
의료영상 콘텐츠의 뇌 MR 영상 반자동 영역 분할 알고리즘

Brain MRI Semi-Automatic Segmentation Algorithm for Medical Image Contents

김신흥
주성대학 인터넷정보학과
Sin-Hong Kim(kshong@jsc.ac.kr)

요약

본 논문은 뇌의 축상면에 대하여 촬영된 양성자 밀도영상과 T2 강조 영상을 대상으로 이루어진다. 이러한 영상 중 뇌 위축을 보이지 않는 정상인과 뇌 위축을 보이는 비정상인의 대뇌 영상으로부터 백질, 회백질, 뇌척수액을 분리하고, 분리된 조직의 체적을 자동으로 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이렇게 개발된 알고리즘을 바탕으로 계산된 각 조직의 체적 값과 디지털화된 영상의 헤더 분석을 통해 얻어진 각종 정보를 바탕으로 환자의 성별, 연령별로 결과 값을 세분화하여 데이터베이스로 구성하게 되며 수집된 각종 데이터를 분석 및 통계 처리하여 정상인과 비정상인을 판단 할 수 있는 조기진단 알고리즘을 최종적으로 완성하게 된다. 이 결과는 알츠하이머 환자를 쉽게 구별 할 수 가 있으며, 알츠하이머등 뇌질환의 조기 진단에 대한 정확한 보조진단 기반을 마련하는데 목적이 있다.

■ 중심어 : | 분할 | 백질 | 회백질 | 뇌척수액 | 자기공명영상 |

Abstract

This paper emphasizes on the accomplishment of compensated proton density image and T2 weighted image taken from the shrinkage surface of the Brain. From the images, the Brain's surface shrinkage in the normal image and the surface shrinkage in the abnormal image can be observed. After the separation of white matter, gray matter, and CSF, this algorithm calculates the volume of each of them automatically. Results are subdivided into particular ages and saved in the database to be analyzed and to be processed statistically. Therefore, by using this algorithm the normal and abnormal stages can be detected in the early stages to diagnose. This result easily discernment Alzheimer patient and is useful for Alzheimer diagnostic and early detection.

■ keyword : | Segmentation | White Matter | Gray Matter | CSF | MRI |

1. 서론

인간의 모든 생체 기능을 총괄하고 있는 뇌의 구조 및 역할에 대한 의학적 연구는 이미 상당부분 이루어져 있

으며, 또한 각종 뇌 질환의 발견 및 치유를 위한 의료기술도 많은 진전이 있어왔다. 이러한 의료기술의 발전에는 전산화 단층촬영 기기나 자기공명영상 기기를 이용한 영상진단이 매우 중요한 역할을 담당해왔으며, 앞

로도 이러한 의학영상을 통한 진단 기술은 지속적인 발전을 이룰 것으로 기대하고 있다. 그러나 아직까지 알츠하이머 등 퇴행성 뇌질환에 대한 질병의 원인과 치료방법에 대해서는 명확하게 규명되어진 것은 없다. 특히 알츠하이머에 대한 문제는 가정뿐 아니라 사회적으로도 문제가 되어 정부에서도 노령인구가 계속 늘어날 것으로 예측하여 뇌의학 연구 등에 많은 투자를 하고 있는 현실이다. 하지만 최근 들어 여러 가지 치료법이 개발되면서 이들 환자들을 초기에 진단하고 발견하는 것이 매우 중요해졌다. 뇌의 MR 이미지에서 백질과 회백질의 추출 및 체적 계산은 체적의 변화 추적 및 정상인과의 비교 등을 통해 여러 정신질환의 조기진단에 활용된다. 특히, 알츠하이머, 다우 증후군과 같은 정신질환에 유용하게 활용된다. 본 논문의 목적은 뇌 자기공명 영상에서 백질, 회백질, 뇌척수액 추출 알고리즘을 이용하여 한국인의 알츠하이머 환자의 뇌 체적 및 비율을 분석하기 위한 것이다.

