

간 조직 초음파 신호의 cepstrum 분석

○ 김종원<sup>\*</sup> 각철은<sup>\*\*</sup> 서보석<sup>\*\*</sup> 민병구<sup>\*</sup>  
 서울대학교 의공학교실<sup>\*</sup>, 전자공학과<sup>\*\*</sup>

Cepstral Analysis of the Ultrasonic Signal  
 from the liver tissue

○ Jongwon Kim<sup>\*</sup> Cheoleun Kwark<sup>\*\*</sup> Bosuk Seo<sup>\*\*</sup>  
 Byoungoo Min<sup>\*</sup>

Dept. of Biomedical Eng. Seoul Natl. Univ.<sup>\*</sup>

Dept. of Electronic Eng. Seoul Natl. Univ.<sup>\*\*</sup>

Abstract

Cepstral analysis was performed on the ultrasonic echo signal from the tissue to achieve improvement on the estimation of the attenuation coefficient.

In this paper, the feasibility of the acquiring the structural information of the tissue was also included by same method with band pass lifter.

I. 서론

생체 조직으로부터 반사된 초음파 신호를 분석함으로써, 생체 조직 특성화(Ultrasonic Tissue Characterization) 연구가 가능하다. 인체의 간 조직을 대상으로 하는 초음파 생체 조직 특성화는 초음파 반사 신호의 스펙트럼으로부터 감쇠 계수를 추정하는 연구가 주로 이뤄져 왔다. 그러나 간 조직은 구조가 매우 복잡하여 반사 신호의 분석이 쉽지 않으며 랜덤 산란체(random scatterer)에 의하여 스펙트럼에 scalloping이 생긴다. 따라서 추정된 감쇠 계수가 의미있기 위해선 수많은 스캔(scan)을 통한 ensemble 평균이 이뤄져야 한다.

수많은 ensemble 평균의 필요성은 실제 임상에 적용할 경우 측정 시간 및 분석에 있어서 난점을 준다. 따라서 적은 수의 스캔을 가지고 좀 더 정확한 감쇠 계수를 추정할 수 있는 방법이 요구된다. 이러한 문제는 비파괴 검사시, 검사 시료가 랜덤 산란을 일으킬 경우에도 공통적으로 발생한다.

cepstrum을 이용한 homomorphic signal processing으로 위의 문제를 극복할 수 있는 음은 이미 알려져 왔다. [1,2] 그러나 실제 생체 신호에 관한 적용은 아직 그 연구가 미약한 상태이다. 따라서 본 논문은 cepstrum 분석을 통하여 초음파 감쇠 계수 추정에 대한 개선적 및 생체 조직의 구조적 특성의 분석에 관한 방법을 제시하였다.

II. 본론

1. cepstrum 분석

생체에서 반사되는 초음파 신호는 아래

와 같이 쓸 수 있다.

$$r(t) = U(t) * \sum_i A_i \delta(t - \tau_i) \quad (1)$$

이를 푸리에 변환(Fourier Transformation) 하여

$$R(\omega) = U(\omega) G(\omega) \quad (2)$$

$G(\omega)$ : scalloping 랜덤함수

을 얻을 수 있다. 이때  $R(\omega)$ 는 랜덤 함수  $G(\omega)$ 의 영향 때문에 그림2와 같이 scalloping이 생긴다. 이 때문에 그림3와 같이, 로그스펙트럼의 기울기에 많은 편차가 생겨, 결국 추정된 감쇠 계수가 부정확하게 된다. 이와 달리, 반사 신호  $r(t)$ 를 가지고, 그림1과 같은 순서로 cepstrum 분석을 한다. [4] 결과로  $U(\omega)$ 를 얻게 되며, 이것의 로그스펙트럼으로부터 감쇠 계수를 추정한다. 이 경우  $G(\omega)$ 는  $U(\omega)$ 보다 높은 quefrency 성분을 갖게 되어 비교적 낮은 quefrency 성분의 특성을 갖는 short pass lifter를 사용하면 된다. 실제로 위의 간 조직을 사용하여 얻은 반사 신호를 분석하여 보면  $G(\omega)$ 의 quefrency 성분은  $U(\omega)$ 의 경우보다 구별할 수 있을 만큼 높으나 때로는 약간 높은 quefrency 성분도 존재한다. 이 약간 높은 quefrency 성분은 위의 간 조직내에서 랜덤 산란체가 갖는 무작위도(randomness)가 균일하지(uniform)않음을 의미하며, 이는 위의 간 조직의 구조가 완전히 랜덤하지 않고 일정한 구조에 랜덤 산란체가 섞여 있음을 암시한다. 다시 말하여  $G(\omega)$ 가 주기적 함수의 특성을 띠게 되므로 그림7과 같이 cepstrum 분석시, 적절한 band pass lifter를 사용하여 간 조직의 구조적 정보를 얻을 수 있다.

