▸원 저◂

ISSN 1226-2854

디지털 의료영상에서 Noise감소를 위한 필터조합과 임상적 효과에 관한 연구

—Research About Filter Association and Clinical Effect Noise Reduction of Digital Medical Imaging System—

인제대학교 상계백병원[1)] · 고려대학교 보건과학대학[2)] · 인제대학교 서울백병원[3)] · 부경대학교[4)]

민정환[1)] · 김정민[2)] · 정회원[3)] · 옥치일[4)]

— 국문초록 —

의료영상에서 화질저하를 최소화 하면서 Noise를 감소시키기 위하여 Noise가 첨가되어 있는 영상을 대상으로 Low Pass Filter(LPF) 5종, High Pass Filter(HPF) 4종, Median Filter(MF) 11종의 모두 20개의 필터를 복합적으로 사용하여 Noise 제거효과를 검토하였다. Noise를 나타내는 지표로 Peak Signal to Noise Ratio(PSNR), Mean Square Error(MSE)를 비교하였다.

그 결과 Noise 감소효과가 가장 높은 필터의 조합은 LPF 3*3#1 + HPF 3*3#1 + Vertical 3*1로 나타났다. 이 필터의 조합을 흉부, 골반, 머리 등의 의료영상에 적용하여 임상적인 Noise 제거효과를 확인하였다.

중심 단어 : Digital Image, Noise, Peak Signal to Noise Ratio(PSNR), Mean Square Error(MSE)

Ⅰ. 서 론

방사선 의료영상에 있어서 화질의 관점에서 noise는 선량과 영상의 주파수 요소에 크게 좌우된다. 따라서 임상적 화질을 유지하면서 noise를 감소시키기 위해서는 주파수와 관계되는 여러 가지 처리 알고리즘을 적용해 보아야 한다. 의료영상의 noise를 제거하기 위해서 Low Pass Filter(LPF) 5종과 High Pass Filter(HPF) 4종, Median Filter(MF) 11종의 필터를 304가지 경우의 수로서 복합적으로 사용하여 noise를 제거하고 noise를 나타내는 지표로 Peak Signal to Noise Ratio(PSNR), Mean Square Error(MSE)를 비교 평가하였다. 이 결과를 바탕으로 noise가 포함된 흉부, 골반, 두부의 의료영상에 대하여 최적으로 판단되는 필터를 적용한 결과 시각적으로 화질저하를 느끼지 않으면서 noise가 감소된 것을 알게 되었다. 이에 noise합성필터의 조합과 임상시험의 결과를 보고한다.

Ⅱ. 실험 기구 및 방법

촬영장치는 LISTEM DRS를 사용하였고 초점크기(mm)는 0.6/1.2, 총여과 2.4 mmAl이다. 임상영상의 촬영은 Image Plate(IP)를 사용하였고 CR리더기는 Kodak-Direct view CR 900 System을 사용하였다. Pixel size는 175 μm 본 연구에 사용된 CR System[1,2)]에서 IP를 방치하여 시간이 경과함에 따라 자연적으로 잡음(noise)이

* 이 논문은 2007년 10월 24일 접수되어 2007년 12월 6일 채택 됨.
교신저자 : 김정민, (136-703) 서울시 성북구 정릉동 산1번지
고려대학교 보건과학대학
TEL : 02-940-2820, FAX : 02-917-9074
E-mail : min@korhealth.ac.kr

생기도록 하였다. Erase한 후 40분이 경과한 IP를 reader 기에서 scan해 보면 noise가 생긴 것을 알 수 있다.

