

## 단면 윤곽선을 기반으로 한 두부표면의 재구성

한영환·성현경·홍승홍\*

= Abstract =

### Reconstruction of Head Surface based on Cross Sectional Contours

Younghwan Han, Hyeonkyeong Seong, Seunghong Hong\*

In this paper, a new method of the 3D(dimensional) image reconstruction is proposed to build up the 3D image from 2D images using digital image processing techniques and computer graphics.

First, the new feature extraction algorithm that doesn't need various input parameters and is not affected by threshold is adopted. This new algorithm extracts feature points by eliminating some undesirable points on the ground of the connectivity.

Second, as the cost function to reconstruct surfaces using extracted feature points, the minimum distance measure between two plane images has been adopted. According to this measure, the surface formation algorithm doesn't need complex calculation and takes the form of triangle or trapezoid.

To investigate usefulness, this approach has been applied to a head CT image and compared with other methods. Experimental comparisons show that the suggested algorithm yields better performance on feature extraction than others. In contrast with the other methods, the complex calculation for surface formation in the proposed algorithm is not necessary.

**Key words** : Reconstruction, Head surface, Feature extraction, Minimum distance

### 서 론

X선이 질병 진단을 위해 인체 촬영에 이용된 이후, 의료 영상(medical image)은 그 영역이 날로 확대되어 많은 발전을 거듭해 왔다. 현대 의학에서는 의료 영상이 없는 진단을 생각할 수 없을 만큼 의료 영상의 비중이 크게 되었다.

CT를 이용하는 전산화 단층 촬영술의 장점은 환자에게 아무 고통을 주지 않으면서 인체 내부 구조들과 거기서 발생된 병변들을 정확하게 관찰하고 진단할 수 있는데 있다. CT를 이용함으로써 정상 두뇌 조직들의 특수한 해부학적 형태를 알 수 있으며, 기존의 다른 검사법으로 불가능하였던 頭部부분의 질환(뇌출혈이나 뇌내혈종, 뇌종양 등)을 쉽게 진단할 수 있다. 또한 각 장기(뇌장, 간장, 신장 등의 복부 장기)와 흉부, 척추 등에서 발생한 질환들

의 위치 및 크기를 정확하게 보여 줌으로써 외과적 수술, 심부 방사선 치료 및 화학 치료에 절대적인 공헌을 하고 있으며, 치료 결과를 확인하는데 있어서도 큰 도움을 준다[1-4]. 그러나 CT는 이차원적인 일련의 단면 영상(단층상, 슬라이스상)만을 제공하므로 이들로부터 삼차원 상을 재구성하려는 욕구가 높아가고 있다.

이차원 영상 데이터를 이용하여 삼차원적으로 대상체를 재구성하는 방법으로는 구성할 물체의 내부 구조를 고려하지 않고 표면 형태만 고려하는 방법(surface description method)과 내부 구조까지 고려하여 모든 체적소로부터 재구성하는 방법(volumetric description method)이 있다. 전자는 Keppel[5], Fuch[6], Cook[7] 등에 의해 연구되어진 방법으로, 복잡한 구조를 완전하게 표현하기는 어렵지만 재구성에 필요한 수행 시간 및 데이터가 적다는 장점이 있다. 후자는 Herman[8], Udupa[9] 등에

상지대학교 전산학과  
Dept. of Computer Science, Sangji Univ.

\*인하대학교 전자공학과

\*Dept. of Electronic Eng., Inha Univ.

통신저자 : 한영환, (220-702), 강원도 원주시 우산동 660번지, Tel. (0371)730-0457, Fax. (0371)732-5596

의해 연구되어진 방법으로, 복잡한 물체를 완전하게 표현할 수 있지만 자료의 저장에 큰 기억 공간이 필요하다는 단점이 있다. 이 이외에도 Meager[10]에 의한 SGM (solid geometry modelling)법이 있다.

표면 형태만을 고려하는 방법에서는 먼저 각 단면에서 대상체의 경계를 얻은 후에 특징점을 선택하여 표면을 재구성 한다. 특징점을 선택하는 방법으로는 윤곽선 상에서 일정간격으로 샘플링하여 추출하는 방법, 적합의 우수성에 관한 조건에 따라 구간 선형을 이용한 다각형 근사방법과 직접적으로 특징점을 선택하는 방법이 있다. 일정간격으로 샘플링하여 특징점을 추출하는 방법은 곡선의 시작점 선택에 많은 영향을 받는다. 다각형 근사에 의한 방법에서는 일반적으로 순차적이고 반복적인 방법이 사용되는데, 순차적인 방법에서는 중요한 특징들을 빠뜨리는 결점이 있으며, 반복적인 방법에서는 시작점의 선택에 매우 민감하다. 직접적인 방법은 곡선상에서 각 점에 대한 곡률을 계산하여 최대 곡률을 갖는 점들을 특징점으로 선택한다. 곡률에 의한 방법에서는 곡률에 대한 정확한 정의의 문제가 발생하며, 곡률을 계산하는데 필요한 특징점의 수 및 곡률의 계산과정과 계산 후에 필요한 입력 매개 변수에 많은 영향을 받는다.

