번째 단계는 첫 번째 단계의 결과를 바탕으로 수학적 형태학의 영역 메우기 알고리즘을 적용하여 3차원 영상의 내부를 메우는 과정이다. 제안하는 체적소화 기법은 3차원 영상을 크기에 관계없이 구하고자 하는 체적소의 해상도로 표현할 수 있다. 체적소의 해상도란 3차원 영상의 테두리 상자(bounding box)에 대하여 체적소화를 수행할 때 각 변을 어떻게 등분할 것인가를 의미한다.

1) 삼각형 메쉬 체적소화

컴퓨터 그래픽스는 3차원 공간상의 장면을 2차원 영상으로 변환하는 것을 목적으로 한다. 컴퓨터 그래픽스에서는 영상을 보여주는 방법으로 래스터 그래픽스(raster graphics)를 사용하는데, 이 방법은 3차원 공간상의 장면을 화소로 표현하는 기법으로, 직선이나 다각형을 화소로 변환하면서 발생하는 톱날 모양의 무늬(jagged pattern), 렌더링 속도 저하 등의 단점을 가지고 있다^[10]. 래스터 그래픽스에서 직선을 화소로 표현하고자 하는 경우에 DDA(Digital Differential Analyzer) 알고리즘이 주로 사용된다. 본 논문에서는 DDA 알고리즘을 3차원 물체의 삼각형 메쉬 체적소화에 응용한다. 그림 2에서 기준이 되는 삼각형의 꼭지점을 M, 다른 두 꼭지점들을 L, R이라 하자. L과 R을 연결하는 선분에 대하여 적절한 증가분을 찾고, 증가분에 따라 L에서 R로 P를 이동한다. P는 M과 P를 연결하는 선분의 체적소화를 수행하면서 이동하게 되고, 이 때 DDA 알고리즘을 적용하면 삼각형 LMR에 대한 체적소화가 수행된다. 본 논문에서 제안하는 체적소화 기법은 물체

의 크기에 관계없이 체적소화를 수행하기 위하여 테두리 상자를 이용한다. 즉, 테두리 상자의 가장 짧은 변을 기준으로 체적소화를 수행하는데, 이는 영상의 크기에 관계없이 구하고자 하는 해상도로 영상을 체적소화할 수 있다.

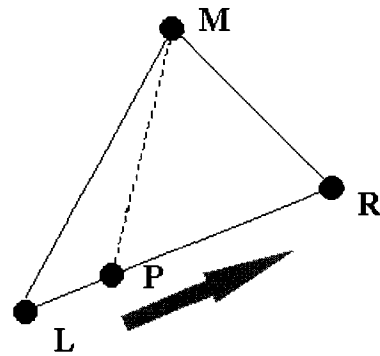


그림 2. 3차원 공간상의 삼각형 메쉬에 대한 DDA 알고리즘의 적용 예

Fig. 2. An example of the DDA algorithm applied to a triangular mesh.

2) 영역 메우기

삼각형 메쉬로 표현된 3차원 영상의 경계에 대한 체적소화가 수행되면 그래프 생성 알고리즘을 적용하기 위하여 물체의 내부도 체적소로 메우게 되는데, 본 논문에서는 수학적 형태학의 영역 메우기 알고리즘^[11]을 사용한다. 기존의 영역 메우기 알고리즘은 영역 내부의 화소에 대한 정보를 알고 있어야 동작한다는 단점을 가지고 있으나 본 논문에서 제안하는 개선된 알고리즘

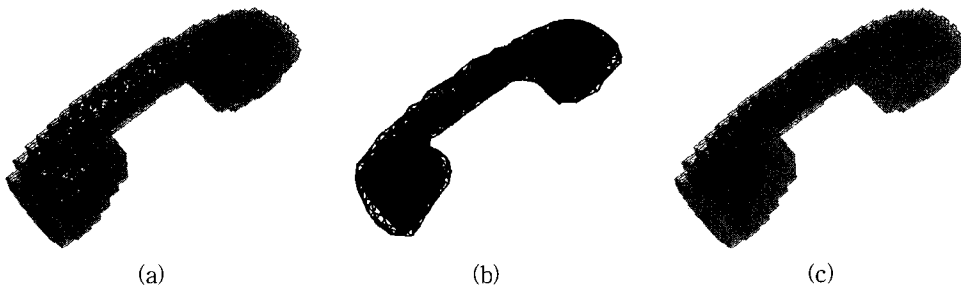


그림 3. 전화기 영상의 체적소화 결과 (a) DDA 알고리즘을 응용하여 경계를 체적소로 표현 (b) 개선된 영역 메우기 방법으로 내부를 체적소로 표현 (c) 경계와 내부를 함께 표현

