

논문 2014-51-4-23

최적의 촬영조건 및 영상처리에 관한 연구

(The Study of Optimal Acquisition Condition and Image Processing)

이 용 구*, 신 종 호**, 서 경 은**, 최 유 리**, 이 수 현**, 이 영 진**, 김 희 중***

(Yong-Gu Lee, Jong-Ho Shin, Kyoung-Eun Seo, Yoo-Lee Choi, Soo-Hyeon Lee, Young-Jin Lee and Hee-Joung Kim[©])

요 약

본 논문에서는 우수한 진단능을 갖는 조사조건 및 동일한 진단능에서 최소의 피폭선량을 가질 수 있는 조사조건을 탐색하는 연구를 수행하였다. 이를 위해서 흉부팬텀에 병소가 부착된 영상과 병소가 부착되지 않은 영상을 다양한 촬영조건에서 획득하였다. 병소 있는 팬텀과 병소 없는 팬텀 각각에 대하여 DR 장비에서 촬영부위별 제공하는 chest PA 촬영영상과 진단능 향상을 위해 적용한 히스토그램 평활화 후 계면강조처리영상을 얻었다. 촬영된 영상은 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0mAs의 조사조건에서 획득되었다. 각 조사조건에서 획득된 영상에 대하여 ROC 곡선에 의한 형태학적 분석과, 감도, 특이도, 정확도를 통한 정량적인 분석을 통해서 가장 우수한 진단능을 갖는 조사조건과, 작은 환자피폭선량으로 같은 진단능을 갖는 조사조건을 결정하였다.

Abstract

In this paper, we achieved the study which determined the excellent diagnostic condition and searched the exposure condition with the minimum radiation exposure level having the equal diagnostic ability. To accomplish these study, chest phantom images with lesions and without ones were evaluated at various exposure conditions. With respect to the phantom with lesions and without ones, we obtained the chest PA imaging applied by photographing parts of DR apparatus and the images processed as histogram equalization and edge enhancement method. The images were acquired at the exposure conditions of 2.0, 2.5, 3.2, 4.0 and 5.0mAs. The morphological analysis was performed by ROC curves using the images obtained at each exposure condition. The exposure conditions with the most excellent diagnostic ability and with the equal diagnostic capability having the minimum radiation exposure level were determined by means of sensitivity, specificity and accuracy.

Keywords : ROC curve, image processing, histogram equalization, edge enhancement

I. 서 론

* 정회원, 한림성심대학교 방사선과
(Department of Radiological Technology, Hallym Polytechnic University)

** 학생회원, *** 정회원, 연세대학교 방사선학과
(Department of Radiological Science, Yonsei University)

© Corresponding Author(E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr)

접수일자: 2014년2월1일, 수정일자: 2014년2월10일,
수정완료일: 2014년3월25일

의학영상의 진단분야에서 병소는 다양한 형태로 나타나고, 병소를 발견하기 위한 의료영상처리방식 역시 병소에 따라 다양한 방식으로 적용되어야 한다.^[1]

ROC(Receiver Operating Characteristic)평가는 시각적, 지각적, 평가방법 중 가장 우수한 평가 방법이며 민감도, 특이도를 평가할 수 있을 뿐 아니라 영상 정보량

을 최대로 얻을 수 있는 방법으로 알려져 있다. 이 방법은 신호 검출이론에 기초하여 동일한 관찰자에 의해 동일한 관찰조건으로 일정한 평가기준을 정하거나 복수의 관찰자에게 시행하여 데이터의 평균을 취하여 해석한다.^[2,3,4] ROC곡선은 평면의 좌측 상단에 위치할수록 판독능이 높은 것으로 평가하며 ROC곡선의 종축의 P(S/s)값이 1에 근접할수록, 횡축의 P(S/n)값이 0에 근접할수록 판독능이 높은 것으로 평가되며 의료영상의 진단분야에 적용되고 있다.^[5,6]

높은 판독능을 갖는 의료영상을 얻기 위해서 내원한 환자가 지방질이 많은 뚱뚱한 환자인지, 근육질이 많은 마른 환자인지, 질병이 부위의 부피가 커지는지 또는 작아지는지 등을 고려하여 관전압, 관전류 및 조사시간을 설정하여 최적의 촬영조건을 결정하여야 한다. 그러나 많은 환자가 내원하는 병원의 환경상 최적의 조건으로 촬영하기보다는 환자를 그룹으로 분류하여 촬영하고 있는 실정이다. 이러한 병원환경에서 사용되는 디지털 X-선 촬영장치는 소아, 어른 및 촬영부위에 따라 일괄적으로 촬영조건을 설정하고 있다.

