

디지털 X-선 촬영장치의 영상특성 분석 및 개선

○ 김종효* 이태수** 박광석** 민병구** 이충응*
 서울대 전자공학과.* 서울대 의공학 교실**

Characterization and Improvement of
 digital radiography system

J.H.Kim, T.S.Lee, K.S.Park, B.G.Min, C.W.Lee

Dept. of Electronics, Seoul Natl. Univ.
 Dept. of Biomed.eng., Seoul Natl. Univ.

Abstract

We have analyzed electrical error factors generated in the digitizing process of the linear scanning digital radiography system, and obtained improved results using error calibration hardwares.

And characteristics of digital radiography system were evaluated by measuring several imaging properties.

I. 서 론

디지털 X-선 촬영장치(digital radiography system-DR system)이란, 기존의 X-선 촬영장치에서 X-선의 영상정보를 필름으로 기록하고, 재생하여 판독하던 것에 비하여, X-선의 영상정보를 디지털화된 전기신호로 변환하여 이를 테이프나 디스크등 전자기록 매체에 기록하고 CRT 모니터에 화면으로 재생시켜 판독하게 하는 장치를 말한다.

X-선 영상을 디지털화 하면 영상처리 기법을 적용할 수 있으며, 또 컴퓨터 네트워크를 통해 쉽게 전송시킬수 있는 잇점등이 있어 DR 시스템은 현재 각국에서 여러 가지 방식으로 개발중에 있다.

본 논문에서는 광다이오드 배열을 센서로 이용한 선형 주사방식의 DR 시스템에 있어서 디지털화 과정에 수반되는 전기적여러 요인을 분석하고, 이를 제거하기 위한 부가회로를 사용했을 경우의 개선효과를 살펴본 것이며, 또한 DR 시스템의 영상특성을 조사하기 위해 몇가지 영상특성을 측정하여 그 결과를 보일 것이다.

II. 영상화성능 개선

개발된 DR 시스템의 기본적 구성은 그림 1과 같다.

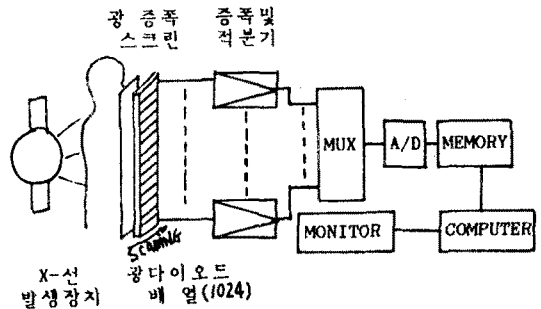


그림 1. DR 시스템의 기본 구성

대상체를 투과한 X-선은 영상증폭 스크린에서 일단 빛으로 바뀌고 1024 개의 광다이오드 배열에 입사되어 전기신호로 바뀌어 각각 1024개의 증폭기 및 적분기에 증폭적분된 후 MUX 에서 Serial 인 신호가 되어 A/D 변환된다. 이렇게 디지털화된 신호는 메모리를 거쳐 컴퓨터에 입력되어 모니터에 재생되거나 저장되도록 구성되어 있다.

이와같은 디지털화 과정 초단의 광다이오드의 작은 전기신호를 증폭하는 과정에서 1024개의 병렬 증폭기 및 적분기는 사용된 소자의 불균일로 인해 각각 다른 오프셋 및 개인 편차를 지니게 된다.

이외에도 X-선 발생장치의 공급전원 리플로 인해 센서에 입사되는 X-선량도 변동을 일으킨다. 이와같은 전기적 어려움은 실제 판독시에 심각한 장애요인이 될 수도 있다.

대상체를 투과하여 센서평면에 입사하는 X-선량의 분포는 다음식과 같이 나타낼수 있다.

$$I(t,x,y)=I_0(t)S(x,y) \text{ -----(1)}$$

여기서 $I_0(t)$ 는 대상체에 입사하는 X-선량의 변동율, $S(x,y)$ 는 대상체의 부가물분포를 나타낸다. 이상적인 DR시스템은 $(S(x,y))$ 를 모니터평면의 그레이레벨 집합 $f((i,j))$ 에 대응시키는 것이다.

