

# Subband 적응 디지털 필터를 이용한 실내전달함수 모델링

## Modeling of The Room Transfer Function using Subband Adaptive Digital Filter

정호문\*, 김천덕\*\*

( \* 부경대학교 전자공학과, \*\* 부경대학교 전기공학과)

Ho-Moon Chung\*, Chun-Duck Kim\*\*

( \* Dept. of Electronic Eng. Pukyong , \*\* Dept. of Electrical Eng. Pukyong)

### 요 약

잔향시간이 긴 실내의 전달함수의 모델링에 있어서, 일반적인 풀 밴드 MA 모델에 기초한 적응 필터를 이용한 경우에는, 많은 필터 차수를 필요로 하고, 적응 시간이 길어지는 문제점이 있다. 본 논문에서는, 필터 차수를 감소시키고 수렴 특성을 향상시키기 위해서, 각 입출력 신호를 몇 개의 주파수 대역으로 나누어서 각각의 주파수 대역에 대해서 적응 처리 과정을 행하는 서브밴드 MA 모델을 이용한 적응 디지털 필터 처리 방법을 제안한다. 컴퓨터 시뮬레이션으로 서브밴드 MA 모델을 이용한 디지털 적응 필터 처리 과정의 유효성을 나타내었다.

### 1. 서론

실내전달함수(RTF:Room Transfer Function)는 실내에 있어서 음원과 수음점간의 전달특성을 나타낸다. 실내전달함수를 모델링화하는 것은, 실내전달함수의 모의를 필요로 하는 많은 응용에 있어서 아주 중요하다. 예를 들어, 반향 제거기나 ANC(Active Noise Controller)등 많은 응용분야에 유용하다. MA(Moving Average) 모델은 대표적인 실내전달함수 모델이다. 그러나, MA 모델에 있어서는, 잔향시간이 긴 실내전달함수의 경우 수천 이상의 필터 차수를 필요로 한다[1]. 이 때문에 단위시간의 계산량이 증가하고, 적응 필터의 수렴 속도가 늦게 되는 문제점이 있다.

본 논문에서는, 적응 디지털 필터 차수를 감소시키며, 수렴 특성을 향상시키기 위해서 서브밴드 MA 모델을 이용한 적응 디지털 처리 방법을 제안한다. 각 입출력 신호의 주파수 대역을 몇 개의 서브밴드로 나누어서 각각의 주파수 대역에 대하여 MA 모델을 이용한 NLMS(Normalized Least Mean Square) 적응 처리를 행하였다. 서브밴드 처리를 행하기 때문에 수렴 속도는 향상시킬 수 있지만[2], 이상적이지 않은 대역 분할에 기인한 에일리어싱 오차가 생겨 정상상태의 성능 저하를 초래할 수 있는 단점이 있다[3].

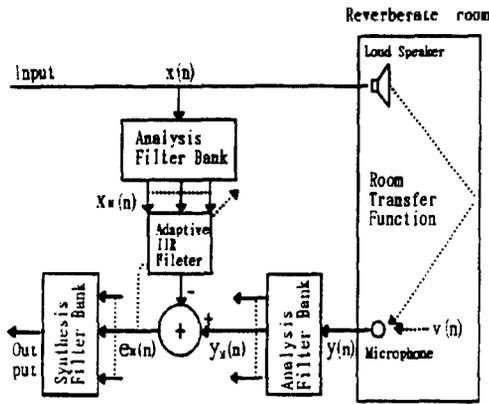


그림 1. 서브밴드 적응 반향제거기의 구성도.

## 2 서브밴드 MA 모델을 이용한 적응 디지털 필터

그림1은 M채널의 서브밴드 MA 모델을 이용한 적응 반향 제거기의 기본 구성도이다. 이 그림은 입력신호  $x(n)$ 과 관측신호  $v(n)$ 을 M개의 주파수 밴드로 나누는 분석 필터뱅크, 분해된 각 채널의 대해서 각각의 적응 처리를 행하는 적응 처리부, 그리고 각각의 적응 처리부의 출력을 재합성하는 합성 필터뱅크의 3개의 부분으로 나눌 수 있다.

### 2.1 분석 필터뱅크부

분석 필터뱅크부에서는 광대의 음향신호를 복수의 협대의 서브밴드로 분할한다. 분석 필터는 식(2.1)과 같은 폴리페이즈 필터를 이용하였다[4]. 여기서, M은 서브밴드 수, L은 다운 샘플링이다.

$$h_{i,k} = \cos[(2i+1)(k-M)/2]\pi/L$$

$$i=0,1,\dots,M-1$$

$$k=0,1,\dots,L-1 \quad (2.1)$$

예로 해서,  $M=32$ 의 경우의  $H(j\omega)$ 의 진폭 특성을 그림2에 나타내었다.

