

'Chamfer Matching'과 'Mutual Information Maximization' 알고리즘을 이용한 해부학적 영상과 핵의학 기능영상의 정합 연구

*가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, †전남대학교 의과대학 방사선종양학교실

양희종* · 주라형* · 송주영† · 서태석*

본 연구에서는 다중영상 획득용 두뇌팬텀을 사용하여 CT, MR, 그리고 PET영상을 획득하였으며, 이를 정합대상으로 하여 해부학적 영상과 핵의학 기능영상과의 정합을 실시하였다. 정합 알고리즘으로는 현재 널리 사용되고 있는 'Chamfer Matching' 알고리즘과 'Mutual Information Maximization' 알고리즘을 이용하였고, 기존 연구에서 타당성이 검증된 정합 프로그램을 사용하였다. 정합 결과, CT-MR, CT-PET, MR-PET 세 가지 정합경우에 대하여 두 알고리즘 모두 효과적인 방법임을 알 수 있었으나, 저해상도의 핵의학 영상인 PET과의 정합에선 'Mutual Information Maximization' 알고리즘이 더 효과적인 방법임을 확인하였다.

중심단어: 영상정합, Chamfer Matching, Mutual Information Maximization

서 론

최근 서로 상호보완적인 정보를 제공하는 다중영상간의 영상정합을 통해, 진단 및 치료의 정확도를 높이고 보다 정확한 종양부위의 윤곽설정이 가능하게 되었으며 실제 임상에 적용하고 있다. 방사선치료 계획 시, 정확한 종양부위의 윤곽 설정은 종양부위에는 정확한 치료선량을 부여하고 주변 정상조직의 피폭은 최대한 줄이기 위해 가장 먼저 선행되어야 할 중요한 과정이다. 그러나 정합된 영상을 이용 진단 및 치료계획에 적용하기에 앞서, 우선 적절한 정합 알고리즘을 선택하고 영상간의 정확한 정합을 수행함으로써 정합 결과의 정확도가 확보되어 있어야 한다.

의학영상은 크게 두 부류, 해부학적(anatomical) 영상과 기능(functional) 영상으로 나뉜다. 이들 해부학적 영상과 기능영상간의 영상정합은 CT와 MRI와 같은 해부학적 영상기기가 비교적 높은 해상도로 인체내 형태학적, 기하학적인 정보를 제공하는 장점과 상대적으로 낮은 해상도로 인해 조직의 윤곽결정에는 부적당하지만 종양의 전이 판별 및 종양부위의 생물학적 활성영역 판별에 상대적으로 유리한 PET/SPECT 같은 핵의학 기능영상의 장점을 활용할 수 있다.¹⁻²⁾

본 연구에서는 CT와 MR, PET영상을 각 진단영상의 장점을 활용, 'Chamfer Matching' 알고리즘과 'Mutual Information Maximization' 알고리즘을 사용하여 정합을 수행, 비교하여 보았다.

재료 및 방법

1. 다중영상 획득용 팬텀

Fig. 1에서와 같이, 위치확인용 localizer를 탈 부착이 용이하도록 다목적용 뇌 팬텀에 삽입하여 CT, MR, PET 에 모두 사용할 수 있도록 하였으며 위치확인을 위한 프레임은 기준 외부표식자 (external fiducial marker)로 사용하기에 적합하도록 구성하여 실린더타입으로 내부에 물을 채울 수 있도록 구성 하였고 뇌 볼륨은 950ml이다. 팬텀은 뇌의 단층면을 볼륨으로 구성하였으며 위치확인을 위한 localizer frame으로 구성되어있다.

CT영상은 3차 증류수를 채워 512×512 매트릭스, 0.5mm/pixel, 2mm 슬라이스 두께로 64프레임 영상을 획득하였으며, MR 영상의 획득방법은 3차증류수로 CuSO₄ 0.16mol 용액을 만들어 영상 매트릭스 256×256, 0.78mm/pixel, 슬라이스 두께 7mm의 영상 32프레임을 획득하였고, PET영상은 F-18 5mCi를 삼차증류수 950ml에 골고루 잘 섞은 후 볼륨으로 쌓아놓은 뇌 팬텀내부에 채우고 128×128 매트릭스, 1.72mm/pixel, 2.43mm 슬라이스 두께로 63프레임 영상을 획득하였다.

