

이중 에너지 방법을 이용한 인체 내 물질의 분리

○ 신 동익^{**} 김 종효^{**} 구 본호^{**} 박 광석^{**} 민 병구^{**}
 서울 대학교 의대 의공학 교실, 공대 제어계측 공학과

Seperation of tissue and bone imaging using dual energy method

D.I. Shin, J.H. Kim, B.H. Koo, K.S. Park, B.G. Min
 Dept. of Control & Instrumentation, Dept. of Biomedical Eng.
 Seoul National University

ABSTRACT

Bone and tissue, the major components of human body, can be separated by Dual Energy Method.

We present a basic idea to this technique, and discuss the experimental procedure and result.

The basic system is the Digital Radiography System which was developed in Dep. of Biomedical Eng. in Seoul National University Hospital.

살펴보고 디지털 라디오그래피 시스템에서 얻은 X-ray 영상들에 대해 이 방법을 적용하는 과정 및 결과를 논의하고자 한다.

II. 이 론

1. X-ray 의 에너지 및 전자 번호와 감쇠 계수와의 관계

일정한 세기를 지닌 X-ray 가 물질을 투과할 때 그 세기는 두께에 따라 지수적으로 감소한다. 이를 간단한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1)$$

I_0 는 투과 전의 세기이고 I 는 x 두께만큼 투과 후의 세기이다. 그리고 μ 는 비례 상수로서 X-ray 의 에너지와 물질의 종류에 따라 다르다. 따라서 (1) 식을 좀 더 자세히 기술하면 다음과 같다.

$$I = \int_0^x S(E) \exp(-\int_0^x \mu(E) dx) dB \quad (2)$$

여기서 $S(E)$ 는 X-ray 의 스펙트럼이다.

I. 서 론

알루미늄과 플라스틱이 겹쳐 있는 물체를 기존의 X-ray 영상법으로 촬영해 보면 플라스틱의 모양을 제대로 구분하기가 어렵다. 알루미늄과 플라스틱의 위도차가 크기 때문이다.

이와 같은 이유로 인체를 X-ray 로 투사했을 때 뼈에 겹쳐진 부분의 연조직이나 상대적으로 두꺼운 연조직 근방의 뼈는 구분이 어렵게 된다. 이같은 난점은 이중 에너지 방법을 적용하면 해결할 수 있다.

이상적인 이중 에너지 방법은 원하는 물질만에 대한 영상을 얻을 수 있다. 이것은 결국, 앞서 예 들 든 알루미늄과 플라스틱을 각각의 영상으로 구분하여 관찰할 수 있음을 의미한다.

따라서 기존의 X-ray 영상법보다 많은 정보를 얻을 수 있으므로 각종 질병으로 인한 조직의 미세 변화를 조기에 검출할 수 있는 능력이 향상된다.

본 논문에서는 이중 에너지 방법의 이론적 배경을

2. 기본 물질의 분리

두 가지 물질 1, 2 가 있을 때, 각 물질의 감쇠

계수를 $\mu_1(E)$, $\mu_2(E)$ 라 하면,

$$\log(I_0/I)_E = \mu_1(E)*t_1 + \mu_2(E)*t_2 \quad (3)$$

편의상 로그 감쇄 $\log(I_0/I)_E$ 를 $M(E)$ 로 정의하면,
두 에너지 E_1, E_2 에 대하여,

$$M(E_1) = \mu_1(E_1)*t_1 + \mu_2(E_1)*t_2 \quad (4.1)$$

$$M(E_2) = \mu_1(E_2)*t_1 + \mu_2(E_2)*t_2 \quad (4.2)$$

여기서 $M(E_1), M(E_2)$ 은 측정값이고 $\mu_i(E)$ 값들은 알 수 있으므로 물질 1, 2 의 등가 두께를 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_1(E_1) & \mu_2(E_1) \\ \mu_1(E_2) & \mu_2(E_2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M(E_1) \\ M(E_2) \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$(5.2)$$

3. 임의 물질의 합성

(5) 식에서 $\mu_i(E)$ 값들은 물질의 종류에 따라 일정하게 변한다. 따라서 t_1, t_2 가 물질에 따라서 독립임을 알 수 있다. 이 t_1, t_2 를 2 차원 벡터의 베이스로 잡으면 임의 물질에 대한 등가 두께는 이 벡터 공간에 적절한 각도를 갖는 또 하나의 벡터에 정사영을 함으로써 구할 수 있게 된다.

(그림 1.)

