

이중 센서를 이용한 DR 영상 개선에 관한 연구

백승권* 이태수* 민병규**

*서울대 제어계측공학과 **서울대 의공학교실

A STUDY ON DR IMAGE RESTORATION USING DUAL SENSOR

S.K.PAEK* T.S.LEE* B.G.MIN**

*Dept. of Control & Instrumentation Eng., Seoul Natl. Univ.

**Dept. of Biomedical. Eng., Seoul Natl. Univ.

Abstract

Image restoration technique using dual sensor is presented in this paper. Digital Radiography image (1024x1024) is obtained by conventional resolution sensor. We also obtain local DR image data by high resolution sensor. Two dimensional maximum entropy power spectrum estimation (2-D ME PSE) is applied to low resolution image and high resolution image for the purpose of the power spectrum estimation of each image. A class of linear algebraic restoration filter, parametric projection filter (PPF), is derived from the power spectrums of each image. It is shown that the noise energy may be considerably reduced through the PPF.

1. 서론

Digital Radiography System(DR System)은 광다이오드 소자(photo-diode) 또는 기타의 변환소자를 이용하여 X-선을 전기적인 신호로 변환시킨 후 digital computer에 연결시켜 영상을 얻는 장치이다. 본 논문에서 사용된 DR System은 0.6mm의 화소(pixel)간의 간격을 갖는 광다이오드 소자 32개(32 element/chip)를 선형으로 배열하여 1024x1024의 해상도를 갖는 영상을 얻는다. [1] 이러한 DR System에 화소간의 간격이 0.025mm로서

높은 해상도를 가지며, 또한 높은 신호대 잡음비(SNR)를 갖는 고해상도 광다이오드 소자(high resolution sensor)를 사용하여 고해상도의 국부 영상을 같은 영역에 대해 동시에 얻었다. 그림3은 고해상도와 저해상도 센서(dual sensor)에 의해 얻게되는 영상의 영역을 나타낸다. DR System에서 고해상도 광다이오드 소자로서 얻은 영상은 잡음이 없는 원 영상(original image)으로, 저해상도 광다이오드 소자로서 얻은 영상은 잡음이 섞인 영상(blurred image)으로 각각 생각할 수 있다. 그러므로 고해상도 영상과 저해상도 영상의 power spectrum을 각각 구하고, 이것을 이용하여 Filter를 설계하면, 영상의 해상도(resolution)와 신호대 잡음비(SNR)를 향상시킨다. 본 논문에서는 고해상도 영상과 저해상도 영상의 power spectrum을 구하기위해 이차원 maximum entropy power spectrum estimation (2-D ME PSE)방법을 이용하였다.[2], [3],[4] 2-D ME PSE 방법에 의해 구한 고해상도 영상과 저해상도 영상의 power spectrum을 이용하여, Projection Filter를 Projection Operator의 변동에 강하도록 변형시킨 parametric projection filter (PPF)를 설계하였다.[5] PPF를 1024x1024의 저해상도 영상에 적용하여 해상도와 SNR을 개선하였다.

2. ME PSE

entropy의 정의는

$$H1 = \int \log S(f) df \quad - (1)$$

$$H2 = \int S(f) \log S(f) df \quad - (2)$$

두 가지가 있다. [3] 이때 $S(f)$ 는 신호의 power spectrum이다. H1의 정의를 이용한 ME PSE 알고리즘을 MEM1[2], H2의 정의를 이용한 ME PSE 알고리즘을 MEM2라고 한다. [3] 두 알고리즘의 기본적인 방법은 같으므로 MEM1에 대해 알아본다. [2]

먼저 이차원 영상 $X(n1, n2)$ 에 대한 자기상관함수 (autocorrelation function)를 $R_x(n1, n2)$, power spectrum을 $P_x(w1, w2)$, power spectrum이 $1/P_x(w1, w2)$ 가 되는 자기상관함수를 $L(n1, n2)$, $R_x(n1, n2)$ 를 알고있는 $(n1, n2)$ 의 집합을 A라 한다. $R_x(n1, n2), (n1, n2) \in A$ 가 주어졌을 때

$$P_{ntropy} H = \int \log P_x(w1, w2) dw1 dw2 \quad - (3)$$

를 최대로 하고,

$$R_x(n1, n2) = IF[P_x(w1, w2)], (n1, n2) \in A \quad - (4)$$

IF: 역 푸리에 변환 (inverse DFT)

