

템플릿 구축을 통한 의료영상 기능이상부위 추출 가시화*

김민정^o 최유주 김명희
이화여자대학교 컴퓨터학과
{kimmj^o, choirina, mhkim}@mm.ewha.ac.kr

Visualization of the Abnormal Region on Medial image by Nonlinear Registration based Template Construction

Min-Jeong Kim^o Yoo-Joo Choi Myoung-Hee Kim
Dept. of Computer Science & Engineering, Ewha Womans University

요 약

의료영상정합을 통해서 이상징후 발현시점과 소멸시점의 기능영상을 비교함으로써 기능이상부위를 판별하는 것은 질환의 진단에 매우 유용하다. 본 논문에서는 기존 변화시점간 기능영상 감영법이 정확한 소멸시점에서의 영상 취득이 어려움으로 인해 정확도가 떨어질 우려가 있는 점을 개선하고자 뇌 혈류이상을 나타내는 뇌기능영상인 SPECT의 변화시점 기능이상부위 추출을 위하여 정상인집단 영상의 비선형 영상정합기법과 영상평균화를 통해 뇌기능영상 템플릿을 구축하였다. 또한 이를 기반으로 영상강영을 수행함으로써 간질환자의 발작중(ictal) SPECT 뿐만 아니라 발작간(interictal) SPECT에서도 뇌혈류의 이상을 정확히 분석할 수 있는 3차원 추출가시화 방법을 제시하였다.

1. 서 론

영상 정합이란 영상들을 배열하여 대응되는 특성을 연관시키는 과정으로, 서로 다른 정보를 결합하여 상호 보완적인 복합적이고 유용한 새로운 정보를 생성하는 기법이다. 특히 의료 분야에서는 수술전 정밀 검사, 생체 검사를 위한 정확한 처치, 방사능 치료, 수술 및 처방 후 연구 등에 필수적으로 적용된다[1][2].

비선형영상정합은 지역적인(local) 변환을 기반으로 수행되는 정합기법으로 정합 대상볼륨 전반에 평행이동, 회전, 확대/축소 등의 전역적(global) 변환을 수행하는 선형 정합에 비해 형태적으로 상이한 객체들에 대한 정합이 가능하다. 그러나 대상영상에 특성화되는 지역적 변환을 찾아내야 하므로 비교적 어려운 기법이며[3][4], 정상인집단 영상을 이용한 통계학적 템플릿(template) 구축이나 이를 기반으로 한 환자영상과의 정합을 통하여 기능이상부위를 추출해 내는데 적용될 수 있다.

최근 사용되고 있는 기능영상에 기반 뇌기능 이상부위의 판별기법으로 변화시점간 SPECT 감영기법 (Ictal-Interictal SPECT subtraction)을 들 수 있다. 이 방법은 환자의 발작중 (ictal) SPECT에서 발작간 (interictal) SPECT를 감영하여 산출된 유의하게 뇌혈류가 변화한 부분을 통해 간질병소를 진단하는 방법이다[5]. 그러나 이 방법은 발작후 오랫동안 뇌혈류가 비정상적이거나 뇌파상의 발작만 발생하는 경우 정확하지 않은 결과를 낼 수

있다. 따라서 본 연구에서는 정상인집단 SPECT영상을 이용하여 평균화된 뇌혈류분포도를 얻은 후, 이를 기반으로 환자의 변화시점간 SPECT를 공간보정 및 감영하는 SPECT 템플릿기반 감영법을 구현하였으며, 이는 뇌혈류 기능 관련 뇌 질환부위 판단 및 진단에 도움을 줄 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 비선형 영상정합을 기반으로 한 뇌기능영상 템플릿 구축방법을 소개하고, 3장에서는 이를 기반으로 한 객관적인 기능이상부위 추출 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 2.3장에 소개된 방법에 의해 도출된 구현 및 실험결과를 소개하고, 5장에서 본 논문의 결론 및 향후연구를 제시한다.