Fig. 3. The phone data after the voxelization (a) the representation of the boundary by voxels using the DDA algorithm, (b) the representation of the interior by voxels using the proposed region filling algorithm, and (c) the representation of the phone data by voxels.

은 영역 내부의 정보를 이용하지 않으면서 빠르게 영역을 메울 수 있다. 개선된 영역 메우기 알고리즘은 영상의 테두리 상자의 성질을 이용하여 영상의 외부 영역을 메우고, 이의 역상으로부터 영역이 메워진 영상을 얻고자 하는 방법이다. 우선 영상의 테두리 상자를 기반으로 만들어진 체적소를 대상으로 각 축 방향으로 두 층의 체적소를 더한다. 그러면 새로이 추가된 체적소는 테두리 상자의 정의에 의하여 물체에 포함되지 않게 되고, 물체의 외부로 정의할 수 있다. 이렇게 정의된 체적소를 이용하면 수학적 형태학의 영역 메우기 알고리즘을 적용하여 3차원 영상의 외부 영역을 메울 수 있고, 외부 영역이 메워진 영상의 역상으로부터 영상의 내부가 메워진 영상을 얻을 수 있다. 그림 3은 672개의 삼각형 메쉬로 표현된 전화기 영상에 대하여 $38 \times 15 \times 34$ 의 해상도로 체적소화한 결과이다.

III. 그래프 표현 기법

급증하는 3차원 영상 데이터베이스의 보다 효과적인 색인을 위한 내용 기반의 검색 및 브라우징에 대한 관심이 고조되고 있다. 1996년 10월 MPEG(Moving Picture Expert Group)에서는 “멀티미디어 내용 기술 인터페이스(Multimedia Content Description Interface)”

라는 부제의 MPEG-7을 논의하기 시작하였다. MPEG-7은 현재 2001년 11월 국제 표준안 확정을 목표로 진행 중이며, 대체로 멀티미디어 정보의 검색을 효과적으로 제공하는 것을 목표로 하고 있다^[12]. 그러나 본격적인 3차원 영상의 기술자에 대한 논의는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 3차원 영상의 경우는 2차원 영상과 달리 가리움(occlusion)이나 물체에 대한 시점의 방향에 영향을 받지 않기 때문에, 2차원 영상과는 다른 영상 기술자를 정의하는 것이 적합하며, 여러 가지 방법들이 제안되고 있다^[2]. 그러나, 이러한 기술자들은 인간의 직관과 일치하지 않는 정의로 인하여 적절한 색인을 수행하지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 3차원 영상에 대한 새로운 영상 기술자로 인간의 직관과 유사한 그래프를 정의하고자 한다. 체적소화가 수행된 3차원 영상에 대하여 골격화를 수행하고, 골격화로부터 생성된 계층 정보를 이용하여 그래프의 노드와 에지를 생성한다. 보다 적절한 그래프 표현을 위하여 노드간의 병합을 수행하게 되는데, 병합 여부를 판단하는 조건으로 노드의 크기와 노드간의 거리를 고려한다.

1) 골격화

체적소화가 수행된 3차원 영상에 대한 골격화는 수학적 형태학의 골격화 알고리즘^[11]을 이용하여 구현한다. 그림 4는 672개의 삼각형 메쉬로 구성된 전화기 영

