

라플라시안 피라미드에서의 다중스케일 비선형 이득 조절을 이용한 DR 영상 개선

신동규, 이진수, 김성희, 박인성, 김동윤

연세대학교 보건과학대학 의공학과

(Received January 17, 2007. Accepted February 20, 2007)

DR Image Enhancement Using Multiscale Non-Linear Gain Control For Laplacian Pyramid Transformation

Dong-Kyu Shin, Jin-Su Lee, Sung-Hee Kim, In-Sung Park, Dong-Youn Kim

Department of biomedical engineering, college of health sciences, Yonsei University

Department of Biomedical Engineering, College of Health Sciences, Yonsei University, Wonju, Korea

Abstract

In digital radiography, to improve the contrast of digital radiography image, the multi-scale nonlinear amplification algorithm based on unsharp masking is one of the major image enhancement algorithms. In this paper, we used the Laplacian pyramid to decompose a digital radiography(DR) image. In our simulation, the DR image was decomposed into seven layers and the coefficients of the each layer was amplified with nonlinear function. We also imported a noise containment algorithm to limit noise amplification. To enhance the contrast of image, we proposed a new adaptive non-linear gain amplification coefficients. As a result of having applied to some clinical data, a detail visibility was improved significantly without unacceptable noise boosting.

Images that acquired with the proposed adaptive non-linear gain coefficients have shown superior quality to those that applied similar gain control method and expected to be accepted in the clinical applications.

Key words : digital radiography, laplacian pyramid, gaussian pyramid, non-linear gain function

1. 서 론

X-선 발견 이후 투영 방사선 촬영술은 스크린 필름 시스템이라는 아날로그 형태로 존재해 왔다. 20여 년 전 방사선 촬영술은 Computed Radiography라는 시스템에 의해 디지털 세상에 첫 걸음을 내딛게 되었으나 이 역시 카세트틀 기반으로 하는 기술로서 필름을 다루는 방식과 유사하여 방사선과의 작업 흐름이 크게 개선되지는 못하였다.

최근 평판 검출기(flat panel detector)의 발명으로 디지털 방사선 촬영술(Digital Radiography: DR)은 매우 우수한 화질을 제공하는 진단 디지털영상으로 발전하게 되었으며 이러한 디지털 방사선 촬영 시스템은 임상 환경에서 빠르게 확산되고 있다. 현재 디지털 X-선 시스템의 영상 처리 기능의 상당 부분은 영상의 대조도를

조정함으로써 진단에 도움을 줄 수 있는 영상의 정보들을 가시화하는 것을 다루고 있다. 이러한 영상 처리는 영상의 주파수 대역을 두 개 또는 세 개로 나누어 상대적으로 낮은 공간주파수 영역은 강화시켜 더 잘 보이도록 하는 방법을 사용해 왔다[1-6]. 이러한 영상 향상 방법들은 수년 동안 상당한 성능의 진전이 있었고 웨이블릿[7]이나 피라미드[8,9]와 같은 영상 분해 기술들로 인하여 더욱 발전하였다.

다중 스케일 기술은 영상을 여러 개의 주파수 채널로 분해하여 서로 다른 크기의 구조들을 각각 처리한다. 즉, 영상 분해를 통하여 서로 다른 크기의 구조들이 다른 스케일에서 나타나므로 이를 각각 처리하여 화질을 개선시키는 방법이다.

본 연구에서는 다중스케일 방법을 이용한 대조도 향상을 위해서 라플라스 피라미드를 사용하여 영상을 분해하고, 각 스케일의 계수들에 비선형 강화 함수를 적용하였다[10-14]. 이러한 영상 대조도 강화는 잡음에 민감하므로 잡음을 억제하기 위한 방법들도 알고리즘에 포함되었다.

이 논문은 2004학년도 연세대학교 매지 학술 연구비의 지원으로 수행되었음.