본 연구에서는 디지털 촬영장비를 사용하여 장비에서 제공하는 부위별 촬영조건과 그 주변의 다양한 촬영조건의 변경에 따른 최적의 촬영조건을 알아보기 위해서 흉부팬텀(chest phantom)을 사용하였다. 디지털 장비에서 제공하는 기준 촬영조건에 영상처리방식을 적용한 영상과 진단능을 높이기 위한 영상처리방법을 적용한 영상을 각각 획득하여 평가하였다. 기존장비의 촬영조건이 최적인지 또는 다른 최적의 촬영조건이 있는지를 연구를 수행하였다. 이를 위해서 팬텀에 여러 가지 병소를 부착하여 다양한 촬영조건에서 최적의 촬영조건을 탐색하고, 병소의 식별이 잘 되도록 히스토그램 평활화처리를 하여 영상의 전체적인 대조도를 증강시킨 후 병소의 윤곽이 잘 검출될 수 있도록 계면강조처리를 수행하였다. ROC 곡선을 형태학적 관찰을 통해서 병소가 있는 영상에서 병소를 발견할 가능성, 그리고 병소가 없는 사진에서 병소가 없다고 정확히 진단할 수 있는 진단능을 구한다. 또한 감도(sensitivity), 특이도(specificity) 및 정확도(accuracy)를 구하여 진단능을 정량적으로 평가하고, 피폭선량과 진단능을 고려한 적합한 영상처리기법의 적용과 최적의 조사조건을 결정하고자한다.

II. 본 론

1. 시료의 촬영방법

본 논문에서는 팬텀에 부착된 병소의 진단을 위한 최적의 촬영조건과 적합한 영상처리기법의 적용을 위해서 다양한 촬영조건에서 영상을 획득하였다. 영상획득 후 영상의 전반적인 대조도 개선을 위해 히스토그램 평활화기법을 적용한다.^[7~8] 또한 배경에 대한 병소의 윤곽을 강조하기 위해서 원영상에 edge 부분이 강조될 수 있도록 계면강조처리를 한다. 병소가 포함된 영상에서 병소를 발견할 수 있는 정도 및 병소가 포함되지 않은 영상에서 병소가 없다고 진단할 진단능을 확인하기 위해서 ROC 곡선을 구하고 형태학적으로 평가한다. 또한 진단능을 정량적으로 평가하기 위해 감도, 특이도 및 정확도를 구한다.

2. ROC곡선

ROC 해석은 영상의 시각·지각적 평가방법으로 잡음만 포함된 영상과 잡음에 작은 신호가 있는 영상에서 신호의 검출정도를 보는 것이다. 여기서 신호는 의료영상에서 병소를 의미하며, 병소가 있는 영상과 병소가 없는 영상에서 진단자의 응답은 참양성, 참음성, 거짓음성 및 거짓양성으로 된다. 참양성(TP)과 거짓음성(FN)은 각각 병소가 있는 영상에서 병소가 있다와 없다고 응답한 경우이고, 참음성(TN)과 거짓양성(FP)은 각각 병소가 없는 영상에서 병소가 없다와 병소가 있다고 응답한 경우이다.

TP, TN, FN 및 FP로 응답할 경우의 조건에 대한 확률을 각각 P(S/s), P(N/n), P(N/s), P(S/n)로 표기한다.

평가방법으로는 병소가 있는 영상과 병소가 없는 2 종류의 영상을 각기 준비하고, 두 종류의 영상에 대하여 5단계 평가 결과에 의해 상대적인 관계를 정량적으로 표현하여 그래프로 그린다.