2. 비선형 영상정합기반 뇌기능영상 템플릿 구축

2.1 모멘트정보 기반 비선형 영상정합

뇌기능영상 템플릿은 정상인집단의 기능영상을 통하여 얻어지므로, 개개인간의 뇌 형상에 있어서의 지역적 차이를 보정하기 위해서 지역적 변환을 이용하는 비선형 영상정합을 필요로 한다. 본 연구에서 사용한 비선형 영상정합기법에서는 먼저 참조영상과 테스트영상에 대해 각각의 모멘트 정보로 3차원 무게중심 및 주축을 계산해 낸다. 두 대상볼륨의 표면 점집합 각각의 3차원 좌표를 V_i , 전체 점 개수를 N 이라 할 때, 참조영상과 변환된 테스트영상의 무게중심 C 는 식 (1)을 이용하여 구해진다.

* 본 연구는 부분적으로 과학기술부 국가지정연구실사업(NRL)과 정보통신부 대학정보통신연구센터(ITRC) 육성지원 사업의 지원에 의해 수행되었음.

$$C_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, C_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, C_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \dots (1)$$

다음으로 3차원 주축을 계산하기 위해서는 먼저 각 영상의 공분산 행렬(covariance matrix)을 구하고, 이 공분산 행렬의 행렬식을 0으로 만드는 고유치(eigen value)를 계산한다. 이 고유치들을 이용하여 3차원 좌표 공간 상에서 각각 수직형태를 이루는 고유벡터들을 구할 수 있는데, 고유치의 크기가 클 때의 고유벡터가 해당 영상의 가장 긴 주축을 나타내게 된다. 공분산 행렬은 식 (3)을 이용하여 식 (2)와 같이 계산될 수 있다.

$$Cov = \begin{bmatrix} Cov(x, x) & Cov(x, y) & Cov(x, z) \\ Cov(y, x) & Cov(y, y) & Cov(y, z) \\ Cov(z, x) & Cov(z, y) & Cov(z, z) \end{bmatrix} \dots (2)$$

$$Cov(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x_i - c_x)(y_i - c_y) \dots (3)$$

참조볼륨과 테스트볼륨의 계산된 모멘트 정보를 좌표축에 대해 일치하게 변환함으로써 두 대상볼륨을 대응시킨 후 좌표축에 의해 분할되는 두 볼륨의 주축간의 비율을 계산해냄으로써 각 대응되는 부분볼륨간의 비선형 변환비율을 찾아낼 수 있다. 비선형 영상정합의 수행단계는 그림 1과 같다.

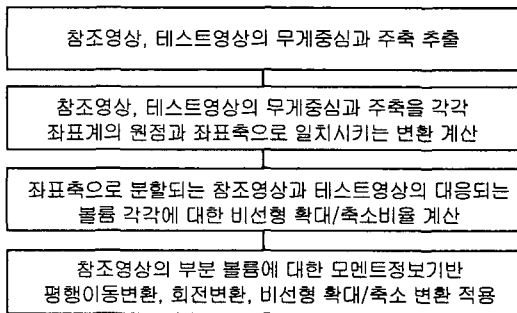


그림 1. 제안방법에 의한 비선형 영상정합 수행단계

2.2 템플릿 구축을 위한 영상 평균화

2.1에 기술된 비선형 영상정합을 정상인집단 SPECT 중 하나의 기준영상을 선정한 뒤 정상인 SPECT 각각에 대하여 비선형변환을 적용한 결과영상들에 대해 평균화를 수행함으로써 SPECT 템플릿을 구축해 낼 수 있다. 영상의 평균화는 일반적으로 움직임 없는 객체의 일련의 영상에서 noise를 감소시키거나 칼라 영상의 독립적으로 다른 R, G, B 채널들을 평균화함으로써 그레이 레벨 영상으로 만드는데 사용되는 기법이다[6]. n 개의 영상을 평균화한 영상을 I_{av} 라 하고, i 와 j 를 각 영상의 픽셀의 X, Y 좌표라 할 때, 영상의 평균화는 식 (4)에 의하여 수행될 수 있다.