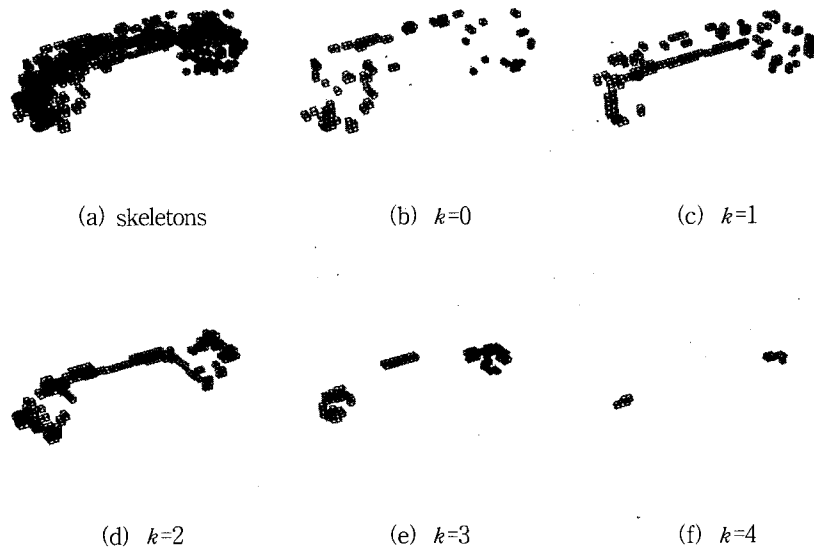


그림 4. 골격의 계층 구조

Fig. 4. The hierarchic structure of skeletons.

상에 대하여 $38 \times 15 \times 34$ 의 해상도로 체적소화를 수행한 결과에 대하여 계층별로 골격을 표현한 것으로, k 는 계층을 의미한다.

2) 골격을 바탕으로 한 노드 생성 기법

그래프는 노드(node)와 에지(edge)로 구성된 집합이다. 본 논문에서는 3차원 영상을 그래프로 표현하기 위하여 노드는 골격화로부터 얻은 각 계층의 골격으로부터, 에지는 각 노드간의 연결 정보로부터 생성한다. 그림 5에서 2차원 영상의 경우에 대하여 설명하고, 그림 6에서 3차원 영상에 대한 노드와 에지 생성 결과를 제시하였다.

그림 5(a)는 12×7 영상으로, 골격화를 수행하면 그림 5(b)와 같다. 메워진 화소인 1개의 골격이 $k=2$ 인 경우이고, 벽돌 무늬의 화소인 2개의 골격이 $k=1$ 인 경우, 점으로 표시된 화소인 5개의 골격이 $k=0$ 인 경우이다. 제안하는 노드 생성 기법은 우선 최상위 계층의 골격에 대하여 계층값 만큼의 팽창을 수행하여 노드를 생성한다. 최상위 골격은 $k=2$ 인 골격이므로 그림 5(c)와 같이 2번의 팽창 과정을 수행하게 된다. 최상위 골격에 대한 팽창을 수행한 후 한 단계 낮은 계층의 골격에 대하여 팽창을 수행하는데 이전 계층의 팽창 결과에 포함된 골격에서는 팽창을 수행하지 않는다. 그림 5(d)는 $k=2$ 인 계층의 팽창에 포함되지 않은 골격에 대한 1번의 팽창 결과이다. 이와 같은 과정을 반복하여 노드를 생성하게 되고, 그림 5(e)는 $k=0$ 인

경우에 0번의 팽창으로 노드가 생성된 결과이다. 이렇게 각 계층별로 구한 팽창 결과의 합집합이 노드가 되는데 팽창 결과가 겹치는 경우에는 상위 계층의 결과를 따른다. 그림 5(f)는 그림 5(a)에서 주어진 영상의 노드 생성 결과이다.

실제로 그래프의 노드가 되기 위해서는 그림 5(f)와 같은 합집합에 대하여 연결 성분을 추출하여 노드를 라벨링(labeling)하는 과정이 필요한데, 이는 수학적 형태학의 연결 성분 추출 알고리즘^[11]을 이용하여 구현한다. 그리고 생성된 노드에 대하여 연결성 여부를 판단하여 에지를 구성하게 되는데, 제안하는 노드 생성 기법의 경우 노드 생성 결과가 기존 영상과 일치하지 않는다. 이는 상위 단계의 노드에 포함된 골격을 노드의 생성에 사용하지 않기 때문이다. 즉, 골격화의 결과로부터 기존 영상을 복원^[13]할 수 있지만, 골격의 일부가 노드 생성 과정에서 소실되기 때문에 노드 생성 결과는 기존 영상과 일치하지 않는다. 따라서 노드간의 연결성 여부를 판단하기 위하여 골격으로부터 복원한 별도의 영상을 노드 생성 결과와 비교하면서 에지를 추출한다.