이와 같이 IP를 시간적으로 방치시켜 noise가 생긴 영상을 "noise영상"이라 하고 특별히 어떠한 noise가 첨가된 것인지 정의 할 수 없는 상태이므로 복합잡음(mixed noise)이라고 표현하였다. 복합 필터를 구현하기위하여 noise영상을 가지고 여러 가지 필터를 304가지의 경우의 수로서 복합적으로 적용하였고, noise영상은 Post Processing 후의 image를 가지고 평가하였다. 이와 같은 내용을 근거로 CR장비에 적용된 Post processing된 image를 가지고 실험 하였으며 과정은 다음과 같다. Fig. 1에서와 같이 시간이 경과된 noise image를 가지고 합성 filter를 적용하였다. 또한 Fig. 1과 같이 합성 필터를 구현하기 위하여 각 시간대별 noise 영상을 가지고 여러 가지 필터를 복합적으로 적용하였다. 여기에서 선형 filter로는 Ideal Low Pass Filter(LPF), High Pass Filter(HPF), 비선형 filter로는 Median Filter(MF)를 선정하였다. LPF 종류로는 Low pass filter 3*3, Low pass filter 3*3#2, Low pass filter 5*5, Gaussian 3*3, Gaussian 5*5를 사용하였다. HPF 종류로는 HPF 3*3#1, HPF 3*3#2, HPF 3*3#3, HPF 3*3#4를 사용하였고, MF종류로는 Rectangle 3*3, Rectangle 5*5, Diamond 3*3, Diamond 5*5, Circle 5*5, Cross 3*3, X 3*3, Horizontal 1*3, Vertical 3*1, Vertical 5*1, Vertical 7*1을 사용하였다. Filter를 적용한 후 영상을 가지고 erase한 영상을 Clear image이라고 표현 하였는데 깨끗한 영상과 noise가 있는 영상을 비교하면서 이때 최대신호대잡음비(Peak Signal to Noise Ratio) 값이 높고 표준편차(Mean Square Error) 값이 낮으면 좋은 복합 필터라고 결정하였다. 복합필터를 이용하여 흉부, 골반, 두부의 의료영상을 적용하여 영상을 구현 하였다. 그리고 noise를 나타내는 지표로 Peak Signal to Noise Ratio(PSNR), Mean Square Error(MSE)를 비교 평가하였다.

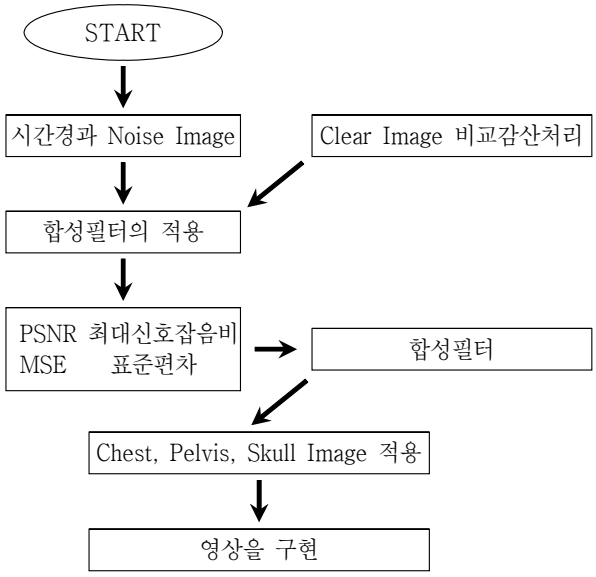


Fig. 1. Block Diagram

1. PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)

PSNR은 많은 Signal을 가지고 있어서 넓은 다이나믹 렌지를 가지고 있기 때문에 압축해서 로그 스케일로 표현한다. 또한, 두 영상의 noise를 비교할 때 적용이 되는 PSNR은 다음과 같이 표현하며 높은 값을 좋은 값으로 인식한다.

$$PSNR = 10 \times log_{10}(size^2/MSE)$$
$$= 20 \times log_{10}(size/MSE)$$

2. MSE(Mean Square Error)

두 영상을 읽어 서로의 차이를 누적시킨 후 영상의 크기만큼 나눈 값의 합으로 계산하는 것이 MSE(Mean Square Error)이다. MSE 값이 작을수록 좋은 영상이라고 할 수 있다.

$$MSE = \frac{1}{MN}\sum_{m=1}^{m}\sum_{n=1}^{n}[|u(m,n)-\mu(m,n)|^2]$$

Ⅲ. 실험결과

Table 1. PSNR, MSE value after mixed filter

처리 Index	PSNR	MSE
26	35.90	16.73
27	35.79	17.14
28	35.90	16.73
29	36.78	13.66
30	42.29	3.84
31	42.31	3.82
32	42.26	3.86
33	35.81	17.08
34	16.33	1515.56
35	35.79	17.14

1. PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)

Table 1은 304개 조합 중에 10개의 영상처리 예만을 표시하였다.