2. 컴퓨터 모의 실험 및 결과

의학용 초음파 트랜스듀서의 입사 압력 함수를, 컴퓨터를 사용하여 만들고, 이를 cepstrum 분석하여 결과로 나타난 스펙트럼에 logarithm을 취한 다음, 로그스펙트럼의 기울기를 구한다. 이 기울기는 식(3)에서와 같이 감쇠 계수를 구하는데 직접 이용된다.

$$\alpha = \frac{\ln|S_i(f)| - \ln|S_o(f)|}{2df} \quad (3)$$

cepstrum 분석에 관한 컴퓨터 모의 실험을 통하여 로그스펙트럼의 기울기 변화를 살펴봄으로써 cepstrum 분석이 감쇠 계수 추정에 대한 영향을 살펴볼 수가 있다.

컴퓨터로 만든 입사 압력 함수를 시간 지연시켜 합하면, 합한 두 신호가 간섭을 일으켜, 스펙트럼이 그림10에서처럼 주기 함수에 의하여 갈라지게 된다. (그림9는 간섭하지 않은 입사 압력 함수의 스펙트럼이다). 이 간섭된 스펙트럼으로 기존의 스펙트럼 차분법에 의하여 로그스펙트럼의 기울기를 구하면 로그스펙트럼의 기울기는 간섭이 일어나지 않은 경우보다 큰 값을 나타내게 된다.

따라서 cepstrum 분석을 통하여 스펙트럼의 주기 성분을 제거한 후에, 로그스펙트럼의 기울기를 구한다. 그러나 cepstrum 분석중, lifter는 간섭에 의한 주기 성분을 제거시킬 뿐만 아니라 본래의 스펙트럼 신호도 변화시키게 되어 간섭에 의한 영향만을 제거하기가 불가능하다. 따라서 컴퓨터 모의 실험을 통하여 본래의 스펙트럼이 갖고 있던 로그스펙트럼의 기울기가 복원되기 위한 li-

fter를 찾아낸다. 그 결과, rectangular lifter의 band pass 크기가 cepstrum domain 에서 약 1/10 일때, 가장 좋은 효과를 얻었다. 그림11은 그림9의 스펙트럼을 1/10-rectangular lifter를 사용하여 cepstrum 분석을 한 후의 결과 스펙트럼이다. 이와 달리 그림12는 위의 lifter와 유사한 lifter를 사용하여, 간섭에 의한 주기 성분만을 뽑아낸 결과 스펙트럼으로 그 주기가 처음에 합한 두 신호 사이의 시간 지연에 해당된다.(그림 7 위의 스펙트럼 분석에서 liftering 과정으로 보여준다.) 이와 같이 초음파 간섭에 의한 스펙트럼의 변화가 실제로 생체 반사 신호의 scalloping 과는 다르지만 cepstrum 분석 방법은 유사하게 적용된다.

### 3. data 분석 및 결과

정상 쥐에서 간을 떼어낸 후 수중에서 2.25 Mhz의 초음파 트랜듀서를 사용하여 생체 반사 신호를 받았다. 사용한 기기는 Ultrasonic Analyser 와 Data 6000 이며, 실제 신호 분석은 IBM-PC를 사용하였다. (그림13을 참고하십시오)

그림2는 cepstrum 분석을 하기 전의 스펙트럼인데, 스펙트럼 상에 scalloping 과 갈라짐 현상을 보여주고 있다. 그림3은 로그스펙트럼이다. 이에 대한 cepstrum 분석을 한 후의 스펙트럼과 로그스펙트럼은 각기 그림4와 그림5이다.

표 1 은 정상 쥐 두마리의 감쇠 계수를 구한 값이며 그 결과는

cepstrum 분석을 할 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하였다. 표1 에서 \*표시를 한 경우는 정상이 아닌 쥐의 경우에, 위의 비교를 한 결과이다. cepstrum 분석을 할 경우에 그 편차가 현저히 줄어들음을 알 수 있다. 그림6은 cepstrum domain 에서 liftering하는 과정을 보여준다.

그림7은 cepstrum domain 에서 주기 성분에 해당되는 cepstrum 신호를 뽑아내는 liftering과정이다. 그 결과 스펙트럼은 그림8에 나타나 있으며, 이 때 사용한 스펙트럼은 그림2이다. 그림8의 결과 스펙트럼에 나타나 있는 주기 성분은 쥐의 간 조직에 대한 정보를 암시하고 있다.