를 만족하는 $P_x(w1, w2)$ 를 구하는 것이다. 따라서

$$dH/dR_x(n1, n2) = 0, (n1, n2) \in A \quad - (5)$$

가 된다. 이때

$P_x(w1, w2)$

$$= 1 / \sum_{n1=-p0}^{\infty} \sum_{n2=-p0}^{\infty} L(n1, n2) \exp(-jw1n1) \exp(-jw2n2) \quad - (6)$$

로 나타낼 수 있고, $L(n1, n2)$ 와 $P_x(w1, w2)$ 를 반복적인 (iterative) 방법으로 구하므로써 정확한

$P_x(w1, w2)$ 를 구하게 된다. 즉

$$P_x(w1, w2) = F[R_y(w1, w2)] \\ = \sum_{n1} \sum_{n2} R_y(n1, n2) \exp(-jw1n1) \exp(-jw2n2) \quad - (7)$$

$$1/P_y(w1, w2) = F[L(n1, n2)] \\ = \sum_{n1} \sum_{n2} L(n1, n2) \exp(-jw1n1) \exp(-jw2n2) \quad - (8)$$

F: 푸리에 변환 (DFT)

로 표현하면 (4), (6)식으로 부터

$$L(n1, n2) = 0, (n1, n2) \notin A \\ R_y(n1, n2) = R_x(n1, n2), (n1, n2) \in A \quad - (9)$$

인 $P_y(w1, w2)$ 를 정확하게 구할 수 있다. 그림1.은 ME PSE algorithm를 나타낸다. 그림1.에서 DFT length, $L(n1, n2)$ 와 $R_y(n1, n2)$ 의 초기치 결정, a와 b의 결정, 수렴성의 판단 기준등이 중요한 결정요소가 된다. [2], [3]

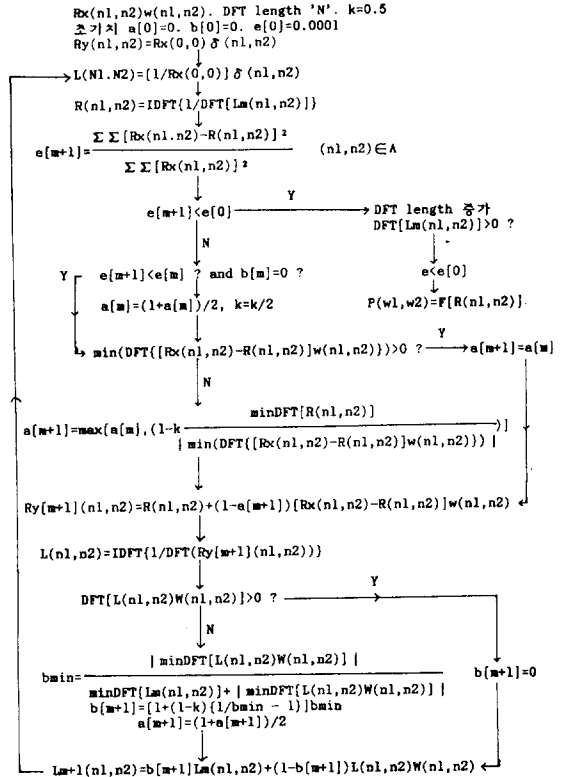


그림1 2-D ME PSE

3. Parametric Projection Filter

영상을 (1), (2)식과 같이 표현할 수 있다. [5]

$$g = Af + n \quad - (1)$$

$$f1 = Bg \quad - (2)$$

f: 원 영상, g: 관찰되는 잡음성인 영상
f1: 필터를 통과하여 개선된 영상, n: 잡음,
A: degraded operator, B: restored operator
(1), (2)로부터 f1은 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$f1 = BAF + Bn \\ = f1(i) + f1(n) \quad - (3)$$