병변이 있는 영상에서 병변을 올바르게 검출하는 능력인 감도, 병변이 없는 영상에서 병변이 없다고 올바르게 검출하는 능력인 특이도 및 통계적 유의차 검정을 나타내는 곡선하면적, 정확도는 다음과 같다.

$$\text{감도}(\%) = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{특이도}(\%) = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{정확도}(\%) = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100 \quad (3)$$

식(1), (2), (3)을 이용하면 진단능에 대한 정량적인 수치를 얻을 수 있고, ROC 곡선의 형태를 관찰하면 진단능을 구할 수 있다.

3. 의료영상처리

히스토그램 평활화는 디지털 입력 영상의 레벨들을 넓은 범위의 밝기 스케일로 확산시켜 영상의 대조도를 개선하므로 영상 내의 gray level을 인간의 눈으로 보기 좋게 분포시킨다. 그러므로 영상을 진단하는데 있어서 보다 많은 정보가 표시될 수 있도록 영상의 관용도를 조절하여 모든 시각농도의 주파수를 동일하게 한다. 또한 인체 내에서 생성되는 병소는 다양한 형태로 존재하고 매우 작은 피사체 대조도를 형성하므로 육안으로 식별하기 어렵다. 따라서 이러한 영상내의 병소 식별 확률을 높이기 위해서 영상을 히스토그램으로 평활화하여 대조도를 개선하고, 미세한 구조의 가시성을 향상시키기 위해서 계면강조법을 적용한다. 계면강조영상은 원영상의 경계부분을 강조함으로써 원영상에 생성된 병소의 발견확률을 높인다. 계면강조법은 식(4)로 된다.

$$I_e = I_0 + [f(I_0 - I_u)] \quad (4)$$

여기서, I_e , I_0 , I_u 는 각각 계면 증강된 영상의 픽셀 강도, 원래 영상의 픽셀 강도 및 원래 영상에서 공간적으로 흐려져 있는 부분의 픽셀강도를 나타낸다. $(I_0 - I_u)$ 는 높은 공간주파수를 강조한 경계면 영상이고, f 는 경계면 영상을 강조하는 강조계수이다.

III. 결 과

촬영한 DR 영상의 병소에 대한 진단능을 평가하기 위하여 그림 1과 같이 팬텀에 모조병변을 부착하고 SID 180cm, 120kVp, 200mA에서 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0mAs 조사조건으로 영상을 얻었다.

20명의 진단자가 병소의 위치 및 개수를 표시하도록 하였다. 또한 영상의 질을 주관적으로 평가하기 위하여 진단자가 발견한 병소에 개수에 따라 표 1과 같이 5단

계로 분류 응답하도록 하였다.

그림 1의 팬텀을 촬영한 영상에 대하여 20명의 면허 소지자를 관찰자로 선정하여 표 1의 5단계 분류 응답한 결과는 표 2와 표 3이다. 표 2는 DR 장비 자체 알고리

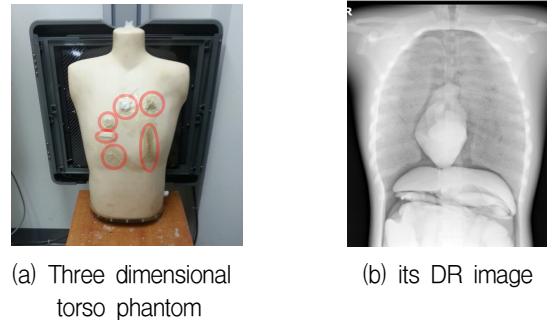


그림 1. 3차원 흉부 팬텀과 획득영상

Fig. 1. Three dimensional torso phantom and its DR image

표 1. 병소의 수에 따른 5단계 분류

Table 1. Grouping the number of lesions into five classes.

발견 병소 수[개]	5단계 분류
0-1	I. 신호가 절대로 없다.
2	II. 신호는 아마도 없을 것이다.
3	III. 알 수 없다.
4	IV. 신호는 아마 있을 것이다.
5-6	V. 신호는 반드시 있다.

표 2. DR 장비 영상처리알고리즘 적용 후 응답결과
Table 2. The response results of applying the image processing algorithm of DR device.