Corresponding Author : 김동윤

강원도 원주시 풍암면 매지리 234 연세대학교 의공학과

Tel : +82-33-760-2786 / Fax : +82-33-763-1953

E-mail : dongkim77@yonsei.ac.kr

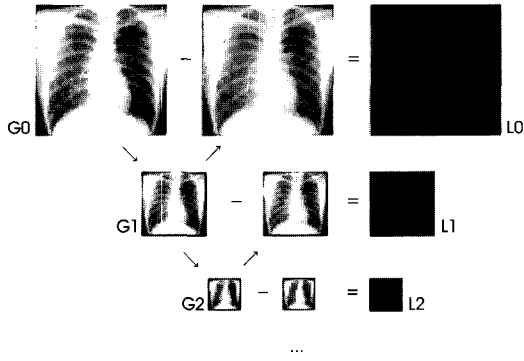


그림 1. 라플라스 피라미드 분해
Fig. 1. Analysis of Laplacian Pyramid

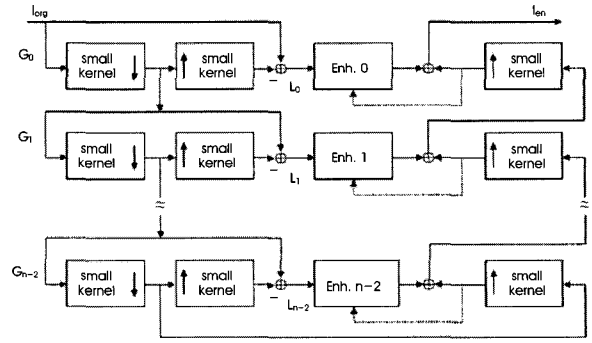


그림 2. 라플라스 피라미드를 이용한 대조도 강화
Fig. 2. Contrast enhancement by Laplacian Pyramid

II. 본 론

A. 다중 스케일 대조도 강화

웨이블렛이나 피라미드를 사용하여 영상을 분해한 후 각 스케일 에 대한 계수들을 조정하여 대조도를 강화시켜주는 방법이다. X-선 영상에서는 라플라스 피라미드가 대부분 적용되고 있으며 그림 1. 은 라플라스 피라미드의 분해 과정을 보여주며 그림2. 는 라플라스 피라미드를 이용한 대조도 강화 과정을 보여준다.

라플라스 피라미드를 사용하여 영상을 분해 및 합성할 때의 커널은 3X3 또는 5X5 크기의 가우시안 또는 이항(binomial) 필터가 제안되었다.[8] 각 라플라스 층의 계수들을 강화하기 위하여 적절한 값을 곱해주게 되는데 잡음 특성을 고려하여 급격한 기울기를 갖지 않고 부드럽으며, 모든 구간에서 연속인 비선형 함수들이 사용된다[11,12]. X-선 영상의 대조도를 향상시키기 위한 비선형 함수들은 보통 여러 개의 매개 변수를 가지며 이를 조절하여 대조도 향상과 잡음 억제 정도를 달리 할 수 있다. X-선 영상의 경우에는 촬영부위 및 자세별로 관찰하여야 하는 부분과 그 객체의 크기가 다르므로 이러한 비선형 함수들을 설계할 때 강화 및 잡음 조건

에 맞게 곡선을 조절할 수 있도록 고려되어야 한다. 그리고 촬영 부위 및 자세별 매개 변수들의 최적화 테이블을 작성하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 그림2. 와 같은 라플라스 피라미드를 사용하였으며 저주파 통과 필터로는 5X5 가우시안 커널을 사용하였다. 라플라스 피라미드 층은 7단계까지 분해하였다.

대조도 향상을 위하여 각 라플라스 층의 계수들을 조정하기 위한 비선형 함수를 설계하였다. 대조도 강화를 위한 비선형 함수는 영상의 잡음 특성을 고려하여 급경사가 없고 유연하여야 한다 [15]. 또한 매개 변수들의 조절을 통하여 잡음 및 대조도 증폭 정도와 동작범위 균등화(harmonization) 정도를 조절할 수 있어야 한다. 설계한 비선형 함수는 다음과 같다.

$$y(x) = \begin{cases} G_i M \frac{x}{c_0} \left(\frac{c_0}{M}\right)^{p_i} & : |x| < c_0 \\ G_i M \frac{x}{|x|} \left(\frac{|x|}{M}\right)^{p_i} & : c_0 \leq |x| \leq M \\ G_i x & : |x| \geq M \end{cases} \quad (1)$$