II. MR 영상의 특성

2.1 MR 영상의 종류

2.1.1 T1이완시간 및 T1 강조영상

자장방향으로 평행하게 배열되어 있던 수소 원자핵들이 90도 RF 펄스를 받아 수평면으로 누웠다가 다시 90도 RF 펄스를 끊으면 자기가 흡수한 에너지를 방출하며 다시 원위치로 돌아가는 이완의 전체 과정은 6단계로 나누어져 있다. 이러한 6단계가 지나면 다시 원위치로 돌아오는 수소 원자핵의 양은 원래의 63%가 된다. T1 이완시간은 90도 RF 펄스가 끊긴 후 원래 위치로 돌아오는 수소 원자핵의 양이 63%가 될 때까지의 시간으로 정의하고 있다(어떤 조직에서도 90도 RF 펄스를 주었다가 끊은 후 다시 원위치로 돌아오는 양은 100%가 되지 않음). 지방이나 백질 및 회백질과 같은 짧은 T1 이완시간을 갖는 조직은 원위치로 돌아오는 시간이 빠른 반면, 뇌척수액과 같이 긴 T1 이완시간을 갖는 조직의 수소 원자핵은 60% 정도밖에 회복되지 않는다. 이때 90도 RF 펄스를 128번 내지 256번 반복하게 되면

완전히 회복되어 있는 수소 원자핵이 다시 90도 RF 펄스에 의해 수평면에 눕게 되고 다시 이완되고 하는 과정을 반복하게 된다. 이때 짧은 T1 이완시간을 갖는 조직에서 신호가 더 크게 나타나고 긴 T1 이완시간을 갖는 조직은 원 위치로 회복된 수소원자핵의 양이 작으므로 거기에서 나오는 신호의 양이 상대적으로 작다. 따라서 이러한 원리에 의해 생성된 T1 강조영상의 경우에는 긴 T1 이완시간을 갖는 뇌척수액은 검게 보이고, 짧은 T1 이완시간을 갖는 지방이나 백질 및 회백질과 같은 뇌 실질은 상대적으로 희게 보이게 된다.

2.1.2 T2 이완시간 및 T2 강조영상

고주파가 끊긴 후 공명 된 수소 원자핵이 이완되는 전체 6단계 중 처음의 3단계를 T2 이완 시간이라 한다. 주위에 자장이 가해진 상태의 수소 원자핵들이 90도 RF 펄스에 의해 고주파에너지를 흡수하여 수평방향으로 눕게 된 후 90도 RF 펄스를 끊으면 수소 원자핵들은 흡수한 고주파 에너지를 방출하며 원래의 상태로 돌아오게 된다. 이때 수소 원자핵이 수평방향에서 뭉쳐서 돌고 있을 때 가장 큰 신호를 방출하며 시간이 지남에 따라 서로 상호 작용하여 분산되는데, 이러한 과정을 T2 dephasing이라 한다. T2 dephasing 과정에 있어서 뭉쳐서 돌고 있던 수소 원자핵이 흩어지게 되면 방출되는 신호가 갑자기 줄어들게 되는데, 여기서 T2 이완시간이란 수평면상에서 90도 RF 펄스를 끊은 직후 뭉쳐서 돌고 있던 상태에서 가장 큰 에너지가 나오다가 점차 분산되어 그 신호가 줄어들 때 처음의 37%로 줄어들 때까지의 시간으로 정의하고 있다. T2 dephasing에 있어서 긴 T2 이완시간을 갖는 뇌척수액의 경우에는 뭉쳐서 돌고 있던 수소 원자핵의 분산과정이 천천히 이루어짐에 따라 방출되는 신호가 서서히 감소하게 되고, 짧은 T2 이완시간을 갖는 백질과 회백질과 같은 뇌 실질의 경우에는 뭉쳐서 돌고 있던 수소 원자핵의 분산이 빨리 이루어짐에 따라 방출되는 신호가 급격히 감소한다. 결국 T2 이완시간의 경과 후 방출되는 신호를 포착하여 영상을 구성하게 되면 뇌척수액 부분은 뇌 실질보다 큰 신호 강도를 보이게 되어 밝게 보이게 되며, 백질과 회백질과 같은 뇌 실질은 상대적으로 상당히 검게 나타나게 된다.

