

DWT에 의한 분자영상의 특징 추출

최규락**, 안병주*, 이상복*

Feature Extraction of Molecular Images by DWT

Guirack Choi**, Byungju Ahng*, Sangbock Lee*

요약

본 논문에서는 분자영상의 궁극적 목표를 달성하기 위하여 분자영상의 특징 추출 기법을 제안하였다.

실험영상을 DWT 변환결과로 실험한 결과 1레벨과 2레벨의 분해 결과에서는 저주파 영역의 성분이 나타나지만 3레벨 분해 결과에서는 데이터 성분이 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다. 육안으로 관찰은 되지 않지만 3레벨 분해한 결과의 데이터 값을 출력하였다. 데이터의 출력은 DWT에 의하여 나타나는 저주파영역의 수평방향과 수직방향의 데이터, 고주파영역의 수평방향의 데이터와 수직방향의 데이터, 대각고주파영역의 수평방향과 수직방향의 데이터를 출력하여 분자영상과 다른 디지털영상인 CT, MRI, PET영상의 데이터와 비교할 수 있게 하였다.

▶ Keywords : 분자영상, 특징추출, 웨이블릿 변환

Abstract

In this paper, We are suggested methods of feature extraction in molecular images. The result of image transform DWT examination by suggested method, we are obtained as follows. 1-level and 2-levels of decomposition results showed the composition of the low frequency region. But, 3-level decomposition results did not appear in the data component is almost. Observed not with the naked eye is not, but the 3-level output data values of the results were decomposed.

We are printed the horizontal and vertical directions of low-frequency region of the data, the high frequency region of the horizontal and vertical data, and diagonal high frequency region of the horizontal and vertical directions data. If the output data using molecular imaging and CT, PET, MR imaging will be compared with the data.

▶ Keywords : Molecular Image, Feature Extraction, Weavelet Transform

•제1저자 : 최규락

•투고일 : 2013. 8. 12, 심사일 : 2013. 10. 3, 게재확정일 : 2013. 11. 1.

* 남부대학교 방사선학과(Dept. of Radiology, Nambu University)

** 방사선교육아카데미(Education Academy of Radiation)

I. 서론

나노기술은 미국정부 National Nano technology Initiative 에 따르면 나노미터 크기 1~100 nm 크기의 원자, 분자, 고분자를 연구 제어하는 기술로 나노크기로 인하여 나타나는 새로운 물리적, 화학적, 생물학적 소재, 소자 또는 시스템을 창출하는 기술이다. 나노 기술에서 사용되는 물질은 단순히 크기만 작은 것이 아니라 물리적, 화학적 성질이 달라져서 새로운 현상과 성능 구현을 가능하게 하게 된다[1]. 미국 National Cancer Institute에서는 "The Centers of Cancer Nano-technology Excellences"라는 지원을 하여 나노 기술을 임상 및 기초 암 연구에 투자하여, 의료에 적용을 본격적으로 시작하고 다양한 학문의 융합으로 새로운 패러다임의 연구방향을 제시하고 있다. 나노 기술은 다양한 학문에 융합하면서 나노 메디슨이라는 새로운 용어가 등장하게 되었는데 여기서 말하는 나노 메디슨은 "인체의 질병을 예방하거나 치료하는데 나노 기술을 의학적으로 적용하는 분야"라고 설명할 수 있다[2]. 의학과 관련하여 나노 기술은 원자나 분자수준의 물질을 제어, 합성하여 혁신적 기능의 맞춤형 재료 시대의 인체 투입용 나노 로봇, 초소형 의료 시스템 및 개인 진단용 나노바이오-칩의 개발 등으로 인류의 궁극적 목표인 생명 연장의 꿈이 현실로 다가오게 하고 있다. 이를 위한 나노의학의 기술 개발 분야는 나노센서(Nano sensor), 약물개발(Drug discovery), 약물전달(Drug delivery), 조직공학(Tissue engineering), 나노조영제(Imaging agents) 등의 기술들이 개발되고 있으며[3], 분자 영상 기술은 의료 영상 장비들과 영상융합(Image fusion), 영상 검출기(Imaging probe) 기술 등이 개발되고 있다. 미래에는 환자의 진료과정에서 질환 특이적 분자영상 기술이 질환의 부위와 진행 경과 등의 정확한 정보를 제공할 것이고, 치료 과정에서 투여한 의약품의 효과와 질환의 반응 등에 대한 정보도 제공하게 될 것이며, 나아가 치료 후에도 질환의 재발을 모니터링하기 위해서도 분자적 영상 기술은 반드시 필요할 것이다. 현재까지의 분자 영상 기술은 질환 특이적 물질을 이용하여 질환의 진단, 치료용 세포의 영상을 이용한 추적, 치료효과의 모니터링 등에 이용되고 있다. 이러한 분자영상의 필요성은 환자 맞춤형 치료기술의 개발에 있다고 볼 수 있으며 환자 맞춤형 치료법이란 환자 개개인에 따라 치료법을 달리하여 특화된 치료법을 적용하는 것을 말한다. 맞춤형 치료를 위해서 분자영상 기술을 이용한 질병의 발생 초기 단계 진단이 중요하게 된다.