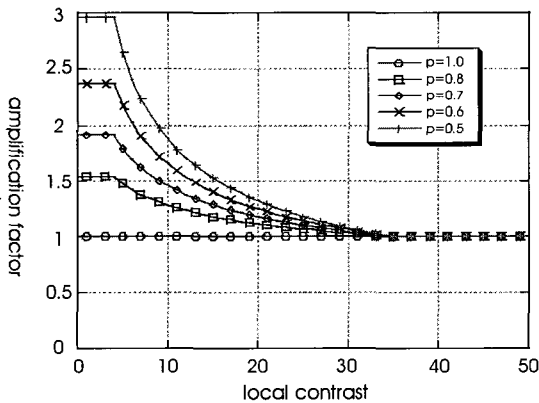


그림 3. 매개변수 p_i 에 따른 이득
Fig. 3. Gain function by parameter p_i

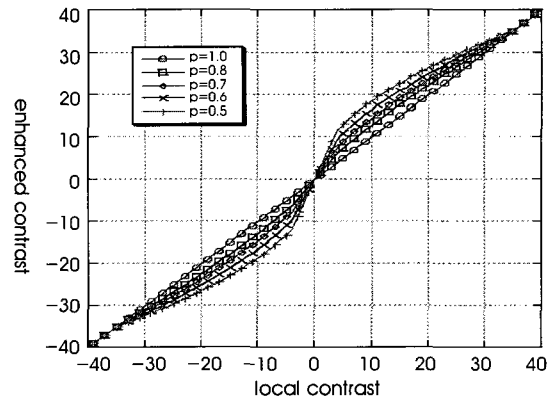


그림 4. 강화 함수의 그래프
Fig. 4. Graph of Enhancement Function

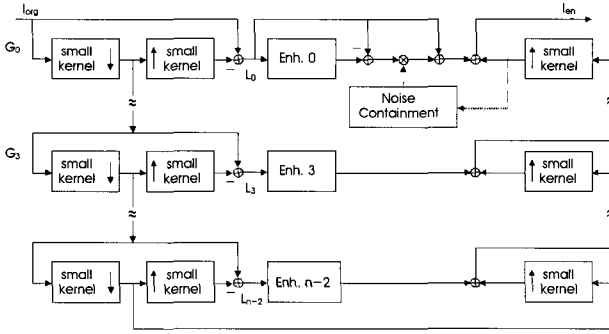


그림 5. 잡음 억제 알고리즘이 삽입된 다중 스케일 대조도 향상[13]
 Fig. 5. Multi-scale contrast enhancement with noise restrain algorithm

여기서 x 는 라플라스 층의 계수이고 $y(x)$ 는 강화된 계수들의 미하며, M 은 강화될 세부 대조도의 범위 조절을 위해, c_0 은 필요 이상의 잡음 강화 억제를 위해 사용될 수 있으며 $c_0 < M$ 이다. 그림3. 은 매개변수 p_i 에 따른 이득의 그래프를 나타내며 그림4. 는 강화 함수의 그래프를 보여준다. 이때 각각의 $c_0 = 4$, $M = 35$, $G_i = 1$ 이다.

본 연구에서는 설계한 함수의 여러 가지 매개변수를 변화하여 부위에 따른 대조도 증폭을 실험하였으며 Vuylsteke[11], Stahl [12]이 제안한 대조도 향상을 위한 비선형 함수와 결과를 비교하였다.

Vuylsteke가 제안한 비선형 함수는 다음과 같다.

$$y(x) = \begin{cases} aM \frac{x}{c_0} \left(\frac{c_0}{M}\right)^p & : |x| < c_0 \\ aM \frac{x}{|x|} \left(\frac{|x|}{M}\right)^p & : |x| \geq c_0 \end{cases} \quad (2)$$