본 DR 시스템에서 샘플된 영상신호를 $f(k)$ 라 하면

$$f(k)=\sum_{j=0}^{1023}\sum_{i=0}^{1023}f(i+Nj)\delta(k-i-Nj) \text{ -----(2)}$$

이 된다. 여기서 i 와 j 는 각각 그 시점 k 에 주사되는 센서번호 및 이동 주사방향의 위치 정수이다.

위 식과같은 디지털 데이터는 i 를 행번호, j 를 열번호에 해당되도록 RAM의 번지를 지정해 줌으로써 간단히 행렬화한 영상 데이터 $f(i,j)$ 로 만들수 있다.

그런데 $f(k)$ 에는 대상체의 영상정보 외에도 X-선량의 변동성분, 센서간 계인 및 오프셀의 편차가 포함된 것이므로 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$f(k)=f_x(k)\cdot g(k)\cdot S(k) + f_0(k) \text{ -----(3)}$$

여기서 f_x 는 X-선량의 변동성분율, g 는 계인편차율, 그리고 f_0 는 오프셀의 편차를 각각 나타낸다. 이중에 g 와 f_0 는 이동 주사방향과는 무관하므로 $f(k)$ 는

$$f(k)=\sum_{j=0}^{1023}\sum_{i=0}^{1023}f_x(i+Nj)\cdot S(i+Nj)\cdot g(i)\cdot\delta(k-i-Nj) + \sum_{j=0}^{1023}\sum_{i=0}^{1023}f_0(i)\cdot\delta(k-i-Nj) \text{ ----(4)}$$

와같이 쓸수 있다.

*** 에러 측정 실험**

이와같은 복합 영상신호에서 각 에러요인에 의한 영향을 조사하기 위하여 다음과같은 실험을 하였다.

- i). X-선을 입사시키지 않았을때(즉 $f_x(k)=0$) 모니터 데이터 $\{d_0(i,j)\}$ 를 받는다.
- ii). 균일한 X-선을 입사시켰을때(즉 $S(k)=const.$) 모니터 데이터 $\{d_1(i,j)\}$ 를 받는다.

이때 사용된 X-선 발생장치는 Picker(미)사의 Model No.GX1050 으로서 3상 전원이 공급되도록 되어있다.

촬영조건은 100 Kvp 25mA 였다.

또한 컴퓨터는 IBM PC/XT이고, 모니터는 Monitron(미)사의 1024X1024 고해상도 모니터 Serial No.31202 를 사용하였다.

i),ii)의 조건과 식(4)를 비교해볼때 오프셀 에러는 $\{d_0(i,i)\}$ 와 그 평균치와의 평균자승오차(mean square

error-MSE)로서 나타낼수 있으며, 계인 에러는 $\{d_1(i)\}$ - $\{d_0(i)\}$ 와 그 평균과의 MSE로서, X-선량 변동 에러는 $\{d_1(j)\}$ 와 그 평균치와의 MSE로서 각각 나타낼수 있음을 알수 있다. 각각의 결과가 표 1.에 나와있다.

표1. 영상신호에서 전기적 에러요인의 영향과 그 제거회로의 효과.

| | 제거 전 | | | 제거 후 | | |
|-----|--------|-------|------|--------|-------|------|
| | 오프셀 계인 | X-선변동 | | 오프셀 계인 | X-선변동 | |
| MSE | 14.3 | 41.7 | 24.7 | 0.25 | 3.42 | 1.87 |
| 평균값 | 43 | 140 | 158 | 3 | 140 | 155 |
| %오차 | | 29.9 | 15.8 | | 2.45 | 1.21 |

이와같이 전기적 에러 요인은 X-선의 영상을 심각하게 열화시키는데 이 에러 요인들은 소자의 불균일성과 X-선 전원공급장치의 성능에 의한 것이므로, 근본적으로 제거시키기는 어렵기때문에 외부에서 제거시켜야 한다. 이를 해결키 위해, 이 에러들을 외부에서 제거시키는 부가회로를 제작하였는데 그 개략도를 그림2에 보였다.