### 2.2 NLMS 알고리즘에 기초한 적응 디지털 필터

그림3은 서브밴드 MA 모델을 이용한 적응 디

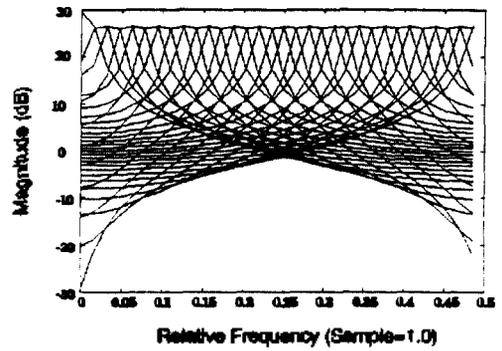


그림 2. 32 채널 분석 필터의 주파수 특성.

지탈 필터의 각 채널의 적응 처리 과정을 나타내고 있다. 제 i채널의 적응 계수 갱신은, 관측신호  $y_i(n)$ 와 적응 디지털 필터에 의해 추정된 관측신호  $\hat{y}_i(n)$ 과의 차, 즉 오차신호  $e_i(n)$ 의 2승 기대값  $E[e_i^2(n)]$ 가 최소가 되기 위해서 적응 디지털 필터의 계수를 적응화 한다. 적응 디지털 필터에 의해 추정된 관측신호  $\hat{y}_i$ 의 출력은 다음 식과같이 주어진다.

$$\hat{y}_i(n) = b_i^T(n) x_i(n) \quad (2.2)$$

여기서,

$$b_i(n) = [b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,L}]^T$$

$$x_i(n) = [x_i(n), \dots, x_i(n-q+1)]^T$$

여기서,  $x_i(n)$ 은 제 i채널을 통과한 입력신호이고,  $b_i$ 는 제 i채널의 적응 디지털 필터의 계수이다.

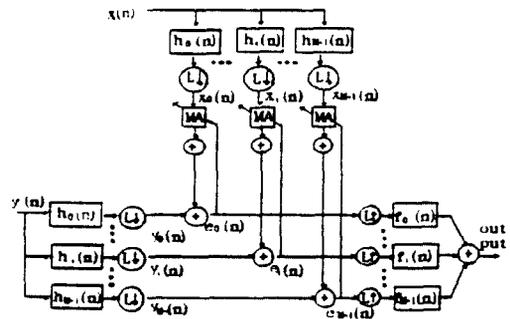


그림 3. M 채널 서브밴드 적응 처리 과정.

단, 적응 디지털 필터의 차수는 전 서브밴드에 각각  $q$ 로 동일하다. 각 채널의 오차신호  $e_i(n)$ 는 관측신호  $y_i(n)$ 과 적응 디지털 필터에 의해 추정된 관측신호  $\hat{y}_i(n)$ 의 차로 주어진다.

$$\begin{aligned} e_i(n) &= y_i(n) - \hat{y}_i(n) \\ &= y_i(n) - b_i^T(n) x_i(n) \end{aligned} \quad (2.3)$$

오차신호의 순시 2승값을 갖는  $E[e_i^2(n)]$ 을 근사하면, 계수 벡터  $b_i$ 는 다음 식과 같이 구하여진다.

$$\begin{aligned} b_i(n+1) &= b_i(n) - \mu \frac{\partial e_i^2(n)}{\partial b_i(n)} \\ &= b_i(n) + 2\mu e_i(n) x_i(n) \end{aligned} \quad (2.4)$$

$\mu$ 는 스텝 파라메타이고, 식(2.5)을 만족한다.

$$0 < \mu < 1/(p\sigma^2) \quad (2.5)$$

단,  $\sigma^2$ 은 각각 관측신호 및 입력신호의 평균파워이다. 여기서, 새로운 스텝 파라메타  $\alpha$ 을 다음 식과 같이 정의하면,

$$\alpha = 2\mu p\sigma^2$$

식(2.4)로부터 식(2.6)과 같이 표현되는 NLMS 알고리즘을 구할 수 있다.

$$b_i(n+1) = b_i(n) + \alpha e_i(n) x_i(n) \quad (2.6)$$

$\sigma^2$ 는 감쇄요소  $\rho$ 를 이용해서 다음 식과 같이 구하여진다.

$$\sigma^2(n) = \rho x_i^2(n) + (1-\rho)\sigma^2(n-1)$$

### 3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 제안하는 서브밴드 MA 모델을 이용한 적응 디지털 필터에 대해서 기존의 플

밴드 MA 모델과 비교·검토하였다. 입력 신호는, 평균0, 분산 1의 백색잡음과, 유색신호로 해서 음성신호를 이용하였다. 샘플링 주파수는 10kHz이다. 시뮬레이션에 사용한 실내의 전달 함수는 98m<sup>3</sup> 일반 실내에서 측정하였으며, 2m의 거리에서 수음된 화이트 노이즈 신호를 크로스 스펙트럼법으로 40회 평균하여 구하였고, 그림 4에 반향 경로의 임펄스 응답을 나타내었다. 수렴특성은 ERLE로 표시하였다.

