

디지털 투시촬영의 관용도 향상

(Enhanced latitude for digital projection radiography)

한 승 회
한국코닥 의료사업부

초 록

..... 대조도와 관용도사이의 손실 교환은 투사 방사선 촬영에 있어서 잘 알려져 있고 또한 오랫동안 지속되어온 영상의 질에 있어서의 제약이었다. 전자적인 영상획득의 도입으로 한 영상 내에 넓은 영역의 X-ray 노출을 포획하는 것이 가능해 졌다. 그러나, 진단에 필요한 세부영역 들을 위해 적절한 대조도를 유지하는 반면, 일반적으로 기대되는 관용도 범위 이외의 정보가 시각화 되어지는 것과 같은 영상의 rendering과 displaying의 문제가 남아 있었다. 이 문서에 묘사되는 EVP(Enhanced Visualization Processing)는 이 문제를 중점적으로 다룬다. 방대한 진단용 CR 영상 데이터베이스로부터 선택된 14개의 검사유형 당 각각 5개의 영상들을 포함한, 총 70개의 영상들을 사용하여 임상 보고서가 제출되었다. 각 영상에 대해, control rendering은 현재 개발되어 있는 automatic tone scaling algorithm(자동 톤 스케일 알고리즘)에 의해 생성되었고, test rendering은 그 control image에 EVP를 인가함에 의해 생성되었다. 10명의 radiologist들은 각자 개별적으로 140개의 이미지들(70개의 test renderings와 70개의 control renderings)을 9점의 진단 상의 품질 척도로 평가했다. EVP는 세부 대조도의 부당한 손실 없이 증가된 노출 관용도를 제공했다. 많은 영상에서 EVP는 과소 투과 영역에서의 정보의 손실을 줄여주고, 반면 과다 투과 영역의 밝게 빛나는 현상을 실제적으로 감소시켰다. 진단상의 품질 평가는 EVP image와 control image 모두 평균적

으로 높았다. 그럼에도 EVP images의 평균 등위는 control image의 그것보다 1 단계 완전히 높은 범위에 있는 것으로 평가되었다.

쌍으로 그 영상들을 보면, EVP images의 76%가 일치하는 control images의 평가 단계보다 1 또는 그 이상 높은 범주인 것으로 평가되었고, 반면 control image의 6% 만이 일치하는 EVP 영상보다 우수한 것으로 평가되었다. 유사한 결과가 연구된 14개의 검사유형에 대해 획득되었다.

1. 서론

많은 투시촬영 검사(projection radiography examination)에서 적당한 대조도와 적당한 관용도 사이에 빈번하게 일어나는 부적절한 질측 문제는 방사선 촬영 그 자체 만큼이나 오래되었다. 중간 농도영역에서 진단에 적절한 대조도를 제공하는 영상은 과다/과소 노출된 그 영상의 다른 영역에 있어서 적절한 세부사항을 제공하는데 종종 실패한다.

디지털 투시영상들이 유용해지기 전에는, 제한된 관용도의 X-선 필름은 많은 X-선 검사들에서 넓은 영역의 노출을 포함할 수 없다고 인식되어져 있었다. 한편, CR(computed radiography)에 사용되는 storage phosphor image receptors는 진단 viewing을 위해 최적으로 디스플레이 되는 것보다 훨씬 넓은 노출 범위를 저장한다. 일반적으로 제한된 노출범위는 영상 처리와 디스플레이, 대조도/관용도의 손실교환 등을 위해 선택되어져야 한다. 많은 영상 처리 기술들은 의료 영상들에 있어서 대조도를 개선시키기 위해 제안되어 왔다. 대조도의 향상을 위한 공통적인 접근들은 unsharp masking의 다양한 변종 또는 multi-scale wavelet based methods와 이들의 조합들을 포함한다.