2.0mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	1	3	5	6	5
	P(S/s)	1.00	0.95	0.80	0.55	0.25
잡음	T(S/n)	5	6	7	2	0
	P(S/n)	1.00	0.75	0.45	0.10	0.00

2.5mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	2	7	6	5
	P(S/s)	1.00	1.00	0.90	0.55	0.25
잡음	T(S/n)	5	6	7	2	0
	P(S/n)	1.00	0.75	0.45	0.10	0.00

3.2mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	2	7	6	5
	P(S/s)	1.00	1.00	0.90	0.55	0.25
잡음	T(S/n)	5	6	8	1	0
	P(S/n)	1.00	0.75	0.45	0.05	0.00

4.0mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	2	7	7	4
	P(S/s)	1.00	1.00	0.90	0.55	0.20
잡음	T(S/n)	4	7	8	1	0
	P(S/n)	1.00	0.80	0.45	0.05	0.00

5.0mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	2	5	7	6
	P(S/s)	1.00	1.00	0.90	0.65	0.30
잡음	T(S/n)	4	7	8	1	0
	P(S/n)	1.00	0.80	0.45	0.05	0.00

표 3. 히스토그램으로 평활화 후 계면강조법 적용한 응답결과

Table 3. The response results of applying edge enhancement method after histogram equalization processing.

2.0mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	3	9	4	4
	P(S/s)	1.00	1.00	0.85	0.40	0.20
잡음	T(S/n)	5	5	9	1	0
	P(S/n)	1.00	0.75	0.50	0.05	0.00

2.5mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	2	7	7	4
	P(S/s)	1.00	1.00	0.90	0.55	0.20
잡음	T(S/n)	5	6	8	1	0
	P(S/n)	1.00	0.75	0.45	0.05	0.00

3.2mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	2	5	9	4
	P(S/s)	1.00	1.00	0.90	0.65	0.20
잡음	T(S/n)	5	6	8	1	0
	P(S/n)	1.00	0.75	0.45	0.05	0.00

4.0mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	2	9	4	5
	P(S/s)	1.00	1.00	0.90	0.45	0.25
잡음	T(S/n)	4	7	8	1	0
	P(S/n)	1.00	0.80	0.45	0.05	0.00

5.0mAs	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	0	1	2	11	6
	P(S/s)	1.00	1.00	0.95	0.85	0.30
잡음	T(S/n)	4	8	8	0	0
	P(S/n)	1.00	0.80	0.40	0.00	0.00

증으로 획득한 영상에 대한 응답결과이고, 표 3은 히스토그램 평활화에 의해 대조도를 증강시키고, 식(4)의 계면강조법을 적용시킨 영상에 대한 응답결과이다.

이 응답에 따라 각 단계의 응답수로 집계한 다음, 누적수를 전체의 응답수로 나누어 병소가 있을 때 병소가 있다고 답한 조건의 확률 P(S/s)와 신호가 없을 때 병소가 있다고 답한 조건의 확률 P(S/n)을 구하였다. 그 후 종축에 P(S/s), 횡축에 P(S/n)을 표시하여 ROC 곡선을 작성하였다. 연구에 사용된 DR 영상장비 자체에서 제공하는 영상처리기법으로 처리된 흉부영상에 대한 ROC곡선은 그림 2이다.

위의 ROC 곡선에서 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0 mAs로 선량 증가에 따라 환자로부터 나오는 정보량의 증가로 진단능의 향상을 보였다. 그림 3은 히스토그램 평활화에

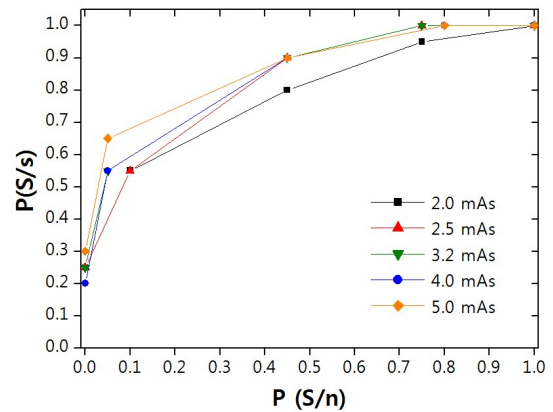


그림 2. DR 장비의 영상처리기법 후 ROC 곡선
Fig. 2. ROC curve after image processing of DR device.

