

소용량 컴퓨터에 의한 CT 영상의 계층적 표현

* ** * * ***
 유 선국 . 김 선호 . 김 남현 . 김 원기 . 박 상희
 * ** ***
 연세대학교 의용공학과 . 신경외과 . 전기공학과

Hierachical representation of CT images with small memory computer

* ** * * ***
 S.K.Yoo, S.H.Kim, N.H.Kim, W.K.Kim, S.H.Park

 * ** ***
 Yonsei Univ. Dept. of Medical Eng., Neurosurgery, Electrical Eng.

= ABSTRACT

In this paper, hierachical representation method with a 1-to-4 and 1-to-8 data structure is used to reconstruct the three-dimensional scene from two-dimensional cross sections provided by computed tomography with small memory computer system. To reduce the internal memory use, 2-D section is represented by quadtree, and 3-D scene is represented by octree. Octree is constructed by recursively merging consecutive quadtrees. This method uses 7/200 less memory than pointer type structure with all the case, and less memory up to 60.3% than linear octree with experimental data.

에서의 실현은 보조기억 장치를 사용하는 만큼의 계산 손실을 갖고온다.

1. 서론

1975년 Green[7]에 의하여 2차원 단면영상으로 부터 3차원 영상을 재구성 하는 개념이 제시된 이후로 인체기관의 공간적 위치와 정확한 수술부위를 검출하기 위하여 초음파, MRI, CT와 같은 2차원 영상장치로부터 3차원 영상을 재구성하려는 시도가 되어져 왔다.

이러한 기존의 3차원 재구성 방법에는 표면에 의한 방법과 입체의 의한 방법으로 구분되고 있다. Fush, Keldem, Cook[4, 6] 등에 의한 표면 재구성 방식은 표면을 삼각형 조각으로 연결하여 입체를 구성하는 방식으로서 m, n 개의 윤곽선에 대하여 $O(n+m)$ 의 재구성 속도를 갖고 있으나 물체가 복잡하면 재구성 하기 어려운 단점을 갖고 있다. Herman, Artzy, Liu, Udupa[1, 4, 5] 등에 의한 체적소로 표현되는 cuberille 접근 방식은 M 개의 체적소(voxel)에 대하여 $O(M)$ 의 재구성 속도를 갖는 입체 표현 방식이다. 입체방식은 복잡한 인체기관을 표현 할 수 있었으나, 3차원 데이터볼 내부 메모리 상에 위치시켜야 하므로, 소용량 컴퓨터

그러므로 본연구에서는 영상 데이터를 압축 표현 할 수 있으며, 모든 조각이 프리 탐색에 의하여 가능한 8진트리틀 CT 영상의 재구성에 도입 함으로서, 소용량 컴퓨터 시스템의 적은 메모리활 사용하면서 CT 영상을 재구성해 보고자 하며, 섬유술 이형성증 환자의 두개(skull)를 재구성해 봄으로서 임상 응용 가능성을 검증해 보고자 한다.