그 후 특징점을 사용하여 삼각형, 스플라인, 정방형 표면 패치 등에 의해 표면을 형성한다. 표면을 형성하기 위한 비용함수로 Keppel은 최대 체적을 사용하였으나 오목한 대상체에 대해서 잘 적용되지 않았으며, Fuch는 최소 면적을 사용하였으나 복잡한 대상체에 대해서는 좋지 않은 결과를 내었다. Cook은 윤곽선의 무게 중심으로부터 특징점들의 방향 정합을 이용하였으나 오목성이 심한 대상체에 대해서 다소 문제점이 있다.

본 논문에서는 표면 형태만을 고려한 방법으로 다수의 단면 영상 데이터로부터 디지털 영상 처리 기술과 컴퓨터 그래픽스 이론을 이용하여, 관심있는 기관의 외부 표면을 면 패치(patch)에 의한 방법으로 재구성하여 삼차원적으로 표시하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 본 논문에서는 첫번째로, 특징점 추출 단계에서 디지털 도형의 기하학적인 형태 특징을 이용하여 몇 가지의 제거 단계를 거친 후 남아 있는 점을 특징점으로 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 특징점 추출 알고리즘은 기존의 특징점 추출 알고리즘에서 발생하는 문제점들이 해결된 알고리즘이다.

두번째로, 추출된 특징점을 사용하여 표면을 형성하는 과정에서 두 단면 영상의 특징점 사이의 최소 거리를 비용 함수로 사용하는 방법을 제안하였다. 이 비용함수를 사용하여 형성한 표면에는 삼각형과 사다리꼴의 표면이 혼합되어 나타난다. 최소 거리 비용 함수는 다른 비용 함수(체적, 면적 계산 등)에 비해 복잡한 계산이 필요하지

않으므로 보다 효율적으로 표면을 형성할수 있다.

본 논문에서 제안한 방법에 대한 효율성을 검토하기 위해서 두부에 대한 이차원 CT영상을 사용하여 실험을 실시하고 다른 방법과 비교하여 보았다.

### 재구성을 위한 단면 영상의 처리

단면 영상을 이용하여, 표면 형성에 의한 삼차원 영상을 재구성하고 표시하기 위한 전체적인 처리과정을 그림 1에 나타내었다. 이 과정에서 표면 형성의 전단계에 속하는 단면 영상의 처리부분은 점선으로 표시하였다. CT단면 영상에서는 관심있는 대상체 뿐만 아니라 환자에 대한 기본 데이터(이름, 성별 등) 및 측정에 대한 문자데이터(측정일, 길이 등)가 포함되어 있다. 따라서 재구성 과정에서 필요하지 않은 이러한 데이터를 제거해야 한다. 전처리 과정에서는 위쪽과 아래쪽에 있는 이러한 데이터 중에서 아래쪽에 있는 부분이 자동적인 방법에 의해 삭제된다.

영상의 분할은 영상내에서 관심있는 대상체 만을 분리하는 것으로, 영역을 기초로한 방법과 에지를 기초로한 방법이 있다. 본 논문에서는 영역을 기초로한 방법중에서 가장 대표적이고 자동화하기에도 용이한 임계치를 사용하여 영상을 분할하였다. 전처리 단계를 거친 입력영상에서 최적의 임계치를 자동적으로 구하기 위하여, 매개변수와 입력이 필요하지 않은 분산 최대에 의한 임계치 결정법 [11]을 사용하였다.

윤곽선 추적은 반시계 또는 시계방향의 탐색을 기반으로 경계화소의 순서화된 열을 결정하는데 사용된다. 윤곽

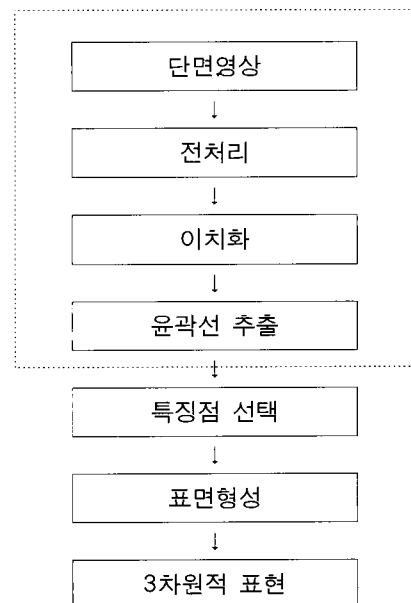


그림 1. 삼차원 영상의 재구성을 위한 전체의 처리과정  
Fig. 1. All process for the reconstruction of 3D image

선 추적은 전문가가 라이트펜등을 사용하여 구하고자 하는 윤곽선을 직접 트레이스(trace)해서 입력하는 방법도 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 이치화된 영상에서 재구성에 사용할 영상의 윤곽선을 구하기 위해 윤곽선 추적 알고리즘[12]을 사용하였다. 자동적인 윤곽선 추적 알고리즘을 사용하기 위해서는 초기 시작점의 위치가 주어져야 한다. 추적을 위한 초기 시작점은 화면에 대해 좌측 하단에서 우측 상단으로 스캔(scan)하면서 만나는 첫번째 점으로 선택하였다. 이것은 영상의 전처리 단계에서 아래쪽에 있는 문자 데이터 부분이 제거되었으므로, 대상체에 대한 초기 시작점이 쉽게 선택되어질 수 있기 때문이다. 추적 알고리즘에서 초기 시작점의 위치와 끝점이 같을 때 추적은 종료되며 하나의 완전한 윤곽선이 구해진다.