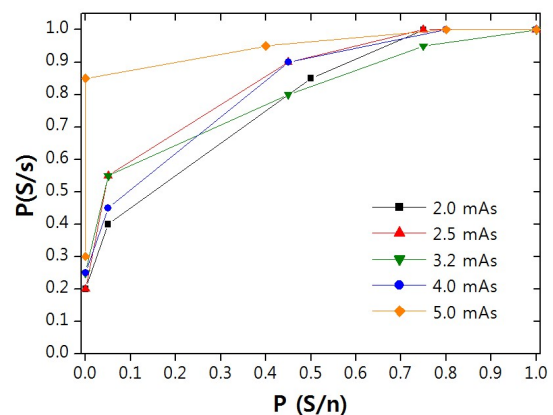


그림 3. 히스토그램으로 평활화 후 계면강조법을 적용한 ROC 곡선
Fig. 3. ROC curve of applying edge enhancement method after histogram equalization processing.

표 4. 병소 4개 기준

Table 4. Reference to 4 lesions.

조사선량 [mAs]	장비자체 영상처리영상			대조도, 옛지 강조영상		
	감도	특이도	정확도	감도	특이도	정확도
2.0	55.0	55.0	55.0	40.0	50.0	45.0
2.5	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
3.2	55.0	55.0	55.0	65.0	55.0	60.0
4.0	55.0	55.0	55.0	45.0	55.0	50.0
5.0	65.0	55.0	60.0	85.0	60.0	72.5

표 5. 병소 3개 기준

Table 5. Reference to 3 lesions.

조사선량 [mAs]	장비자체 영상처리영상			대조도, 옛지 강조영상		
	감도	특이도	정확도	감도	특이도	정확도
2.0	80.0	90.0	85.0	85.0	95.0	90.0
2.5	90.0	90.0	90.0	90.0	95.0	92.5
3.2	90.0	95.0	92.5	90.0	95.0	92.5
4.0	90.0	95.0	92.5	90.0	95.0	92.5
5.0	90.0	95.0	92.5	95.0	100.0	97.5

의해 대조도를 증강시키고, 병소의 식별을 위해서 경계면을 강조한 영상에 대한 ROC 곡선이다.

위의 ROC 곡선에서는 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0 mAs 순으로 형태학상 진단능이 우수하게 나타났다. 표 4는 6개의 병소 중 4개 이상이면 질병이 있고, 4개 이하이면 질병이 없다고 가정한 경우의 감도, 특이도 및 정확도이고, 병소 3개를 기준으로 한 경우는 표 5이다.

표 4에서 감도, 특이도, 정확도를 구한 결과 최적의 조사조건은 5.0 mAs로 나타났다. 5.0 mAs의 조사조건에서 대조도 증강 후 계면강조처리를 한 영상은 장비 자체의 영상처리 영상보다 감도, 특이도 및 정확도가 각각 20%, 5%, 12.5% 향상되었다. 또한 병소 3개를 기준으로 한 표 5에서도 최적의 조사조건 역시 5.0 mAs로 확인되었고, 감도, 특이도 및 정확도는 대조도 증강 후 계면강조처리를 한 영상이 장비 자체의 영상처리 영상보다 각각 5%, 5%, 5% 만큼 향상되었음을 확인하였다.

또한 전반적으로 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 그리고 5.0 mAs로 촬영조건이 증가하면서 검출기에 도달하는 X-선 정보량이 많아지지만 진단능이 일정한 영역을 확인하였다. 즉, 병소 3개 기준으로 하는 표 5의 장비자체 영상처리 영상에서 3.2mAs, 4.0mAs, 5.0mAs로 조사조건이 증가되지만 동일한 감도, 특이도, 정확도를 나타냄을 확인하였다. 따라서 3.2mAs는 4.0mAs이나 5.0mAs의 조사조

건보다 적은 환자피폭선량으로 동일한 진단능을 가지므로 좋은 조사조건이 됨을 알았다. 표 5의 대조도 증강 후 계면강조영상에서도 2.5mAs는 3.2mAs와 4.0mAs보다 적은 조사선량으로 같은 진단능을 나타내므로, 동일한 진단능에서 2.5mAs는 3.2mAs와 4.0mAs 보다 적은 조사선량으로 동일한 진단능을 갖는 좋은 조사조건이 됨을 확인하였다.