Table 1은 Erase 후 40분이 경과된 복합잡음(mixed noise) 영상에 대하여 304개의 처리결과로서 31번째 처리영상의 PSNR이 42.31로서 가장 높은 값을 나타내고 있다.

이때의 필터조합이 LPF 3*3#1+HPF 3*3#1+Vertical 3*1 이다.

2. MSE(Mean Square Error)

Table 1은 Erase 후 40분이 경과된 복합잡음(mixed noise) 영상에 대하여 304개의 처리결과로서 31번째 처리영상의 MSE가 3.82로서 가장 낮은 값을 나타내고 있다.

이때의 필터조합이 LPF 3*3#1+HPF 3*3#1+Vertical 3*1 이다.

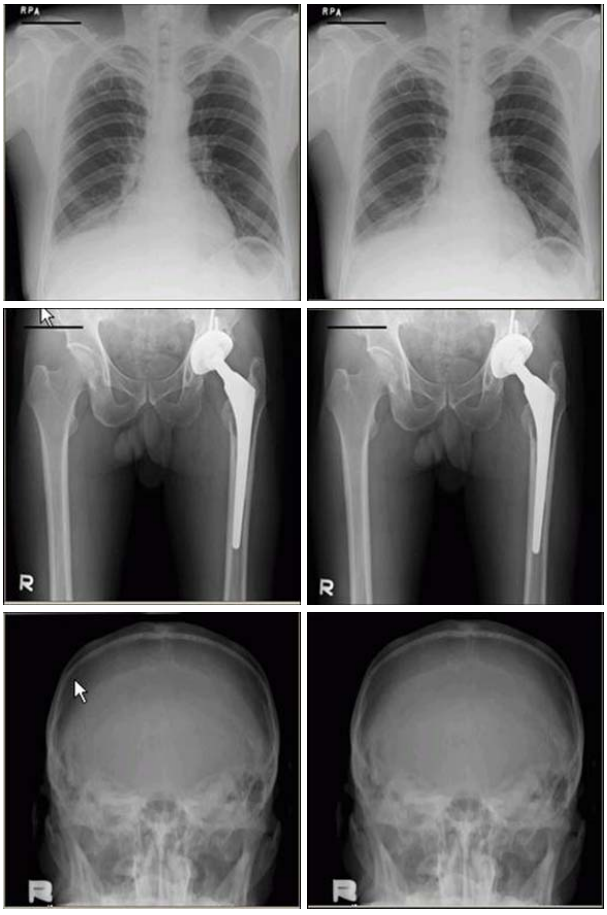
3. 합성필터를 의료영상에 적용한 결과

Noise를 나타내는 지표로 위의 PSNR, MSE를 비교한 결과 noise 감소효과가 가장 높은 필터의 조합은 LPF 3*3#1 + HPF 3*3#1 + Vertical 3*1이다.

이 합성필터의 커널은 아래와 같다.

```
pView ->
    DisplayDebug((LPVOID *)pView, "Low-Pass
    3x3 #1 filter적용");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView, "1
    1 1");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView, "1
    1 1");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView, "1
    1 1");
pView ->
    DisplayDebug((LPVOID *)pView, "High-Pass
    3x3 #1 filter적용");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView,
    "0-1 0");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView, "-1
    5-1");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView, "0
    -1 0");
pView ->
    DisplayDebug((LPVOID *)pView, "Median
    filter (Vertical 3x1) 적용");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView,
    "1");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView,
    "1");
    pView -> DisplayDebug((LPVOID *)pView,
    "1");
```

위의 커널을 이용한 LPF 3*3#1+HPF 3*3#1+Vertical 3*1의 합성필터를 이용하여 흉부, 골반, 두부의 의료영상에 적용하여 영상을 구현하였다. 실제로 정량적인 값이 높아 좋은 필터라고 생각되는 합성필터를 의료영상에 구현을 해 본 결과 화질이 평활화 되어 뭉개지지 않은 영상을 얻어 임상적으로 적용이 가능하다고 할 수 있다. 의료영상은 PSNR, MSE 등 정량적 지표에 의한 비교와 함께 시각적 평가가 병행되어야 할 필요가 있다고 사료된다.



