

Talairach 뇌지도의 3차원 볼륨 재구성

백철화·김태우

삼성종합기술원 의료전자랩
(1999년 4월 14일 접수, 1999년 6월 19일 채택)

Reconstruction of 3D Volume of Talairach Brain Atlas

C.H. Paik, T.W. Kim

Dept. Medical Electronics Lab., Samsung Advanced Institute of Technology

(Received April 14, 1999, Accepted June 19, 1999)

요약 : Talairach 뇌지도(atlas)는 서로 수직인 두정방향(coronal), 시상봉합방향(sagittal), 축방향(axial)의 3세트의 슬라이스(slice)들로 구성되어 있으며, 뇌기능 질환 진단 및 병인 분석에서 표준 뇌지도로서 그 중요성이 부각되고 있다. 특히 컴퓨터상에서 이들로부터 얻어진 3차원 디지털 볼륨 데이터는 처리결과와 정량적 분석에서 그 응용범위가 크다. 본 논문은 Talairach 뇌지도의 3차원 볼륨 데이터 재구성에서 쌍선형(bi-linear) 보간법의 적용 방법과 삼평면(tri-planar) 보간법을 제안하고, Talairach 뇌지도 편집기를 제작하여 볼륨 데이터 재구성의 문제점을 고찰하였다. 쌍선형 보간법의 뇌지도에 적용은 1세트의 슬라이스에 대하여 하나씩의 밝기값만 고려하였으며, 삼평면 보간법은 서로 수직인 3방향의 슬라이스의 뇌구조물 정보를 동시에 이용하였다. Talairach 뇌지도 편집기는 3방향의 슬라이스를 동일 좌표계에 동시에 시각화하여 편집할 수 있도록 하였다. 뇌지도 편집기를 이용하여 Talairach 뇌지도의 3방향의 슬라이스간의 뇌구조물의 부합이 다음을 보여줌으로써 볼륨 재구성의 문제점을 밝혔다.

Abstract : Talairach atlas consists of three orthogonal sets of coronal, sagittal, and axial slices. This atlas has recently an important role as a standard brain atlas in diagnosing disease related with brain function and analyzing cause of brain disease. The 3D digital volume data set reconstructed from the atlas is widely applied to visualization and quantitative analysis of results processed in the digital computer. This paper represented application method of bi-linear interpolation technique, proposed tri-planar interpolation algorithm for 3D volume data reconstruction of Talairach atlas. And we implemented Talairach atlas editor and discussed problems in volume reconstruction of Talairach atlas. The bi-linear method was applied to only one set of the slices and considered the one intensity value in the interpolation process. The tri-planar technique concurrently uses three orthogonal sets of slices with the same information of brain structures. Talairach atlas editor visualized three sets of atlas slices on the same coordinate and had editing function. Using the atlas editor, we represented problems in volume reconstruction by showing inconsistency of brain structures among three sets of atlas slices.

Key words : Talairach atlas, Tri-planar interpolation, Volume reconstruction.

서론

뇌는 공간적으로 서로 다른 특징을 가지는 영역으로 구성되어 있다. 따라서 동일 대상에 대하여 다양한 측정을 할 수 있는 공간적 좌표로 연관시키거나 서로 다른 대상들을 동일좌표계에서

비교하는 것이 가능하게 된다. 단일대상(single subject)에 대한 많은 신경학적인 연구는 서로 다른 영상양식(modality)의 단층 촬영 영상들의 정확한 중첩이 요구된다. 이 단일대상 영상정합(image registration)은 임상적 진단, 치료 계획, 이전의 촬영영상에 대한 해부학적 및 기능적 변화 탐색, 결과의 평가 등에서 필요한 기술이다. 반면 대상간 정합(inter-subject registration)은 많은 대상들에 대한 형태학적 변화 평가와 표준화된 공간에서 PET(positron emission tomography)으로부터 뇌혈류량으로 측정되는 인지적 활성화전의 분석 등에 응용된다. 픽셀(pixel)

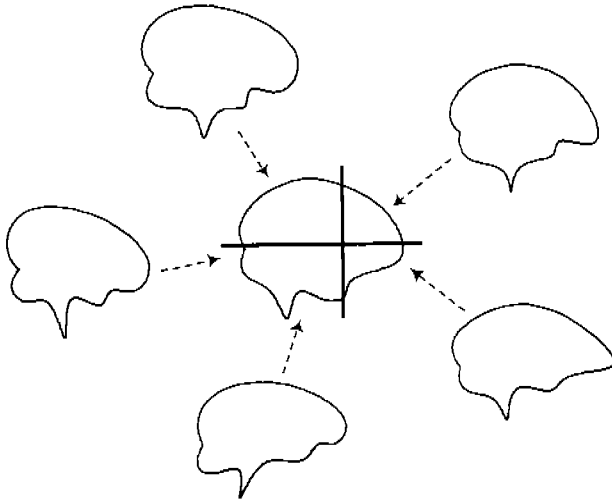


그림 1. 표준화 공간으로 지도화
Fig. 1. Mapping to standardized space

표별로 직접적인 측정과 비교는 두 데이터 세트가 잘 정합되었을 경우에만 가능하다. 즉, 이러한 대공간 형태적 기능적 비교를 하기 위해서는 그림 1과 같은 표준화된 공간으로 지도화(mapping)할 필요가 있다. 표준화된 공간을 정위법적 공간(stereotactic space)이라고도 한다[1][2].