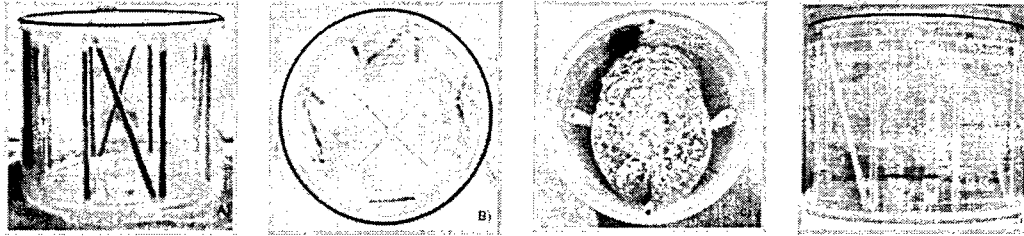


Fig. 1 Brain Phantom for multi-modality image

2. 정합 알고리즘

영상정합 방법은 영상대상에 외부 marker를 부착하여 이를 기준으로 정합하는 Extrinsic 방법과 영상자체에 내재되어 있는 정보들만을 활용하여 정합하는 Intrinsic 방법으로 크게 분류될 수 있다. 신체표면에 marker를 부착하여 이를 기준으로 정합하는 방법은 정합과정에서 편리성은 있으나, 실제 임상에서 모든 환자에 적용하기에는 한계성이 있다. 본 연구에서는 이러한 Extrinsic 방법의 영상정합은 배제하고, 영상 정보만을 활용하여 정합하는 Intrinsic 방법중 가장 많이 사용되고 있는 'Chamfer Matching' 알고리즘과 'Mutual Information Maximization' 알고리즘에 대한 비교, 분석을 수행하였다.

가. 'Chamfer Matching' 알고리즘

'Chamfer Matching' 알고리즘은 기준영상의 contour정보와 정합대상 영상의 contour정보를 일치시키는 과정을 통해 정합을 수행하는 'Surface Matching'방법의 하나이다.³⁻⁴⁾ 먼저, 기준이 되는 영상의 distance transformation을 통한 distance map을 작성하고 정합대상 영상을 변환하면서 각 위치에 해당하는 distance map 값들로부터 surface 경계를 구성하는 점들의 cost function값을 계산, 그 값이 최소로 되도록 하는 과정을 통해 정합을 수행하게 된다.

나. 'Mutual Information Maximization' 알고리즘

'Mutual Information Maximization' 알고리즘은 영상의 voxel 값을 기반으로 정합을 수행하는 방법으로 영상정보의 entropy 개념화로부터 도출되었다.⁵⁾ 전체적인 단계는 기준영상과 정합대상 영상과의 영상정보의 상호 연관성을 높이는 과정으로, 이상의 방법을 세분화하여 살펴 보면 다음과 같다.

[1단계]

Mutual information을 얻기 전에 영상의 무질서도(entropy)를 계산하여야 한다. Entropy는 영상의 확률 분포를 이용하여 계산할 수 있다.

$$H[\text{entropy}] = - \sum_{p \in P} p \log p$$

여기서 p는 gray value 의 확률분포(probability density function: pdf)를 나타낸다. Gray value가 골고루 분포된 영상은 entropy 가 크고, 특정 gray value가 많은 영상은 entropy가 작다. 두 영상의 joint pdf는 joint histogram을 표준화(normalization)시켜 구한다. 각 영상의 marginal pdf는 joint pdf를 적분하여 얻는다.

[2단계]

Mutual information I(A,B)를 다음과 같이 구한다.

$$I(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B)$$

H(A)와 H(B)는 각 영상의 entropy 이고, H(A, B)는 두 영상의 joint entropy다.

[3단계]

기준 영상을 고정시키고 정합대상 영상의 위치, 회전각을 변화시켜가면서 mutual information I(A, B)가 최대가 되는 이동 거리와 회전각을 찾는다. 이 과정은 H(A)와 H(B)가 최대가 되고, H(A, B)가 최소가 되는 점을 찾는 것이다.