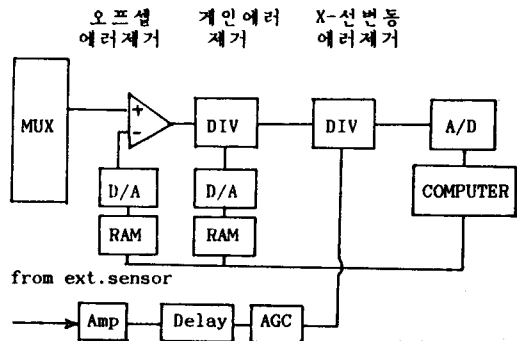


그림2. 전기적에러 제거회로의 개략도.

오프셀에러와 계인에러는 시스템 구성소자의 특성불 균일로 인한 것이기 때문에 주변 온 습도의 변화가 적다면 단시간 동안에는 변하지 않는다고 볼수 있다. 그러므로 촬영하기전에 i),ii)와같은 방법으로 각 에러의 패턴들을 구하여 RAM에 기억시켰다가 실제 촬영시 시스템클럭과 동기시켜 각각 아나로그 펄스와 나눗셈 연산기를 거쳐 제거되도록 하였다. 선 주사방식에서 이동주사 방향의 에러패턴은 변하지 않기때문에 각각 1024X1의 기억용량만으로도 기억시킬수 있었다.

X-선량의 변동에러는 그 패턴이 일정치 않으므로 이를 제거시키는 데는 다른 방식이 필요한데, 여기서는 X-선 발생장치 가까이 위치시킨 외부센서에 의해 검출되는 X-선량 변동신호를 영상신호와 동위상이 되게 한 다음 아나로그 나눗셈 연산기에 입력시켜 본래의 영상 신호가 복원되게 하였다.

III. 영상특성의 분석

영상 시스템의 성능은 공간 해상도(spatial resolution)와 콘트라스트 해상도(contrast resolution)에 의해 평가된다.

* 공간 해상도 특성

DR 시스템과 같이 단단으로 구성된 영상시스템에서 공간 해상도는 여러가지 요인에 의해 제약되는데 여기서는 그 종합적인 특성만을 측정하였다.

영상 시스템의 해상도는 선광원에 의한 영상데이터로부터 얻어지는 선확산 함수(line spread function)와 그 스펙트럼성분인 광전달 함수(optical transfer function)로부터 구해지는 MTF(modulation transfer function)으로 다음과 같이 나타낸다.

$$MTF(f) = \frac{|OTF(f)|}{|OTF(0)|} \quad (5)$$

$$OTF(f) = \int_{-\infty}^{\infty} Lsf(x) dx$$

$$MTF(u) \leftrightarrow Lsf(i) : \text{선사비열 방향}$$

$$MTF(v) \leftrightarrow Lsf(j) : \text{이동주사 방향}$$

실제적으로 선확산 함수를 측정하기 위한 X-선의 선광원을 얻기 위하여 납판에 폭 0.3mm 정도의 좁은 슬릿을 만들고 이에 의한 가로 세로축 방향의 영상을 얻었다(그림3). 이때 사용된 센서 화소의 크기가 0.6x1.3(mm)이므로 슬릿폭 0.3mm는 충분히 가는 선광원으로서 작용한다고 보았다. 또한 정확을 기하기 위해 슬릿을 경사지게 놓고 그중에 데이터의 최대값이 화소 중앙과 일치된 곳에서 선확산 함수의 데이터를 취하였다.

이 영상으로부터 얻은 데이터를 주리에 변환하고 그로부터 MTF를 그림4와 같이 구하였다.

그림4에서 본 DR 시스템의 공간 해상도는 최대 0.8 cyca/mm 정도임을 알 수 있다.