뇌의 정위법적 공간은 직각좌표계를 기반으로 하여 AC(anterior commissure)라고 하는 공통된 해부학적 경계점을 기준으로 한 기준좌표시스템이며, 공간적 관계를 결정하기 위한 다양한 실험을 할 수 있는 데이터베이스의 기반이 된다. Jean Talairach은 이러한 개념을 고안하여 뇌지도들 작성하였다. Jean Talairach와 Pierre Tournoux가 작성한 인간뇌의 공변의 정위법적 뇌지도(coplanar stereotaxic atlas)[3]는 인간뇌의 축방향(transaxial), 두정방향(coronal), 시상봉합방향(sagittal)의 단면에 대하여 인위적으로 도색한 영상이다. 이 아날로그 뇌지도는 Talairach 등이 20여명의 뇌를 분석하여 축방향 27 장, 두정방향 38 장, 시상봉합방향 36 장의 슬라이스로 구성되어 있고, 각 방향의 슬라이스는 서로 수직이다. 이 뇌지도는 20여년간 사용되어 왔고, 그 정확성은 실험 및 문헌에서 잘 기록되어 있으며 전 세계적으로 5000여건의 임상적으로 정위법적 실험에 적용되어 왔다. 그러나 표준 공간좌표계로서 뇌지도 좌표계를 사용하여 각 대상 데이터를 규격화하는 데는 한계가 있었다. 이는 많은 대상들에 대한 연구에서 유용한 데이터를 유도해 내기 위해서는 각 대상을 뇌지도에 정합하여 형태학적 변형이 필요로 하기 때문이다[4][5].

Talairach 뇌지도로의 형태학적 변형은 3차원 공간상에서 행하여지며 표준공간좌표인 뇌지도의 공간 해상도가 높아야 그 신뢰도가 높아진다. Talairach 뇌지도는 슬라이스별 해상도는 높으나 슬라이스간의 공간해상도는 높지 않으므로 교해상도의 3차원 볼륨 데이터의 생성 알고리즘이 필요하며, Talairach 뇌지도의 볼륨 데이터 재구성에 대한 연구는 아직 없었다. 따라서

본 논문은 Talairach 뇌지도의 3차원 볼륨 데이터 재구성 알고리즘을 제안하며 Talairach 뇌지도 편집기를 제작하여 볼륨 데이터 재구성의 문제점을 고찰한다. 볼륨 재구성을 위하여 쌍선형(bi-linear) 보간법을 변형 적용하고 삼평면(tri-planar) 보간법을 제안한다. 쌍선형 보간법의 뇌지도에 적용은 1세트의 슬라이스에 대하여 하나씩의 밝기값만 고려하며, 삼평면 보간법은 서로 수직인 3방향의 슬라이스의 뇌구조물 정보를 동시에 이용한다. Talairach 뇌지도 편집기는 3방향의 슬라이스를 동일 좌표계에 동시에 시각화하여 편집할 수 있는 기능을 가진다. 뇌지도 편집기를 이용하여 Talairach 뇌지도의 3방향의 슬라이스간의 뇌구조물의 부합이 다름을 보여줌으로써 볼륨 재구성의 문제점을 밝힌다.

Talairach 뇌지도

Talairach 뇌지도[3]는 인간뇌를 표준공간좌표계로 표현하기 위하여 비례적 3차원 격자 시스템을 사용하며, 그림 2 (a)와 같이 3개의 기준 공간선인 CA-CP, VCA, 중선(midline)을 정의한다. CA-CP선은 AC(anterior commissure)의 위쪽 가장자리와 PC(posterior commissure)의 아래쪽 가장자리를 지나는 선으로서, Thalamic 영역과 Subthalamic 영역을 나누는 Hypothalamic sulcus와 평행하며 공간상에서 수평적 평면을 정의한다. VCA선은 AC의 뒤쪽 가장자리를 지나는 공간적으로 CA-CP와 수직이다. 중선은 뇌반구(hemisphere) 사이의 시상봉합방향의 평면을 정의한다. 이들 평면간의 거리는 절대적 밀리미터(milimeter) 단위로 나타내며, 인간뇌의 높이, 길이, 폭이 제각각 다르므로 이들의 측정은 한 대상에 대해서만 유효하다. 이는 기준선으로부터의 절대적 거리가 큰 경우 대상에 따라 더욱 큰 차이가 나므로, Talairach 뇌지도는 그림 2 (b)와 같이 비례적 3차원 격자 시스템으로 나타내었다. 비례적 3차원 격자 시스템은 공간에서 뇌전체를 포함시키는 가장 작은 3개의 3차원 평면들을 외곽 기준으로 삼았다. 이 비례적 3차원 격자 시스템에서 뇌의 각 부분의 공간적 위치는 기준선들과 다음과 같은 6개의 대뇌피질을 지나는 외곽 기준평면들로부터 떨어진 상대적 거리로 표현된다. 외곽 기준평면들은 Parietal cortex를 지나는 가장 위쪽 평면, Occipital cortex를 지나는 가장 뒤쪽 평면, Temporal cortex를 지나는 가장 아래쪽 평면, Frontal cortex를 지나는 가장 앞쪽 평면, Prietotemporal cortex를 지나는 좌우의 가장 바깥쪽 평면들로 정의된다[3]. 비례적 3차원 격자시스템으로 표시되는 Talairach 뇌지도는 축방향, 두정방향, 시상봉합방향 각각의 방향으로 인간뇌의 지도를 작성된 것이다. 각 방향에 대하여 슬라이스 위치와 간격은 그림 3과 같으며 슬라이스 간격은 2~5mm로 일정치 않게 되어 있다[3]. 그림 4에서는 디지털 Talairach 뇌지도의 예로서 두정방향의 20번째와 25번째 슬라이스, 시상봉합방향의 20번째와 24번째 슬라이스, 축방향의 11번째와 15번째 슬라이스를 보여준다. 그림에서 파란색은