(a) Pre image (b) Filtered Image

Fig. 2. Medical imaging and mixed filter post-processed imaging

Ⅳ. 고 찰

Quantum이라는 단어는 '계수되거나 측정되는 어떤 것'이라고 정의된다. 의료영상에서는 개개의 Signal을 의미하는 일반적인 단어이다. x-ray 의료영상에서 환자의 피폭선량을 최소 수준까지 줄이고, SNR과 환자 피폭 선량 사이에서 균형을 잡아야 한다.

공간 주파수 domain에서 표현되는 noise signal의 분포를 noise frequency라 한다. x-ray beam을 통해서 아무것도 없는 영상, contrast-less한 영상, 거의 균일한 gray영상이 획득되었다면 그 gray는 정확하게 말해서 균일하지 않다. 왜냐하면 그 영상 속에는 무작위 quantum noise가 존재하기 때문이다. 이런 종류의 image가 noise를 계산하는데 사용된다. 예를 들면, SNR이나 표준편차 σ는 균일한 image에서 계산된다. 사람의 눈에는 noise가 무작위로 나타난다. 그러나 image에 있는 noise는 주파수 요소를 가지고 있기 때문에 noise image에서 주파수 분포는 밀접한 관련이 있다고 말할 수 있다.

CR 시스템의 잡음(Noise)의 주요한 원인은 X-선 양자 모틀[3]이며 그 외에 Imaging Plate의 구조 noise, 휘진 발광체의 광양자 noise, 전기계의 noise, 양자화 noise 등이 있다. 이런 영상들의 noise 제거는 Low Pass Filter 특성을 가진 Image Processing에 의해서 보정을 하고 있으나 여전히 영상 내에는 noise가 존재한다. 의료영상에서 시각적으로 noise의 제거 상태를 파악할 수 있으나 객관적으로 표현할 수 있는 정량평가가 필요하다. 이번 실험에서는 noise평가의 대표적 지수인 PSNR과 MSE를 사용하여 필터 처리 전 영상과 필터 처리후의 영상을 비교하였다. 본 실험에서 사용된 CR 영상에서의 Image Processing은 대표적으로 3가지를 표현할 수 있는데 첫 번째는 PTONE: Perceptual Tone Scale이다. Tone Scale은 현재 많이 사용되고 있는 기법들 중에서 하나의 기법이라 할 수 있으며 주로 Conventional Histogram으로 분석을 하고 있다. 그리고 최적의 시각화를 위해서 LUT(Look up Table)를 생성하는데 Tone Scale의 최적화를 나타낸다. 그리고 진단 관심 영역을 찾기 위해서 image 분석을 한다. 이때 X-ray Beam이 Collimator 또는 납판으로 제한된 영역과 X-ray 노출을 직접적으로 받은 영역과 위 사항을 제외한 모든 남아있는 영역을 해부학적 부위로 표현하게 된다. 특히, PTONE의 주 특징은 인간의 시각 특성에 잘 맞는 Tone Scale(LUT)를 생성하고, Image Detector에서의 Exposure의 일정한 변화가 그 image의 어두운 영역에 있던지, 밝은 영역에 있던 지에 상관없이 동등한 Brightness의 차이로 디스플레이 될 수 있도록 하며 의료 영상에 있어서 정상 또는 비정상적인 해부학적 구조의 판독은 Edge의 시각화에 크게 의존하고 있다. 개선되어 질 주파수의 범위를 결정하는 고/저주파 사이의 천이는 입력 image를 부드럽게 하는데 사용되는 Kernel(K)의 Size에 의해서 결정된다. Kernel은 입력 image들 평균화 즉, 부드럽게 하기 위해 사용되어지는 The matrix of weights이다. Enhancing Edge에서는 3 by 3 Kernel를 중심으로 Pixel에 새로운 값을 제하기 위해 9개의 입력 Pixel을 평균화 한다. 현재 CR Kernel은 Uniform Squar로 그 Size는 Exam Type에 따라 달라진다.

