

다채널 처리 보청기에서의 음향 궤환 제거

신승우, 박선준, 도원, 윤대회, 차일환

연세대학교 전자공학과

Acoustic Feedback Cancellation for a Multi-Channel Hearing Aid

Seung Woo Shin, Seon Joon Park, Won Doh, Dae Hee Youn, Il Hwan Cha

Dept. of Electronics Eng. Yonsei Univ.

요약

본 논문에서는 보청기의 다채널 구조를 이용하여 음향 궤환 제거의 대역폭과 대역의 위치를 조절할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘에서는 음향 궤환 제거기가 보청 알고리즘의 각 주파수 대역별로 따로 연결되어 있기 때문에 주파수 대역과의 연결에 따라 특정 주파수 대역에서만 음향 궤환이 이루어지게 할 수도 있고, 기존의 음향 궤환 제거 방식과 같이 전 주파수 대역에서도 음향 궤환 제거를 할 수 있으므로 보다 효과적이고 유연한 알고리즘이라 할 수 있다. 따라서 성능면에서도 기존의 알고리즘과 같거나 특별한 조건하에서는 더 나은 성능을 보인다.

제안한 알고리즘에 대해 3개의 채널을 가지는 보청기 구조와 8개의 채널을 가지는 보청기 구조에서 실험을 행하였다. 음향 궤환 경로는 문헌의 자료를 참고하여 2가지를 만들어 이용하였다. 제안한 알고리즘의 주파수 대역을 이들 음향 궤환 경로의 특성이 집중되어 있는 대역으로 제한하여 음향궤환 제거를 한 결과 전 주파수 대역에서 음향 궤환 제거를 한 경우보다 이들 제한된 대역내에서는 더 음향 궤환이 잘 이루어졌다.

1 장 서 론

보청기에서 발생하는 음향궤환은 사용가능한 난청 보상이득을 제한함으로써 보청기의 성능을 떨어뜨린다. 음향궤환에 의해 발생하는 하울링은 보청기 착용자들에게 심한 불편감을 일으키기 때문에 이를 제거하기 위한 연구가 지속적으로 수행되어져 왔다. 음향궤환을 제거하는 방법에는 이득제한방법, notch 필터를 이용한 방법, 주파수 천이 방법, 적응궤환제거 방법등이 있다[1].

최신의 보청기는 주파수 밴드별로 서로 다른 난청 보상 이득을 가해 주기 위해 다채널 처리 구조로 되어 있다. 본 논문에서는 기본적으로 불연속 적응 궤환 제거 방법을 이용하되, 보청기의 이와 같은 구조와 스위

칭 로직을 이용하여 음향 궤환을 제거할 주파수 대역을 조절할 수 있도록 하였다.

음향 궤환 경로를 측정된 논문들을 살펴 보면, 음향 궤환 경로의 크기 특성이 특정 주파수 밴드, 대체로 고주파 대역에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 또한 대부분의 난청인의 청각 특성은 저주파 대역보다는 고주파 대역에서 보다 많은 난청 보상 이득을 필요로 하고 있다. 따라서 난청 보상 이득이 많이 필요한 주파수 밴드와 음향 궤환 경로의 크기 특성이 집중되어 있는 주파수 밴드가 겹치게 되는 경우, 전체 주파수 대역에서 음향 궤환을 제거하지 않고 이 특정 주파수 밴드에 대해서만 음향 궤환을 제거하는 것이 더 효율적이며, 이런 경우 적응 필터의 주파수 대역을 조절할 수 있는 제안한 방법은 효과적으로 동작하게 된다.

기존의 논문에서 측정된 자료를 이용하여 3개의 음향 궤환 경로를 만들어 실험을 하였으며, 불연속 적응 궤환 제거 방법을 이용하여 전체 주파수 밴드에서 음향 궤환을 제거한 방법과 제안한 방법을 이용하여 특정 주파수 밴드에서만 음향궤환을 제거한 방법의 성능을 비교해 보았다.

2 장 다채널 처리 보청기용 음향 궤환 제거

대부분의 난청인들은 주파수 대역에 따라 다른 청력 손실을 보이고 있다. 따라서 이런 난청인들의 청력손실을 보상해 주기 위해서 보청기는 다채널 구조로 되어 있어야 한다. 실제로 근래에는 전 주파수 대역을 하나의 채널화하여 처리(full-band processing)를 하는 보청기는 거의 없다. 보청 알고리즘은 대부분 고주파 대역에서 난청을 보이는 감음성 난청 환자들을 고려해서 입력 신호를 주파수 대역별로 나누어 이득을 다르게 주기 위해 대개 2개, 3개, 4개 또는 8개까지로 대역을 나누어 처리를 하는 다채널 처리 구조로 되어 있다.