그림 6은 $38 \times 15 \times 34$ 의 해상도로 체적소화된 전화기 영상에 대하여 53개의 노드와 에지가 생성된 결과이다. 그림 6(a)는 체적소화된 전화기 영상에서 골격의 계층에 따라서 노드를 다른 색으로 표현한 그림이고, 그림 6(b)는 각각의 체적소를 노드별로 라벨링을 하고 각 노드에 해당하는 체적소들의 평균값을 중심으로, 골격의

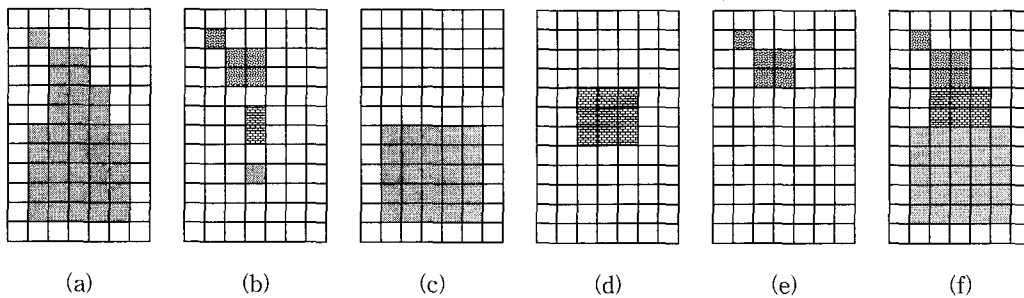


그림 5. 수학적 형태학을 이용한 노드 생성 기법 (a) 12×7 실험영상 (b) 3개의 계층을 가지는 12×7 영상의 골격화 결과 (c) $k=2$ 인 계층에 대하여 2회 팽창을 수행한 영상 (d) $k=2$ 인 계층의 팽창 결과에 포함된 골격을 제외한 $k=1$ 인 계층에 대하여 1회 팽창을 수행한 결과 (e) $k=0$ 인 계층의 0회 팽창 결과 (f) (c),(d),(e) 영상의 합집합

Fig. 5. The node generation technique using the mathematical morphology; (a) a test image, (b) skeletons of the example image with three classes, (c) the result of two dilations on the class of $k=2$, (d) the result of one dilation on the class of $k=1$ except skeletons included the class of $k=2$, (e) the result of zero dilation on the class of $k=0$, and (f) the union of (c), (d), (e).

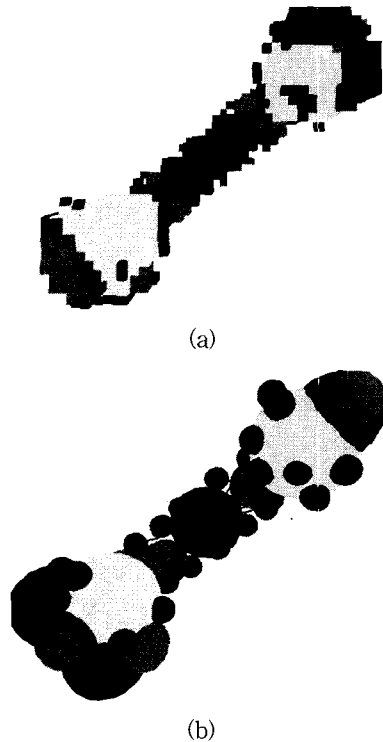


그림 6. 전화기 영상에 노드 생성 기법을 적용한 결과 (a) 체적소가 53개의 노드로 구분된 결과 (b) 노드를 구로 표현하고 에지를 선분으로 표현한 그래프

Fig. 6. The result of the node generation technique for the phone: (a) voxels represented by 53 nodes, and (b) nodes and edges of the graph are represented by spheres and line segments, respectively.

계층을 반지름으로 설정하여 구로 표현한 것이다.