결과적으로 T2 강조영상은 뇌 전체에 소량으로 분포되어 있는 뇌척수액 부분을 강조하여 표현하고 있는 영상이다. 본 논문에서는 이러한 특징을 이용하여 주어진 자기공명영상에서 일차적으로 뇌척수액을 추출하기 위해 T2 강조영상을 이용하였다.

2.1.3 양성자 밀도영상

양성자 밀도영상은 각각의 뇌 조직이 갖고 있는 수소 원자핵의 이완시간 등과 같은 조건과는 무관하게 공명된 원자핵의 이완시간동안 각 조직에서 방출되는 순수한 양성자의 양을 측정된 후 이를 영상화 한 것이다. 따라서 일정한 두께를 구성하고 있는 각 조직이 함유하고 있는 수소 원자핵의 양에 따라 영상이 생성되므로 각 조직의 특성을 가장 잘 반영하고 있다. 특히 뇌 실질의 대부분을 구성하고 있는 백질과 회백질의 구별이 가장 용이하며, 또한 소량으로 존재하는 뇌척수액의 영향이 적절하게 반영된 자기공명영상이다. 이에 따라 본 논문에서는 최종적으로 백질과 회백질을 분리하기 위해 양성자 밀도 영상을 이용하게 되었다.

[그림 1]은 세 종류의 자기공명영상을 보여주고 있다. 이미 언급하였듯이 (b)와 같은 T2 강조영상은 백질과 회백질 겹겹이 표현되어 있으나 뇌척수액 부분은 상대적으로 밝게 표현되어 있으므로 뇌척수액의 일차적인 추출을 위해 용이하게 이용될 수 있다. 또한 (c)와 같은 양성자 밀도 영상의 경우 백질과 회백질 부분에 대한 구별이 용이하며 소량으로 존재하는 뇌척수액의 영향이 적절히 반영되어 있다. 반면 (a)와 같은 T1 강조영상의 경우 뇌척수액 부분이 백질 및 회백질 부분보다 어둡게 표현되어 있어 구별이 용이할 수 있으나 뇌 내부를 둘러싸고 있는 두개골과의 구별이 명확치 않다. 또한 뇌 실질을 구성하고 있는 백질과 회백질의 대비가 명확치 않은 문제를 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 뇌척수액의 일차적인 추출을 위해 T2 강조영상을 이용하였으며, 뇌척수액의 이차적인 분리 및 명암 값의 분석과 최종적인 백질과 회백질을 분리를 위하여 양성자 밀도 영상을 이용하였다.

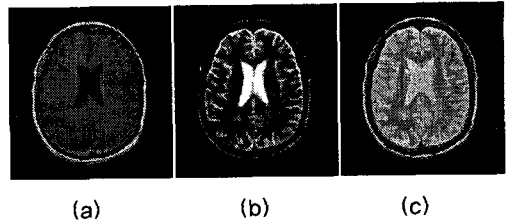


그림 1. (a) T1 강조영상 (b) T2 강조영상 (c) 양성자 밀도영상

2.2 MR 영상의 물리적인 특성

의학영상 프로그램은 DICOM 형태의 데이터를 8bit PGM(Portable Gray Map) 데이터 형식으로 변환하여 이용한다. 영상 화소수는 256*256이며, 각 화소마다 2byte이고, 각 슬라이스마다 128Kbyte 이다. 그리고 각 영상은 0에서 255까지의 gray 값을 갖는다. Target 슬라이스는 대뇌에 대하여 횡단면 슬라이스이며, 하단부(눈의 높이)로부터 위로 올라가며 5mm 두께로 촬영한 후 압축된 명암 값의 슬라이스를 생성한다. 그리고 한 사람에 대하여 15개 슬라이스 내외이며, 동일 단면에 대한 T2 강조영상과 양성자 밀도영상을 이용한다.

T2 강조영상은 양성자 밀도영상에 비해 상대적으로 어둡게 표현한다. 그리고 CSF 부분이 밝게 강조되며 백질과 회백질의 구별이 어렵다.

양성자 밀도영상은 T2 강조영상에 비해 밝게 표현되며 백질과 회백질의 구별이 T2보다 용이하다. 그리고 CSF 부분의 구별이 어렵다.