이상의 과정으로 정합을 할 수 있으나, mutual information은 영상의 겹치는 정도에 민감하기 때문에 표준화(normalization)를 시켜서 이 문제점을 해소했다. $Y(A, B)$ 는 normalized mutual information 이고,

$$Y(A, B) = \frac{H(A) + H(B)}{H(A, B)} \text{ 로 구할 수 있다.}$$

이상에서 살펴본 두 영상정합 알고리즘인 'Chamfer Matching' 알고리즘과 'Mutual Information Maximization' 알고리즘을 구현, 이전 연구에서 타당성을 검증받은 정합 구현 프로그램을 사용하여 다중영상(CT, MRI, PET)간 영상정합을 수행하였으며 영상 특성별 정합정도를 비교하여 보았다. 영상정합은 모두 3가지 경우에 대하여 실시하였는데, reference영상을 CT 영상으로 하여 MR과 PET영상에 대하여 각각 수행하였고, 추가로 MR영상을 reference영상으로 하여 PET영상을 정합하였다.

결 과

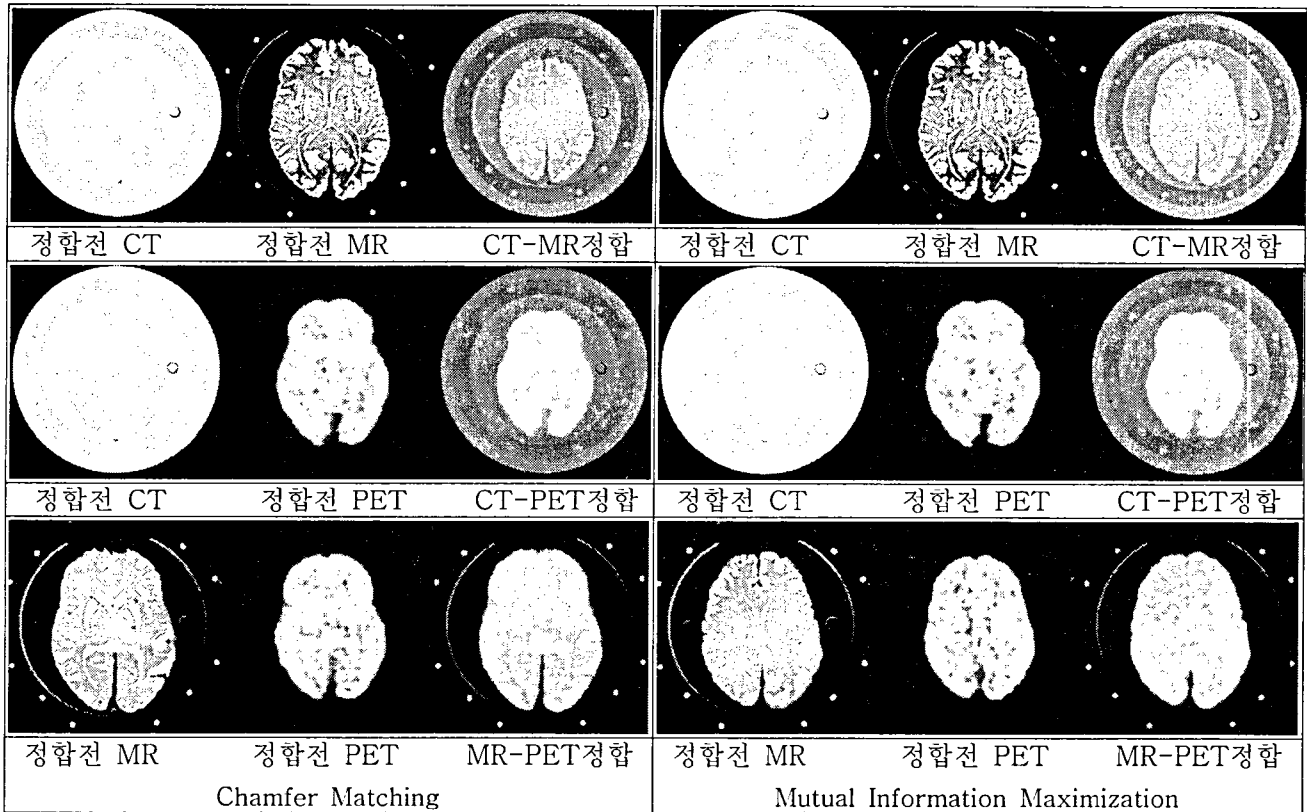


Fig. 2. Results of image registration

실험결과, 이전 연구에서와 같이 대체로 효과적인 정합이 이루어져, 두 알고리즘 모두 유용한 방법임을 확인하였고, 정합 구현 프로그램의 유용성 또한 확인할 수 있었다. 역시 비교적 해상도가 높은 CT와 MR간의 영상정합은 두 정합 알고리즘에 대한 결과에서 뚜렷한 차이점을 찾을 수 없었으나, 저 해상도의 PET영상을 정합대상으로 한 CT-PET과 MR-PET간의 정합시, 'Mutual Information Maximization' 알고리즘이 'Chamfer Matching' 알고리즘보다 CT-MR간 정합에서와는 달리 정합수행시간이 짧았으며, 별도의 추가적인 수동 조작이 필요하지 않을 정도로 효과적이었다. 다만 PET영상의 특성상 정량적으로 정확한 정합여부를 확인할 수 없었으나 위치확인용 'N-shape localizer' 부분과 팬텀의 두뇌부분의 영상을 통해 가시적으로 정합정도를 판별할 수 있었다.

결 론

본 연구에서는 'Chamfer Matching' 알고리즘과 'Mutual Information Maximization' 알고리즘을 구현한 정합 프로그램을 사용하여 상호보완적인 정보를 제공해 줄 수 있는 해부학적 영상과 핵의학 기능영상으로 정합을 수행해 보았으며 영상 특성별 정합정도를 비교하여 보았다. 보다 정확한 정합영상을 얻기 위해선 저해상도의 핵의학영상과의 정합 시, 정량적인 오차분석 등 추가적인 연구가 요구되며 이에 대한 분석이 필요할 것으로 본다.

참 고 문 헌

1. Maintz, J.B.A. & Viergever, M.A.: A Survey of Medical Image Registration. Medical image analysis 2:1-37 (1998)
2. C.C. Ling, J. Humm, S. Larson, etc. : Towards Multidimensional Radiotherapy (MD-CRT): Biological Imaging and Biological Conformality. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys. 47:551-560 (2000)