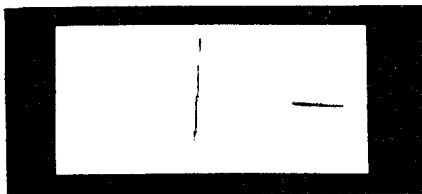


그림3 선광원에 의한 선확산 영상.

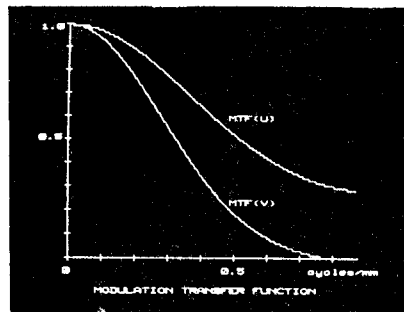


그림4 선확산 영상으로부터 구한 MTF.

* 콘트라스트 해상도

감쇠계수 u , 두께 1 인 대상체를 투과한 X-선의 강도 I 는 $I=I_0 \exp(-ul)$ 이 되는데 이때 배경과의 콘트라스트 C 는

$$C = \frac{\Delta I}{I_0} = \frac{I_0 - I_0 \exp(-ul)}{I_0} = 1 - \exp(-ul) \quad (6)$$

로서 대상체의 두께가 작을수록, 감쇠계수가 작을수록 그 값이 작아진다. 콘트라스트 해상도란 출력 영상에서 식별할 수 있는 최소한의 콘트라스트를 말한다.

DR 시스템의 콘트라스트 해상도를 한계짓는 요인은 주로 신호대 잡음비인데, 그 잡음요인으로서의 전술한 전기적 예외외에도 X-선의 양자잡음, 전기잡음등의 백색잡음이 특히 크게 작용한다. 또한 물체의 크기가 작을수록 공간 주파수성분이 높아지므로 MTF에 의한 신호의 감쇠가 커지게 되어 신호대 잡음비는 나빠진다.

더우기 인간의 시각판별특성을 포함한 종합적인 콘트라스트를 분석하려면 대단히 복잡한 과정이 필요하다.

여기서는 콘트라스트 해상도를 조사하기 위해 여러 가지 크기의 저 콘트라스트 모형을 제작하여 이를 촬영한 영상(그림5)을 시각적으로 판단함으로써 직접적으로 콘트라스트 해상도를 측정하였다.

제작한 저 콘트라스트 모형은 표2에 보인 바와 같이 6단계의 두께의 아크릴판에 12단계의 크기로 구멍을 뚫은 것을 쌓은 것으로서 촬영조건은 80Kvp 25mA 였다.

표2 저 콘트라스트 모형의 콘트라스트 비교; 계산값과 실측값 (%)

| 두께(mm) | 계산값 | φ(mm) | 측정값 | | | | | | | | | | | |
|--------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | | 5.2 | 5 | 4.2 | 4 | 3.2 | 3 | 2.8 | 2.5 | 2.2 | 2.1 | 1.5 | 1.2 |
| 5.5 | 17.9 | | 18.3 | 16.7 | 15.0 | 18.4 | 18.7 | 21.0 | 17.8 | 16.3 | 15.4 | 15.8 | 8.6 | 8.6 |
| 5 | 16.2 | | 15.7 | 16.2 | 15.8 | 17.4 | 17.4 | 16.0 | 14.3 | 12.8 | 13.9 | 12.0 | 8.4 | 6.8 |
| 4 | 12.7 | | 9.5 | 9.7 | 14.0 | 12.6 | 11.5 | 12.6 | 12.1 | 11.2 | 9.9 | 10.8 | 6.2 | 4.9 |
| 3 | 9.4 | | 8.1 | 8.0 | 8.8 | 8.9 | 10.5 | 8.8 | 8.0 | 8.8 | 7.5 | 8.0 | 6.4 | 2.3 |
| 2 | 6.1 | | 7.2 | 5.1 | 6.6 | 7.2 | 7.8 | 5.6 | 6.0 | 5.6 | 3.7 | 5.1 | 3.7 | 3.6 |
| 1.2 | 3.7 | | 3.6 | 4.2 | 4.0 | 1.8 | 3.7 | 3.3 | 4.2 | 3.7 | 3.8 | 3.3 | 2.3 | 1.8 |