두 번째는 Edge Enhancement로서 근본적으로 Edges (Details)를 관찰자의 눈에 잘 띄도록 만들기 위해 더 높은 공간 주파수 성분들에 초점을 맞춘다.

세 번째인 EVP(Enhanced Visualization Processing)는 CR/DR에 사용되는 Image Processing software (PTONE)와 함께 사용되도록 고안된 부가적인 Software Tool이다. EVP는 증가된 image Latitude를 image Detail들의 출력 Contrast 감소 없이 생성한다. 높은 Contrast는 Anatomy(edges)의 더 좋은 시각화를 이룰 수 있다. 그러나 Toe/Shoulder 내의 Detail들은 허용되지 않을 수 있다. Toe and Shoulder의 Display를 개선시키기 위해 contrast를 낮추는 것은 Mid-scale Anatomy를 손상시킬 수 있다. EVP는 이러한 Contrast-Latitude Dilemma를 해결하여 낮은 주파수 성분들(넓은 영역)은 더 낮은 Contrast를 얻게 하며, 높은 주파수 성분들(Edges, Details)은 더 높은 Contrast 얻게 한다. image를 저주파 성분과 고주파 성분들(Large areas, Small details)로 나누고 저주파 성분들의 Contrast를 낮추게 되고 Latitude를 증가시킨다. 또한 고주파 성분들의 Contrast를 높이게 되고 Details Visibility를 유지 또는 향상시키고 그 성분 image들을 다시 결합하고 그 (PTONE) tone scale LUT을 적용한다.

최적의 합성필터를 찾아내기 위하여 시간경과에 의해 생긴 noise 영상을 가지고 여러 가지 필터를 복합적으로 적용하였다. 이와 같이 여러 가지 필터를 가지고 304번을 반복하여 가장 좋은 합성필터를 찾고자 하였다. 그리고 Erase 직후의 noise가 가장 적은 영상과 비교하여 Peak Signal to Noise Ratio(PSNR)값이 높고 Mean Square Error(MSE)값이 낮으면 좋은 필터의 조합이라고 하였다. 이렇게 찾아낸 필터의 조합은 LPF 3*3#1+HPF 3*3#1 + Vertical 3*1이다. 이 최적의 합성필터를 이용하여 흉부, 골반, 두부의 의료영상을 적용하여 시각적으로

좋은 영상을 구현하였다. 여기에서 Low Pass Filter와 High Pass Filter와 Median Filter를 이용하고 윈도우 크기는 3*3과 3*3과 3*1과를 적용하였다[4-7]. 본 연구는 CR 영상에 noise가 생기는 것에 대해서 filter를 적용하여 보다 향상된 영상을 얻고자 한 것이다. 따라서 LPF가 High frequency noise를 제거하는데 주력을 한다면 Median Filter는 갑자기 나타난 Burst Type의 noise를 제거할 수 있다는 것이다[8,9]. 이러한 필터들을 복합해서 구현해 보았으나 그다지 좋은 영상을 얻지 못하였다. 왜냐하면, 의료 영상은 SNR, MSE 등 정량적 지표에 의한 비교와 함께 시각적 평가가 병행되어야 할 필요가 있다고 사료된다. 시각적 평가와 정량적 지표에 의해서 나타내는 의미가 정확히 같다고 볼 수 없기 때문이다. 실제로 의료 영상 실험을 통해 얻은 필터를 적용해 보면, 시각적으로는 오히려 더 좋지 않은 결과가 나타나는 경우도 있었다[10]. 이것은 X-선 촬영 부위에 따라 X선량 이외에 촬영 factor가 달리 적용되고 의료장비 특성마다 Post Processing에서 filter를 적용하고 있어 장비 특성과 무관하게 동일한 filter를 적용한다는 것은 무리가 있다는 사실을 인식하게 되었다. PSNR과 MSE 등 통계적 지표에 의한 비교와 함께 시각적평가가 병행되어야 함을 알 수 있는 기회가 되었다.