표면을 형성하기 위하여 추적 알고리즘에 의해 구해진 윤곽선 상의 모든점을 사용하면 표면 형성에 많은 시간이 필요하며 형성된 표면도 상당히 복잡하다. 따라서 표면을 형성할 때, 윤곽선 상에서 더 의미있다고 여겨지는 점들을 사용하기 위하여 특징점을 추출하였다.

### 제거법에 의한 특징점 선택 알고리즘

특징점을 선택하기 위한 방법으로는 일정간격의 샘플링 방법, 다각형 근사에 의한 방법 및 곡률에 근거한 방법 등이 사용되고 있으나 각각의 방법에는 문제점들이 존재한다. 본 논문에서 새롭게 제안한 알고리즘은 이전의 접근방법과는 달리 연결성에 기반하여, 특징점이 되지 않을 것으로 생각되는 점들을 차례로 제거함으로써 최종적으로 남아있는 점들을 특징점으로 선택하는 방법이다.

전체적인 처리과정을 그림 2와 같이 나타낼 수 있으며, 각 단계에서의 수행내용은 다음과 같다. 본 알고리즘의 적용은 3×3윈도우 내에서의 연결성에 의한 처리를 기본으로 한다.

#### • 중심점 계산

보통의 중심점 계산에서는 대상체상의 모든점에 대해 무게중심(centroid)을 구한다. 윤곽선만 존재하는 영상에서는 윤곽선상의 점이 아닌 내부의 점이 중심점으로 구해진다. 구해진 중심점 좌표는 주변점 제거단계에서 사용된다. 윤곽선 중심의 좌표를  $X_c, Y_c$ 라 하면 다음과 같은 식(1)에 의해 계산되어진다.

$$X_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad Y_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (1)$$

여기서 N은 한 영상에서 윤곽선을 형성하는 점들의 수이고  $x_i, y_i$ 는 윤곽선상의 임의의 점  $P_i$ 에서의 좌표이다.

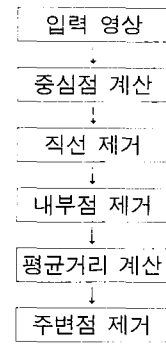


그림 2. 제안한 방법에 의한 특징점 추출과정  
Fig. 2. Feature points extracting process by proposed method

#### • 직선 제거단계

직선 제거단계에서는 윈도우내에서 직선의 중심점을 찾아 제거한다. 그림 3에 보여지는 바와 같이 3×3윈도우 내에 존재하는 직선은 4가지 이다. 4가지 직선은 현재의 중심점 위치에서 주변의 점을 판단하여 결정한다. 음영으로 표시된 직선에서 ○으로 표시된 중심화소가 제거된다.

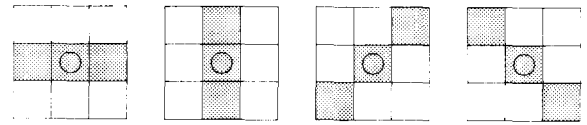


그림 3. 직선 검출 윈도우  
Fig. 3. Detection window of line

#### • 내부점 제거단계

내부점 제거단계에서는 수평선, 수직선상에 존재하는 2개의 연속된 점 중에서 도형의 내부에 있는 점을 찾아 제거한다. 전단계인 직선 제거단계에서 3점 직선이 되지 않은 2점 직선들이 내부점 제거단계에서 제거된다. 내부점 제거단계에서는 현재 위치의 점을 기준으로 하여 8가지 방향의 주변 화소가 존재하는지를 확인한다. 그림 4에 내부점 제거단계에서 제거되는 점을 ○로 나타내었다. 내부점이라고 부르는 것은 중심점에서 보았을 때 내부의 점이 제거되기 때문이다.

#### • 평균거리 계산

위의 처리과정을 거친후 남아 있는 점들을  $P_i = \{P_0, P_1, \dots\}$ 라고 할 때 두점  $P_i, P_{i+1}$ 에 대해서 벡터  $\vec{P_i P_{i+1}}$ 의 길이를 두점 사이의 거리  $d_i$ 라고 하자. 가장 널리 사용되고 있는 것은 유클리드 거리(Euclidean distance)이다. 이 점들의 평균거리를  $dist$ 라 하면 평균 거리를 구하는 식은 다음과 같다. 여기서  $m$ 은 윤곽선 상에 있는 점들의 수이다.

$$dist = \sum_{i=0}^m \frac{d_i}{m} \quad (2)$$

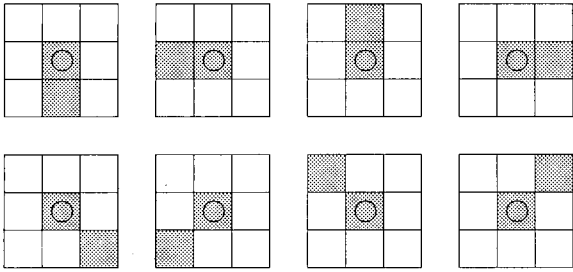


그림 4. 내부점 검출 윈도우  
Fig. 4. Detection window of internal point

• 주변점 제거단계

주변점 제거단계는 단계적인 내부점 제거단계를 수행한 후 남아 있는 점들의 평균거리를 구해서 이 거리보다 작은 점들에 대해서만 수행된다. 즉 주변점 제거단계에서는 연속해 있는 3개의 점들 사이의 거리가 모두 평균거리보다 작으면 도형의 내부 중심점을 기준으로 오목, 볼록의 형태를 판단하여, 3개의 점들중에서 가운데 점을 제외하고 두 점을 제거한다.