3. M.V. Herk, H.M. Kooy :Automatic three -dimensional correlation of CT-CT, CT-MRI, and CT-SPECT using chamfer matching. Med. Phys. 21:1163-1178 (1994)
4. C.K. Kim, D.F. Wordley, A. Alavi : Three- Dimensional Anatomical Model-Based Segmentation of MR Brain Image Through Principal Axes Registration. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 42: 1069-1078 (1995)
5. F.Maes, A. Collignon, D. Vandermeulen, G. Marchal, P. Suetens : Multimodality Image Registration by Maximization of Mutual Information. IEEE Trans. Med. Imaging 16:187-198 (1997)

A study of registration algorithm based on 'Chamfer Matching' and 'Mutual Information Maximization' for anatomical image and nuclear medicine functional image

Hee-Jong Yang*, Rahyeong Juh*, Ju Young Song[†], and Tae-Suk Suh*

**Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, The Catholic University of Korea,*

[†]Department of Radiation Oncology, Medical School, Chonnam National University

In this study, using brain phantom for multi-modality imaging, we acquired CT, MR and PET images and performed registration of these anatomical images and nuclear medicine functional images. The algorithms and program applied for registration were Chamfer Matching and Mutual Information Maximization algorithm which have been using frequently in clinic and verified accuracy respectively. In result, both algorithms were useful methods for CT-MR, CT-PET and MR-PET. But Mutual Information Maximization was more effective algorithm for low resolution image as nuclear medicine functional image.

Key Words: Image registration, Chamfer Matching, Mutual Information Maximization