2. 계층적 트리구조

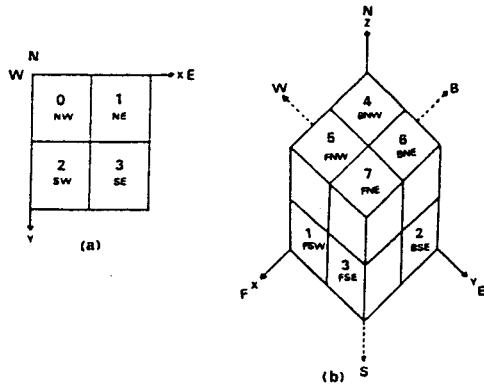


그림 1. 노드 위치에 대한 4진수와 8진수의 부호값

계층적 트리구조한 정경(scene)이나 단면이 복잡하게 모델링 되었을때, 일정한 크기의 단일 체적소나 화소에 이를때까지 영상의 동질성을 만족시키며 순환적으로 재분할 하는 구조를 의미한다. 그러므로 계층적 트리를 구성하기 위하여서는 $2^n \times 2^n (2^n \times 2^n \times 2^n)$ 의 단면(정경)은 $2^{n-1} \times 2^{n-1} (2^{n-1} \times 2^{n-1} \times 2^{n-1})$ 의 크기를 갖는 4(8)개의 작은 정사각형(정육면체)로 분할하며, 분할된 4개의 정사각형을 4진소(quadrant), 8개의 정육면체를 8진소(octant)라 하며, 구성된 선도 4를 갖는 트리를 4진트리(quadtree), 선도 8을 갖는 트리를 8진트리(octree)라 한다. 2진화 영상에 대하여 일정한 크기를 갖는 분할된 4진소나 8진소는 트리상의 노드를 구성하게 되며 구성된 1개의 노드가 모두 1인 영역에 위치하게 되면 흑색노드(BLACK), 0인 영역에 위치하게 되면 백색노드(WHITE), 1과 0이 혼합된 영역에 위치하게 되면 회색노드(GRAY)라 하며, 노드표현자(node)라 한다. 또한 크기 2^n 의 4진소(8진소)에 대하여 2^{n+1} 의 크기를 갖는 노드를 부노드(father node), 2^{n-1} 크기를 갖는 노드를 자노드(son node)라 하며, 4진트리에서의 1개의 부노드는 4개의 자노드를, 8진트리에서는 8개의 자노드를 갖는다. 트리의 레벨이란 근노드로부터 임의의 노드까지의 분포를 지정하고 있으며 레벨 n은 근노드를, 레벨 0는 최상단위안 화소나 체적소를 지정하며 그림 1.과 같이 공간적 위치에 대한 부호화 된 값을 갖는다.

3. 데이터 구조

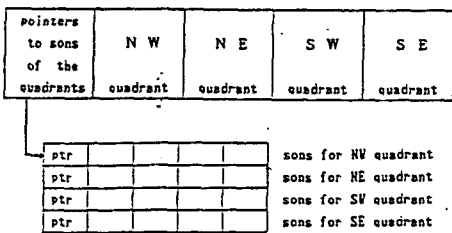


그림 2. 4진트리에 대한 1대4 데이터 구조

본 연구에서 계층적 트리를 구성하기 위하여 적합한 데이터 구조는 포인터 구조[2]의 메모리 사용과 선형구조[3]의 트리탐색의 비효율성을 극복한 구조는

적은 메모리를 사용하면서도 포인터 구조의 연결구조를 갖는다. 4진트리에 대한 1대4 데이터 구조는 그림 2.과 같이 5개의 필드로 구성된 1개의 레코드를 갖는다. 첫 번째 필드는 모든 자노드에 대한 필드란 의미하며, 4개의 필드는 NW, NE, SW, SE 방향의 자노드에 대한 노드 표현자를 의미한다. 4개의 자노드에 대한 4개의 레코드는 연속적으로 메모리 상에 존재하며 1개의 포인터필드는 4개의 레코드가 모아진 메모리의 위치를 지정하게 된다. 그러므로 포인터 구조의 4개의 노드에 대한 16개의 포인터는 오직 1개로 대체되므로 선형구조의 메모리 효율성과 포인터 구조의 연결구조가 혼합된 구조를 갖게 되며, 4개의 자노드 탐색은 자노드의 레코드만큼 이동(shift)에 의하여 포인터의 움직임을 증가시킨다.

pointers to sons of the octant	BSW	FSW	BSE	FSE	BNW	FNW	BNE	FNE
	octant	octant	octant	octant	octant	octant	octant	octant

ptr	0	1	2	3	4	5	6	7	sons for BSW octant
ptr	0	1	2	3	4	5	6	7	sons for FSW octant
ptr	0	1	2	3	4	5	6	7	sons for BSE octant
ptr	0	1	2	3	4	5	6	7	sons for FSE octant
ptr	0	1	2	3	4	5	6	7	sons for BNW octant
ptr	0	1	2	3	4	5	6	7	sons for FNW octant
ptr	0	1	2	3	4	5	6	7	sons for BNE octant
ptr	0	1	2	3	4	5	6	7	sons for FNE octant

그림 3. 8진트리에 대한 1대8 데이터 구조

그림 3.은 3차원에 대한 1대4 데이터 구조의 확장된 1대8 데이터 구조를 보여주고 있으며, 4개의 자노드에 대하여 8개의 자노드로 확장되었으며, 노드표현자를 지시하기 위해 1대4 데이터 구조의 1바이트의 메모리 사용에 대하여 2바이트의 메모리를 사용하게 된다.