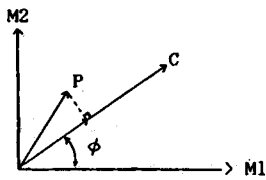


그림 1. 벡터의 합성

III. 실험 방법

1. 모델식의 설정

기본 물질을 알루미늄과 플라스틱으로 정하면 각 물질의 등가 두께는 높은 에너지와 낮은 에너지의

X-ray 영상 데이터로부터

$$t_{M1} = f(\log(I_0/I)_{E_1}, \log(I_0/I)_{E_2}) \quad (6.1)$$

$$t_{M2} = g(\log(I_0/I)_{E_1}, \log(I_0/I)_{E_2}) \quad (6.2)$$

로 나타낼 수 있다. 함수 f, g 는 이상적으로는 로그 감쇄량의 일차 함수가 될 것이 예상되나 X-ray 의 파장이 단일하지 못한 점, 코히어런트 산란, 시스템의 비선형성 등의 요인에 의해 비선형 함수가 된다. 따라서 높은 차수의 보정항을 삽입하여 다음과 같이 함수 f, g 를 가정하였다.

$$f = a_0 + a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_1^2 + a_4D_2^2 + a_5D_1D_2 + a_6D_1/D_2 + a_7D_2/D_1 + a_8D_1^3 + a_9D_2^3 \quad (7.1)$$

$$g = p_0 + p_1D_1 + p_2D_2 + p_3D_1^2 + p_4D_2^2 + p_5D_1D_2 + p_6D_1/D_2 + p_7D_2/D_1 + p_8D_1^3 + p_9D_2^3 \quad (7.2)$$

$$D_1(x, y) = \log(I_0/I(x, y))$$

$$D_2(x, y) = \log(I_0/I(x, y))$$

각 함수의 계수 a_i, p_i 는 두께를 알고 있는 알루미늄과 플라스틱의 조합으로부터 데이터를 얻고, 그 데이터로부터 추정한다. 실험에서는 가로 방향으로 5mm 두께의 아크릴 판 17 장을 계단형으로 쌓고, 다시 세로 방향으로 2mm 두께의 알루미늄 판 8 장을 계단형으로 쌓아서 총 18 X 9 개의 조합이 나타나도록 하였다. 여기에서 얻은 데이터로부터,

$$S_a = \sum_j \sum_j (\hat{f}_j - j)^2 \quad (8.1)$$

$$S_p = \sum_j \sum_j (\hat{g}_j - j)^2 \quad (8.2)$$

각 계수 a_i, p_i 에 대하여 위의 오차량이 최소화되려면

$$\frac{\partial S_a}{\partial a_i} = 0, \quad \frac{\partial S_p}{\partial p_i} = 0 \quad (9)$$

위를 행렬식으로 만들어서 풀면 원하는 함수 f, g 의 계수들을 구하게 된다.

표 1. 에 이와 같은 방법으로 구한 계수들을

나타내었다.

2. Basis Image 의 구성

이중 에너지 방법을 적용하고자 하는 물체에 대해 높은 에너지와 낮은 에너지로 영상을 얻은 다음 각 화소에 대해 위의 함수를 적용하여 알루미늄, 플라스틱의 등가 영상을 구하고 이것을 Basis Image 로 이용한다.

표 1. 함수 f, g 의 계수들

i=	0 / 5	1 / 6	2 / 7	3 / 8	4 / 9
ai /	1.96E0 2.32E2	9.94E0 -5.67E-2	7.64E0 -2.01E0	-1.30E0 7.68E0	-9.88E1 -1.24E1
bi /	1.39E0 -9.87E1	-9.13E0 -1.54E-1	4.92E0 -1.08E0	6.63E1 -5.40E0	2.76E1 8.93E0

3. 최종 영상의 구성

임의의 물질에 대한 등가 영상은 2 개의 Basis 의 선형 결합으로 나타낼 수 있다. 즉, 그림 1. 에서

$$C(x,y) = A(x,y)*\text{SIN}\phi + P(x,y)*\text{COS}\phi \quad (10)$$

ϕ 를 적절히 변화시키면 뼈와 연조직에 대한 등가 영상을 구할 수 있다.

이 실험에서 사용한 시스템은 서울 대학교 병원의 공학과에서 개발한 디지털 레디오그래피 시스템으로서 다음의 특징을 지니고 있다.