하나의 변종인 adaptive filtration은 노이즈의 증가를 완화시키는 반면에 선택적인 향상을 허용한다. 초기의 이러한 방법들은 우선적으로 영상의 고주파 성분들을 향상시키는 반면 저주파 성분들은 일반적으로 유지시키는 데 초점을 맞추고 있었다. 이것은 종종 digitized film 같은 제한된(exposure) dynamic range를 가진 source image에 기인했다. 소수의 학자들만이 진단상으로 중요한 세부 영상의 대조도를 감소시킴 없이 잘 render된 영상의 관용도를 증가시키는 문제를 제기해왔다. 관용도 문제에도 불구하고 주목할 만한 예로는 dynamic range control processing(DRC)가 있는데, DRC는 저주파 성분들을 억제하기 위해 optical density 데이터에 digital unsharp mask를 하는 것에 연관되어 있고, 이것은 musculoskeletal과 spine radiographs를 개선시키는 것으로 보

어져 왔다. 그러나, 이러한 방법의 효과는 그 영상 데이터의 노출범위가 pre-processing에 의해 이미 잘려져 있기 때문에 한계가 있게 된다. 그러므로 단지 디스플레이 폭선의 제한된 영역 내에 존재하는 x-ray 노출 값들 만이 낮은 농도들 중에서 높은 농도로 다시 mapping 되어짐에 의해 영향 받게 된다.

원형 (노출) 영상 데이터 세트의 원형을 유지하는 시스템 내에서 부가적인 임상 정보들은 때때로 그 농도곡선의 먼 꼬리(아래쪽) 부근에 불완전하게 존재하는데, 이 데이터는 한 예로 window의 width와 level을 조정함에 의해 접근될 수 있다.

이러한 도구들은 생산성과 전체적인 영상의 질에 광범위하게 영향을 줄 수 있는 전자적인 디스플레이(electronic display)의 경우에는 즉시 사용될 수 있다. 그렇지만 그 원형(노출) 데이터의 전 범위에 접근하는 것은 대조도/관용도의 손실 교환을 다루기 위한 필요 조건이다. 여기에 묘사된 EVP(Enhanced Visualization Processing)는 진단상의 중요한 세부 부분들의 대조도를 유지하는 동안, 노출 관용도를 증가시키기 위해 원형 (노출) 영상 데이터를 사용하는 영상 처리 방법이다.

진단상 중요한 세부 부분들의 대조도를 개선 또는 억제하지 않고 유지하는 것은 중대한 일인데, 왜냐하면 영상 관찰자의 교육과 경험의 유용함은 이러한 세부부분의 적절한 외관에 의존하기 때문이다.

2. EVP(Enhanced Visualization Processing)

Kodak Digital Science CR system을 위한 기본적인 영상 처리는 PTONE(perceptual tone scale)으로 언급되는 자동 톤 조정 알고리즘(automatic tone scaling algorithm)의 결과로 일어난 데이터에 비선형 가장자리 개선(nonlinear edge enhancement)를 하는 것이다. PTONE 알고리즘의 본질적인 요소들은 영상분석, tone scale generation(톤 스케일 발생), tone scale application(톤 스케일 적용)을 포함한다.

영상분석(Image analysis)는 전체 영상을 우리가

foreground, background 그리고 region of interest로 명명한 영역으로 분할한다.

Foreground는 노출기간 동안 X-ray collimation에 의해 폐색된 영상의 영역이다. Background는 직접적으로 X-선 노출을 받은 영역으로 구성되고, region of interest(ROI)는 들을 제거한 나머지 영역으로 일반적으로 진단을 위해 해부학적으로 관심 있는 영역을 포함하고 있는 영역이다. 일단 그 ROI가 확인되면 독점 특허의 히스토그램 분석방법이 tone scale에 의해 render되어야 하는 로그 노출 코드값(log-exposure code value)들의 범위를 결정하기 위해 사용되어 진다. 이 범위는 영상의존 코드값 서술자(image-dependent code-value descriptor)의 용어로 표현되어진다. 디지털 영상의 최적의 렌더링은 인간의 시각 시스템 특성에 적절하게 연동하는 톤 스케일이 필요로 한다. 지각적인 선형성(perceptual linearity)의 개념은 의료 진단 영상학에서 광범위한 문제에 적용되어져 왔다. PTONE processing은 선택되어진 출력 densities 범위 안에 있는 log exposure(log 노출)에서의 동등한 변화들을 인지된 밝기에 있어서의 동등한 변화로 변형시키는 mapping, $\rho(E)$ 를 생성한다.

출력 영상은 그때 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$D(I,j) = \rho\{E(I,j)\}$$

$E(I,j)$ 는 pixel I,j 에서의 edge-enhanced된 x-ray 노출 데이터를 표현하는 code 값이고, $D(I,j)$ 는 display된 영상의 pixel I,j 에서의 density를 표현하는 code 값이다.