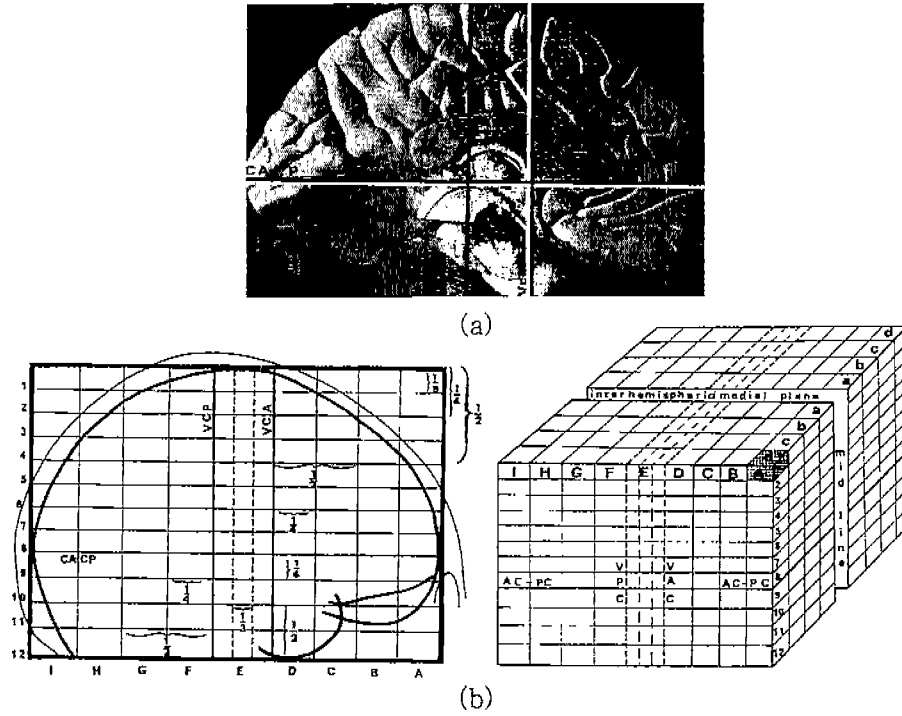


그림 2. Talairach 뇌지도의 좌표계 시스템 : (a) 기본적 기준 시스템, (b) 비례적 격자 시스템
 Fig. 2. Coordinate system of Talairach atlas : (a) basic reference system, (b) proportional grid system

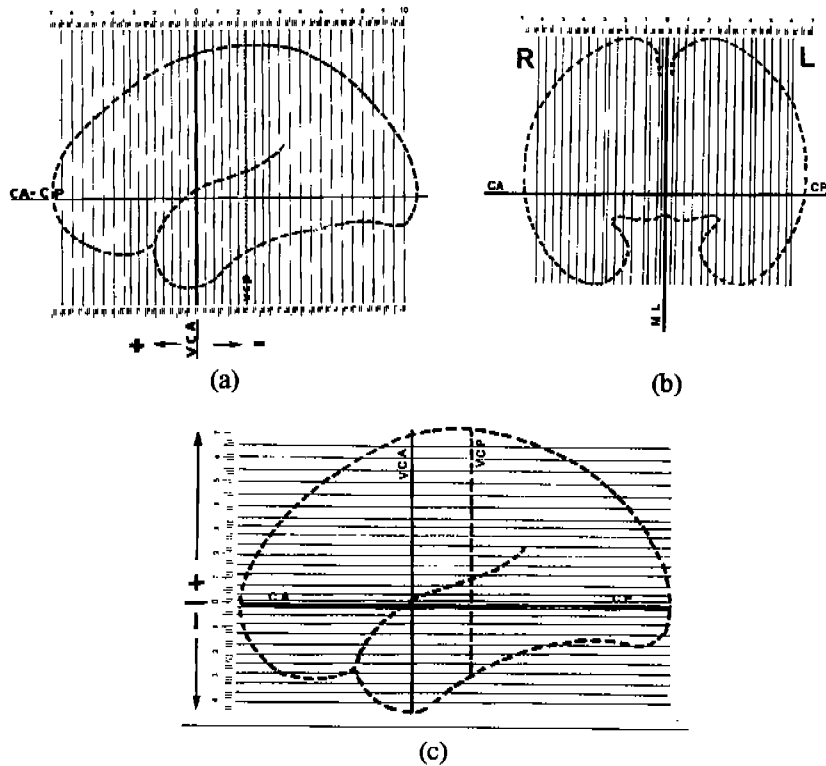


그림 3. Talairach 뇌지도의 슬라이스 위치 : (a) 두정방향, (b) 시뮬봉합방향, (c) 축방향
 Fig. 3. Slice locations of the Talairach atlases : (a) coronal, (b) sagittal, and (c) axial