이때 x 는 라플라스층의 계수, $y(x)$ 는 강화된 계수, a 는 증폭

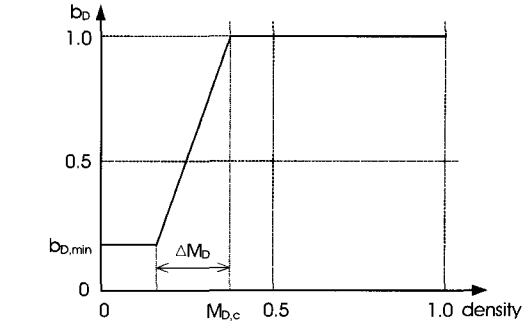
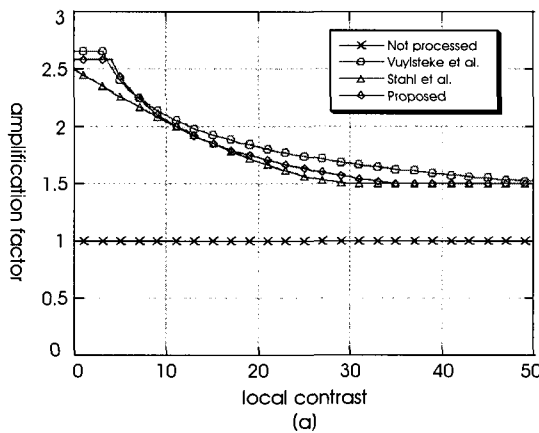


그림 7. (a) 대조도 강화를 위한 이득함수 (b) 대조도 강화를 위한 증폭함수

Fig. 7. (a) Gain function for contrast enhancement (b) Amplification function for contrast enhancement

그림 6. 영상의 농도에 따른 잡음 억제를 위한 LUT[13]
 Fig. 6. LUT for noise restrain at each density

factor, M 은 강화될 세부 대조도의 범위를 결정하기 위해 사용된다. Stahl이 제안한 비선형 함수는 다음과 같다.

$$y(x) = CF_i(x) \times x$$

여기서,

$$CF_i(x) = \begin{cases} G_i \left(1 - \frac{|x|}{c_0}\right)^{p_i} + CF_i & : |x| \leq c_0 \\ CF_i & : otherwise \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $CF_i(x)$ 는 증폭 함수를 나타내며 x 는 라플라스층의 계수를 나타낸다. $CF_i(x)$ 는 $-c_0$ 에서 c_0 사이에서만 다른 값들을 갖고 나머지 영역에서는 일정한 값을 가지며, G_i 는 매끄러운 변화에 영향을 준다.

B. 잡음억제 알고리즘

다중 스케일 대조도 향상 알고리즘에 Stahl이 제안한 잡음 억제 알고리즘을 적용한다[13].



그림 8. (a) 원영상 (b) Vuysteke 알고리즘 (c) Stahl 알고리즘 (d) 제안된 알고리즘
 Fig. 8. (a) Original image (b) Vuysteke Algorithm (c) Stahl Algorithm (d) Proposed algorithm

잡음 억제 알고리즘은 잡음 억제의 기준을 영상의 농도(density)에 따라 결정하며, 라플라스 층의 계수 증폭 후에 원 영상의 농도를 기반으로 한 잡음 억제 값($b \leq 1$)을 증폭 량에 곱해주는 과정을 거치게 된다.

그림 5. 는 잡음 억제 알고리즘이 삽입된 다중 스케일 대조도 향상 알고리즘을 보여주고 있으며 그림 6. 은 영상의 농도에 따른 잡음 억제를 위한 LUT를 보여주며, 세 개의 변수 $b_{D, \min}$, ΔM_D , $M_{D, c}$ 를 조절하여 잡음 억제 정도를 결정한다.

III. 결과 및 토의

A. 제안된 비선형 증폭 함수 비교

그림 7(a)와 (b)는 대조도 향상을 위해 제안한 이득함수와 이에 대한 비선형 증폭 함수를 Vuylsteke[11], Stahl[12] 이 제안한 함

수들과 비교한 그래프이다. Not processed는 증폭을 하지 않은 이득이 항상 1인 함수를, Vuysteke가 제안한 함수는 $a=1, M=400, c_0=3, p=0.8$, Stahl이 제안한 함수는 $G_i=1, p=1.5, CF_i=1.5, c_0=30$, 제안된 함수는 $G_i=1.5, M=35, c_0=4, p=0.75$ 를 각각의 매개변수로 사용하였다. 제안된 이득 및 증폭 함수는 Vuysteke, Stahl이 제안한 함수들과 유사한 특징을 보임을 확인할 수 있다.

B. 영상에 적용한 결과

그림 8. 은 매개 변수를 사용한 증폭 함수를 Ankle Mortis view 영상에 적용해 본 그림이다. 원 영상(a)에 비하여 (b),(c),(d) 영상들은 대조도 및 세부 구조의 가시화가 향상되는 것을 볼 수 있다.

그림9. 는 그림 8. (a) 영상의 선 A와 B의 단면을 보여준다.

