Adaptive Algorithm을 이용한 이음향 방사음의 잠시의 변화 검출

정우현, 백승화
명지대학교 제어계측공학과

Adaptive Estimation of Latency Change in Evoked Otoacoustic Emission

Woo-hyun Chung, Sueng-wha Beack
C & I Engineering Univ. Myongji

Abstract - Change in lantency of otoacoustic emission(OAE) may indicate clinically and diagnostically important change in the status of the nervous system. A low signal-to-noise ratio of OAE signal makes it difficult to estimate small, transient, time-varing changes in latency. we present an adaptive algorithm that estimates small latency change value even when OAE signal amplitudes are time-varing.

1. 서 론

귀의 내부로부터 음파가 발생되어 나오는 현상을 이음향 방사현상이라고 하며, 이에는 외부의 자극이 없이 발생되는 자발 이음향 방사(Spontaneous Otoacoustic Emission; SOAE)와 외부 자극음에 의한 유발 이음향 방사(Evoked Otoacoustic Emission; EOAE)가 있다.

유발 이음향 방사는 내이의 이상 현상을 비침습적이고도 객관적으로 진단하는데 효과적으로 이용될 수 있다.

유발 이음향 방사를 이용한 내이의 진단 변수에는 유발 이음향 방사음의 유무, 유발 이음향 방사음을 낼 수 있는 자극음의 최소 크기와 잠시(Latency)가 있다.

잠시는 자극신호를 준 시각에서 유발 이음향 방사신호가 나온 시각까지의 시간을 나타내며, 내이를 가장 객관적으로 진단할 수 있는 변수이다.

OAE 신호에서 잠시의 변화는 내이의 이상 유무를 판단할 수 있는 중요한 진단 요소이나 OAE 신호의 낮은 신호대 잡음비 때문에 검출하기 어렵다.

본 논문에서는 신뢰성 있는 시스템을 구성하여 정확한 OAE 신호를 측정하였으며, 측정된 OAE 신호들 간의 잠시의 변화를 측정하는데 Adaptive algorithm을 적용하여 내이의 이상 유무를 판별하였다.

2. 본 론

OAE 신호를 이용한 내이의 진단 변수들 중에 가장 객관적이고 중요한 것이 잠시이다. 본 논문의 목적은 잠시와 잠시의 변화를 검출하여 내이의 이상 유무를 판별하는 데 있다. 그림 1은 정상인과 비정상인의 OAE 신호와 신호에 대한 정의를 보여준다.

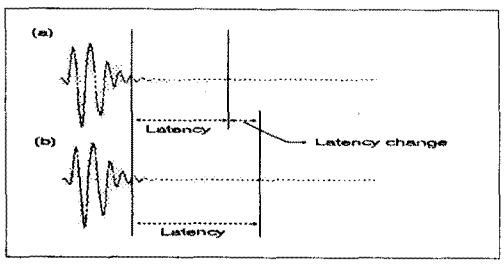

그림 1. OAE 신호와 정의
(a) 정상인의 OAE 신호
(b) 비정상인의 OAE 신호

2.1 OAE 음의 취득

OAE 신호는 코클리어에서 방사되며 외이도에 삽입된 소형 마이크로폰에 의해서 기록되어진다.

본 논문에서는 핀형 마이크로폰(ECM-144)과 이어폰을 사용하여 프루브를 제작하였다.

자극 발생기로는 STM-100A를 사용하였으며 마이크로폰을 통하여 검출된 OAE 신호는 원거리 monitoring 시스템인 TEL100을 통하여 1K로 증폭되어진후 생체신호 수집기인 MP100을 거쳐 1000Hz 디지털 신호로 샘플링되어 필터링 없이 저장된다. 저장된 신호는 PC에서는 전처리 과정으로 가산평균법을 이용하여 신호대 잡음비를 높였으며, 잠시를 통한 와우해석을 위하여 LPC 스펙트럼을 이용한 상호상관법을 이용하여 잠시를 검출했다. 그림 2는 시스템의 구성도이다.