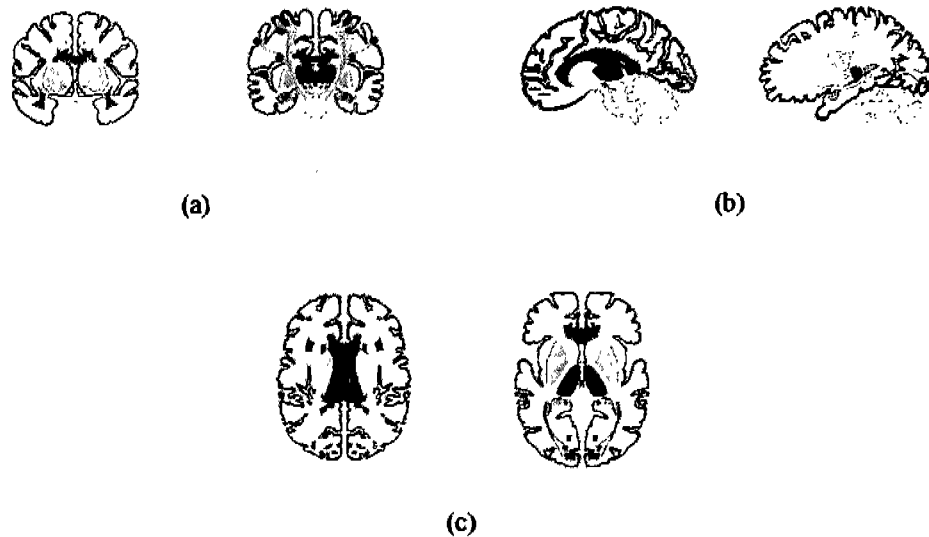


그림 4. Talairach 뇌지도의 예 : (a) 두정방향, (b) 시상봉합방향, (c) 축방향
 Fig. 4. Examples of the Talairach atlases : (a) coronal, (b) sagittal, and (c) axial

Cortex, 빨간색은 Ventricle, 녹색은 Putamen, 보라색은 Corpus Collosum, 노란색은 Nucleus caudatus 등을 나타낸다.

Talairach 뇌지도의 볼륨 데이터 재구성

서로 수직인 3방향의 뇌지도 세트들 $F = \{f_s \mid 0 \leq f_s \leq 70, s \in S\}$, $S = \{s \mid s \in P_i, 0 \leq i < 3, 0 \leq j < N_i, N_i = 38, 36, 27\}$ 로 나타내자. 여기서 F 는 뇌지도의 디지털 영상의 픽셀 밝기값의 집합이며, P_i 는 디지털 뇌지도의 각 슬라이스(slice) 영상에서 픽셀들의 위치를 나타내는 집합이고, S 는 픽셀들의 위치를 나타내는 집합으로서 슬라이스 P_i 들로 구성된다. 또한 P_0, P_1, P_2 는 각각 두정방향, 시상봉합방향, 축방향의 디지털 뇌지도를 나타내며, 서로 수직이다. 본 논문은 볼륨 재구성을 위하여 쌍선형(bi-linear) 보간법을 변형 적용하고 삼평면(tri-planar) 보간법을 제안한다. 또한 Talairach 뇌지도의 볼륨 데이터 재구성의 문제점을 고찰하기 위하여 제작된 Talairach 뇌지도 편집기의 구조와 기능을 보여준다.

1. 쌍선형 보간의 적용 방법

쌍선형 보간법[7]은 그림 5와 식 (2)와 같이 구현이 간단하면서도 보간의 결과가 비교적 좋은 화질을 유지하므로 일반적인 영상처리에 많이 적용되었다. 본 고에서는 Talairach 뇌지도의 재구성을 위하여 쌍선형 보간법을 일반적인 영상과는 다르게 적용한다. 일반적인 영상은 픽셀(pixel)간의 밝기값의 연관성이 높은 반면, 뇌지도의 경우는 동일 뇌구조물에 대해서만 밝기값의 연관성이 있고 서로 다른 뇌구조물에 대해서는 그 연관성이 없다. Talairach 뇌지도 재구성에서 쌍선형 보간법은 식 (1)과 같

이 동일 뇌구조물에 대해서만 적용된다. 보간점 $p = (x, y, z)$ 에서 임의의 뇌구조물 f_s 에 대한 뇌지도의 보간값 \tilde{f}_p 는 식(1)과 같이 결정된다.

$$\tilde{f}_p = \begin{cases} f_s & \text{if } g(x_1, x_2) \geq T \\ 0 & \text{if } g(x_1, x_2) < T \end{cases} \quad (1)$$

$$g(x_1, x_2) = (1-t)(1-u)g_1 + t(1-u)g_2 + tu g_3 + (1-t)u g_4 \quad (2)$$

여기서 T 는 임계치(threshold)이며, $g_i \in \{f_s, 0\}$, $i = 1, \dots, 4$ 이다. 일반적으로 $T = f_s/2$ 로 설정하며, T 값이 작을수록 f_s 에 대한 가중치가 크음을 의미한다. g_i 는 그림 5에서와 같이 제어점이며 t 와 u 는 제어점으로부터 보간할 위치의 점 (x_1, x_2) 까지의 상대적 거리를 나타낸다.

2. 삼평면 보간

보간할 위치 $p = (x, y, z)$ 에서 뇌지도 삼평면 보간은 식(3)과 같이 표현된다. 뇌구조물 f_p 에 대하여 에너지 $U(f_p)$ 를 계산하여 식 (3)과 같이 보간값 \tilde{f}_p 를 결정한다. 에너지 $U(f_p)$ 는 보간점 P 에 미치는 영향력을 나타내는 값으로서 가장 큰 값을 가질 때의 뇌구조물 f_p 를 보간값으로 취하게 되는 것이다.

$$\tilde{f}_p = \arg \max_{f_p} U(f_p) \quad (3)$$

$$U(f_p) = \sum_{\alpha \in B} \frac{v(f_p)}{D(d_{\alpha})} \quad (4)$$

여기서

$$v(f_p) = \begin{cases} 1, & \text{if } f_p = f_{\alpha} \\ 0, & \text{if } f_p \neq f_{\alpha} \end{cases} \quad (5)$$