3) 노드의 병합 과정을 통한 그래프 표현 기법

노드 생성 기법으로 3차원 영상의 그래프를 생성하면 그림 6의 전화기 영상처럼 노드의 개수가 많아서 인식이나 색인에 적합하지 않다. 따라서 노드간의 병합 과정을 통하여 적절한 그래프로 표현하는 후처리 과정이 필요한데, 본 논문에서는 크기 조건과 거리 조건을 설정하여 노드의 병합 여부를 판단한다. 노드의 병합 과정은 크기 조건을 반복적으로 적용한 후 거리 조건을 적용하여 적절한 그래프를 생성하는 과정으로, 두 노드가 병합되는 경우 계층이 낮은 노드가 계층이 높은 노드로 병합되는 것을 원칙으로 한다.

노드는 골격으로부터 생성된 체적소의 집합으로 골격의 계층을 특질로 가지는데, 노드의 계층이 높을수록,

노드를 구성하는 체적소의 개수가 많을수록 영상에서 중요한 부분이라고 할 수 있다. 그러므로 적절한 문턱치를 설정하여 문턱치보다 작은 개수의 체적소를 가진 노드들을 병합하면 적절한 개수의 노드로 그래프를 표현할 수 있다. 그러나 다리가 몸통에 비하여 왜소한 사지 동물의 경우, 다리 부분에 계층이 낮으면서 체적소의 개수가 적은 노드가 생성되고, 이 노드가 다른 노드에 병합되어 특징이 소실된 그래프가 생성된다. 따라서 본 논문에서는 각 k 번째 계층의 노드들에 대하여 문턱치 T_k 를 설정하고, 계층에 따라 노드들의 병합 여부를 결정한다. 그런데 각 계층에 대하여 문턱치를 설정하고 병합을 수행하면, 상위 계층으로 갈수록 노드의 개수가 줄어들기 때문에 상위 계층의 노드 중에서 일부가 다른 노드에 병합되는 결과를 초래한다. 따라서 전체적인 노드들의 체적소의 개수에 대하여 문턱치 T 를 설정하고, 이 문턱치보다 작은 문턱치 T_k 를 가지는 계층에 대하여 노드의 병합 여부를 결정하는 크기 조건을 설정한다. 이를 정리하면 식 (1)과 같이 표현된다.

$$N_k(i) < T_k \text{ if } T_k < T, i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

여기서 k 는 골격의 계층을 의미하고, n 은 k 계층에 포함된 노드의 개수를 의미한다. n 개의 노드들을 체적소의 개수에 대한 오름차순으로 정렬하였을 때, $N_k(i)$ 는 k 계층에서 i 번째 노드의 체적소의 개수이다. 문턱치 설정 방법으로는 주어진 집합을 두 부분으로 나눌 때 분리도를 최대로 만드는 Otsu의 기법^[14]을 사용한다.

크기 조건에서 각 계층 별로 노드의 병합 여부를 고려하므로 실제로 낮은 계층의 노드 중에서 의미없는 부분이 그래프에 포함될 가능성이 존재한다. 또한 동일한 계층의 노드들 중에서 하나로 병합될 필요가 있는 부분이 그래프에 포함될 가능성도 존재한다. 본 논문에서는 이러한 노드들을 병합하기 위하여 각 노드의 중심간의 거리를 각 노드의 계층값의 합과 비교하는 거리 조건을 설정하였고, 이는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$d(M_k, M_l) < \sqrt{3}(k+l) \quad (2)$$

여기서 k, l 은 골격의 계층을 의미하고, M_k 는 노드의 중심, $d(\cdot, \cdot)$ 는 유클리디안 거리를 의미한다. $\sqrt{3}$ 은 체적소가 직육면체이므로 대각선의 길이를 고려하기 위한 상수이다.

IV. 실험 결과

제안하는 3차원 영상의 그래프 표현 기법의 성능을 평가하기 위하여 세 가지 3차원 영상에 대하여 모의 실험을 수행하였다. 3차원 영상은 삼각형 메쉬로 표현된 경우를 대상으로 하였고, 체적소화는 영상의 테두리 상자에 대하여 가장 짧은 변을 15등분하여 구현하였다. 그리고 최종 그래프 표현은 노드와 에지의 정보를 저장하게 되고, 노드는 반지름을 가지는 구로 에지는 선분으로 표현된다. 본 논문에서는 Intel Pentium III 600MHz, 192MB Memory의 하드웨어와 Windows NT Server 4.0 운영 체제 하에서 실험을 수행하였다.