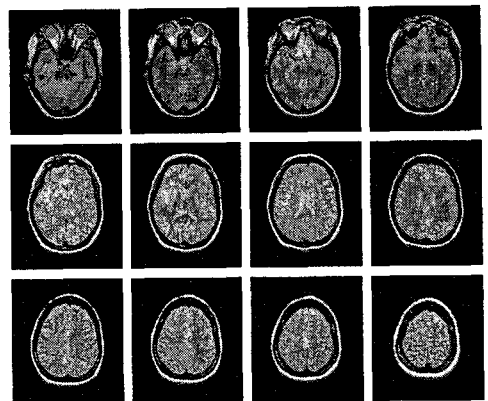


그림 2. 샘플 이미지 슬라이스(양성자 밀도영상)

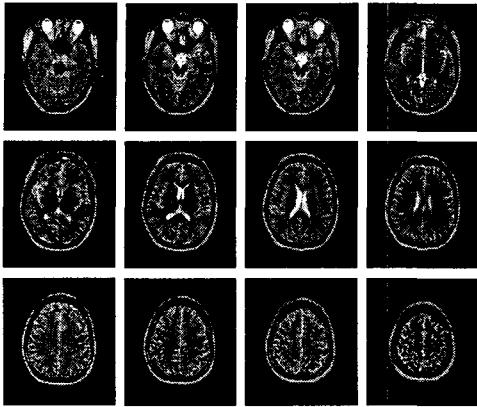


그림 3. 샘플 이미지 슬라이스(T2 강조영상)

III. 자동영역 분할 알고리즘

3.1 전처리

3.1.1 배경제거

[그림 4]는 주어진 MR 영상을 처리하는 전체적인 과정이다. 전처리 과정에서는 백질 및 회백질의 추출과는 관계없는 부분들을 제거하게 된다. 이러한 부분으로는 배경제거, 외피제거, 매뉴얼 처리 그리고 T2 image 처리 순서로 제거된다. 배경제거는 검은색으로 처리되어 있는 영상의 배경을 제거한다. 초기의 양성자 밀도영상은 타원 형태의 뇌 영상과 함께 명암 값이 0에 가까운 검은 바탕을 갖는다. 이러한 검은 바탕은 뇌 영상의 추출과는 관계없는 부분으로 사전에 제거하도록 한다.

[그림 5]는 8번째 영상에 대한 히스토그램으로 명암 값 0에서 10 사이에서 높은 피크를 구성하고 있는 화소들은 뇌 영상의 검은 바탕 및 뇌의 내부를 둘러싸고 있는 두개골을 구성하고 있는 화소들이며, 90 이상의 명암 값을 갖는 화소들은 뇌의 외피 및 내부를 구성하고 있는 화소들이다. 따라서 이러한 명암 값의 차이를 이용하여 영상의 검은 배경을 제거할 수 있다. 즉 영상의 검은 배경을 구성하는 임의 한 화소(0,0)에서 시작하여 명암 값 90 이하에 해당되는 화소들을 4-연결성(4-connectivity)에 의해 추적한 후 추적된 화소를 제거하였다[14]. 한편 뇌의 외피 안에서 뇌의 내부를 둘러싸고 있는 명암 값 90 이하의 두개골은 검은 배경을 구

성하는 화소와 연결되어 있지 않아 제거되지 않는다. [그림 5]는 배경이 제거된 양성자 밀도영상을 보여주고 있으며, 뇌의 외피 안에서 뇌의 내부를 둘러싸고 있는 명암 값 90 이하의 두개골은 검은 배경을 구성하는 화소와 연결되어 있지 않아 제거되지 않는다.