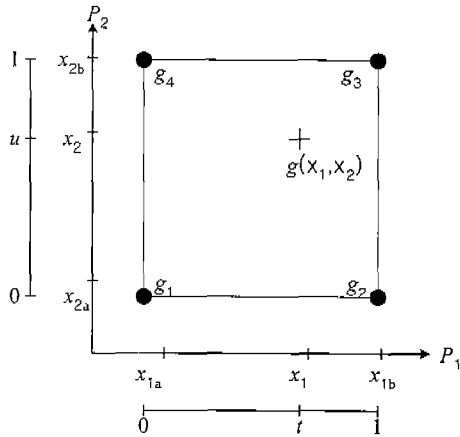


그림 5. 쌍선형 보간
Fig. 5. Bi-linear interpolation

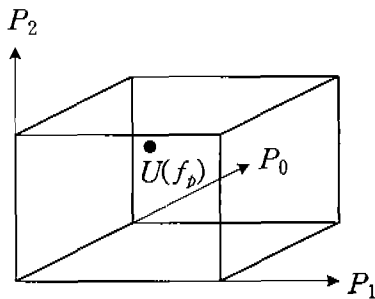


그림 6. 삼평면 보간
Fig. 6. Tri-planar interpolation

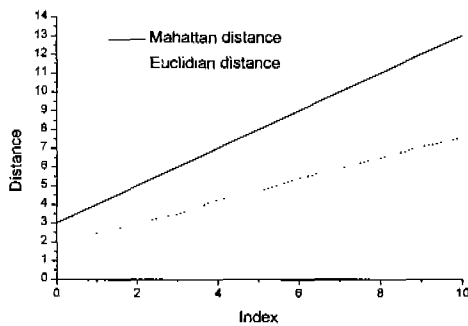


그림 7. 맨하탄 거리와 유클리드 거리
Fig. 7. Manhattan and Euclidian distance

$$D(d_M) = w_1 + w_2 d_M + w_3 d_M^2 \quad (6)$$

$$d_M = |i-x| + |j-y| + |k-z| \quad (7)$$

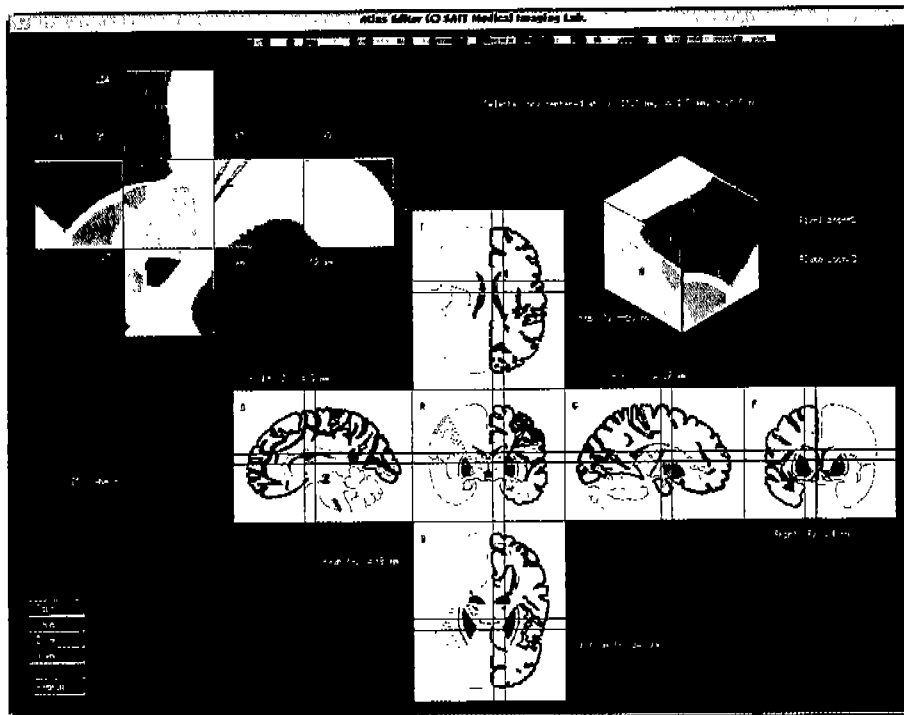
이고, B 는 그림 6에서 보이는 바와 같이 보간할 위치점을 둘러싸는 평면 조각(patch)들을 의미하고, d_M 는 공간상의 두 점 $p = (x, y, z)$, $q = (i, j, k)$ 에 대한 맨하탄 거리(Manhattan distance)[8]를 나타낸다. 맨하탄 거리는 그림 7에 보이는 바와 같이 유클리드 거리(Euclidian distance)보다 값과 증가비가 크며, 증가비가 크다는 것은 거리값에 대하여 가중치가 큼을 의미한다. 맨하탄 거리는 유클리드 거리보다 계산 시간이 짧은 장점이 있다. 또 $D(d_M)$ 는 가중거리(weighted distance)를 나타내며, w_1, w_2, w_3 은 가중거리를 결정하는 가중치이다. 가중치 w_1, w_2 는 가중거리의 선형적 증가에 영향을 주며, w_3 은 가중거리의 비선형적 증가에 기여한다. 삼선형 보간법은 쌍선형 보간법과 달리 거리계산에 있어서 가중치를 사용하므로 거리적 대비를 크게 하며, 삼평면의 데이터를 모두 이용하므로 보간값의 신뢰성도 높다.