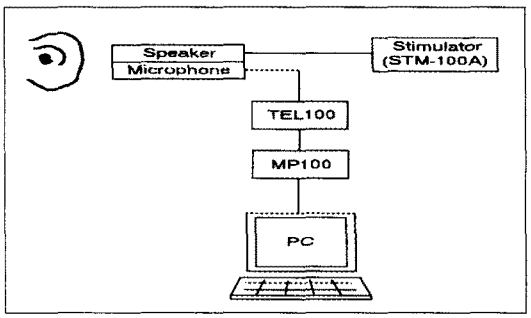

그림 2. OAE 신호 취득 시스템 구성도

2.1.1 가산평균법

구성된 시스템을 통하여 얻어진 OAE 신호는 매우 미약하므로 그 신호 대 잡음비를 향상시킬 필요가 있다.

가산평균법은 신호의 변형없이 잡음으로부터 신호를 분리하는 방법으로 특히 낮은 주파수 영역의 신호에서 신호 대 잡음비를 향상시키는 데 뛰어난 성능을 보이므로 생체신호를 처리하는 데 많이 사용된다.

측정된 OAE 신호를 $f(t)$라고 하고 신호 성분과 잡음 성분을 각각 $s(t)$, $n(t)$라고 하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f(t) = s(t) + n(t) \quad (1)$$

이 신호를 샘플링을 하여 가산평균을 하면 다음과 같다.

$$f(iT) = s(iT) + n(iT) \quad (2)$$

$$\overline{f(iT)} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} f(iT)$$
$$= \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} s(iT) + \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} n(iT) \quad ,i = 1, 2, 3, \cdots$$
$$= s(iT) + \frac{1}{m} n(iT) \tag{3}$$
$$= s(iT) + \frac{\sqrt{m}}{m}\delta_n$$
$$= s(iT) + \frac{\delta_n}{\sqrt{m}}$$

$$\therefore SNR_m = \frac{s(iT)}{\frac{\delta_n}{\sqrt{m}}} = \sqrt{m}\frac{s(iT)}{\delta_n} = \sqrt{m}SNR \tag{4}$$

식 (4)는 m이 증가함에 따라 신호 대 잡음비는 높아지는 것을 보여준다. 즉 가산평균법의 반복회수를 증가시킬 수록 보다 정확한 원신호를 취득할 수 있다.

2.1.2 LPC 스펙트럼을 이용한 잠시의 측정

OAE 신호의 잠시는 자기상관법 또는 LPC 스펙트럼을 이용한 상호상관법을 통해 취득될 수 있다.

자기상관법을 이용하는 방법은 그 계산과 방법이 복잡하고 자동화가 불가능하므로 본 논문에서는 LPC 스펙트럼을 이용하고 상호상관법을 적용하는 방법을 사용했다.

자극 신호와 방사 신호가 섞여 있는 신호 $e(n)$의 스펙트럼을 얻기 위해 다음 식(5)와 같이 푸리에 역변환을 한다.

$$\overline{e(n)} = \frac{1}{N}\sum_{r=0}^{N-1} Fre^{j2\pi rn/N}$$
$$= \frac{1}{N}\sum_{r=0}^{N-1} Fr\left(\frac{\cos 2\pi rn}{N} + \frac{j\sin 2\pi rn}{N}\right) \tag{5}$$
$$n = 0, 1, 2, 3\cdots$$

식 (5)에서 실수부만을 신호 $s(n)$으로 정의하면 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$s(n) = \frac{1}{N}\sum_{r=0}^{N-1} Fr\left(\frac{\cos 2\pi rn}{N}\right) \tag{6}$$

$s(n)$의 추정계수 a_k를 가진 선형모델을 식 (7)과 같이 추정하고 이 함수의 LPC 스펙트럼을 식 (8)과 같이 구한다.

$$\overline{s(n)} = \sum_{k=1}^{p} a_k s(n-k) \tag{7}$$
$$S(z) = \frac{R_{ee}}{|A(z)|^2} \tag{8}$$

여기서, R_{ee}는 t차의 자승오차 평균이며, $A(z)$는 시스템 응답함수이다.

스펙트럼 분석을 통하여 기울기가 음에서 양으로 변하는 점을 전후로 자극신호와 OAE 신호를 구분한다.

그림 3은 LPC 스펙트럼 분석을 통해 자극 신호와 OAE 신호가 구분되는 것을 보여준다.