주위에 비해 오목하거나 볼록한 부분에서는 특징점들의 후보점들이 집중되어 검출된다. 주변점 제거단계를 수행함으로써 이러한 후보점들 중에서 더 의미가 있는 점들이 선택될 수 있다.

삼차원 재구성을 위한 표면 형성

표면을 형성할 때에는 연속적으로 존재하는 두개의 윤곽선상의 특징점들이 사용되어 진다.  $i$ 번째 윤곽선,  $i+1$ 번째 윤곽선을 각각  $C_i, C_{i+1}, \dots$ 로,  $C_i$ 번째 윤곽선상의 특징점들이  $\alpha_{i,j}, \alpha_{i,i+1}, \dots$ 로  $C_{i+1}$ 번째 윤곽선상의 특징점들이  $\alpha_{i+1,j}, \alpha_{i+1,j+1}, \dots$ 로 나타내어 진다고 하자. 표면을 형성하기 위한 비용함수로 두 윤곽선 상에 있는 특징점 간의 최소 거리를 사용하였다.

한 예로  $C_i$ 번째 윤곽선과  $C_{i+1}$ 번째 윤곽선을 사용하여 표면을 형성할 때,  $C_i$ 번째 윤곽선의 특징점과  $C_{i+1}$ 번째 윤곽선의 특징점들 중에서 거리가 가장 가까운 두점을 선택하여 매칭의 기준점(표면 형성의 시작점)으로 정하였다. 기준점으로  $C_i$ 번째 윤곽선의  $j+1$ 점과  $C_{i+1}$ 번째 윤곽선의  $j+1$ 점이 선택되었다고 하자.

다이나믹 프로그램을 사용하여 매칭을 행하는 방법을 DP매칭 이라고 한다. DP매칭은 선형 매칭과 달리 두 패턴의 수가 다르더라도 매칭이 가능하며 어떤 기준에 의해 두 패턴을 대응시키는 것이다. DP매칭을 행할 때의 제약

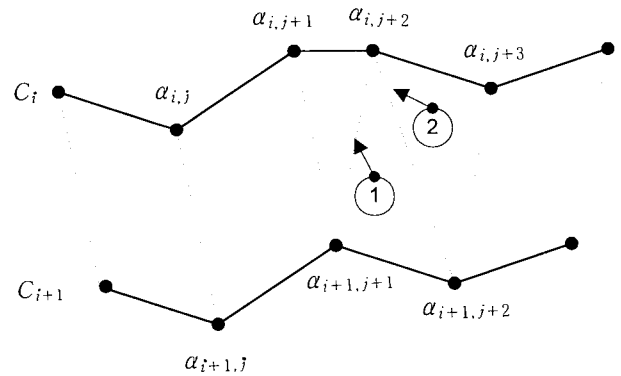


그림 5. 특징점을 이용한 표면형성  
Fig. 5. Surface formation using feature points

으로는 대응의 전·후 관계에 주의해야 한다. 만약 전·후 관계가 바뀌게 되면 DP매칭에 의해 형성되는 표면은 화면상에서 중복되어 표시되므로 앞에 표시된 것이 사라지게 된다.

최소거리에 의한 DP매칭에 의해  $C_i$ 번째 윤곽선의 다음점인  $j+2$ 번째 점에서  $C_{i+1}$ 번째 윤곽선의 가장 가까운 점을 찾는다. 이 과정에서  $j+1$ 번째 점이 선택되면 삼각형 표면( $\alpha_{i+1,j}, \alpha_{i+1,j+1}, \alpha_{i,j+2}$ )이 형성되고,  $j+2$ 번째 점이 선택되면 사각형 또는 사다리꼴의 표면( $\alpha_{i,j+1}, \alpha_{i+1,j+1}, \alpha_{i,j+2}, \alpha_{i+1,j+2}$ )이 형성된다. 이 방법에 의해 형성된 표면을 그림 5에 나타내었는데 삼각형 표면이 형성될때는 ①, 사다리꼴의 표면이 형성될때는 ②와 같다.

하나의 표면이 형성되면 기준점은 다음점 즉, 삼각형인 경우에는  $\alpha_{i,j+2}, \alpha_{i+1,j+1}$ 으로, 사각형인 경우에는  $\alpha_{i,j+2}, \alpha_{i+1,j+2}$ 으로 옮겨지고 전과 똑같은 과정이 되풀이 된다. 이와같은 과정의 반복으로 두 개의 연속적인 윤곽선에서 삼각형과 사각형이 함께 존재하는 표면을 형성할 수 있다.

삼차원 표현을 위한 배면 소거

표면 형성에 의해 재구성된 삼차원 대상체를 이차원 평면상에 나타내기 위해서는 배면을 처리하여야 한다. 만약 배면을 처리하지 않고 형성된 표면을 이차원 화면상에 모두 나타낸다면 처리의 효율이 상당히 저하되며, 재구성된 결과가 너무 복잡하여 보기도 어려울 것이다.