3. 뇌지도 편집기

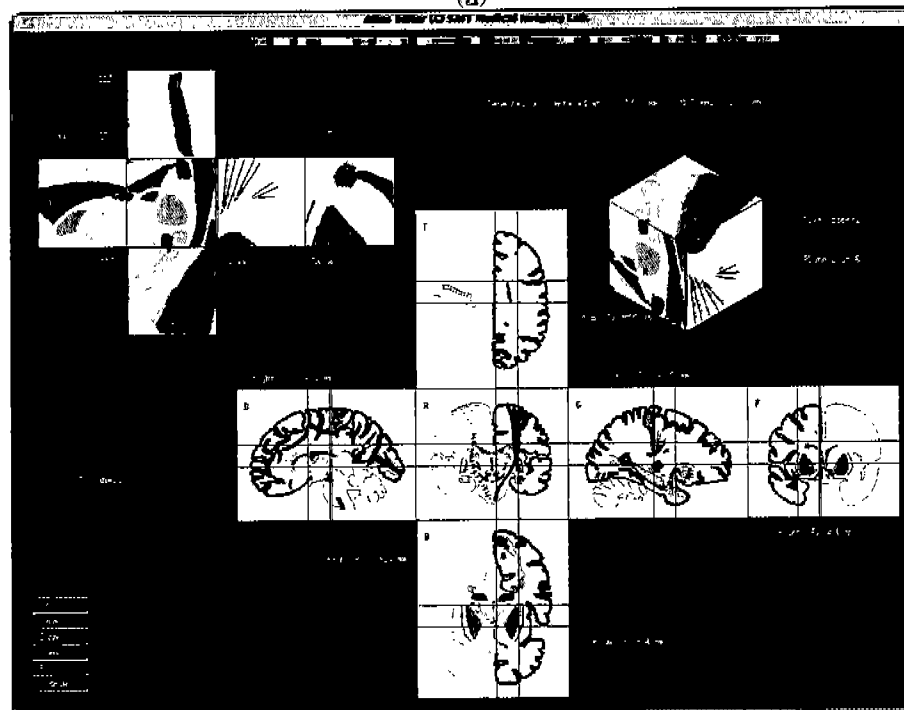
Talairach 뇌지도 편집기는 3방향의 뇌지도 세트를 기준 공간선인 CA-CP, VCA, 중선을 원점이 AC인 좌표계를 맞추어서 그림 8과 같이 시각화하도록 했다. 가로와 세로로 두 쌍의 평행선은 상하, 좌우, 앞뒤의 슬라이스에서 사각형 모양의 관심영역을 정의하도록 하여 관심영역에 마우스로 클릭하면 그 부위에 두 쌍의 평행선이 다시 그려지고 그림 8의 좌우에 나타난 바와 같이 관심영역의 뇌지도를 보여줄 수 있게 했다. 두 쌍의 평행선은 그림 9와 같이 뇌지도의 3방향의 슬라이스 해당 위치를 지정하게 된다. 예를 들어 축방향의 뇌지도 슬라이스의 세로 방향의 평행선과 가로 방향의 평행선은 각각 시상상합방향과 두정방향의 두 슬라이스의 위치를 지정한다. 이렇게 함으로써 관심영역을 클릭하면 그 위치에 해당하는 부분을 좌측과 우측에 시각화하여 서로 다른 방향의 슬라이스들과의 뇌구조물의 부합을 비교하도록 했다. 뇌지도 편집기의 우측에 이웃하는 3개의 슬라이스를 시각화하는 기능은 마우스로 클릭하여 다른 면을 선택할 수 있게 했다. 그림 8의 좌측 하단의 메뉴의 Zoom으로 관심영역의 크기를 선택 가능하며, 관심영역의 크기는 1개, 2개, 3개, 6개의 슬라이스 간격을 선택할 수 있게 했다. 그림 8 (a)와 그림 8 (b)는 각각 3개와 6개의 슬라이스 간격으로 관심영역의 크기를 선택한 것이다. 또한 불일치한 뇌구조물을 수정할 수 있는 편집 기능을 가지고 있다. 편집기의 상단에는 뇌지도에 사용된 칼라 테이블을 시각화하였으며, 숫자들을 관심영역의 슬라이스의 위치 등의 정보를 나타도록 하였다.

실험 및 토의

디지털 Talairach 뇌지도는 RGB(red green blue) 필터가 장착된 카메라로 획득하였으며 디지털 영상화에 의하여 각 뇌지도의 슬라이스마다 해상도가 1024×1024 인 3개 파일을 생성하였다. 영상화일들은 픽셀당 8비트로 압축하였고 계산과 시각화의



(a)



(b)

그림 8. Talairach 뇌지도 편집기(관심영역의 크기 : (a) 3슬라이스 간격, (b) 6 슬라이스 간격)
 Fig. 8. Talairach atlas editor(ROI(region of interest) size : a distance of (a) 3 and (6) slices)

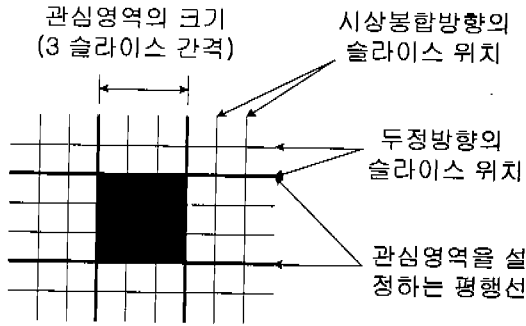


그림 9. 축방향 슬라이스 관심영역의 크기(3 슬라이스 간격)
 Fig. 9. ROI size of axial slice (a distance of 3 slices)

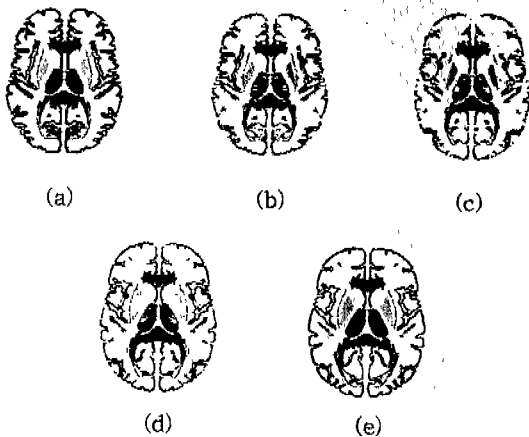


그림 10. 쌍곡선 보간에 의한 결과. (a), (e) : 원영상.
 (b), (c), (d) : (a)와 (e)사이의 보간된 영상
 Fig. 10. Results by bi-linear interpolation. (a), (e) : Original image,
 (b), (c), (d) : interpolated image between (a) and (e)