$$I_{av}(i, j) = (I_1(i, j) + I_2(i, j) + \dots + I_n(i, j)), \text{ for } (i, j) \in P \dots (4)$$

3. SPECT 템플릿을 이용한 뇌기능 이상부위의 추출

이전 단계에서 구축된 SPECT 템플릿을 이용한 뇌혈류 이상부위 추출과정은 다음과 같이 수행된다. 먼저 SPECT 템플릿과 환자의 발작간 SPECT 영상간, SPECT 템플릿과 환자의 발작중 SPECT 영상간 비선형 영상정합을 수행하고 영상강영을 향으로써 기존 방법에 비해 정확한 뇌혈류의 이상을 발작중 SPECT 뿐만 아니라 발작간 SPECT에서도 분석할 수 있다. 그리고 이 두 시점에서의 혈류분포도에 대해 영상 강영을 수행함으로써 발작시 특히 활성화되는 부위를 판별할 수 있다. 그림 2는 이 수행과정이 나타내고 있다. 또한 이 단계에서의 비선형 영상정합은 그림 1과 동일한 방법에 의해 수행된다.

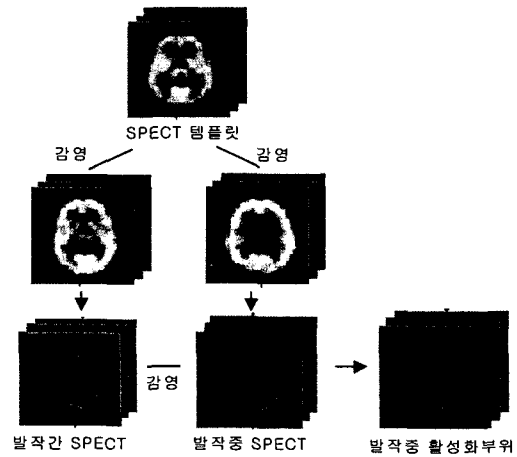


그림 2. 제안 템플릿을 이용한 기능이상부위 추출단계

영상 강영법은 다중 영상에 대하여 픽셀 단위로 강도의 차감(subtraction)을 수행하는 방법으로, 차이 값이 음수가 나오는 경우 영상의 그레이 레벨의 최소치로 바꾸어주어야 예상치 못한 차감결과를 방지할 수 있다. 일반적으로 영상 강영법은 유사한 영상들 사이에서 배경 제거나 움직임 등의 변화 감지(change detection) 등에 널리 사용되고 있는 방법이다[6]. 두 영상 I_1, I_2 의 강영영상을 I_+ 로 나타낼 때, 영상 강영은 식 (5)에 의하여 수행될 수 있다. 여기서 i, j 는 각 영상의 픽셀의 X, Y축 좌표값을 나타낸다.

$$I_+(i, j) = I_1(i, j) - I_2(i, j), \text{ for } (i, j) \in P \dots (5)$$

4. 구현 및 실험결과

본 논문에서의 구현은 Pentium-IV (1.6GHz, 512MB, Windows XP) 상에서 C++ 언어와 그래픽 라이브러리로 OpenGL을 이용하였다. 실험데이터는 SPECT 템플릿 구축을 위하여 정상인 10인의 뇌 SPECT 영상을 사용하였고, 기능이상부위 추출을 위하여 해상도 128X128X29,

복셀크기 3.559X3.559X3.559를 가지는 간질환자 1인의 발작중(ictal), 발작간(interictal) 뇌 SPECT 영상을 사용하였다. 또한 실험결과와 3차원 볼륨렌더링은 HP사의 셰어웨어인 Ultraviz를 사용하여 수행하였다.