이런 보청기 구조하에서 기존의 음향 궤환 제거 알고리즘을 보면 모든 주파수 대역에 대하여 음향 궤환

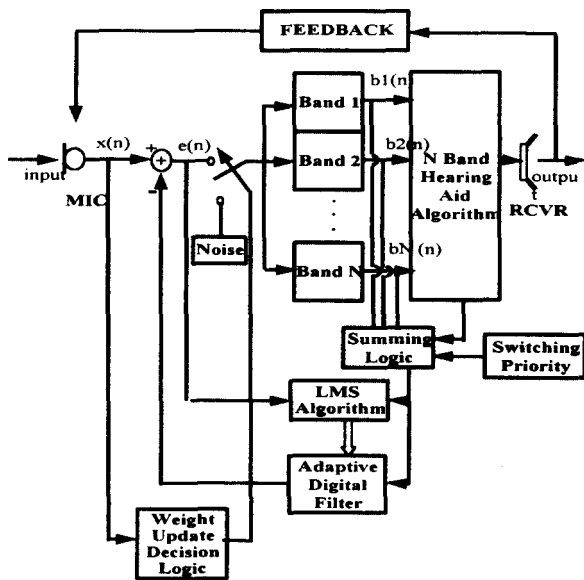


그림1. 제안한 음향제한제거 시스템의 구조

경로를 추정하고 있다. 그러나 하울링이 일어나는 부분은 특정 주파수 대역에 대하여 제한되어 있는 경우가 있으며 실제로 보청기의 음향 제한 특성을 측정할 때를 살펴보면 스펙트럼이 좁은 대역, 특히 고주파 대역에 집중되어 있음을 볼 수 있다[2][3][4].

음향 제한 경로의 크기 특성이 집중되어 있는 주파수 대역과 보청기에서 이득을 보다 많이 주어야 되는 주파수 대역이 겹쳐지게 되는 경우, 난청을 보상해 주기에 충분한 안정된 이득을 얻을 수 없게 된다. 만약 저주파 대역에서는 하울링이 일어나지 않은 정도의 작은 청력보상 이득만이 필요하다면, 전 주파수 대역에 대해서 음향 제한 제거를 하는 것은 비효율적이라 할 수 있다.

본 논문에서 제안한 음향 제한 제거 알고리즘은 작은 제한 경로의 변화를 검출하지 못하는 Kates 방법 [23]의 단점을 개선하기 위해 하울링이 검출된 때 이외에도 주변 신호가 없는 침묵기간(quiet period)에도 적용하는 Maxwell과 Zurek[1]이 제안한 불연속 적응 제한 제거 방법을 기본으로 하였다.

계수 갱신 결정 로직에 의해 필터 계수 갱신이 결정되면 정상적인 보청기 동작은 멈추게 되고 짧은 기간 동안 랜덤 잡음을 이용하여 필터를 적응시킨다. 그러나 랜덤 잡음 발생기를 보청기의 출력단 부분에 연결하는 기존의 방법과는 달리 입력단 부분에 연결함으로써 기준 입력 신호로 사용하는 랜덤 잡음이 보청기의 필터뱅크를 통과하게 된다. 따라서 필터를 적응시킬 때 기준 입력 신호로 사용되는 랜덤 잡음을 각각의 밴드별로 나누어 줄 수 있게 된다. 결합 로직(summing logic)에 의해 랜덤 잡음이 특정 밴드만을 통과하도록 하면 대역 제한된 랜덤 잡음을 발생시킬 수 있게 되고, 이 잡음을 적응 필터의 기준 입력 신호로 사용하면 제한된 대역에서 필터 적용이 이루어지게 된다. 필터 계수 갱신을 한 후 다시 정상적인 보청기 동작을 하게 되면 제한된 내

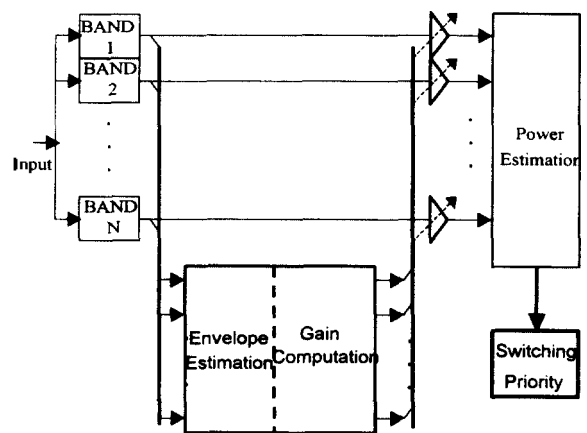


그림2. 스위칭 우선권 결정

역 내에서 음향 제한을 제거하게 된다. 랜덤잡음이 모든 밴드를 다 통과하도록 하면 전 대역에 대해서 필터 적용이 이루어 질 것이며 이는 기존의 불연속 제한 제거 방식[1][2]과 같은 성능을 보일 것이다.