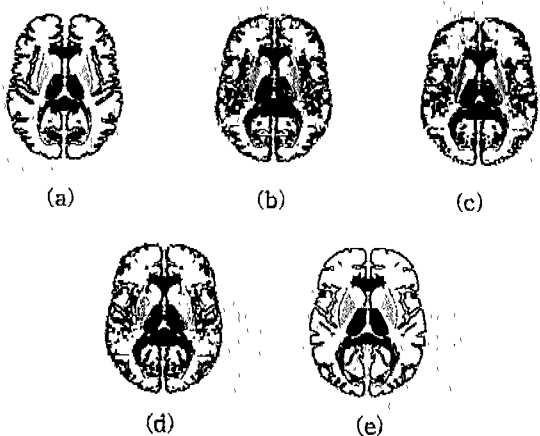


그림 11. 삼평면 보간에 의한 결과 (a), (e) : 원영상.
 (b), (c), (d) : (a)와 (e)사이의 보간된 영상
 Fig. 11. Results by tri-linear interpolation. (a), (e) : Original image,
 (b), (c), (d) : interpolated image between (a) and (e)

편리성을 고려하여 256×256으로 해상도로 다운샘플링(down sampling)하였다. 뇌지도 편집기는 UNIX 환경에서 C언어와 X 윈도우 라이브러리를 이용하여 구현하였다.

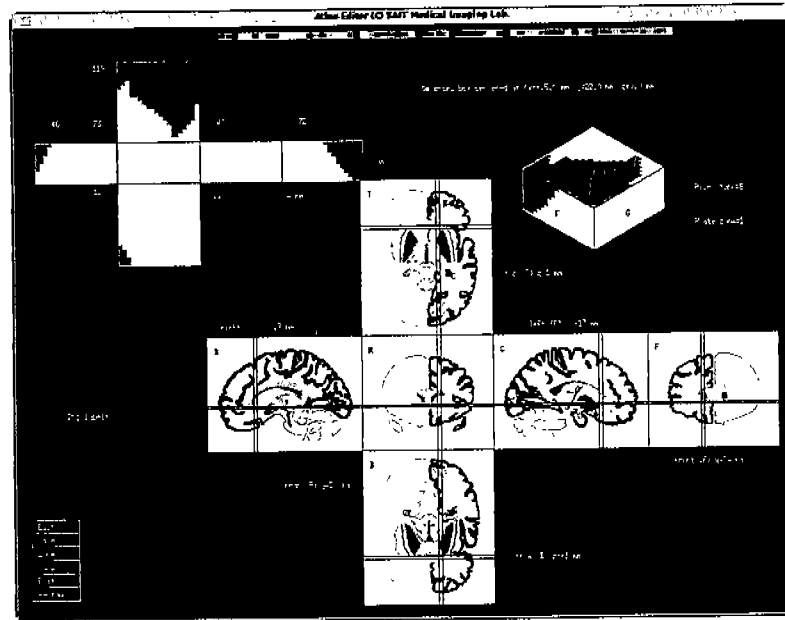
Talairach 뇌지도의 볼륨 데이터의 재구성을 하기 위하여 앞에서 언급한 쌍선형 보간법을 변형 적용하고 삼평면 보간법을 적용하였다. 그림 10은 쌍선형 보간법을 축방향 뇌지도에 변형 적용한 결과이다. 그림 10의 (a), (e)는 각각 11번째와 12번째 원래의 축방향 슬라이스이며, 그림 10의 (b), (c), (d)는 두 슬라이스를 사이를 보간한 영상이다. 보간된 영상은 70개의 뇌구조물에 대하여 각 뇌구조물별로 보간한 다음 합성한 것이다. 축방향의 뇌지도의 해상도는 보간전 256×256×27이며 슬라이스 사이를 보간한 후 보간된 볼륨 데이터는 256×256×256으로 높아진다. 그림에서 Corpus callosum, Ventricle, Putamen 등은 비교적 잘 보간되었으나, 그림 10의 (c), (d)등에서 파란색으로 나타난 Cortex부분은 보간이 잘 이루어지지 않음을 볼 수 있다. 이는 Cortex 부분은 두께가 얇고 슬라이스 간격이 크며, 슬라이스간의 기하학적 형태가 서로 다르기 때문임을 확인할 수 있다.

반면 삼평면 보간법은 3방향의 뇌지도 세트를 동시에 이용하는 방법으로서 그림 11에 그 결과를 보였다. 그림 11의 (b), (c), (d)는 축방향 슬라이스인 그림 11의 (a), (e)와 두정방향 및 시상봉합방향의 슬라이스 전부를 이용하여 보간된 영상이다. 그림 10보다 소실된 Cortex 부분이 적지만 잡음이 다소 들어와 있음을 볼 수 있다.