$$ERLE = 10 \log_{10} \frac{E[(y(n) - v(n))^2]}{E[(e(n) - v(n))^2]}$$

여기서,  $v(n)$ 은 관측 잡음이다. 서브밴드의 수를 32로 해서 플 밴드 MA 모델 비교하였고, SNR은 10dB로 하였다. 그림5, 그림6은 백색잡음, 음성신호에 대한 수렴 특성을 나타내고 있다. 플밴드 MA 모델의 적응 디지털 필터의 차수는 640차, 서브밴드 MA 모델에 이용한 적응 디지털 필터의 차수 각 채널당 10(M=32)차로 하였다. 그림의 결과로부터, 전체적으로 서브밴드 MA 모델을 이용한 적응 디지털 필터쪽이 플밴드 MA 모델을 이용한 적응 필터 보다 ERLE의 수렴값에 있어서 양호한 결과가 얻어짐을 알 수 있다.

### 4. 결론

서브밴드 MA 모델을 이용해서, 실내 전달 함수의 모델링을 행하였다. 제안하는 서브밴드 MA 모델을 이용한 적응 디지털 필터를 기존의 플밴드 MA 모델과 비교해서, 양호한 수렴특성의 결과가 나옴을 시뮬레이션으로 평가하였다. 대역 분할과 합성에 의해 야기되는 문제점들은 계속 연구되어야 할 것으로 생각되어진다.

### 참고문서

[1] Tsuyoshi USAGAWA, Hideki MATSUO, Yuji MORITA, and Masanao EBATA "A New Adaptive Algorithm Focused on the Convergence Characteristics by Colored Input Signal : Variable Tap Length LMS," IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, Vol.E75-A, No.11 NOVEMBER (1992).

[2] Andre Gilloire and Martin Vetterli.

"Adaptive Filtering in Subbands with Critical Sampling : Analysis, Experiments, and Application to Acoustic Echo Cancellation," IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, Vol. 40, No. 8, AUGUST (1992).

[3] Hitoshi KIYA, Kiyoshi NISHIKAWA and Koji ASHIHARA "Improvement of Converged Speed for Subband Adaptive Digital Filter Using the Multirate Repeating Method," 電子情報通信學會論文集A Vol. J78-A No. 2 pp. 194-201 (1995).

[4] ISO/IEC 11172-3 : "Information Technology - Coding Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5 Mbit /s", International Standard (1993).

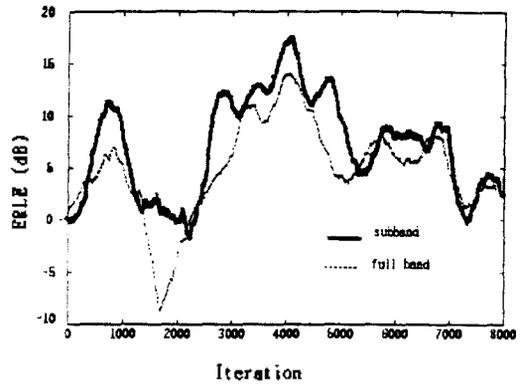


그림 6. 음성 신호의 수렴 특성.

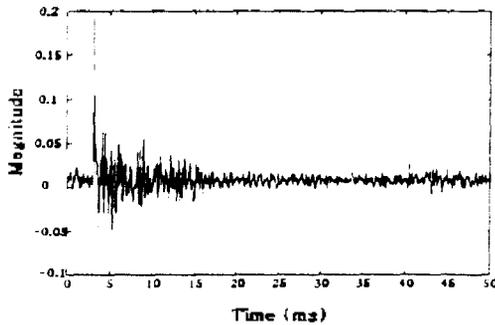


그림 4. 시뮬레이션에 사용되어진 임펄스 응답.

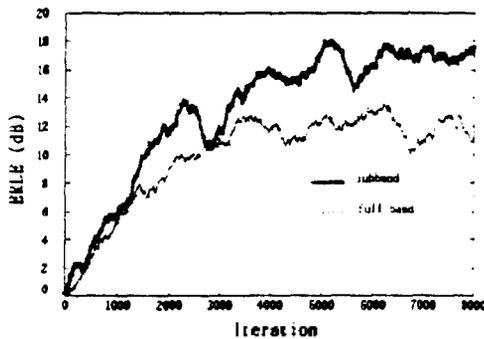


그림 5. 화이트 노이즈의 수렴 특성.