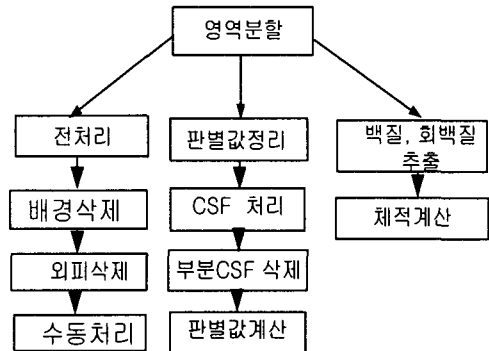


그림 4. 영역분할 알고리즘 구성도

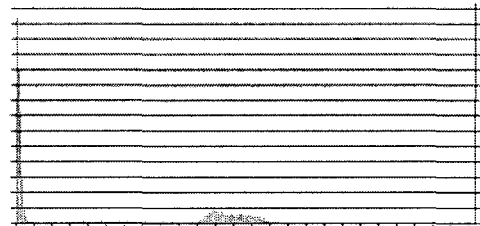


그림 5. 초기 양성자 밀도 영상의 히스토그램

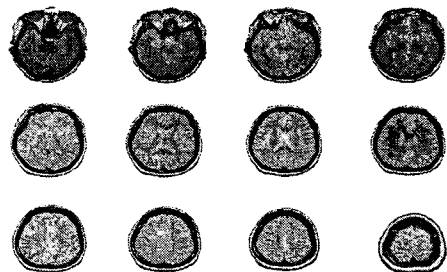


그림 6. 배경이 제거된 영상

3.1.2 양성자 밀도영상의 명암 값 분포 조절

양성자 밀도영상은 영상을 구성하는 화소들의 명암 값 분포가 사람마다 다르게 나타나며 또한 동일한 사람

의 경우에도 슬라이스마다 다를 수 있다. 따라서 뇌 내부에서 백질과 회백질을 구성하고 있는 부분의 명암 값도 슬라이스마다 다르게 표현될 수 있다. 모든 슬라이스에 대하여 뇌 내부에서의 명암 값의 분포가 서로 비슷한 분포를 가질 수 있도록 명암 값의 분포를 조절하였다.

3.1.3 외피제거

양성자 밀도영상의 명암 값의 조절이 이루어진 다음 뇌의 내부를 외피 및 두개골로부터 분리하여 추출하게 된다. 명암 값의 조절이 이루어진 후 뇌의 내부는 전체적으로 90 이상의 명암 값을 갖게 되며 90 이하의 명암 값을 갖는 타원 형태의 두개골에 의해 둘러싸여 있다. 따라서 뇌의 내부에 해당되는 몇 개의 위치로부터 90 이상의 명암 값을 갖는 화소들을 4-연결성에 의해 추적하게 되면 두개골과 뇌의 외피만 남게 된다. 이때 90 이하의 명암 값에 해당되지만 뇌의 내부에 존재하는 일부 화소들은 제외된다. 그러나 다시 뇌의 외피를 구성하는 한 화소로부터 4-연결성에 의해 인접한 화소들을 추적한 후 추적된 영역을 전체 뇌의 영상으로부터 분리하게 되면 뇌의 내부에 해당되는 영역을 전체 뇌의 영상으로부터 분리할 수 있게 된다.

외피제거의 일차 제거는 뇌를 둘러싸고 있는 타원형 형태의 지방층을 추적하여 외피와 함께 제거한다. 그리고 하단부의 일부 슬라이스에서 지방층이 단절되어 있는 경우 외피의 전부 또는 일부가 제거되지 않는다. 외피제거의 이차 제거는 morphological filter를 이용한 trimming 방법이다. 이것은 뇌의 내부를 스캔하며 구성요소보다 작은 외부로의 돌출을 제거한다.

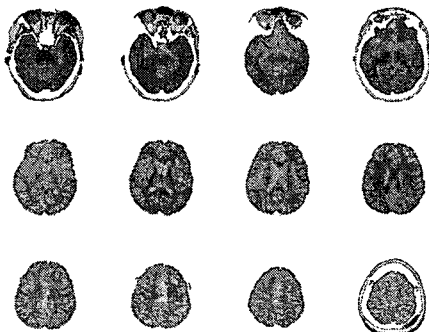


그림 7. 외피제거(1차 제거)

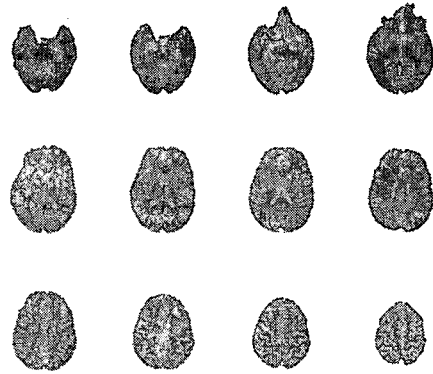


그림 8. 외피제거(2차 제거)

3.1.4 매뉴얼처리

매뉴얼처리는 하단부의 일부 슬라이스에서 보이고 있는 눈, 소뇌, 뇌간을 image viewer 등을 이용하여 제거한다. 이러한 부분들은 최종적으로 산출된 백질과 회백질의 체적 오차를 줄인다.