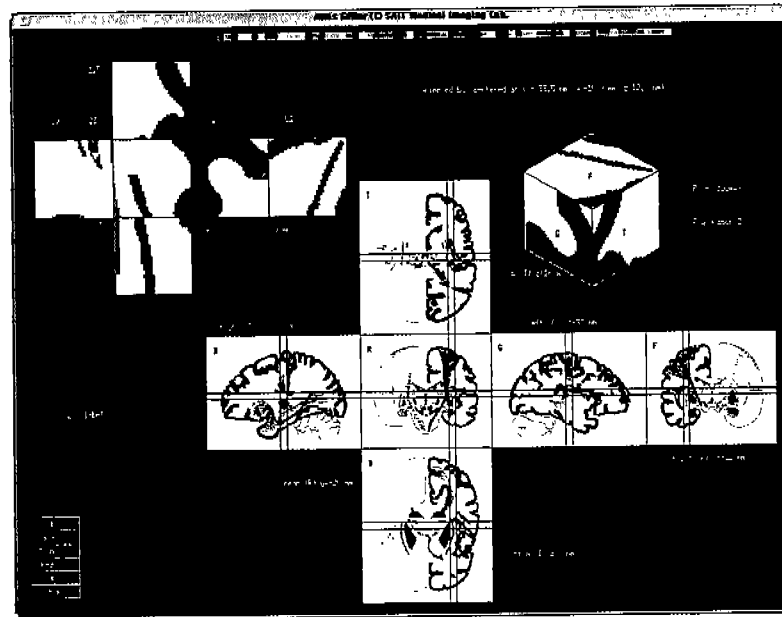
잡음이 나타난 원인을 알아보기 위하여 제작한 뇌지도 편집기를 이용하여 몇 부분의 관심영역에 대하여 서로 다른 크기로 살펴 보았다. 그림 12 (a)는 관심영역의 크기는 1 슬라이스 간격으로 했을 때 3방향의 슬라이스에 대한 Ventricle의 부합 정도를 보여준다. 그림의 좌우의 영상에서 Ventricle의 부합이 일치하지 않음을 볼 수 있다. 그림 12 (b)는 관심영역의 크기를 2 슬라이스 간격으로 했을 때 Cortex의 부합 정도를 보여준다. 좌우의 영상에서 Cortex가 일치하지 않음을 볼 수 있다. 이는 Talairach 뇌지도가 각 방향마다 독립적으로 작성된 지도이기 때문에 슬라이스의 방향마다 뇌구조물이 잘 부합하지 않는 부위가 있음을 보여주는 것이다. 삼평면 보간의 결과에서 잡음이 많이 나타나는 이유도 Talairach 뇌지도의 슬라이스 방향간의 뇌구조물의 불일치성에 기인함을 알 수 있다.

결 론

본 연구는 Talairach 뇌지도의 3차원 볼륨 데이터 재구성 문제에서 쌍선형 보간법의 적용 방법과 삼평면 보간법을 제안하였으며, Talairach 뇌지도 편집기를 제작하여 볼륨 데이터 재구성의 문제점을 고찰하였다. 쌍선형 보간법의 뇌지도에 적용은 1세트의 슬라이스에 대하여 하나씩의 밝기값만 고려하는 방법으로서 Putamen 등 뇌의 중심부근의 경우 비교적 보간이 잘 이루어졌지만 Cortex부분은 두께가 얇고 슬라이스 간격이 크며 슬



(a)



(b)

그림 12. 3세트의 뇌지도의 불일치 : (a) Ventricle, (b) Cortex
 Fig. 12. Inconsistency among 3 sets of atlases : (a) Ventricle, (b) Cortex

라이스간의 기하학적 형태가 서로 다르기 때문임을 확인할 수 있었다. 삼평면 보간법은 서로 수직인 3방향의 슬라이스의 뇌구조물 정보를 동시에 이용하는 방법으로서 큰 슬라이스 간격으로 발생하는 뇌구조물의 소실을 줄여주는 장점이 있다. 삼평면 보간법의 적용시 원하지 않는 잡음이 발생하는 원인은 제작한 Talairach 뇌지도 편집기를 이용하여 3방향의 슬라이스간의 뇌구조물의 불일치한 부합임을 알았다. 제안한 쌍선형

보간법의 변형 적용과 삼평면 보간법은 Talairach 뇌지도와 같이 이웃하는 픽셀간의 상관성이 작거나 3방향 슬라이스로 구성된 형태의 뇌지도의 불륨 재구성에 적용 가능하다. 또 뇌지도 편집기를 제작하여 Talairach 뇌지도의 슬라이스간의 뇌구조물이 잘 부합하지 않음을 본 논문이 처음으로 밝힘으로서 영상표준화, 정위법적 방법의 적용, 뇌기능의 지도화 등의 연구에 많은 도움을 줄 것이다.

참 고 문 헌

1. Steinmetz H, Seitz RJ, "Functional anatomy of language processing: neuroimaging and the problem of individual variability", *Neuropsychologia*, vol. 29, pp. 1149-1161, 1991.
2. Evans AC, Marrett S, Neelin P, et al., "Anatomical mapping of functional activation in stereotactic coordinate space", *Neuroimage*, vol. 1, pp. 43-53, 1992.
3. Talairach J, Tournoux P. *Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain 3-D Prop. System: and Approach to Cerebral Imaging*. New York: George Thieme Publishers, Inc. 1988.
4. Evans AC, Marrett S, Torrescorzo J, Ku S, Collins L, "MRI-PET correlation in three dimensions using a volume-of-interest (VOI) atlas", *J Cereb Blood Flow Metab* 1991; 11(2):A69-78.
5. Fox PT, Permuter JS, Raichle ME, "A stereotactic method of anatomical localization for positron emission tomography", *J. of Comput. Assist. Tomogr.*, 1985; 9: 141-153.
6. William K. Pratt, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
7. William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, *Numerical Recipes in C*, Cambridge University Press, 1988.
8. [http: // hissa.nist.gov / ~ black / CRCDict / HTML / manhtndstnc.html](http://hissa.nist.gov/~black/CRCDict/HTML/manhtndstnc.html)