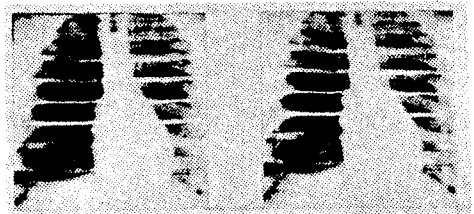
- . X-ray 영상 신호를 전기 신호로 변환
- . 4-Channel 의 A/D 변환기로 디지털화
- . 1024 Pixel 의 Sensor Array 로 Scanning (1024 X 1024)
- . 모든 제어 및 데이터는 컴퓨터가 곤함

IV. 결과

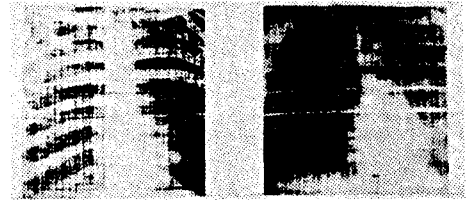
가정된 모델식의 각 계수들을 표 1. 에 나타내었다.

그림 1. 의 (가), (나) 는 인체 흉부 모형을 각각 높은 에너지(140kvp)와 낮은 에너지(70kvp)의 X-ray 를 이용하여 얻은 것이다.

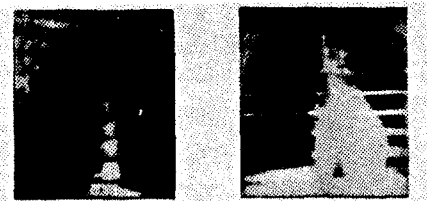
이중 에너지의 모델식에서 기본 물질로 알루미늄과



(가) 낮은 에너지(70kvp) 영상 (나) 높은 에너지(140kvp) 영상



(다)알루미늄 등가 영상 (라)플라스틱 등가 영상



(마)뼈의 등가 영상 (바)연조직의 등가 영상
결합 각도 $\phi = 95^\circ \quad 5^\circ$

사진 1. 원리의 영상 및 처리 후의 영상들

플라스틱을 가정하였는데 (다), (라) 는 이에 따라 (가), (나) 로부터 얻은 등가 영상이다. (마), (바) 는 (다), (라) 를 Basis Image 로 하여 둘을 선형 결합함으로써 얻은 뼈와 연조직의 등가 영상이다. 결합 각도 ϕ 는 각각 95° , 5° 이다. 이 결과로 보아 뼈의 감쇄 계수는 알루미늄과, 연조직은 플라스틱과 비슷함을 알 수 있다.

원래의 영상에서 뼈에 해당하는 부분이 연조직의 등가 영상에서는 약간 겹쳐 나타난 것은 뼈에 해당하는 부피만큼의 연조직이 없기 때문이다.

V. 결 론

이상의 과정에서 여러 물질로 이루어진 물체를 이중 에너지 영상법을 이용하여 두 가지의 기본 물질로 나타낼 수 있으며, 또한 원하는 물질의 영상을 기본 물질의 등가 영상들을 Basis 로 하여 선형 결합함으로써 얻을 수 있음을 보았다.

따라서 신체의 이상 조직에 나타날 수 있는 물질에 대한 등가 영상을 얻을 수 있게되어 진단이 훨씬 용이해진다.

특정 물질에 대한 등가 영상을 얻을 수 있다는 사실은 진단에 있어서 이중 에너지 영상법이 기존의 X-ray 영상법 보다 여러 가지 유리한 조건을 제공할 수 있음을 시사한다.

본 연구에서 드러난 한가지 문제점은 이중 에너지 영상법을 적용했을 때 SNR 이 저하된다는 점이다. SNR 의 저하는 영상들에 감산이나 기타 다른 연산을 가했을 때 필연적으로 나타나는 현상으로 이에 대해서는 Wiener 여파 등의 기법을 적용함으로써 해결해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. L.A. Lehmann, R.E. Alvarez, A. Macovski, and W.R. Brody "Generalized image combinations in dual Kvp digital radiography", Med. Phys. Vol 8, 1981
2. J. Heinzerling and M. Schlindwein, "Non-linear Techniques in Multi-spectral X-ray imaging", IEEE Trans. Nuclear Science Vol. NS-27 1980
3. Paul C. Johns, Dick J. Drost, Martin J. Yaffe, Aaron Feuster "Dual energy mammographic Imaging"
4. C.K. Wong, "Calibration procedure in dual energy scanning using the basis function technique", Med. Phys. 10(5). Sep/Oct 1983
5. 김 우식, "Wiener 여파기를 이용한 이중 에너지 화상의 복원에 관한 연구"..석사논문 1986 서울 대학교