이처럼 나노기술의 발전으로 여러 학문 분야와 결합을 하

면서 나노 의학이라는 새로운 학문 분야가 태동하게 되었고, 나노 의학의 한 분야인 분자영상이라는 새로운 영상 기술이 태동하게 되었다. 현재까지의 분자영상 기술은 나노조영제를 이용한 MR 영상과, PET를 이용한 분자영상 연구가 주류를 이루고 있다. 맞춤형 의료를 목표로 하는 분자영상의 기술의 질병 특이적 영상 소견을 얻는 것이 궁극적 목표가 될 것이다. 또한 DWT와 같은 공학적 툴의 적용이 아직 이루어지지 않는 의료영역에 실 적용하여 의료영역에서 진일보된 진단 및 치료 기법을 도입하는데 도움이 될 것이다.

따라서 본 논문에서는 기존 연구에서 MRI를 이용한 분석을 토대로 진행하였으나 본 논문은 PET와 CT를 이용하여 획득한 영상에도 기존의 연구가 유용한지를 확인하여 보았다. 분자영상의 궁극적 목표를 달성하기 위하여 분자영상의 특징 추출 기법을 제안하려고 한다. 제안된 결과를 이용하여 연구를 지속한다면 분자영상의 특징 분석, 치료 예후 추정, 질환 예측 등에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 재료 및 방법

1. 분자영상

의학영상은 과학기술의 발달로 CT(Computed Tomography), 자기공명영상법(Magnetic Resonance Imaging, MRI), PET (Positron Emission Tomography) 등이 개발되어 활용되고 있다. 최근에는 분자영상(Molecular Imaging)이 대두 되고 있으며, 분자영상은 의학, 생물학, 공학, 화학 등 다양한 분야에서 관심을 가지고 연구 중에 있는 분야이고, 분자영상에 대한 일반적인 정의는 "분자수준 또는 세포 수준에서 발생하는 현상을 영상에 반영하는 기술"이라고 할 수 있다. 그림 1은 Modality 별로 분자영상의 획득 분야를 보여 주고 있다.

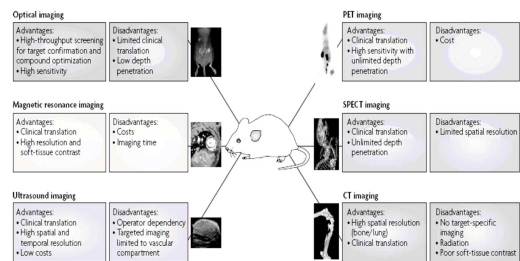


그림 1. Modality 별 분자영상
Fig. 1. Modality by molecular imaging

본 논문에서는 DWT를 이용하여 분자영상의 경계선 검출 알고리즘을 개발하고, 실제 image에 이를 적용하여 분자영상

에 대한 특징을 잘 표현하는지 확인하고자 한다.