LPC 스펙트럼 분석을 통하여 얻어진 자극 신호와 OAE 신호를 각각 $x(n)$, $y(n)$이라 하고 두 신호의 상호상관을 하면 식 (9)와 같이 된다.

$$R_{xy}(n) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(n)y(n) \tag{9}$$

식 (9)를 통해 구해진 상호상관신호 R_{xy}에서는 자극신호와 OAE신호의 상관성이 최초의 첨두치에 나타나며

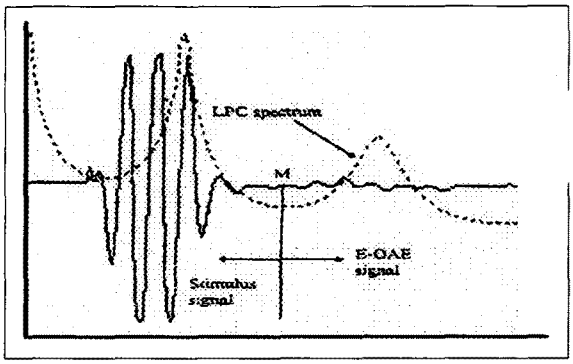

그림 3.
LPC 스펙트럼을 이용한 자극신호와 OAE 신호의 구분

그 때까지의 시간이 잠시이다.

그림 (4)는 OAE 신호를 상호상관법으로 처리한 신호

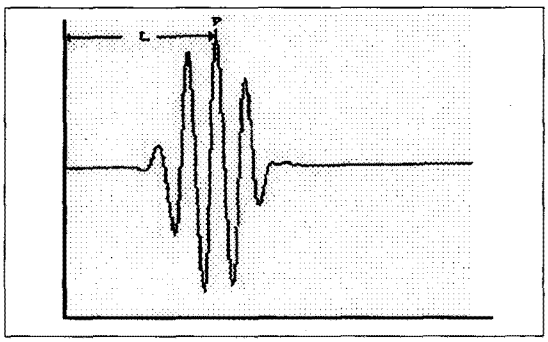

그림 4. OAE 신호를 상호상관법으로 처리한 신호

를 보여준다.

2.2 ADAPTIVE 알고리즘을 이용한 잠시의 변화 검출

Adaptive algorithm은 잠시의 작은 변화까지 검출할 수 있으며 시간에 따른 신호의 변화에 강인한 성능을 갖는다.

Adaptive 알고리즘은 least mean squre(LMS) 알고리즘에 그 기초를 둔다.

잠시의 변화 검출을 위해 LMS 알고리즘을 시간 지연 인자에 직접 적용하고 지연 인자 θ_k가 최소가 되도록 조정하면 다음 식 (10)과 같이 된다.

$$e_k^2(\theta_k) = (x_{1k-\theta_k} - x_{2k})^2/2 \tag{10}$$

편미분법을 사용하면

$$\widehat{\theta_{k+1}} = \widehat{\theta_k} - \mu\partial e_k^2(\theta_k^2)/\partial\widehat{\theta_k}$$
$$= \widehat{\theta_k} - \mu(x_{2k} - x_{1k-\theta_k})x'_{1k-\theta_k} \tag{11}$$

이 때, $x'_{1k-\theta_k}$은 식 (12)과 같이 주어진다.[3]

$$x'_{1k-\theta_k} \approx \frac{1}{2}(x_{1k-\theta_k-1} - x_{1k-\theta_k-1})\triangle x_{1k-\theta_k} \tag{12}$$

따라서 Adaptive latency change 알고리즘은 다음과 같다.

$$\hat{\theta}_{k+1} = \hat{\theta}_k - \mu(x_{2k} - x_{1k-\hat{\theta}_k})\triangle x_{1k-\hat{\theta}_k} \quad (13)$$

2.3 실험 및 결과 고찰

본 논문의 실험 대상으로는 귀질환이나 소음에 노출된 경력이 없는 정상 청력자 3명과 고잡음 환경에 장시간 노출된 청력자 2명으로 하였으며, OAE 신호 측정을 위해 자극시간 2msec인 500Hz~1500Hz의 톤 버스트(Tone burst)음을 자극음으로 하였다.

자극신호에 의해 방사되는 신호를 마이크로폰을 통한후 원거리 monitoring 시스템인 TEL100을 통해 1K로 증폭시킨 후 생체신호 수집기인 MP100을 통하여 1000Hz로 샘플링하여 디지털화 하였다.

취득된 신호를 200~5000Hz의 대역통과 필터링을 하고 100회의 가산평균을 하여 잡음성분을 제거하여 정상 청력자 3인의 데이터를 평균내에 기준 OAE 신호를 만들었다.