(a)와 (c)는 선의 전체 단면을 보여주고, (b)와 (d)는 각각 그 일부를 확대한 단면을 보여주고 있다. 두 선의 단면 모두 다중스케일

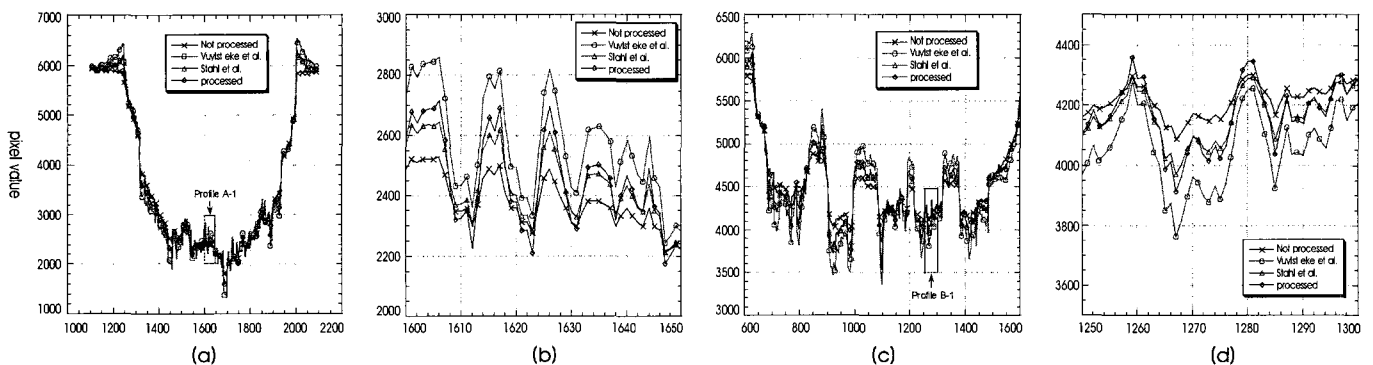


그림 9. (a) 선 A의 전체 단면, (b) (a)의 일부를 확대한 단면
 Fig. 9. (a) Density of line A, (b) Expansion of a part of Fig. 9. (a)

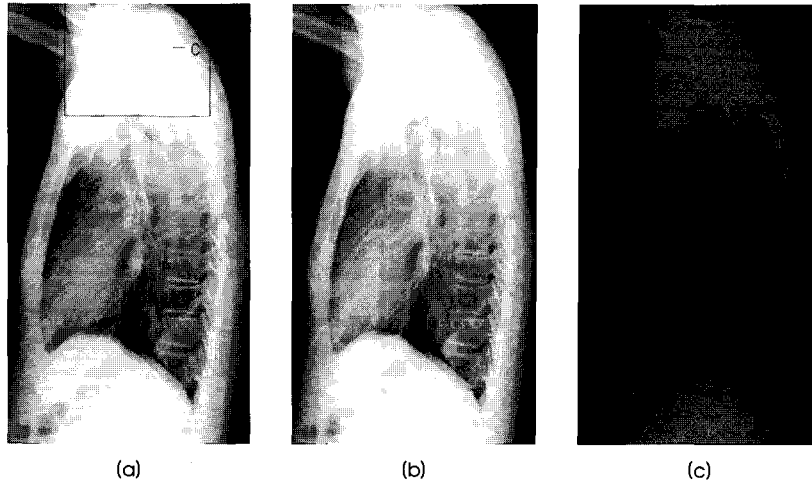


그림 10. (a) 잡음억제 비적용 (b) 잡음억제 적용 (c) 두 영상의 차이 영상

Fig. 10. (a) Not applied noise restrain algorithm (b) Applied noise restrain algorithm (c) Difference of Fig10 (a) and (b)

대조도 향상 알고리즘 처리를 한 영상들은 원 영상보다 세부 대조도가 눈에 띄게 향상된 것을 알 수 있다. 또한 제안된 알고리즘을 적용한 영상의 선 단면은 다중스케일 알고리즘을 적용한 영상의 동일한 부분의 선 단면들과 유사한 형태를 갖는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 다중 스케일 대조도 향상 알고리즘에 잡음 억제 알고

리즘을 추가하여 Chest Lateral view 영상에 적용한 결과를 보여 준다. ($G_i=1.5, c_0=4, p=0.7, M=30, M_{D,c}=0.3, \Delta M_D=0.15, b_{D,min}=0.3$) 그림 10 (a)는 다중스케일 알고리즘을 적용한 것이고 그림 10 (b)는 잡음 억제 알고리즘을 추가한 결과이고 그림 10 (c)는 두 영상의 차이를 보여주며 낮은 농도 부분에서 잡음 억제 효과가 나타난 것을 알 수 있다.