2. 웨이브렛 변환

웨이브렛 변환은 STFT의 고정 해상도의 단점을 해결하기 위하여 시간-주파수 평면에서 고주파 대역은 짧은 윈도우(Short window)를 적용하여 시간 해상도를 높이고 저주파 대역에서는 긴 윈도우(Long window)를 적용하여 주파수 해상도를 높일 수 있다[4][5][6].

Ingrid Daubechies와 Stephane Mallat 등에 의해 발표된 웨이브렛 변환은 푸리에 변환과 같이 기저 함수들의 집합으로 신호를 분해하는 방법이다[4]. 그러나 푸리에 변환과 달리 국부적으로 에너지가 집중된 대역 통과 신호인 웨이브렛들을 기저 함수로 사용한다. 이러한 웨이브렛들은 모 웨이브렛(Mother wavelet)이라 불리는 하나의 원형 웨이브렛(Prototype wavelet)을 확장하고 이동시켜 얻을 수 있다. 웨이브렛 변환에서는 확장된 신호의 주파수를 언급하는 것보다 몇 배로 확장했는가 하는 확장인자를 언급하며 이 인자를 스케일(Scale)이라 부른다.

이때, 스케일의 값으로는 2^j 의 배수가 주로 사용된다[7]. 스케일이 증가할수록 주어진 스케일에서 웨이브렛 변환 신호의 공간 해상도는 떨어지고 낮은 주파수 대역 성분을 나타내게 된다[7]. 웨이브렛 변환은 원형 웨이브렛인 $\psi(x)$ 를 신축/병진(Dilation/Translation)하여 구하며 식 (1)과 같다 [6].

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (1)$$

여기서, a 는 스케일링 계수이고, b 는 병진 계수이다. 그리고, $a^{1/2}$ 는 정규화 인자(Normalization factor)이며 $a < 1$ 이면 시간축의 폭이 작은 고주파 웨이브렛이고 $a > 1$ 이면 폭이 큰 저주파 웨이브렛이다. 웨이브렛의 형태는 제안한 사람에 따라 형태가 다양하며 각각의 웨이브렛의 특성과 장점에 따라서 응용 분야가 다르다[7].

정규 직교 기저(Orthonormal basis)로 분해된 2차원 신호는 식 (2)와 같이 공간적으로 방향성을 지닌 주파수 성분으로 분해된다[7].

$$\begin{aligned} A_{2^{j+1}}f &= \sum_k \sum_l h(2m-k) h(2n-l) A_{2^j}f \\ H_{2^{j+1}}f &= \sum_k \sum_l h(2m-k) g(2n-l) A_{2^j}f \\ V_{2^{j+1}}f &= \sum_k \sum_l g(2m-k) h(2n-l) A_{2^j}f \\ D_{2^{j+1}}f &= \sum_k \sum_l g(2m-k) g(2n-l) A_{2^j}f \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 h 는 분해 저역 통과 필터의 전달 함수이고 g 는 분해 고역 통과 필터의 전달 함수이다.

그림 2는 DWT에 의한 2차원 신호의 분해 및 합성을 나타내었으며, 그림 2 (a)는 2차원 이산 근사화 신호의 분해 과정이며 그림 2 (b)는 합성 과정의 블록도이다. 그림 2 (c)는 다해상도로 분해된 2차원 신호의 계수 행렬을 나타낸다. 즉, 공간적으로 방향성을 지닌 주파수 성분의 패킷(Packet)들로서 2레벨 분해된 계수 행렬이며 그림 2 (c)에서 VH1은 1레벨 분해된 수직 고주파 성분들의 계수 행렬을 의미하고 HH1 및 DH1은 각각 수평 고주파 성분과 대각 고주파 성분의 계수 행렬을 의미한다. 또한, L2는 2레벨 분해된 저주파 성분의 계수 행렬을 의미한다.