한 물체의 배면을 알아내는 간단한 물체공간법은 평면 공식을 사용하는 것으로, 다각형의 평면 방정식을 구하는 방법은 조금 복잡하다. Newell이 고안한 방법은 평면이  $n$ 개의 꼭지점으로 이루어져 있고, 각각의 꼭지점의 좌표를  $v_i(x_i, y_i, z_i)$ 라고 할때 평면의 방정식을 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (3)$$

이 식에서 계수 A는 다음 식(4)에 의해 구할 수 있으며, 계수 B, C도 이와 유사한 식에 의해 구할 수 있다.

$$A = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i-1})(z_i + z_{i-1}) \quad (4)$$

(3)식에서 D는 평면상의 한 점에 대한 좌표값을 알면 구할 수 있으므로, 이 D 값에 의해  $D > 0$  이면 시점에서 보이고  $D \leq 0$  이면 보이지 않는 점으로 한다.

본 논문에서도 방정식을 사용하였는데 Newell의 방법과는 다르다. 화면상에 삼차원적으로 두 단면을 표시할 때 (4)와 같은 식에 의해 A, B, C를 구하는 방법 대신에 두 단면의 교점에 의한 직선의 방정식을 구한다. 두 단면 윤곽선을 이차원 평면상에 삼차원적으로 표시하면, 실제적으로는 겹치지 않지만 겹쳐져서 보이게 된다. 따라서 두 평면이 교차하는 점이 두 개 존재한다고 보고 두 점에 대한 직선의 방정식을 구한다. 그후 식 (3)을 이용해서 표시되어야 할, 각 좌표(x, y, z)에서의 상태를 결정한다. 즉 윤곽선 상의 특징점(x, y, z)를 교점에 의해서 구한 방정식에 대입하여  $D < 0$  이면 배면의 점이라고 판단해서 화면상에 표시하지 않는다.

### 표면 재구성에 대한 실험결과

본 실험에서 사용한 영상의 입력 장치로는 CT 단면 영상을 읽어들이기 위해 Panasonic사의 WV-CL320 카메라와 IMAGING Technology사의 프레임 그래버를 사용하였다. 영상출력 장치로는 ECM-1311U 모니터를 사용하였다. 본 논문의 각 단계에서의 처리 및 비교를 위한 여러 가지 알고리즘들을 C언어로 프로그래밍하여 실행하였다.

표면을 재구성하기 위하여 실험에 사용한 영상은 頭部 CT사진을 대상으로 하였다. 두부 CT 영상은 보통 12~15장이며 이중에 한 장은 각각의 단면영상에 대한 촬영 위치를 나타낸다. 사진 1은 24세 성인 여성의 두부 CT사진(#1)으로 총 12장의 영상이 있으며 이중 1~11번까지는 10mm 간격으로 촬영한 두부 단면영상이며 12번 영상은 촬영위치를 나타낸다.

사진 1의 두부 CT사진으로 부터 입력된 영상은 전처리 과정을 거친후 앞에서 언급한 재구성 과정에 따라서 처리된다. 입력된 각각의 영상은 자동적인 임계치 선택에 의해 이치화 된다. 그후 이치화된 영상에서 윤곽선이 추적되며, 제안한 방법에 의해 특징점이 추출된다. 한 예로 사진 1의 11번째 입력 영상에 대해 이치화를 행한 후, 이치화된 영상에서 윤곽선을 검출하기 위하여 윤곽선 추적

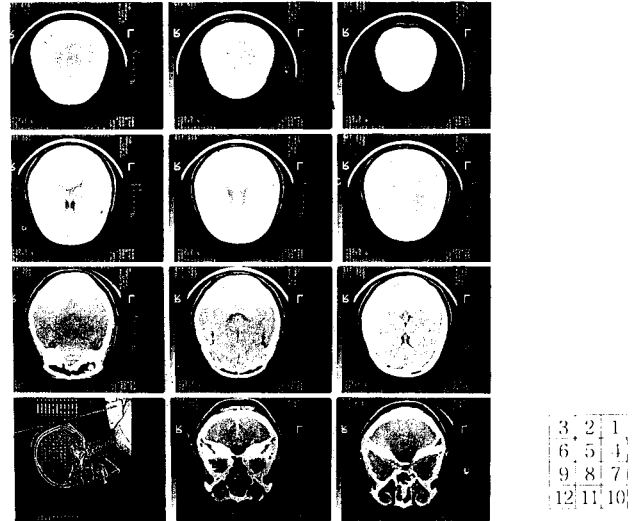


사진 1. 전체 두부 CT 사진(예 1)  
Pic. 1. All CT picture of head(example 1)

알고리즘이 적용된다. 구해진 윤곽선 추적 결과와 제안한 방법에 의해 추출된 특징점 추출 결과를 반시계 방향으로 90° 회전하여 그림 6에 나타내었다. 희미하게 보이는 선이 윤곽선 추적의 결과이며 +로 표시한 것이 추출된 특징점들이다. 나머지 입력 영상(각 단면 영상)들도 동일한 방법으로 처리된다.