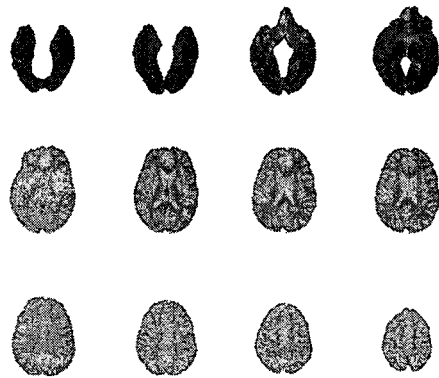


그림 9. 매뉴얼처리(소뇌 및 뇌간제거)

3.1.5 T2 강조 영상처리

T2 강조 영상 처리는 양성자 밀도 영상을 이용하여 대응되는 T2 강조 영상의 배경, 외피, 지방층, 소뇌 및 뇌간을 제거한다. T2 강조영상에서도 뇌의 내부에 해당되는 부분을 분리할 수 있으며, 이러한 방법에 의해 뇌의 내부영역이 분리된 T2 강조영상은 [그림 10]에서 보여주고 있다.

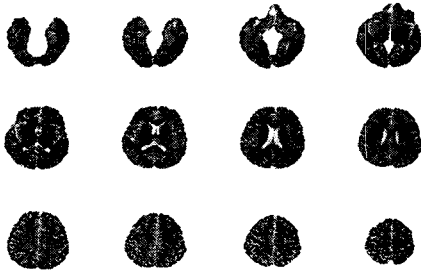


그림 10. T2 image 처리

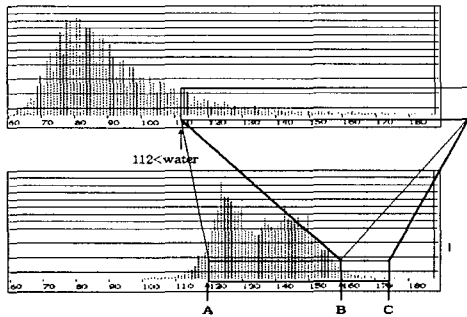


그림 11. CSF에 대한 명암값 분포

양성자 밀도영상의 CSF 처리는 CSF와 함께 존재하는 백질과 회백질의 양에 따라 어렵게 표현된다. [그림 12]에서 A에서 B영역은 백질, 회백질, CSF를 포함한 것이다. 그리고 B에서 C영역은 pure CSF이다. 그래서 pure CSF(B 이상) 및 partial CSF(A에서 B)의 제거가 필요하다. [그림 12]는 양성자 밀도영상과 T2 강조영상의 CSF 비교이다.

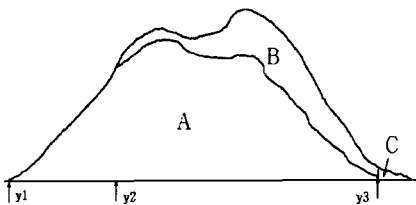


그림 12. 양성자 밀도영상과 T2 강조영상의 CSF 비교

영역 A는 전체 CSF가 제거된 양성자 밀도영상의 히스토그램이다. 백질과 회백질의 부분체적은 백질이 가질 수 있는 명암값의 하한인 y_1 과 회백질이 가질 수 있

는 명암값의 상한인 y_2 로 구할 수 있다. 영역 B와 C의 합은 양성자 밀도영상에서 추출된 전체 CSF이다. 영역 C는 pure CSF로서 CSF가 가질 수 있는 명암값의 하한인 y_3 이다. 그리고 영역 B는 백질, 회백질, CSF의 합이다.