IV. 고찰 및 결론

본 연구에서는 팬텀에 병소를 부착하고 촬영한 병소 있는 영상과 병소를 부착하지 않고 촬영한 병소 없는 영상을 다양한 조사조건에서 획득하였다. 병소 있는 영상과 병소 없는 영상 각각은 DR 장비에서 촬영부위별 제공하는 chest PA 촬영방식과 히스토그램 평활화 후 계면강조처리방식에 의해서 획득되었다. 촬영된 영상은 SID 180cm, 120kVp, 200mA 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0mAs의 조사조건에서 획득되었다. 각 조사조건에서 획득된 영상에 대하여 ROC 곡선에 의한 형태학적 분석과, 감도, 특이도, 정확도를 통한 정량적인 분석을 통해서 가장 우수한 진단능을 갖는 조사조건을 결정하였다. 또한 보다 작은 환자피폭선량으로 동일한 진단능을 갖는 조사조건이 존재함을 확인하였으며, 동일한 진단능에서 보다 작은 피폭선량을 갖는 조사조건을 결정하였다.

REFERENCES

- [1] J. S. Hwang, J. K. Lee and C. W. Lee, "An Effective Medical Image System using TFT-DXD Method's Digital X-ray Detector," *J-KICS*, vol. 8, no. 3, pp. 389-395, April 2007.
- [2] Y. G. Lee, "Diagnostic Evaluation of X-Ray Imaging using Fuzzy Logic System", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 46-IE, no. 3, pp.62-67, 2009.
- [3] Y. G. Lee and W. S. Lee, "Subjective Evaluation of Image Quality on Digital Image Processing of Chest CR Image", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 48-IE, no. 1, pp.51-56, 2011.
- [4] W. S. Lee, K. S. Jung and Y. G. Lee, "Medical Image Restoration by Digital Image Processing", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 49-IE, no. 2, pp.75-81, 2012.

[5] J. D. Kim, "Interpretation of Receiver Operating Characteristics (ROC)," *Imaging Science in Dentistry*, vol 30, no. 3, pp. 155-158, September 2000.

[6] S. H. Park , J. M. Goo and C. H. Jo, "Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve: Practical Review for Radiologists," *Korean Journal of Radiology*, vol. 5, no. 1, pp. 11-18, 2004.

[7] J. U. Cho, S. H. Jin, K. H. Kwon and J. W. Jeon, "A Real-Time Histogram Equalization System with Automatic Gain Control Using FPGA," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 4, no. 4, pp. 633-654, 2010.

[8] M. J. Jun and J. J. Lee, "Image Histogram Equalization Based on Gaussian Mixture Model," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 15, no. 6, pp. 748-760, June 2012.

저 자 소 개

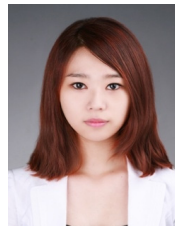
이 용 구(정회원)
대한전자공학회 논문지
IE편 49권 2호 참조



신 종 호(학생회원)
2014년 연세대학교 방사선학과
학사 재학 중.
<주관심분야 : 의학영상, 영상처
리>



서 경 은(학생회원)
2014년 연세대학교 방사선학과
학사 재학 중.
<주관심분야 : 의학영상, 영상처
리>



최 유 리(학생회원)
2014년 연세대학교 방사선학과
학사 재학 중.
<주관심분야 : 의학영상, 영상처
리>



이 수 현(학생회원)
2014년 연세대학교 방사선학과
학사 재학 중.
<주관심분야 : 의학영상, 영상처
리>



이 영 진(학생회원)
2007년 8월 연세대학교
방사선학과 학사 졸업.
2014년 연세대학교 방사선학과
석박사 통합과정 수료.
<주관심분야 : 신호계측 및 처리,
의학영상, 의료기기>



김 희 중(정회원)
1983년 연세대학교 전기공학과
학사 졸업.
1987년 George Washington
University, Dept. of EE
and CS 석사 졸업.
1991년 George Washington
University, Dept. of EE
and CS 박사 졸업.

1992년~2005년 8월 University of Pennsylvania,
울산의대, 연세대학교 의과대학 조교수,
부교수

2005년 9월~현재 연세대학교 방사선학과 교수
<주관심분야 : 신호계측 및 처리, 의학영상, 의료
기기>