그림 7은 전화기, 장난감개, 소에 대한 실험 결과이고, 표 1과 표 2에서 체적소화, 골격화, 그래프 표현 기법에 대한 결과와 각 알고리즘의 수행 시간을 기술하였다. 표 2에서 영상 표현을 위한 체적소의 개수는 주어진 3차원 영상에 대하여 체적소화를 수행하였을 때 영상을 표현하는데 필요한 체적소의 개수를 의미하고, 그래프 표현을 위한 체적소의 개수는 영상을 노드와 에지로 구성된 그래프로 표현하는 경우 노드를 구성하는데 필요한 체적소의 개수를 의미한다. 세 가지 3차원 영상에 대하여 영상 표현을 위한 체적소의 개수와 그래프 표현을 위한 체적소의 개수가 일치하지 않

음을 알 수 있는데, 이는 제안하는 그래프 표현 기법이 완전한 복원을 수행하지 않는다는 것을 의미한다.

그림 7에서 (a), (d), (g)는 실험 영상을 와이어프레임(wireframe)으로 표현한 것이고, (b), (e), (h)는 체적소화된 영상이 적절한 노드로 표현된 결과이고, (c), (f), (i)는 (a), (d), (g)의 그래프 표현 결과이다. 그림 7에서 (c), (f), (i)의 구 반지름은 노드의 계층에 따라 결정된다.

그래프 표현 결과를 살펴보면 전화기 영상은 승화기, 수화기, 손잡이로 표현되는 것을 알 수 있고, 장난감 개나 소의 경우 크게 머리와 몸통, 그리고 4개의 다리로 표현됨을 알 수 있다. 특히 장난감 개의 경우 꼬리와 귀가 노드로 표현되어 보다 상세하게 영상을 기술하는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 3차원 영상을 노드와 에지로 표현하여 그래프를 생성하는 기법을 제안하였다. 우선 삼각형 메쉬로 표현된 영상을 대상으로 체적소화를 적용하고, 중심축 변환에 의하여 골격화를 수행한다. 이로부터 노드와 에지로 구성된 그래프를 생성하는데, 적절한 노드를 선택하기 위하여 크기 조건과 거리 조건을 설정하였다. 세 가지 3차원 영상에 대한 실험 결과로부터 제안하는 그래프 표현 기법이 인간의 직관과 유사한 그

표 1. 그래프로 표현된 3차원 영상의 특징
Table 1. Properties of 3D Image Represented by the Graph.

물체	점의 개수	메쉬의 개수	체적소의 해상도	골격의 계층	그래프 노드의 개수
전화기	338	672	38×15×34	4	3
장난감개	1944	3808	29×23×15	3	8
소	2904	5804	46×28×15	5	6

표 2. 그래프 생성 과정별 수행시간과 체적소의 개수
Table 2. The Execution Time and the Number of Voxel for Each Process.

물체	체적소화 수행시간 (sec)	골격화 수행시간 (sec)	그래프 생성 수행시간 (sec)	영상 표현을 위한 체적소의 개수	그래프 표현을 위한 체적소의 개수
전화기	2.093	1.953	9.784	3664	2999
장난감개	1.202	0.791	4.236	1945	1858
소	2.454	2.543	13.410	5975	5129