f1(i): 영상 성분, f1(n): 잡음 성분

Constraint Least Square 필터 [5]에서는

$$\|g - Af\|^2 = E \|n\|^2 \quad - (4)$$

$\| \cdot \|$: norm, E: mean

을 최소화하지만, 실제로 (2)식에서 f1을 구하기 위해서는 g에 B를 곱하게 되므로 $E \|Bn\|^2$ 을 최소화하는 것이 정확하다. [6]에서 제안한 projection filter (PF)는 A^* 를 A의 adjoint

operator라 하고 A^* 에 대한 orthogonal projection operator를 P라 했을 때, 즉 $BA=P$ 일때

$$\|f1-Pf\|^2 = E \|Bn\|^2 = \text{tr}(BQB^*) \quad - (5)$$

Q: 잡음의 covariance

를 최소화하는 B를 구하게 된다. PF에서 구한 B는 (6)식과 같다.[7]

$$B = (A^*Q^{-1}A)A^*Q^{-1} \quad - (6)$$

하지만 BA와 P의 차이가 작을 때 $E \|Bn\|^2$ 이 급격히 작아 질 수 있으므로, [5]에서는 $BA=P$ 라는 조건이 필요한 PF를 변경시킨 parametric projection filter(PPF)를 제안하였다.

BA와 P의 차이를 (7)로 정의했을 때

$$\|P-BA\|^2 = \text{tr}[(P-BA)(P-A^*B^*)] \quad - (7)$$

(5)와 (7)식으로부터 얻은

$$\text{tr}[(P-BA)(P-A^*B^*)] + \mu \text{tr}(BQB^*) \quad - (8)$$

(8)식을 최소화하는 B를 결정하는 것이 PPF이다.

여기서 $\mu(>0)$ 는 가중치이다.PPF로부터 구한 B는 다음의 (9)식을 만족한다.

$$B(AA^* + \mu Q) = A^* \quad - (9)$$

(1)식의 잡음성분 n만을 고려하는 일반적인 필터와는 달리, PPF에서는 degraded operator A도 고려하여 실제적인 잡음을 모두 감소시키는 장점이 있다.

이중 센서를 가지는 DR 시스템에서 ME PSE와 PPF를 이용하여 영상 개선을 하는 전체적인 알고리즘의 흐름도는 그림2.와 같다.

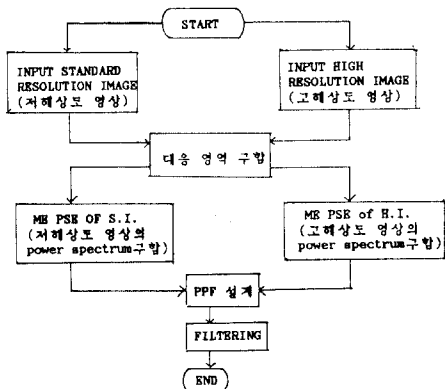


그림.2 전체 알고리즘의 흐름도

4. 실험 결과

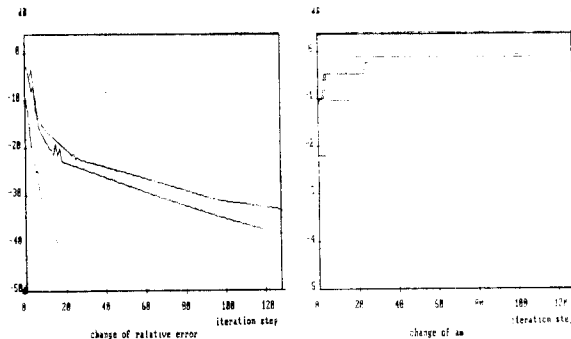
이중 센서를 가지는 DR 시스템에서 1024X1024의 해상도를 가지고 전체 영역을 촬영한 DR 영상(저해상도 영상)과 고해상도, 고신호대 잡음비를 가지며 국부 영역만을 촬영한 영상(고해상도 영상)을 그림.3에 나타내었다. 그림3.의 각 영상으로부터 구한 power spectrum 으로 부터 PPF를 구성하고, 저해상도 영상을 필터링한 결과 영상을 그림4.에 나타내었다. 필터링후 신호대 잡음비가 향상되는 것을 알 수 있다. 영상의 power spectrum을 구하기위해 MEM1 iterative algorithm을 적용했을 때 각 iteration step에 나타나는 변수(parameter)들의 변화를 그림5.에 나타내었다.