### III. 결론 및 토의

감쇠 계수를 추정함에 있어서 같은 횟수의 스캔수를 가지고 그 편차를 줄이는 방법으로 cepstrum 분석이 유효함을 보였다. 그러나 단순한 편차의 감소가 추정치의 정확성을 의미한다고는 말할 수 없으므로 이에 대한 근거를 더욱 엄밀히 결정해야 하는 문제가 있다. cepstrum 분석을 통하여, 스펙트럼으로부터 주기적 성분을 추출할 수 있음을 알았다. 이는 F. Joint[3] 등이 언급한 간 조직 구조의 특성과 일치함을 알 수 있으나, 정량적 분석은 아직 분석한 자료의 부족으로 언급하기 어렵다.

이상의 결과로, cepstrum 분

석을 통한 생체 반사 신호 해석은 초음파 감쇠 계수 추정에 있어서 개선된 방법이며, 이를 통하여 생체 구조에 대하여 좀 더 폭 넓은 정보를 얻을 수 있으리라 사려된다.

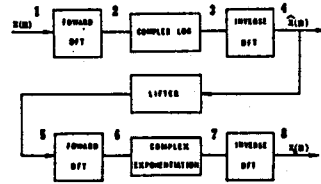


그림 1 cepstrum 분석 구성도 (4)

참 고 문 헌

[1] J. Sanie, N. Bilgutay, "Quantitative grain size evaluation using ultrasonic backscattered echoes", JASA, 80(60), pp. 1816 - 1824 Dec. 1986

[2] 홍승홍, 허웅, "Homomorphic Deconvolution법에 의한 초음파 감쇠 계수 추정", 의공학회지, 5권 1호 pp. 39 - 48, 6월, 1984

[3] L.F. Joint, "A stochastic approach to ultrasonic tissue characterization", Phd Thesis, Dept. of Electrical Eng. , Stanford univ. 1979

[4] D.G. Chiders, D.P. Skinner, R.C. Kermerait, "The cepstrum : A guide to processing", Proc. of The IEEE, Vol. 65, No. 10, pp. 1428 1443, Oct. , 1977

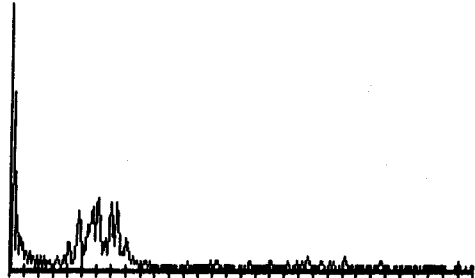


그림 2 생체 신호의 스펙트럼

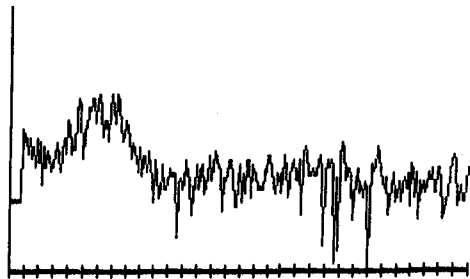


그림 3 생체 신호의 로그스펙트럼

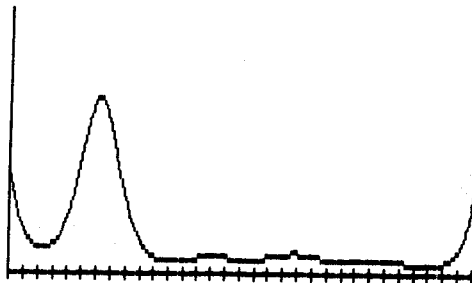


그림 4 cepstrum 분석 후 스펙트럼

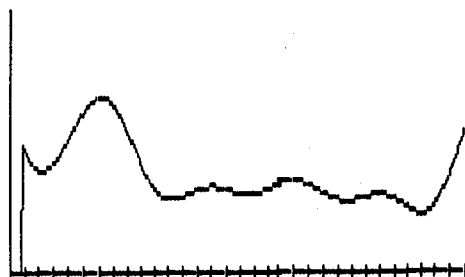


그림 5 cepstrum 분석 후 로그스펙트럼

간	no process	cepstrum
1	0.97 + 0.53	0.60 + 0.19
2	0.43 + 0.21	0.62 + 0.07
3 *	*	0.42 + 0.13