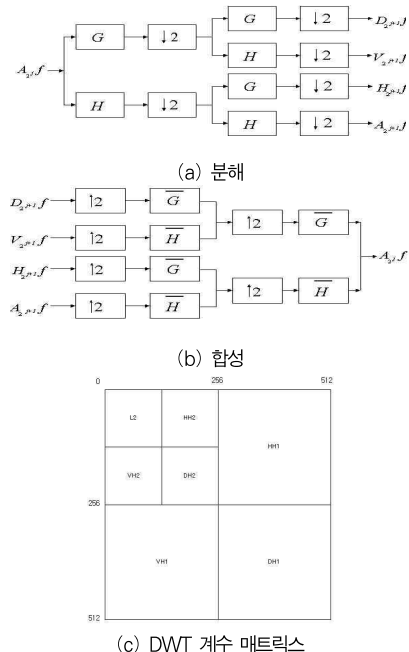


그림 2. DWT에 의한 2차원 신호의 분해 및 합성
Fig. 2. By the DWT disassembly and synthesis of 2-dimensional signals

식 (2)에 의한 웨이브릿 분해 알고리즘은 표 1과 같다.

표 1. Matlab에 의한 DWT 알고리즘
Table 1. DWT algorithm by Matlab

```
int i,n;
L0 = Input Image;
for(i=1;i<n;i++){
[Li,HHi,VHi,DHi]=DWT2(Li-1,'db2');
printf Li;
printf HHi;
printf VHi;
printf DHi;
}
```

표 1 은 매트랩(Matlab)에 의한 DWT 알고리즘을 나타 내었으며, 표 1 의 알고리즘에 의해 웨이브릿 분해를 한 후 각 레벨(Level)별 특징 파라미터를 분석하여 최적의 값을 찾 아낸다.

III. 실험 및 결과

1. 실험 환경

연구를 위한 실험은 Samsung DM-C510 컴퓨터로 Matlab Release 20을 이용하였다. 분자영상의 특성을 비교 하기 위하여 그림 3에 보여주고 있는 뇌(brain)을 스캔한 CT, MR, PET영상과 토끼의 복부를 나노 조영제를 사용하여 스캔한 분자영상을 비교하였다.

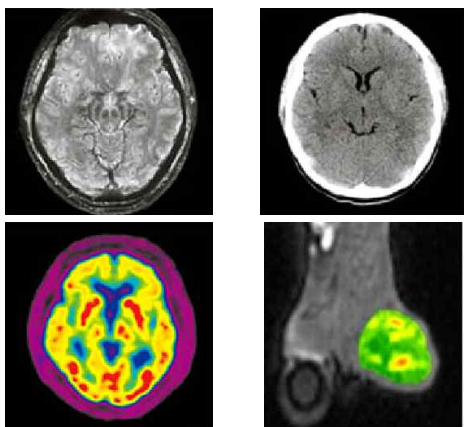


그림 3. 실험영상
Fig. 3. Experimental images

동일 조건에서 실험을 수행하기 위하여 각각의 장치별로 획득된 영상을 256 X 256의 형태로 픽셀을 조절하였고, 픽 셀당 비트 수는 8비트로 조절하였다.

2. 결과

분해결과 분자영상이 고주파 신호가 더 많이 획득되었음을 알 수 있었다. 구체적인 데이터와 수치는 표를 통하여 알아볼 수 있도록 하였다. 질병이 발생한 블록 또는 진행 블록의 도 달 시 분해 결과 (-)의 값에서 신호의 값이 (+)으로 전환되 는 것을 알 수 있었다. 따라서 질병이 유발된 영역의 묘사가 DWT를 통하여 사람의 육안으로 확인하는 것보다 좀더 확실 하게 데이터와 함께 표현 될 수 있었으며, 그 결과의 유용성 도 뒷받침 된다.그림 4에 3레벨 DWT한 결과는 원영상과 함 께 나타내었다. 그림에서 보여주는 것처럼 1레벨과 2레벨의 분해 결과에서는 저주파 영역의 성분이 나타나지만 3레벨 분 해 결과에서는 데이터 성분이 거의 나타나지 않음을 알 수 있 다. 육안으로 관찰은 되지 않지만 3레벨 분해한 결과의 데이 터 값을 출력한 결과를 표 2부터 표 5에 나타내었다.