4. 4진트리의 구성

트리의 동질성이 만족되는 모든 노드가 한데 묶는 과정을 압축과정(condensation)이라 하되, 압축트리의 구성은 트리의 조작시 필요한 노드수를 최소화 하는 트리를 구성한다는 의미를 갖게되므로 트리를 구성하기 위한 압축과정을 거치지 않게 되면 트리의 구성시간을 줄일 수 있게 된다. 그림 4.은 압축트리를 구성하기 위한 후탐색(post-order traversal) 과정을 보이고 있으며 식(1)과 같이 탐색하게 된다.

$$Op[h_4[i;a]] = Op[S(h_4(i;a) , 3)] + 1 \quad \text{---(1)}$$

여기서 $h_4[i;a]$ 는 i 번째 레벨의 4진소이며 $a \in \{0, 1, 2, 3\}$ 의 노드 순서값에 의하여 NW, NE, SW, SE 방향의 4진소의 위치를 지정한다. S 는 자노드를 지시하는 자노드 함수이다.

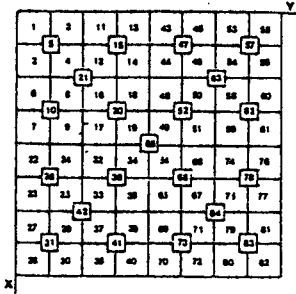


그림 4. 트리를 구성하기 위한 후탐색 순서

5. 8진트리의 구성

3차원 영상에 대한 8진트리는 1쌍의 4진트리들 길이 우선 순회(depth first search)에 의해 2개의 4진트리들 병합함으로써 구성한다. Z축에 수직인 연속적인 2개의 4진트리들 고려하면, 짝수열 트리의 4개의 노드는 8진트리의 FSW, FSE, BSW, BSE 방향의 노드를 구성하며 홀수열 트리의 4개의 노드는 FNW, FNE, FSW, FSE 방향의 노드를 구성하게 되므로 4진트리의 1개의 열은 8진트리의 8개의 자노드의 4개의 노드를 구성한다. 그러므로 8진트리의 구성은 첫번째로 $2^m \times 2^n$ 크기를 갖는 2차원 단면을 1번에 1개씩 1축에 대하여 거리 k 가 증가하는 순서로 읽는다. 두번째로 읽은 데이터로부터 후탐색 순서에 의하여 4진트리들 구성한다. 세번째로 깊이탐색 순서에 의하여 2쌍의 4진트리들 표 1.과 같이 순환적으로 병합함으로써 8진트리들 구성한다.

표 1. 병합 연산자

병합	0	1	2	노드표현자
0	0	2	2	
1	2	1	2	
2	2	2	2	

노드표현자

(a) 노드표현자

8진트리의 8진소($h_8(i;a)$)의 노드표현자(F)는 병합트리의 노드표현자 $f_{i,a[1],1}$ 로 결정된다.

$$F[h_8(i;a)] = f_{i,a[1],1} [h_4(i;p(1,a))] \quad \text{---(2)}$$

$p(1,a)$ 는 항의 벡터성분이 없어진 위치벡터이며, 1축으로 $a[1]$ 만큼 떨어진 트리의 노드를 의미한다.

(b) 노드값의 존재

병합트리의 노드 값이 회색노드이거나 근노드인 경우에 노드값은 존재한다.

(c) 자노드

8진트리의 자노드 $S[h_8(i;a)]$ 는 병합트리의 $h_4(i-1; 2p(1,a)+p(1,j))$ 로 부터 값을 취하게 된다.

(d) 병합

병합트리의 $f_{j,k,1}$ 단면의 4진소 $h_4(i;a)$ 의 값은 $f_{j-1,k,1}$ 과 $f_{j-1,k+1,1}$ 단면의 같은 트리의 병합을 갖는 노드를 병합하여 생성한다.