그림.3 우:저해상도 영상 좌:저해상도 영상의 일부에 해당하는 고해상도 영상



그림.4 좌: 필터링후의 결과 영상 우: 필터링전의 저해상도 영상



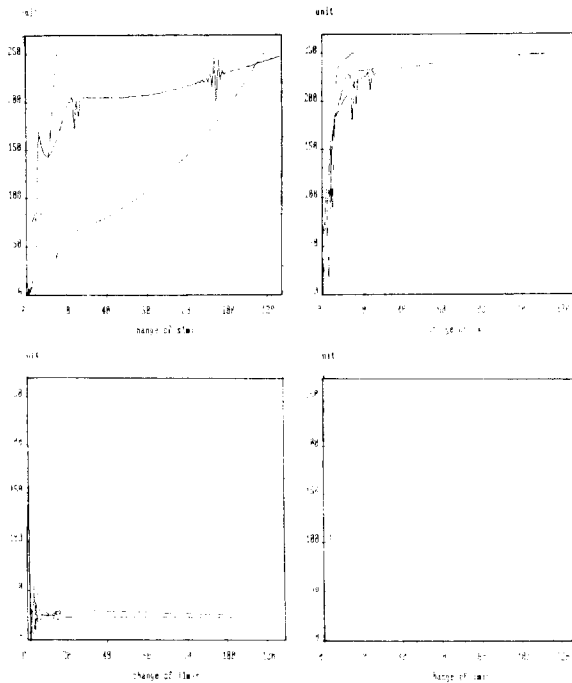


그림.5 MEM1 Algorithm의 parameter 변화

5. 결론

본 논문에서는 고해상도 센서와 저해상도 센서(dual sensor)를 사용하여 국부적인 영상을 얻고 각각의 영상에 ME PSE에 의한 power spectrum을 구한 후, 그것을 이용하여 PPF를 설계하였다. 저해상도 영상에 PPF를 적용한 결과, SNR 및 해상도가 향상됨을 보였다. ME PSE에 의한 power spectrum을 구하는 과정에서 power spectrum이 positive definite한 값이 되도록 하기 위한 a, b 변수의 결정방법과, 해상도와 SNR사이의 상반관계(trade-off)를 최적화하는 문제등이 개선되어야 할 사항이다. Dual sensor system에서는 정확한 사전정보 즉, 고해상도 영상을 알고 있기 때문에 영상 개선이 용이하다는 장점이 있다. 앞으로는 고해상도 영상에 PPF를 적용하여 얻은 영상을 사전정보로 하여, 더욱 정확한 최적 필터 PPF를 설계하는 반복적인 개선방법(iterative restoration)의 연구도 바람직하다고 본다.

6. 참고 문헌

- [1] 만병구, 박광석의 디지털 라디오그래피 시스템의 개발에 관한 연구. 과학 기술저 제출 보고서, 서울대학교 의과대학, 1985
- [2] A New Algorithm for Two-Dimensional Maximum entropy power spectrum estimation. IEEE Trans. on ASSP, pp401-413, June 1981
- [3] An iterative algorithm for power spectrum estimation in the maximum entropy method. IEEE Trans. on ASSP, vol.36, Feb. 1988
- [4] Image restoration by a power maximum entropy method. CVGIP 23, pp113-128, 1983
- [5] Parametric projection filter for image and signal restoration. IEEE Trans. on ASSP, vol. ASSP-34, Dec 1986
- [6] Projection filter restoration of degraded image, in Proc, 7th Int. Conf. Pattern Recognition, Montreal, P.Q., Canada, July 1984
- [7] Projection filter, Wiener filter, and Karhunen-Loeve subspaces in digital image restoration, T. Math. Anal. Appl. vol. 114, pp. 37-51, Feb. 1986