그림 11은 그림 10 (a)의 선 C의 단면을 보여주고 있다.

그림 12는 그림 10 (a)의 영상에 포함되어있는 상자영역을 확대하여 보여주고 있다. 이 영역은 X-선 투과량이 상대적으로 낮은 부분으로서 농도가 낮고 대조도 증폭을 하였을 때 잡음이 증폭되는 폭이 상대적으로 큰 부분이다. 그림 12 (a)의 원 영상과 비교해 보았을 때 그림 12 (b)에는 눈에 거슬리는 잡음이 포함된 반면 그림 12 (c)의 잡음 레벨은 수용 가능한 정도이다. 표 1은 그림 10 (a)에 표시되어

표 1. 잡음 억제 알고리즘의 효과

Table 1. Effect of noise restrain algorithm

	ROI 평균	ROI 표준편차	표준편차 증가율(%)
대조도 향상 적용	3572.8	81.42	45.4
대조도 향상 및 잡음 억제 적용	3573.1	63.67	13.7

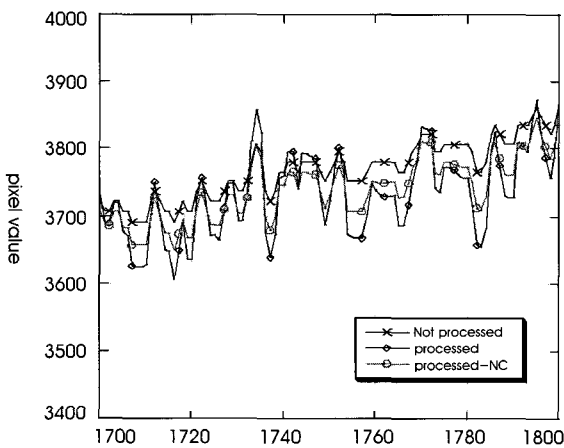


그림 11. 그림 10. (a)의 선 C의 단면

Fig. 11. Density of line C of Fig. 10. (a)

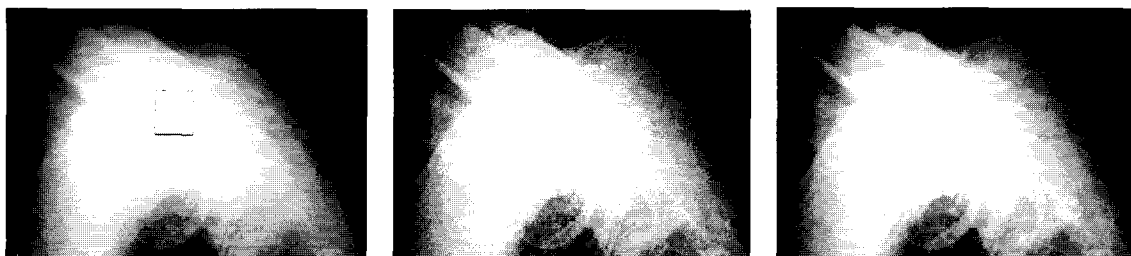


그림 12. (a) 원 영상 (b) 잡음억제 비적용 (c) 잡음억제 적용

Fig. 12. (a) Original Image (b) Not applied noise restrain algorithm (c) Applied noise restrain algorithm