표 1에는 사진 1의 두부 CT사진으로 부터 재구성에 사용한 11장의 윤곽선에 대한 데이터로써 선을 이루는 화소수, 본 논문에서 제안한 특징점 추출 알고리즘의 적

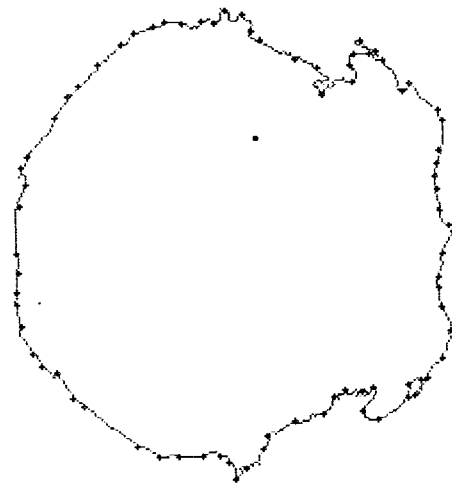


그림 6. 윤곽선 추적 결과와 특징점 추출 결과  
Fig. 6. Result of contour tracing and feature points

표 1. 사진 1의 윤곽선들로 부터 구한 데이터  
Table 1. Acquired data from contours of pic. 1

윤곽선	화소수	특징점의 수	평균거리	중심좌표
윤곽선 1	797	79	5	117, 127
윤곽선 2	1403	162	4	121, 135
윤곽선 3	828	95	4	124, 125
윤곽선 4	700	65	5	123, 123
윤곽선 5	621	51	6	120, 122
윤곽선 6	617	60	5	118, 125
윤곽선 7	605	62	5	121, 127
윤곽선 8	575	59	5	120, 124
윤곽선 9	552	54	5	112, 127
윤곽선 10	513	56	5	116, 127
윤곽선 11	463	41	5	100, 131

용에 따른 특징점의 수, 평균 거리, 중심점의 좌표 등을 나타내었다. 이중 평균 거리는 특징점 추출 과정의 주변 점 제거 단계에서 사용된다.

여러 단면 윤곽선을 사용하여 삼차원 재구성을 행하고자 하는 경우에 발생하는 문제가 중심점 일치 문제이다. 초기의 영상 입력과정에서 입력되는 영상의 중심이 다르기 때문에 이 단계를 거치지 않으면 삼차원 재구성시 원하는 결과를 얻지 못하게 된다. 특히 상·하 두 개의 윤곽선을 사용하여 표면을 형성하는 경우, 두 윤곽선의 중심이 일치하지 않으면 바른 표면이 형성되지 않는다. 일반적인 형태에서 중심점 일치 문제에 대한 정확한 해를 구하기는 어렵지만 무게중심에 의한 중심좌표를 구하여 이 문제를 해결하였다.

그림 7은 두부 CT사진에서 구한 11장의 윤곽선을 삼차원 좌표축 상에 표시한 것이다. 화면은 X, Y의 이차원 좌표계를 나타내며, 삼차원 원손 좌표계는 왼손 손가락들을 X축의 양의 방향에서 Y축의 양의 방향으로 쥘 때 왼손 엄지 손가락이 가리키는 방향을 Z축의 양의 방향으로 하는 좌표계이다. 그러므로 이차원 화면상에 삼차원 대상을 표시하기 위해서는 X축을 기준으로 변환시켜야 한다. 그림 7의 삼차원적인 표현은 각 단면 영상을 X축을 중심으로 60° 회전시켜 재구성한 결과이다.

표면 형성에는 그림 7에 나타낸 각 단면 영상에서 본 논문에서 제안한 제거법에 의해 추출된 특징점을 사용하였다. 최소거리에 의한 비용 함수를 사용하여 표면을 형성하고 영상을 재구성하여 나타내기 위해서는 은면을 제거해야 한다. 앞의 배면 제거에 의해 은면이 제거된 후에 얻어진 최종 결과를 그림 8에 나타내었다.

또한, 대상체는 임의의 방향에서 재구성되어 그 결과를 보여줄 수 있어야 한다. 화면의 좌측 방향에서 볼 때의 결과를 그림 9에 나타내었는데 이런 결과를 얻기 위해서

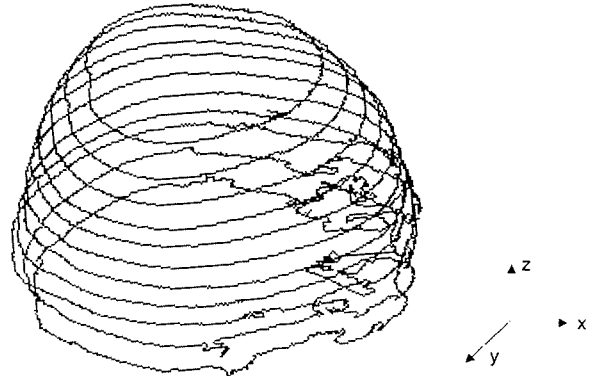


그림 7. 윤곽선들의 삼차원적인 표현  
Fig. 7. 3D representation of stacking of all contours

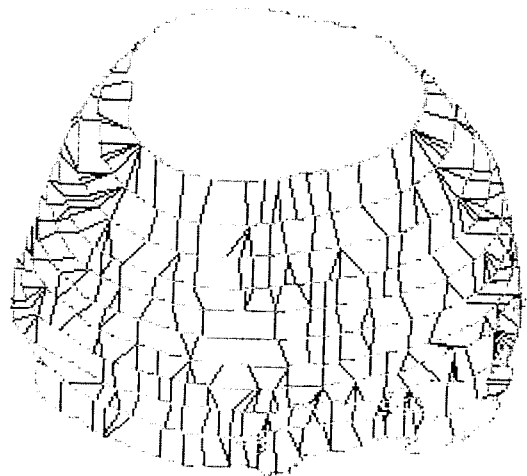


그림 8. 재구성된 영상의 표시 #1  
Fig. 8. Display of reconstructed image #1

는 X축으로 60° 회전된 영상을 다시 Z축으로 90° 회전시켜야 한다.