잠시를 구하기 위해서 모델 차수가 6인 LPC 스펙트럼을 이용하여 자극신호와 OAE 신호를 구분하였으며 구분된 자극신호와 OAE 신호의 상호상관을 통해 잠시를 검출하였다.

대상인 3인으로부터 검출된 잠시의 평균을 구하였으며, 평균값에서 취득된 잠시중 각 주파수 대역의 최대값과 최소값을 각각 감산하여 수용오차 범위로 정의하였다.

내이의 이상 유무의 판별은 Adaptive 알고리즘을 이용하여 얻어진 기준신호와 측정신호의 잠시의 차이와 수용오차를 비교하여 진단하였다.

표 1은 주파수 대역에 따른 잠시의 측정값과 평균값과 수용오차 범위를 보여준다.

대상 / 주파수(Hz)	측정값(ms) A	B	C	평균값(ms)	수용오차범위 (ms)
500	12	12	11	11.6	-0.4 ~ 0.6
600	11.5	11	10	10.8	-0.7 ~ 0.8
700	10	10.5	9.7	10	-0.5 ~ 0.3
800	9.5	9.8	9.3	9.5	-0.3 ~ 0.2
900	9.0	9.4	8.9	9.1	-0.3 ~ 0.2
1000	8.5	8.7	8.5	8.6	-0.1 ~ 0.1
1100	8.1	8.2	8.0	8.1	-0.1 ~ 0.1
1200	8.3	7.9	7.8	8	-0.3 ~ 0.2
1300	7.9	7.4	7.4	7.6	-0.3 ~ 0.2
1400	7.2	7.2	7.1	7.1	-0.1 ~ 0.0
1500	7	6.8	6.9	6.9	-0.1 ~ 0.1

표 1
정상 청력자의 잠시의 측정값과 평균값, 수용오차범위

표 2는 고잡음 환경에 장시간 노출된 대상 2인에 OAE 신호와 기준 OAE 신호와의 잠시의 차이와 각 주파수 대역의 청각의 이상 유무에 대한 판별을 한 것을 보여준다.

대상 / Hz		500	600	700	800	900	1K	1.1 K	1.2 K	1.3 K	1.4 K	1.5 K
측정값(ms)	C	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
	이상유무	정상	정상	정상	정상	정상	이상	이상	정상	정상	정상	정상
	D	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	이상유무	정상	정상	정상	정상	정상	정상	이상	정상	정상	정상	정상

표 2 고잡음 환경에 장시간 노출된 대상의 잠시 차이와 이상유무

3. 결 론

본 연구에서는 신뢰성 있는 시스템에 의해 OAE 신호를 취득 표본화하고 Adaptive 알고리즘을 이용하여 잠시의 변화를 검출하고 이를 이용해 내이의 이상 현상을 진단하였다.

본 논문에서 제안한 Adaptive 알고리즘을 이용한 잠시의 차를 검출하고 내이를 진단하는 방법은 청각 이상자의 청취 불가능 주파수 대역을 정확히 진단할 수 있다.

뿐만 아니라, 정상인의 잠시의 범위를 표본화함으로서 청각의 이상자의 잠시를 별도로 검출하지 않고도 청각 이상을 진단할 수 있게 되었으며 이를 이용하면 앞으로 청각 진단 시스템의 자동화가 가능해질 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 손준일, 최동우, 백승화, 유선국, 김동준, "청각 방사음향의 측정에 관한 연구," 대한전기공학회 하계학술대회 논문집(B), pp1333-1335, 1996.

[2] 안정일, 최진영, 조진호, 이건일, "선형예측부호화 스펙트럼을 이용한 유발이음향 방사파 잠시의 측정," 의공학회지, 제 12권 제3호, pp. 185-190, 1992.

[3] Xuan Kong, "Adaptive Estimation of Latency changes in Evoked potential," IEEE Trans. Biomedical, vol. 43, no 2, pp189-197, 1996

[4] D.Etter and S.Sterns, "Adaptie estimation of time delays in sampled data systems," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. ASSP-29, no. 3, pp582-587, 1981.

[5] D. T. Kemp, "Stimulated acoustic emissions from the human auditory system," J. Acoust. Soc. Am, vol. 64, pp.1386-1391, 1978.

[6] F. Grandori, G. Cianfrone and D. T. Kemp, Eds., Cochlear mechanism and otoacoustic emissions, Dasel: Karger, 1990.