3레벨 분해한 결과를 가지고 각각의 실험 영상 별로 저주 파영역의 수평방향과 수직방향, 고주파영역의 수평방향과 수 직방향 그리고 대각고주파영역의 수평방향과 수직방향의 데 이터 값을 표 2 부터 표 5에 나타내었다.

표 2. 분자영상의 특징 데이터
Table 2. Features of molecular imaging data

분자영상	
-0.5000-0.4793-0.4373-0.4401-0.2919-0.2530 0.0554 0.1802 0.4899 0.5000-0.0463 0.3327 0.1423 0.0605 0.1160 0.0168	저주파수평방향
0.5000 0.0842-0.0945 0.1677-0.1216-0.0660-0.0664-0.5000-0.2953-0.1770-0.3360-0.2314-0.3899-0.2645-0.0842-0.1593	저주파수직방향
-0.4588-0.5000-0.4499-0.4307-0.3629-0.4051-0.1873-0.0707 0.0195 0.5000-0.1175 0.0904-0.0791-0.0400-0.0284-0.1119	고주파수평방향
0.2923 0.5000-0.1140-0.0172 0.0177 0.1456 0.1657-0.2219-0.0392-0.3897-0.3087-0.5000-0.4037-0.4242 0.0539-0.3496	고주파수직방향
-0.4022-0.4926-0.5000-0.4921-0.4491-0.4873-0.0058-0.1205 0.0892 0.3543-0.1538-0.0848-0.1478-0.1548 0.2746 0.5000	대각고주파수평방향
-0.0893-0.1942-0.2748-0.1684-0.0997 0.5000-0.0668-0.3249-0.4221-0.1818-0.3234-0.5000-0.2686-0.3815-0.1447-0.1901	대각고주파수직방향

표 3. PET 영상의 특징 데이터
Table 3. Features of PET imaging data

PET영상	
-0.5000-0.5000-0.4994-0.4506-0.2448-0.1435-0.1197 0.0546 0.1165 0.1366 0.1513 0.4353 0.5000 0.3373 0.2404 0.0698	저주파수평방향
-0.4969-0.5000-0.3277-0.2283-0.2066-0.0162 0.2156 0.3277 0.2497 0.1399 0.2632 0.2804 0.2815 0.3890 0.4230 0.5000	저주파수직방향
-0.5000-0.5000-0.4963-0.2651-0.2473-0.2632-0.0771 0.0121 0.1441 0.5000 0.1473 0.0193-0.2351-0.1916 0.2634-0.1698	고주파수평방향
-0.4802-0.5000-0.0075-0.0816 0.1843 0.5000 0.3305-0.0626 0.4610 0.1662 0.1578 0.0547-0.0941-0.0588-0.0397	고주파수직방향
-0.5000-0.5000-0.4948-0.4292-0.3350-0.3785-0.0741 0.1394-0.0785 0.5000 0.0970 0.0087-0.1357-0.0251 0.1389 0.0085	대각고주파수평방향
-0.5000-0.4765-0.3629-0.2595 0.0767 0.2426 0.3677 0.3383 0.4038 0.2097 0.2597 0.1445 0.4721 0.5000 0.4499 0.3076	대각고주파수직방향

표 4. CT 영상의 특징 데이터
Table 4. CT imaging features of the data

CT영상	
-0.5000-0.4989-0.4753-0.0727 0.3477 0.4550 0.4775 0.4466 0.4357 0.4913 0.4948 0.5000 0.4817 0.4586 0.4372 0.3612	저주파수평방향
-0.5000 0.0471 0.2792 0.2622 0.2989 0.3011 0.3217 0.3495 0.3609 0.4234 0.4409 0.4547 0.4662 0.4822 0.5000 0.4608	저주파수직방향
-0.5000-0.4907-0.3211 0.5000 0.1788 0.1379 0.3942 0.2397 0.2237-0.1195-0.1595-0.1007-0.2331-0.1755-0.0540 0.3283	고주파수평방향
-0.1613 0.3073 0.5000-0.0804-0.1699-0.2433-0.3119-0.2326-0.3949-0.2425-0.3245-0.3872-0.2867-0.3225-0.5000-0.4241	고주파수직방향
-0.5000-0.4952-0.4227-0.0345-0.0749 0.3087 0.4875 0.2979 0.4411 0.1107 0.4173-0.2002 0.0105 0.0540 0.4028 0.5000	대각고주파수평방향
-0.5000-0.0903 0.3210 0.3072-0.4008-0.0295 0.1903 0.3835 0.1517 0.0624 0.2627-0.0278 0.5000 0.0112-0.0150 0.0404	대각고주파수직방향