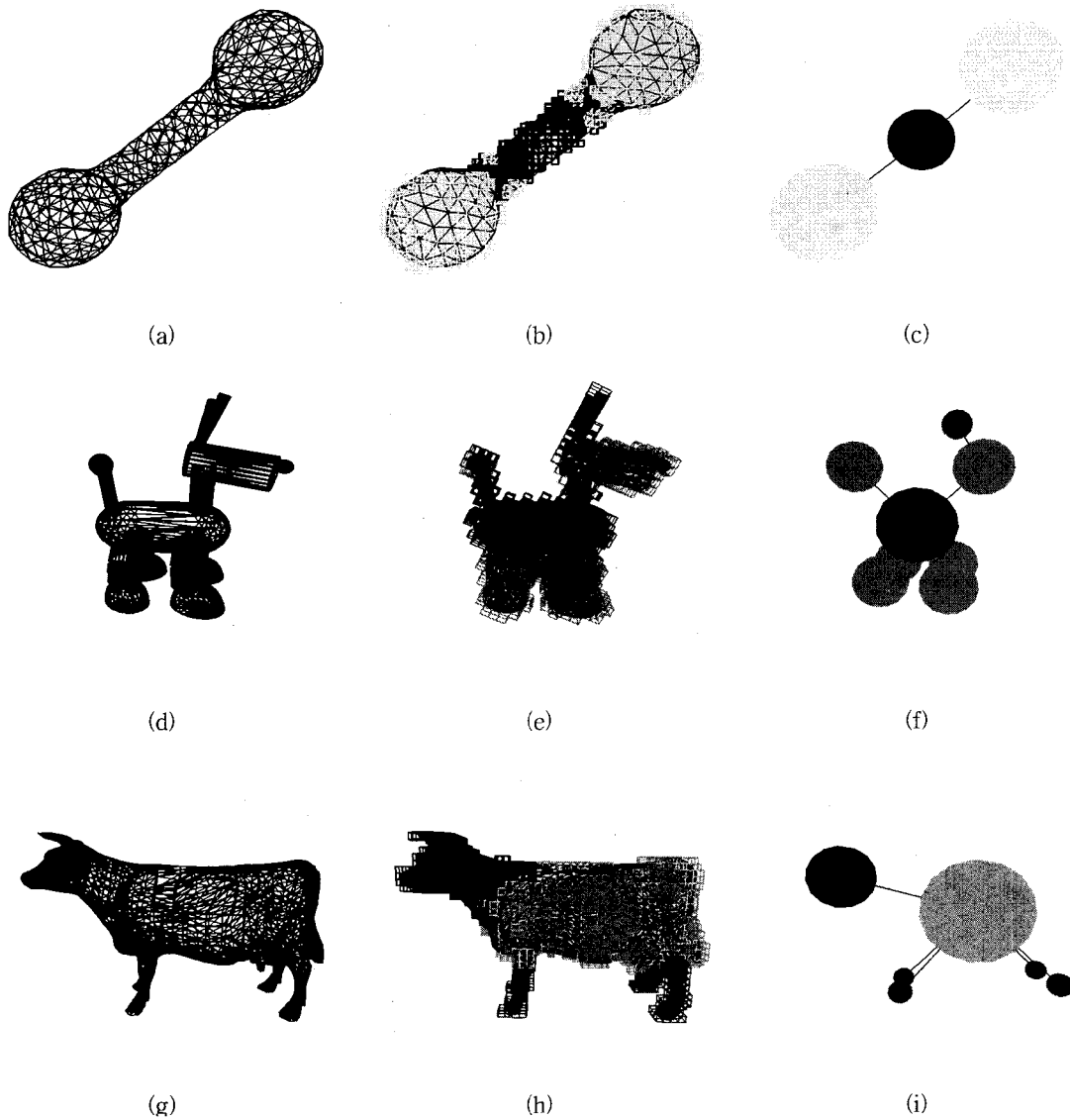


그림 7. 3차원 물체의 그래프 생성 실험 결과 (a) 전화기 영상 (b) 3개의 노드로 표현된 그래프 생성 (c) 전화기 영상의 그래프 표현 (d) 장난감개 영상 (e) 8개의 노드로 표현된 그래프 생성 (f) 장난감개 영상의 그래프 표현 (g) 소 영상 (h) 6개의 노드로 표현된 그래프 생성 (i) 소 영상의 그래프 표현

Fig. 7. Experimental results of the graph representation of 3D objects; (a) the phone data, (b) the phone data with three nodes, (c) the graph representation of the phone data, (d) the toydog data, (e) the toydog data with eight nodes, (f) the graph representation of the toydog data, (g) the cow data, (h) the cow data with six nodes, and (i) the graph representation of the cow data.