6. 결과고찰

표 2.은 두개, 척추, 목, 골반 데이터들 사용하여 3차원 영상을 재구성 하기 위하여 8진트리들 구성할 경우에 대한 컴퓨터의 내부 메모리 사용을 비교하기 위하여 단면수를 8장, 16장, 24장으로 증가시켜가며 포인터 구조, 선형구조, 본 연구에서 적용한 1대8구조에 대하여 검증하여 보았다. 포인터 구조를 사용할 경우 1개의 노드는 8개의 자노드에 대한 포인터필드와 노드표현자, 추가정보를 사용하게 된다. 1 M 바이트의 내부메모리를 고려할때 1개의 포인터 필드는 3바이트, 노드표현자 및 추가정보는 각각 1바이트를 사용하게 되므로 1개노드에 대한 포인터 구조는 25바이트를 사용하게 된다. 선형트리 구조는 오직 흑색노드만을 저장하게 되며 [3], 1개의 흑색노드는 4바이트를 사용하여 공간적 위치를 지정하게 되며, 추가정보를 표시하기 위해 1바이트를 사용하게 되므로 1개의 흑색노드는 5바이트를 사용하게 된다. 1대8 데이터 구조를 적용하게 될 경우 1개의 레코드는 1개의 포인터 필드에 대하여 3바이트, 8개 자노드에 대한 노드표현자와 추가정보를 표시하기 위해 각각 2바이트를 사용하므로 1개의 레코드는 7바이트를 사용한다. 포인터 구조에 대한 메모리 사용과 1대8 구조의 메모리

표 2. 8진트리의 메모리 사용

크기	만연수	한계노드수	목적노드수	최적노드수	레코드수	포인터구조 메 모 리 (Kbyte)	선형구조 메 모 리 (Kbyte)	1대8 구조 메 모 리 (Kbyte)	압축률 (%)
주거	8	7444	6585	2003	2004	391.4	32.2	13.7	2.1
	16	18194	14348	4302	4363	852.1	70.0	29.8	2.9
	24	29751	25081	7832	7833	1529.9	122.5	53.5	3.5
척추	8	11818	9338	3021	3022	590.2	45.6	20.6	4.0
	16	23234	18291	5931	5932	1156.6	89.0	40.8	4.0
	24	32116	25138	8176	8179	1507.5	123.0	55.9	3.6
목	8	4822	4353	1281	1282	250.4	21.3	8.8	1.7
	16	9521	9506	2717	2718	530.9	46.4	18.8	1.8
	24	17518	18232	5106	5107	997.5	89.0	35.3	2.3
골반	8	14608	11993	3799	3800	742.2	58.6	26.0	5.1
	16	28904	23830	7218	7219	1410.0	115.4	49.3	4.8
	24	39678	34618	10841	10842	2078.5	170.0	72.7	4.7

사용을 비교하여 보면 레코드와 노드의 비가 1/8 이며 메모리 비는 7/25가 되므로 모든 경우에 대하여 오직 7/200의 메모리 만으로 표현되게 된다. 또한 가장 복잡한 24장의 골반 데이터에 대하여 포인터 구조는 2 K 바이트 이상의 메모리를 사용하게 되므로 포인터 구조가 트리탐색 면에서 효율적인 구조이나 소용량 컴퓨터 시스템에 표현하기에는 부적합한 구조임을 알 수 있다. 선형구조에 대한 메모리 사용을 비교하면 worst case 메모리 사용은 레벨 n에 대하여 40/(56n)으로 선형구조가 우수하나 worst case가 아닌 일반적인 인체 데이터에 대한 모든 경우에 최소 56.3%에서 최대 60.3% 까지 적게 소요되었으며, 가장 복잡한 골반의 24장 단면에 대하여 97.3 K 바이트의 메모리가 적게 사용되었다. 입력 단면의 제적소수에 대한 계층적 표현에 대한 메모리 사용비율 보면 최대 5.1%에서 최소 1.7% 만의 메모리 만의 높은 압축률로 표현되었으므로 본 연구의 방법이 소용량 컴퓨터 시스템에 적용하기 위한 효율적인 구조임을 검증할 수 있었다.