표 2에 이 모형의 각 두께에 해당하는 콘트라스트 계산값과 그 촬영상에서 각각의 구멍에 대한 콘트라스트의 실측값을 비교하여 보았다. 표2와 그림 5에서 알수 있듯이 실제적인 콘트라스트값은 그 물체의 크기에 따라 달라지는데 이는 영상정보가 시스템을 통과하면서 공간 해상도의 제약을 받기 때문이다.

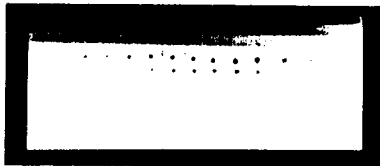


그림5 저해상도 모형의 촬영상.

표2의 결과와 같이 지름 1.2 mm 두께 1.2 mm인 아크릴판은 그 자체의 콘트라스트가 3.7% 있으나 영상대이상에서의 콘트라스트는 1.8% 정도로 줄어들었다. 이때는 신호대 잡음비의 한계로 인해 시각적으로 판별이 힘들 정도였다. 그러므로 이 점 즉, 지름 1.2mm 있을때의 콘트라스트 3.7%정도가 콘트라스트 해상도의 한계라고 볼수 있을 것이다. 그러나 크기가 큰 물체에 대해서는 훨씬 작은 콘트라스트까지도 판별가능하다.

IV. 결론 및 결론

광다이오드 배열을 센서로 사용한 선 주사방식 DR 시스템에서 전기적으로 발생하는 구조적 여러 요인들을 분석하였고 이를 외부에서 제거하기위한 추가회로를 제작하여 사용한 결과 MSE를 약 1/13정도로 줄이는 개선효과를 얻을수 있었다. 또한 영상특성을 분석하기 위하여 공간 해상도와 콘트라스트 해상도를 측정할 결과 공간 해상도의 한계는 0.8 cycs/mm, 콘트라스트 해상도의 한계는 지름 1.2 mm인 물체에 대해 3.7 % 정도인 것으로 나타났다.

일반적인 X-선 영상에서는 이 외에도 X-선의 산란에 의한 영상의 열화가 심각하나 본 DR 시스템에서는 그 영향을 무시할수 있을 정도이기 때문에 본 논문에서는 X-선의 산란효과는 다루지 않았다. 그리고 본 실험에서는 X-선의 조사량을 고정시켜놓고 콘트라스트 해상도를 측정하였으나, X-선의 조사량변화에 따른 콘트라스트 해상도특성을 조사함으로써 영상의 질을 저하시키지 않는 범위내에서 최소의 조사량으로 촬영하도록 하는 연구도 수행될 예정이다.

V. 참고 문헌

1. 박 광석외, 광다이오드 배열을 이용한 디지털 X-선 촬영시스템의 설계에 관한 연구, 의공학회지 Vol.5 No.2, 1984.
2. 민 병구, 디지털 X-선 촬영술의 기술발전과 그 전망, 의공학회 춘계 학술대회 논문집(1985).
3. 민 병구, 박 광석, 김 종효외, 디지털 레디오그래피 시스템의 개발에 관한 연구, 과학기술저 제출 최종 보고서, 서울대학교 의과대학, 1985.
4. 김 종효, 디지털 X-선 촬영시스템의 영상특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, 1985.
5. Masamitsu Ishida, et.al., Digital image processing ;effect on detectibility of simulated low contrast radiographic patterns, Radiology, Feb. 1984.
6. Hiroshi Fujita, et.al., Investigation of basic imaging properties in digital radiography; 6.MTFs of II TV digital imaging systems, Med.Phys, Nov/Dec 1985.