3.2.3 판별값 결정

판별값 결정 과정에서는 백질과 회백질의 체적을 산출한 후 주어진 영상에서 백질과 회백질을 분리하기 위한 판별값을 결정하게 된다. 백질과 회백질 구분을 위한 판별값 t 는

$$PV_1 + PV_2 \leq \int_{y_1}^t T(G) \quad (1)$$

T 는 pure CSF 및 partial CSF가 제거된 양성자 밀도 영상의 히스토그램에 대한 분포함수이다.

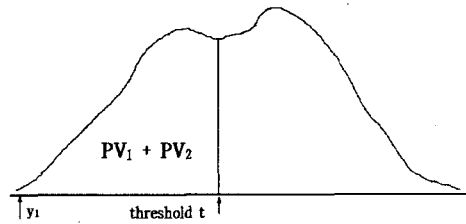


그림 13. PD image의 히스토그램

[그림 14]는 백질과 회백질의 구분이다. 뇌척수액은 밝은 색이고 백질 및 회백질은 검정색과 회색이다.



그림 14. 백질과 회백질의 구분

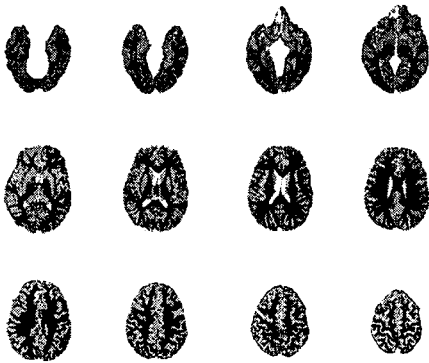


그림 15. 최종적으로 처리된 image slice

IV. 결론

본 논문에서는 뇌의 MR 영상에서 자동영역 분할 알고리즘에 대하여 살펴보았다. 자동영역 분할 알고리즘은 뇌의 백질, 회백질, 뇌척수액 추출 알고리즘으로 이용된다. 본 논문의 목적은 뇌의 MR 영상에서 자동영역 분할 알고리즘을 이용하여 대조군과 실험군에 대한 체적과 비율 차이를 분석하고 뇌 질환에 도움이 될 수 있는 자료를 제공하여 알츠하이머 등 뇌 질환의 조기 진단에 대한 정확한 보조진단 기반을 마련하는데 목적이 있다. 앞으로 좀 더 신뢰도를 높이기 위하여 알츠하이머에 대한 데이터 수집이 필요하며, 본 알고리즘의 정확성을 높이기 위하여 사람의 뇌에 대한 백질과 회백질의 체적에 대한 통계자료를 얻어야 한다.

참고 문헌

[1] M. S. Atkins and B. T. Mackiewich, "Fully Automatic Segmentation of the Brain in MRI," IEEE Trans on medical Imaging, Vol.17, No.1, pp.98-107, Feb 1998.

[2] B. Johnston, M. S. Atkins, and B. Mackiewich, "Segmentation of Multiple Sclerosis Lesions in Intensity Corrected Multispectral MRI", Vol.15, No.2,

pp.154-169, April 1996.

[3] C. A. Davatzikos and J. L. Prince, "An Active Contour Model for Mapping the Cortex," IEEE Trans on medical Imaging, Vol.4, No.1, pp.65-80, March 1995.

[4] 성운창, 유승화 송창준, 박종원, "뇌의 MR 영상에서의 번짐 현상의 명암 값 분석을 통한 백질과 회백질의 추출 및 체적산출", 정보과학회 논문지, Vol.27, No.8, pp.815-825, 2000.

[5] 고현진, "의학영상 자동영역 분할 알고리즘을 이용한 백질, 회백질, 뇌척수액 체적분석", 석사학위 논문, 2000.

저자 소개

김 신 홍(Sin-Hong Kim)

정회원



- 1986년 2월 : 울산대학교 전자계산학과 졸업(공학사)
- 1990년 7월 : 인하대학교 대학원 전자계산학과졸업(공학석사)
- 2002년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사수료

- 1990년 7월~1999년 2월 : 한국전자통신연구소 선임연구원
- 1991년 7월~1993년 6월 : 이태리 알레니아스파치오 연구원
- 1999년 3월~현재 : 주성대학 인터넷정보과 교수
<관심분야> : 의료영상처리, 생체인식