래프를 생성함을 확인할 수 있다. 제안하는 기법은 삼각형 메쉬의 크기와 관계없는 체적소화 알고리즘을 적용함으로써 같은 물체를 표현하는 다중해상도모델에 대하여 동일한 그래프를 생성한다. 그러나 체적소의

해상도를 일정하게 적용하기 때문에 물체에 특성을 살리지 못하는 경우가 발생하고, 특히 체적소의 해상도가 낮은 경우에는 적절한 그래프가 생성되지 않는다. 또한 물체의 자세가 변하는 경우 체적소화의 결과에

따라 그래프의 형태가 달라진다. 일례로 사람에 대하여 그래프를 생성하는 경우 두 팔을 벌리고 있는 경우와 두 팔을 몸통에 붙이고 있는 경우에 동일한 그래프를 생성하지 못한다. 그러나 제안하는 기법으로 생성된 그래프는 중심축 변환을 이용하여 기하학적인 정보를 잃지 않고, 인간의 직관과 유사하며, 뛰어난 압축 효과를 가진다. 또한 유사한 구조를 가지는 물체의 경우 노드에 저장된 체적소의 개수와 에지에 저장된 노드간의 거리 정보로부터 변별력있는 색인과 인식을 간단한 척도로 수행할 수 있다. 따라서 제안하는 기법은 3차원 물체 인식, 압축, 그리고 방대한 양의 데이터베이스의 효율적 관리에 유용하게 응용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.3dcafe.com/>
- [2] E. Paquet and M. Rioux, "Nefertiti : A query by content system for three dimensional model and image databases management," *Image and Vision Computing*, vol. 17, no. 2, pp. 157-166, February 1999.
- [3] K. Ikeuchi, "Determining attitude of object from needle map using extended gaussian image," *MIT A.I. Memo*, no. 714, April 1983.
- [4] Oliver Benedens, "Geometry-based watermarking of 3D models," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 19, no. 1, pp. 46-55, January 1999.
- [5] M. F. Wu and H. T. Sheu, "Representation of 3D surfaces by two-variable fourier descriptors," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 858-863, August 1998.
- [6] H. Blum, "A transformation for extracting new descriptors of shape," *Proc. symp. Models for Perception of Speech and Visual Form*, W. Whatem-Dunn, Ed. Cambridge, MA : M.I.T. Press, pp. 362-380, 1967.
- [7] L. Lam, S. W. Lee, and C. Y. Suen, "Thinning methodologies -a comprehensive survey," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 9, pp. 869-885, July 1992.
- [8] C. Pudney, "Distance-ordered homotopic thinning : a skeletonization algorithm for 3D digital images," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 72, no. 3, pp. 404-413, December 1998.
- [9] D. Attali and A. Montanvert, "Computing and simplifying 2D and 3D continuous skeletons," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 67, no. 3, pp. 261-273, September 1997.
- [10] Foley, V. Dam, Feiner, Hughes, "Computer Graphics Principles and Practice," Addison Wesley, 1992.
- [11] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing," Addison Wesley, 1992.
- [12] "MPEG-7: Context and objectives (V.10)," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N2460, MPEG98, Atlantic City, October 1998.
- [13] Petros A. Maragos, Ronald W. Schafer, "Morphological Skeleton Representation and Coding of Binary Images," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-34, no. 5, pp. 1228-1244, October 1986.
- [14] Nobuyuki Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62-66, January 1979.

저 자 소 개



金 德 勳(正會員)

1975년 9월 11일생. 1998년 2월 서울대학교 전기공학부 학사. 2000년 2월 서울대학교 전기공학부 석사. 2000년 3월~현재 서울대학교 전기공학부 박사과정.

<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 그래

픽스>



尹 逸 東(正會員)

1989년 2월 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1991년 2월 서울대학교 제어계측공학과 석사. 1996년 8월 서울대학교 제어계측공학과 박사. 1996년 9월~1997년 2월 대우전자 영상연구소 선임연구원. 1997년 3

월~현재 한국외국어대학교 전자제어공학부 조교수.
<주관심분야 : 영상신호처리, 3차원 데이터 취득 및 모델링 기법, 내용기반의 영상/3D 데이터 처리>



李 商 郁(正會員)

1949년 8월 11일 생. 1973년 2월 서울대학교 전기공학과 학사. 1976년 5월 Iowa State University 전기공학과 석사. 1980년 2월 Univ. of Southern California 전기공학과 박사. 1980년 1월~1981년 10월

General Electric Co. 연구원. 1981년 10월~1983년 2월 M/A-COM 연구소 선임연구원. 1983년 3월~현재 서울대학교 전기공학부 교수.

<주관심분야 : 영상부호화, 컴퓨터비전, 영상처리 등>