EVP는 PTONE 처리와 edge enhancement 후의 방사선 영상에 적용되지만, PTONE tone scale은 EVP이후의 영상 데이터에 적용된다. EVP의 목적은 영상의 세부 디테일의 대조도를 보전하면서 방사선 영상의 관용도를 증가시키는 것인데, 이것은 영상을 저주파와 고주파 성분 영상들로 나눔에 의해서 수행되어진다. 나누어진 저주파 영상의 대조도는 감소되고, 그것에 의해서 관용도(영상 내에서 보여지는 노출의 범위)는 증가되고, 고주파 영상의 대조도는 세부 영상의 시각적

외관을 유지하기 위해 향상된다. 결과적으로, 저주파와 고주파 이미지는 다시 결합되고, 최종적으로 톤 스케일 곡선 (tone scale curve)이 적용된다.

Kodak Digital Science CR 시스템 내에서 pixel I_j 의 영상 코드값(image code value)은 X-선 노출의 대수 값에 선형적으로 연관된다. PTONE 분석 후, 이러한 코드 값들은 비선형적으로 edge enhanced되어 진다. 결과되어진 code 값, $E(I_j)$ 는 그 EVP 출력 코드 값을 계산하기 위해 사용된다.

$$E'(I_j) = \alpha(E(I_j) \times K) + (1-\alpha) \cdot E_{mid} + \beta E(I_j) - (E(I_j) \times K)$$

K 는 smoothing kernel, α 는 저주파 이득(low-frequency gain), β 는 고주파 이득(high-frequency gain), E_{mid} (median value)는 변형(transformation) 후에도 불변으로 남아 있는 노출 코드값(exposure code value)을 의미한다. 따라서 출력 영상은 다음과 같이 획득된다.

$$D(I_j) = \rho(E'(I_j))$$

여기서 $\rho(E)$ 는 위에서 정의된 PTONE 톤 스케일이다.

그림1은 보여지는 영상의 optical density와 X-선 노출의 대수값 사이의 관계를 나타내는 영상 tone scale에 대한 EVP의 효과를 도시한다. 실선은 PTONE 처리로부터 결과된 tone scale을 표현한다. EVP는 그 영상의 종합적, 또는 총체적인 대조도를 낮추고, 그것에 의해서 display되어진 영상의 관용도를 증가시킨다.

그림1에서 dashed line은 Original PTONE tone scale, solid line은 EVP 후의 넓은 영역에서의 효과적인 tone scale,

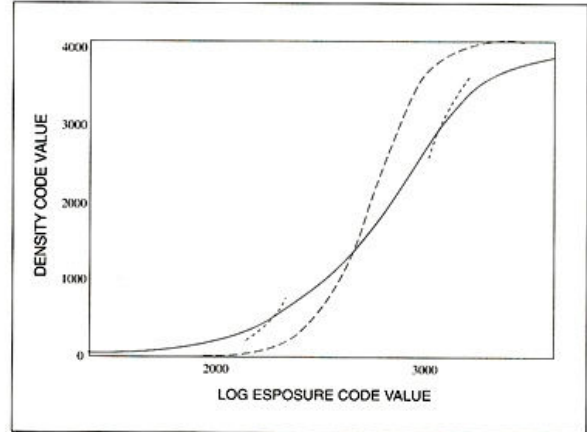


그림 1. Tone Scale 에서의 EVP의 효과

그리고 dotted lines은 EVP 후의 세부 영역에서의 효과적인 tone scale을 의미한다.

3. 결론

요약하면, EVP는 디스플레이 되거나 프린트된 영상의 관용도를 진단에 필요한 세부영역의 대조도 손실없이 확장할 수 있게 한다. 이러한 방법에 의해, 잠재적으로 많은 종류의 유용한 진단상의 정보들이 영상 관찰자들의 영상조작 (manipulation)을 필요로 하지 않고 표현되어 질 수 있게 된다. EVP는 디지털로 획득되어지는 어떤 투사 방사선 검사에도 적용되어질 수 있다. EVP 변수들은 일반적으로 body part와 projection에 의존하는데, 전기적 디스플레이에서 영상이 획득되어진 후에 어떤 기계적 또는 전자-기계적인 기술이 제공되지 않더라도 조정되어 질 수 있다.