표 1 감쇠 계수 비교표

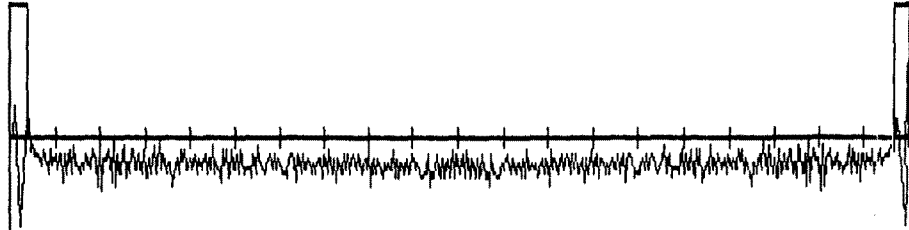


그림 6 short pass Liftering 과정

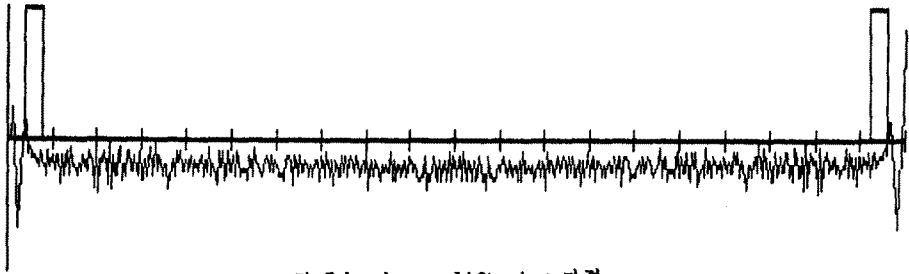


그림 7 band pass liftering 과정

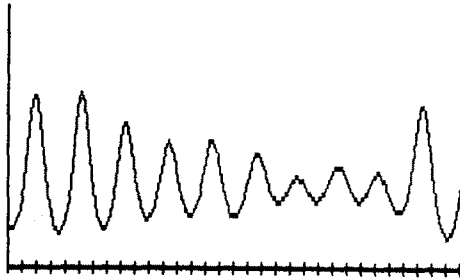


그림 8 cepstrum 분석으로 추출한 주기성분의 스펙트럼

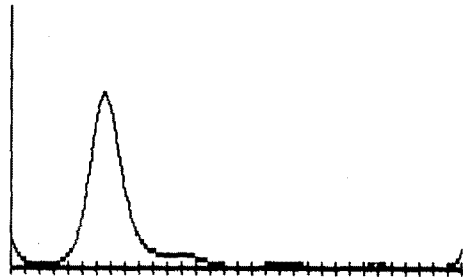


그림 11 cepstrum 분석 후 컴퓨터 입사 압력 함수의 스펙트럼

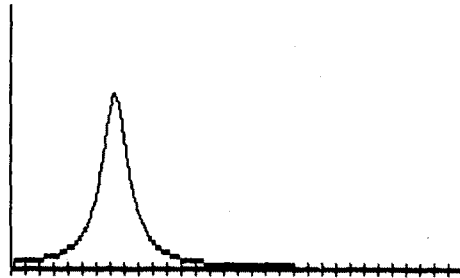


그림 9 컴퓨터 입사 압력 함수의 스펙트럼

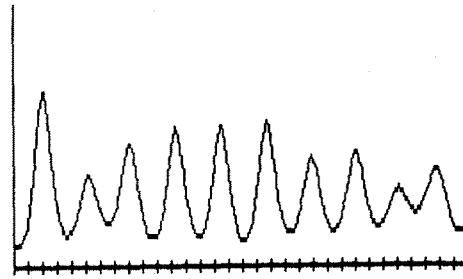


그림 12 cepstrum 분석으로 추출한 간섭 스펙트럼의 주기 성분

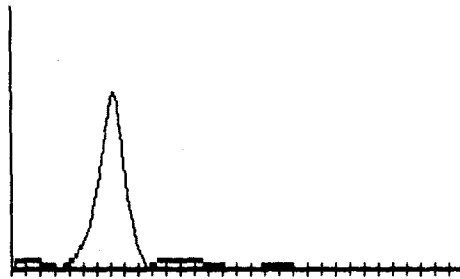


그림 10 컴퓨터 입사 압력 함수의 간섭 스펙트럼

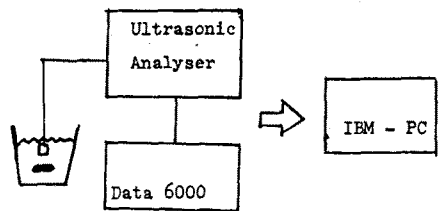


그림 13 실험 장치도