그림 3은 본 논문에서 소개된 비선형 영상정합과 영상평균화를 통하여 구축한 SPECT 템플릿의 2차원 단면들이며, 그림 4는 이의 3차원 렌더링 결과를 보여주고 있다. 그림 5와 6은 각각 SPECT 템플릿과 간질환자의 변화시점간 SPECT 영상에 의한 기능이상부위의 2차원, 3차원 추출결과이다.

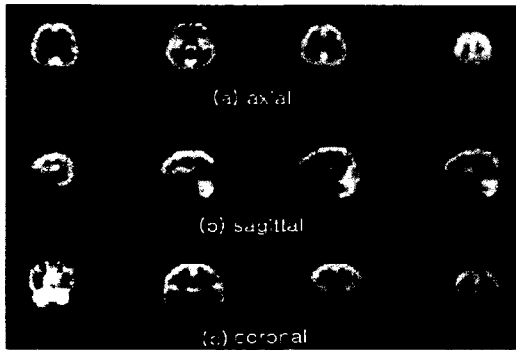


그림 3. 제안방법에 의한 SPECT 템플릿 구현결과 (2차원 단면 일부)



그림 4. 제안방법에 의한 SPECT 템플릿 구현결과 (3차원 렌더링)



(a)발작중 혈류이상부위 (b)발작간 혈류이상부위 (c)발작중 활성화부위 ((a) - (b))

그림 5. 구축된 SPECT 템플릿과 변화시점간 간질환자영상의 감영결과



그림 6. 발작중 활성화부위의 3차원 렌더링 결과

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 뇌혈류기능을 나타내는 SPECT 영상을 이용하여 정상인집단에 대하여 비선형 영상정합을 기반으로 SPECT 템플릿을 구축하였다. 이와 유사한 방법을 다양한 기능영상에 적용함으로써 뇌 기능에 대한 평균 분포도를 구축할 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 SPECT 템플릿과 변화시점간 환자영상을 이용하여 보다 객관적인 기능이상부위를 추출하였다. 이를 이용함으로써 혈류기능과 관련된 간질, 뇌졸중, 치매, 파킨슨씨 병 및 퇴행성 질환 등의 뇌질환 진단 및 처치를 보조할 수 있다.

본 연구와 관련된 향후 연구로는 추출된 기능이상부위를 MRI 등 동일 환자의 형태적 영상과 선형 정합함으로써 보다 정확한 해부학적 위치 판별이 가능하도록 하는 것과 free-form deformation기법을 이용하여 대상객체의 임의 조절이 가능하도록 비선형 영상정합 기법을 개선하는 것 등을 들 수 있다.

참고문헌

- [1] Milan Sonka, J. Michael Fitzpatrick, "Handbook of Medical Imaging," *SPIE Press*, 2000.
- [2] Joseph V. Hajnal, Derek L.G. Hill, David J. Hawkes, "Medical Image Registration," *CRC Press*, 2000.
- [3] J.B. Mainz and Max A. Viergever, "A Survey of Medical Image Registration," *Medical Image Analysis*, Vol. 2, pp.1-36, 1998.
- [4] Hava Lester, Simon R. Arridge, "Survey of nonlinear registration," *Pattern Recognition*, vol. 32, pp. 129-149, 1999.
- [5] O'Brien TJ, So EL, Mullan BP et al., "Subtraction ictal SPECT co-registered to MRI improves clinical usefulness of SPECT in localizing the surgical seizure focus," *Neurology* vol. 50, pp. 445-454, 1998.
- [6] Paul Suetens, "Fundamentals of Medical Imaging," *Cambridge University Press*, 2002.
- [7] Péria, O., François-Joubert, A., Lavallée, S., Champlébourg, G., Cinquin, P., and Grand, S. (1994). Accurate registration of SPECT and MR brain images of patients suffering from epilepsy or tumor. In *Medical robotics and computer assisted surgery*, pp. 58-62.
- [8] Wieslaw L. Nowinski, A. Thirunavuukarasuu, David N. Kennedy, "Brain Atlas for Functional Imaging- Clinical and Research Applications", *Thieme*, 2002.