표 5. MR 영상의 특징 데이터
Table 5. MR imaging features of the data

MR영상	
-0.5000-0.4976-0.4393-0.2789-0.1463-0.0259 0.1116 0.1419 0.3259 0.4501 0.4818 0.4010 0.3935 0.4083 0.3795 0.5000	저주파수평방향
-0.4779-0.5000-0.3381 0.0092 0.1305 0.1941 0.2929 0.3304 0.3570 0.4216 0.4612 0.5000 0.4957 0.3788 0.4336 0.3607	저주파수직방향
-0.5000-0.4921-0.2176-0.0716 0.0159 0.5000 0.3517 0.1066-0.0829 0.0757-0.1335-0.1281-0.1718-0.1122-0.0276-0.0290	고주파수평방향
-0.1605-0.5000 0.5000 0.0684-0.2866-0.1777 0.0008-0.2078 0.1003-0.0490 0.0190 0.1710-0.1208 0.1639-0.2094-0.1658	고주파수직방향
-0.5000-0.4943-0.4166-0.2151 0.0078 0.2624 0.5000 0.2870-0.1364 0.0974 0.0707 0.0998 0.1967 0.0453 0.0099-0.0535	대각고주파수평방향
-0.4651-0.5000 0.1270-0.0505 0.1177-0.2368 0.1493-0.0676-0.1052 0.0730 0.2822 0.3821 0.0813 0.2326 0.5000 0.4320	대각고주파수직방향