그림 5.은 섬유갈 이형성증(fibrous dysplasia)이 견위골, 안와골, 상악골에 침습한 환자의 두개골 관측하기 위하여 3mm 간격의 CT 21장을 보간하여 40장을 재구성 하였다. 8진트리는 110 K 바이트의 내부 메모리를 사용하여 374초가 소요되었으며, 화면표시 시간은 임의의 관측점에 대하여 217초가 사용되었다. 2차원 CT단면으로는 기형의 공간적 배치와 정도를 관찰할 수 없었으므로, 수술을 시행하기 전에 재구성하여 관측함으로써 전면부 좌측 안와에 기형이 있음을 관측 할 수 있으며, 좌측 두개골 내부에 골증식이 심함을 관측할 수 있었다.

또한 상방향에서 관측을 함으로서 환자의 좌측 전두부의 두개골저(skull base)에도 골증식을 보이고 있음을 자세히 관측할 수 있었다.

7. 결론

본 논문에서는 메모리 사용면에서 효율적인 데이터구조와 재구성 알고리즘을 적용함으로써 소용량 메모리 컴퓨터 시스템에서 연속적인 2차원 단면으로부터 3차원 영상을 재구성 할 수 있었다. 포인터 구조에 대하여 7/200의 메모리 만으로 표현 할수 있었으며, 두개, 목, 척추, 골반 데이터에 대하여 선형구조와 메모리 사용면에서 비교 하여 본 결과 모든 경우에 대하여 56.3%에서 60.3%의 적은 메모리를 사용하였으며, 입력단면의 제적소수에 대하여 5.1% 에서 1.7% 만의 적은 메모리를 사용하였다. 섬유갈 이형성증 환자의 임상 데이터에 적용하여 본 시스템의 임상응용 가능성을 검증하였으며, 계층적 트리 모델은 연계적인 3차원 처리 시스템에 응용 할 수 있을 것이다.

8. 참고문헌

1) E.Artzy et al, "The theory, design, implementation and evaluation of a three-dimensional surface detection algorithm," Comp. Graph. Image Proc. Vol.15, pp.1-24, 1981.
 2) H.Samet , " The quadtree and related hierachical data structures," ACM comput.survey, pp.187-260,

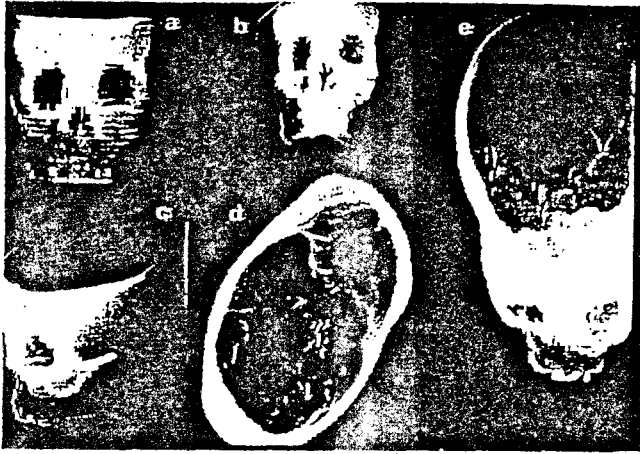


그림 5. 섬유골 이형성증 환자의 3차원 재구성 영상

1984.

- 3) I.Gargantini, "Linear octrees for fast processing of three-dimensional objects," *Comput. Graph. Image Proc.*, Vol.8, No.4, pp.319-327, 1982.
- 4) J.K.Udupa, "Display of 3D information in discrete 3D scenes produced by computerized tomography," *Proc. IEEE*, Vol.71, No.3, pp.420-431, 1983.
- 5) J.K.Udupa, "Display82- A system of programs for two-display of three-dimensional information in CT data," *Tech. report MIPG 67*, 1983.
- 6) L.T.Cook et al, " A three-dimensional display system for diagnostic imaging applications," *Comp. Graph. Image Proc.*, Vol.3, pp.13-19, 1983.
- 7) W.V.Gleen et al, " Image generation and display technique for CT scan data : this traverse and reconstructed coronal and sagittal planes," *Inv. Radiol.*, Vol.10, pp.403-416, 1975.