있는 ROI 영역에 대한 통계치를 보여준다. 잡음 억제 알고리즘을 적용하지 않았을 때와 적용했을 때 평균은 거의 같으나 표준편차가 줄어드는 것을 볼 수 있으며 잡음 제거의 효과가 있다고 할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 디지털 X-선 영상의 대조도 향상을 위해서 다중 스케일 대조도 강화를 위한 비선형 함수를 제안 하였다. 또한 잡음이 증폭되는 것을 억제하기 위한 잡음 억제 알고리즘을 구현 하였다. 본 알고리즘은 라플라스 피라미드를 기본으로 하여 하나의 영상을 7개층으로 분해하고, 각 층의 계수들을 비선형 함수를 사용하여 적절한 수준으로 강화시키며, 잡음 억제 알고리즘을 포함하고 있어서 낮은 농도 영역의 잡음을 적정 수준으로 제한시켜 주었다. 이를 임상 데이터에 적용한 결과 과도한 잡음 증가 없이 국소 세부 구조의 가시화가 향상 되었음을 관찰할 수 있었다. 실제 디지털 X-선 영상을 임상에 적용할 경우 부위별로 강조되어야 하는 입자의 크기가 다르고 관심 분야가 다르기 때문에 방사선 전문의를 동반한 촬영 부위별 매개변수 테이블에 대한 연구가 필요하다. 또한 매개 변수 테이블을 작성할 때에는 잡음이 증폭되지 않는 방향으로 조심스럽게 조정되어야 하므로 상당한 주의를 요구한다.

본 연구에서 제안된 알고리즘을 이용해 디지털 X-선 영상에 적용한 결과 다른 알고리즘들과 유사한 수준의 훌륭한 질의 영상을 얻을 수 있었다. 이는 임상 환경에서도 적용 가능할 것으로 기대되며, 추후 임상 테스트를 통하여 임상 전문의와 함께 각 촬영 부위별 최적의 매개 변수를 선정하는 것에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] M Prokop, CM Schaefer, JW Oestmann, M Galanski, "Improved parameters for unsharp mask filtering of digital chest radiographs," *Radiology*, vol.187, pp.521-526, 1993.
- [2] HP McAdams, GA Johnson, SA Suddarth, RH Sherrier, CE Ravin, "Implementation of adaptive filtration for digital chest imaging," *Optical Engineering*, vol.26, pp.669-674, 1987.
- [3] K Abe, S Katsuragawa, Y Sasaki, T Yanagisawa, "A fully automated adaptive unsharp masking technique in digital chest Radiograph," *Investigative Radiology*, vol.27, pp.64-70, 1992.
- [4] HP Mcadams, GA Johnson, SA Suddarth, CE Ravin, "Histogram-directed processing of digital chest images," *Investigative Radiology*, vol.21, pp.253-259, 1986.
- [5] LD Loo, K Doi, CE Metz, "Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 4 Effect of unsharp masking on the detectability of simple patterns," *Medical physics*, vol.12, no.2, pp.209-214, 1985.
- [6] TL Ji, MK Sundareshan, H Roehrig, "Adaptive image contrast enhancement based on human visual properties," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol.13, no.4, pp.573-586, 1994.
- [7] AN Akansu, RA Haddad, *Multiresolution Signal Decomposition*, Academic, Boston, 1992.
- [8] PJ BURT, EH ADELSON, "The laplacian pyramid as a compact image code," *IEEE Trans. Commun.*, COM-31, pp.532-540, 1983.
- [9] EH Adelson, CH Anderson, JR Bergen, PJ Burt, JM Ogden, "Pyramid methods in image processing," *RCA Engineer*, vol.29, pp.33-41, 1984.
- [10] AF Laine, J Fan, S Schuler, "Discrete dyadic wavelet transform for contrast enhancement," *SPIE* vol.2303, pp.456-460, 1994.
- [11] P Vuylsteke, EP Schoeters, "Multiscale image contrast amplification (MUSICA)," in *Proc. SPIE*, vol.2167, pp.551-560, 1994.
- [12] M Stahl, T Aach, TM Buzug, S Dippel, U Neitzel, "Noise-resistant weak-structure enhancement for digital radiography," in *Proc. SPIE*, vol.3661, pp.1406-1417, 1999.
- [13] M Stahl, T Aach, S Dippel, "Digital radiography enhancement by nonlinear multiscale processing," *Medical physics*, vol.27, no.1, pp.56-65, 2000.
- [14] C Fivez, P Vuylsteke, P Wambacq, P Suetens, E Schoeters, "Multi-resolution contrast amplification in digital radiography with compensation for scattered radiation," *IEEE*, vol.1, pp.339-342, 1996.
- [15] T Aach, "Spectral transform-based nonlinear restoration of medical images: Algorithms and a comparative evaluation," *SPIE*, vol.3646, pp.270-280, 1999.