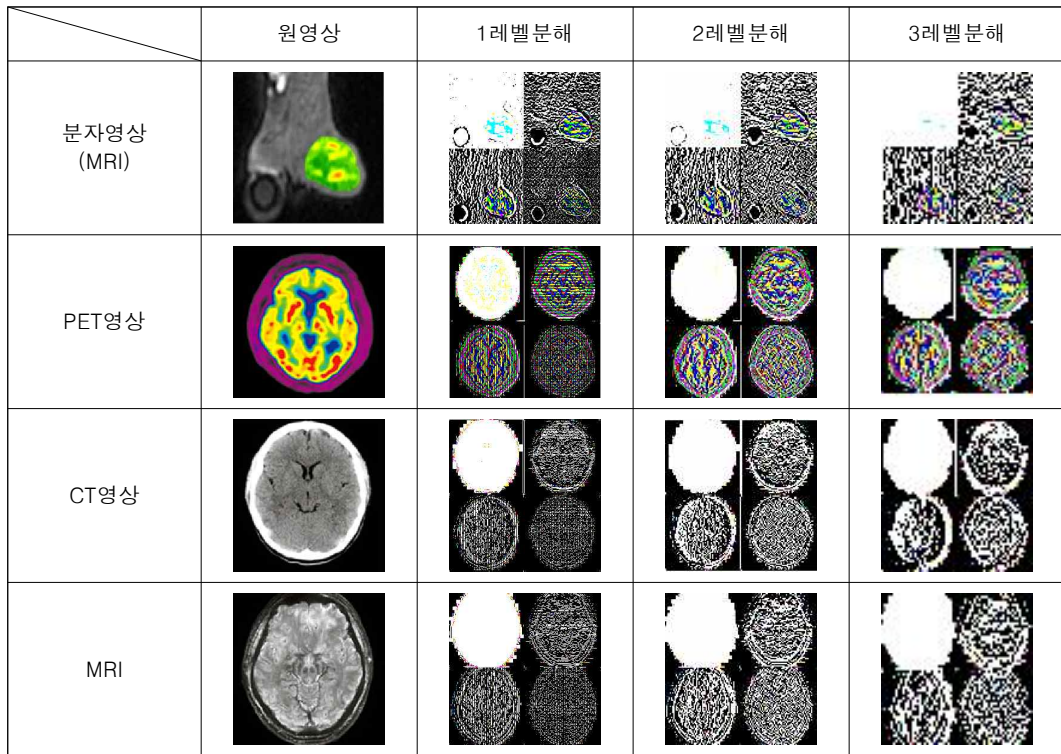


그림 4. DWT 분해영상
Fig. 4. DWT Decomposition image

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 나노기술의 발달로 태동하게 된 나노의학에서 활발히 연구가 진행되고 있는 분자영상의 특징을 추출하는 기법을 제안하고자 하였다. 실험결과 1레벨과 2레벨의 분해 결과에서는 저주파 영역의 성분이 나타나지만 3레벨 분해 결과에서는 데이터 성분이 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다. 육안으로 관찰은 되지 않지만 3레벨 분해한 결과의 데이터 값

을 출력하였다.

데이터의 출력은 DWT에 의하여 나타나는 저주파영역의 수평방향과 수직방향의 데이터, 고주파영역의 수평방향의 데이터와 수직방향의 데이터, 대각고주파영역의 수평방향과 수직방향의 데이터를 출력하여 분자영상과 다른 디지털영상인 CT, MRI, PET영상의 데이터와 비교할 수 있게 하였다.

향후의 연구과제는 추출된 특징 데이터를 정규화한 후 행렬의 96개 값의 행렬 고유 값을 구하여 신경회로망의 입력벡터로 이용할 수 있게 하는 것이다.

연구를 지속한다면 분자영상의 특징 분석, 치료 예후 추정, 질한 예측 등에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Mahwood U, Emerging Technologies That Will Change the World, Molecular Imaging, Tech Rev, 106. 2003.
- [2] Chang, Thomas Ming Swi, Artificial cells, World Scientific Publishing. co. Pte. Lte. 2007.
- [3] Byeong-Chole Ahn, Applications of molecular imaging in drug discovery and development process, Curr Pharm Biotechnol, 12(4), 459-468. 2011.
- [4] I. Daubechies, "Orthonormal bases of compactly supported wavelets", Co- mmun. Pure Appl. Math., Vol. 41, No. 7, PP. 909-996, 1988.
- [5] Stephane G. Mallat, "A theory for multiresolutional signal decomposition: the wavelet representation", IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 11, No. 7, PP. 674-693, July, 1989.
- [6] Ingrid Daubechies, "Ten Lectures on Wavelets", SIAM, 1994.
- [7] Yeonggil Yim, "Wavelet Transform and Neural Network Pattern Recognition Study on SMD IC", Cheongju University, Ph.D. dissertation, August, 1999.

저 자 소 개



최 규 락
 1993 : 조선대학교 경영학사
 2011 : 남부대학교 방사선학 이학사
 2013 : 남부대학교 방사선학 석사
 현재 : 방사선교육이카데미 소장
 관심분야 : 분자영상
 Email : qkdtktjs@daum.net



안 병 주
 2007 : 공학박사
 (남부대학교, 디지털의료영상)
 2012 - 현재 : 한국방사선학회 부설
 국가고시문제연구소 자문교수
 1979 - 2011 : 전남대학교병원
 (영상의학과) 근무
 2012 - 현재 : 한국방사선학회 부회장
 현재 : 남부대학교 방사선학과 교수
 관심분야 : 영상의학, PACS
 Email : anju6010@nambu.ac.kr



이 상 복(교신저자)
 2008 : 의학박사
 (충북대학교, 의학과)
 2000 : 공학박사
 (청주대학교, 전자공학과)
 현재: 남부대학교 방사선학과 교수
 관심분야 : 생체신호처리, 원격의료
 Email : sblee@nambu.ac.kr