또 다른 실험은 13장(총 14)의 단면 영상으로 이루어진 32세 성인 남성의 두부 CT상을 대상으로 행하였다. 재구성된 최종적인 결과를 그림 10에 나타내었다.

사진 1의 단면 영상을 대상으로 Freeman-David(F-D) 방법에 의해 추출된 특징점을 사용하여 재구성한 결과를 그림 11에 나타내었다. 하나의 단면영상에서 F-D에 의한 방법으로 추출된 특징점들의 위치는 불규칙적이다. 어느 부분에서는 바로 인접해 있는 점들이 추출되며 또 어떤 부분에서는 너무 멀리 떨어져 있는 특징점들이 추출된다. 따라서 인접해 있는 특징 점들에 의해서도 연속적으로 표면이 형성되어 나타난다. 또한 중앙에서 오른쪽, 왼쪽 부

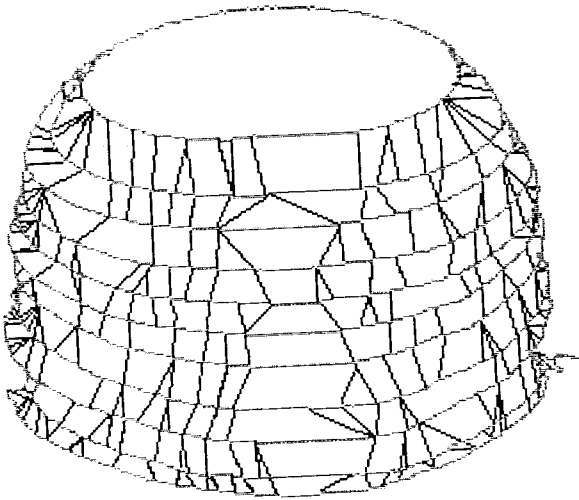


그림 9. 재구성된 영상을 화면의 좌측에서 볼때의 결과  
Fig. 9. Result of seeing the reconstructed image at the left side

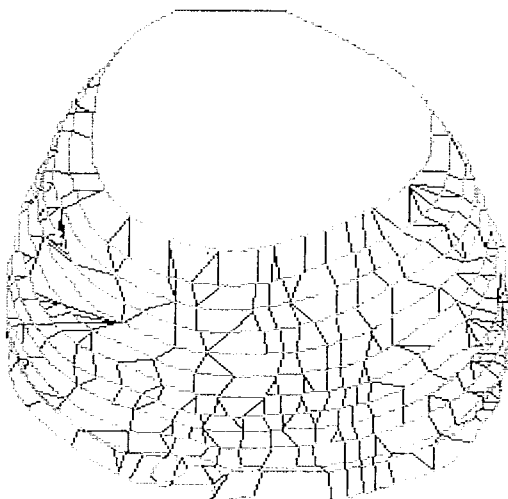


그림 10. 재구성된 영상의 결과 #2  
Fig. 10. Display of reconstructed image #2

분에서는 특징점 간의 거리 차이가 심해 매끄럽지 못한 표면을 형성한다. 그러므로 원래의 대상체와 상당히 차이가 있는 대상체가 재구성 된다.

본 논문의 알고리즘에 의한 실험으로, 관심있는 기관의 외부 표면을 면 패치(patch)에 의한 방법으로 재구성하여 삼차원적으로 표시할 수 있다. 좀 더 정확한 외부 표면을 얻으려면 더 많은 입력영상(10mm 이하의 간격으로 촬영)을 사용하거나 기존의 입력 영상에 interpolation 문제를 고려해야 한다.

만약에 표면의 내부에 또다른 대상체가 존재한다면 그 대상체에 대한 윤곽선을 별도로 구해야 한다. 통상적으로 사용하고 있는 방법은 외부 표면을 구하는데 사용한 윤곽선 추적 알고리즘을 반대방향으로 적용하여 내부 윤곽선

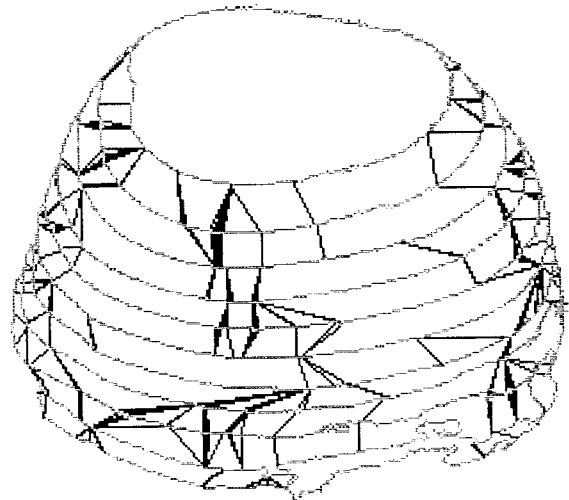


그림 11. F-D의 특징점추출 알고리즘을 사용하여 재구성한 영상의 표시  
Fig. 11. Display of reconstructed image using F-D's algorithm

을 구하고 있다.

한편 스캔 영상을 사용하므로써 발생하는 문제를 해결하기 위하여 중심점 일치에 관하여 언급하였으나 CT 장비에 직접 연결하여 실험하는 경우 중심점 일치가 불필요하게 될 것이다.