V. 결 론

Erase후 40분을 방치하여 noise가 첨가된 영상에 대하여 LPF 3*3#1 + HPF 3*3#1 + Vertical 3*1의 복합필터를 처리해서 PSNR과 MSE 값을 비교하였다.

복합필터를 적용한 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)의 결과 중 31번째 조합인 위의 복합필터가 42.32로서 가장 높은 값을 나타내었다. 또한, Mean Square Error(MSE)에서의 결과를 보면 3.82로서 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한 LPF 3*3#1 + HPF 3*3#1 + Vertical 3*1의 복합필터를 이용하여 흉부, 골반, 두부의 의료영상에 적용한 결과 SNR, MSE 등 정량적 지표가 높아져 noise가 감소하였으며 시각적으로 독영에 장애를 초래하지 않아 임상적으로 유용성이 있다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. G.S Shaber, A. Maidment, J. Bell, L.s. Jeronim, D. Y. Lee, G.F. Powell, “Full field digital projection radiography system: Principles and Image Evaluation.” Computer assisted radiography and surgery(CAR'97) by H.U.Lemke, et, al., editrs(Amsterdam: Elsevier, 1997) pp.39-45
2. S. H. Nam, J. B. Park, C. H. Oh, T. K. Song, J. K. Jung, S. I. Kim, Recent Development Trends and Future of Medical Image system: J. Biomed. Eng. Res, Vol.20, No.4, 365-399, 1999
3. 민정환, 김정민, 정회원: Mixed Noise Reduction Filters for CR Images 방사선기술과학, 30권 1호, 1~6, 2007
4. Pitas, A. N. Vinetsanopoulos, Nonlinear Digital Filters, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 1990
5. I. Pitas, Digital Image Processing Algorithms, Prentice Hall, 1995
6. T. A. Nodes, N. C. Gallagher, JR, Median Filter: Some Modifications and Their ProPerties, IEEE, Vol.ASSP-30, NO. 5, pp.739-746, 1982
7. R. Suoranta, K. P. Estola, 2-D Subset Averaged Median Filters, Elsevier Science Publishers, pp.291-294, 1993
8. B. Jahne, Digital Image Processing, Springer, 1997
9. L. Yin, R. Yang, M. Gabbonj, Y. Neavo, Weighted Median Filters: A Tutorial, IEEE, Vol.43, NO.3, pp.157-192, 1996
10. 민정환, Removal Mixed Noise from computed Radiography Images using Hybrid Filters 고려대학교대학원 석사학위논문, 2005

• Abstract

Research About Filter Association and Clinical Effect Noise Reduction of Digital Medical Imaging System

[1)]Jung-Whan Min · [2)]Jung-Min Kim · [3)]Hea-Won Jeong · [4)]Chi-Il Ok

[1)]Sanggye Paik Hospital Inje University · [2)]Health Science Korea university
[3)]Seoul Paik Hospital Inje University · [4)]Pukyoung National University

This paper is for investigation of the noise reduction effect all 20 filters by combining Low Pass Filter (LPF) 5 kinds, High Pass Filter(HPF) 4 kinds, Median Filter(MF) 11 kinds. Noise is added to reduce noise and minimize the quality degradation in medical imaging system. We also compared Peak Signal to Noise Ratio(PSNR), Mean Square Error(MSE) for all the combinations of different filters. As a result, noise decrease appeared in the LPF 3*3#1 + HPF 3*3#1 + Vertical 3*1 of highest filter.

We confirmed noise reduction effect by applying the proposed filter combination in many fields of medical imaging applications.

Key Words : Peak Signal to Noise Ratio(PSNR), Mean Square Error(MSE)