## 결 론

본 논문에서는 다른 레벨에서의 평행한 단층 영상 데이터로부터 관심있는 기관의 외부 표면을 재구성하여 표시하는 것을 목적으로 하였다.

이차원 단면영상을 입력하여 처리하는 과정에서 표면을 형성하기 위한 특징점을 추출하기 위하여 제거법에 의한 특징점 추출이라는 알고리즘을 제안하여 사용하였다. 또한 표면을 재구성하기 위해, DP매칭을 이용하는 표면형성 알고리즘을 제안하였는데 이 알고리즘은 비용함수로서 두 단면 영상의 특징점 사이의 최소 거리를 사용하였다.

제안한 알고리즘의 효용성을 확인하기 위하여 두부에 대한 이차원 CT 영상을 사용하여 특징점을 추출하고 표면 영상을 재구성하여 보았다. 그결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 논문에서는 디지털 도형의 기하학적인 형태 특징을 이용해서 몇가지의 제거단계를 거친후 남아있는 점을 특징점으로 추출하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 기존의 방법들이 갖고 있는 문제점 즉, 정확한 곡률의 정의, 곡률의 계산에 필요한 지지대의 결정, 적절한 입력 매개변수의 값, 곡률의 계산후에 사용하는 임계치 등에 영향을 받지않는 특징점 추출 알고리즘이다.

2. 추출된 특징점을 사용하여 표면을 형성하기 위해 본 논문에서는 비용 함수로 두 단면간의 최소거리를 사용하였다. 이 비용 함수는 다른 비용 함수에 비해 복잡한 계산 즉, 체적, 면적 계산 등이 필요하지 않으므로 표면의 형성에 필요한 처리시간을 감소시킬수 있었다. 최소 거리를 사용한 DP매칭에 의해 삼각형과 사각형(주로 사다리꼴의 형태)이 함께 존재하는 표면이 형성된다.

3. CT의 이차원적인 단면 영상들을 이용하여 대상체를 삼차원적으로 재구성할 수 있으며 임의의 각도(상·하·좌·우)에서 대상체를 볼 수 있도록 하였다. 재구성 과정에서 중심이 일치하지 않은 영상에 대해서도 중심점 일치과정을 통하여 이를 수정할 수 있어 입력과정에서 발생하는 문제도 일부 해결 할 수 있었다.

추후 과제로, 전체 처리과정의 적용 가능성을 알아보기 위하여 CT에서 직접 출력되는 영상을 사용하여 실험할 예정이며 표면 형성후의 shading 문제도 고려되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. H.H.-S, "Detection and three-dimensional reconstruction of a vascular network from serial sections," Pattern Recognition Letters 1, pp.497-505, 1983
2. Z.D.Bai and P.R.Krishnaiah, et al., "Reconstruction of the left ventricle from two orthogonal projections," C.V.G.I.P. 47, pp.165-188, 1989
3. Shinichi Tamura and Shigenori Nakano, "Three-dimensional reconstruction of echocardiograms based on orthogonal sections," Pattern Recognition, Vol. 18, No.2, pp.115-124, 1985
4. Peter Bloch and Jayaram K.Udupa, "Application of computerized tomography to radiation therapy and surgical planning," Proc. of the IEEE, Vol.71, No. 3, pp.351-355, 1983
5. E.Keppel, "Approximating complex surfaces by triangulation of contour lines," IBM J.Res.Develop.19, pp.2-11, 1975
6. H.Fuchs, Z.M.Kedem, S.P. Uelson, "Optimal surface reconstruction from planar contours," Communication of the ACM, Vol.20, No.10, pp.693-702, 1977
7. L.T.Cook et al, "A three dimensional display system for diagnostic imaging applications," Comp.Graph. Image.Proc., Vol.3, NO.51, pp.13-19, 1983
8. G.T.Herman, H.K.Liu, "Three dimensional display of human organs from computed tomograms," C.V.G.I. P. 9, pp.1-21, 1979
9. Jayaram K.Udupa, "Display of 3D information in discrete 3D scenes produced by computerized tomography," Proc. of the IEEE, Vol.71, No.3, pp.420-431, 1983
10. D.Meager, "The Octree encoding method for efficient solid modelling," ph.D dissertation, Dept.of Electrical Eng., RPI, 1982
11. Nobuyuki Otsu, "A threshold selection method from gray level histograms," IEEE Trans. on SMC, Vol. 9, No.1, pp.62-66, 1979
12. Pavlidis, Algorithms for Graphics and Image Processing, Spring-Verlag, 1982

#### = 국문초록 =

본 논문에서는 표면 형태만을 고려한 방법으로 다수의 단면 영상 데이터로부터, 관심있는 기관의 외부 표면을 면 패치(patch)에 의한 방법으로 재구성하여 삼차원적으로 표시하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 본 논문에서는 표면을 형성하기 위한 특징점을 추출하기 위하여 제거법에 의한 특징점 추출이라는 알고리즘을 제안하여 사용하였으며, 표면을 재구성하기 위한 과정에서 두 단면 영상의 특징점 사이의 최소 거리를 비용 함수로 사용하는 방법을 제안하였다.

제안한 알고리즘의 효용성을 확인하기 위하여 두부에 대한 이차원 CT 영상을 사용하여 실험을 실시하고 다른 방법과 비교하여 보았다.