그림 1은 N-채널 보청 알고리즘과 결합된 음향 제한 제거 시스템의 전체 구조를 나타내고 있다.

필터계수 갱신에 사용되는 LMS 식은 다음과 같다.

$$\underline{w}(n+1) = \underline{w}(n) + \mu e(n) \underline{r}(n) \quad (1)$$

여기서 $\underline{w}(n)$ 는 필터 계수 벡터를 나타내며 $e(n)$ 은 오차 신호이고 기준 입력 신호 벡터 $\underline{r}(n)$ 은 결합로직에 의해 결정된다.

필터 계수 갱신이 결정되면, 식 (1)에서 필터 계수 갱신에 사용되는 기준 입력 신호 벡터 $\underline{r}(n)$ 은 다음의 수식에 의해 결정된다.

$$\underline{r}(n) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \underline{b}_i(n)$$

$$\lambda_i = \begin{cases} 1 \\ \text{switching priority 에 의해 결정} \\ 0 \end{cases}$$

$\underline{b}_i(n)$ 은 각각의 대역 통과된 신호벡터이며 λ_i 는 스위칭 우선권(switching priority)에 의해 결정된다. 스위칭 우선권은 각 밴드의 파워를 비교하여 파워가 가장 큰 순서대로 우선권을 부여한다. 그림 2는 이 스위칭 우선권을 결정하는 신호처리 과정이다. 스위칭 우선권은 각 밴드의 파워를 비교하여 결정된다.

결합 로직은 스위칭 우선권을 이용하여 음향 제한을 제거한 밴드를 선택한다. 우선권이 가장 높은, 즉, 파워가 가장 큰 밴드만 선택할 수도 있고 파워가 큰 순서대로 몇 개의 밴드를 합쳐서 음향 제한 제거를 할 수도 있다. 그림 3은 각 밴드의 파워를 이용하여 스위칭 우선권을 결정하는 과정을 나타내고 있다. 각 밴드의 파워는 보청 알고리즘에서 난청 보상 이득을 구하기 위해 이미 구해져 있으므로 따로 구할 필요가 없다.

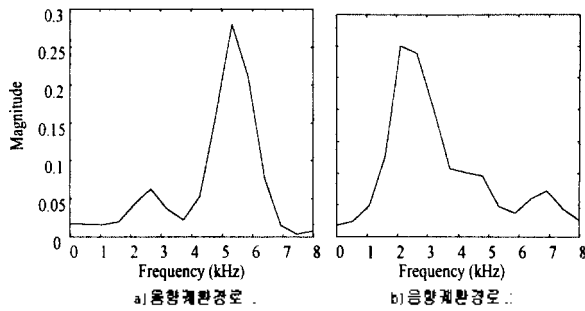


그림3. 음향제한경로 I 과 II

4 장 실험

4-1. 실험 환경

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 두 가지의 음향 제한 경로를 만들어 실험을 수행하였다. 첫 번째 음향 제한 경로는 Engebretson[5]등이 BTE 타입의 보청기에서 측정된 자료를 이용하였으며, 두 번째 음향 제한 경로는 Lybarger[4]가 역시 BTE 타입의 보청기에서 측정된 결과를 바탕으로 대략적으로 구한 것인데, 중간 주파수 대역에서 넓은 피크치를 가지고 있다. 두 가지 음향 제한 경로는 선형 위상응답을 가지고 있다. 그림 5는 이 두 개의 음향 제한 경로의 크기 특성을 나타내고 있다.

실험에서 입력신호로는 랜덤잡음을 이용하였으며 16 kHz 샘플링을 하였고 적응필터는 16 탭을 썼다. 먼저 3개의 채널을 가지는 필터뱅크를 구성하여 음향 제한 특성이 집중되어 있는 특정 주파수 밴드로 제한하여 적응필터를 동작시킨 경우와 전 주파수 밴드에 대해 적응필터를 동작시킨 경우와 비교하여, 제한된 특정 주파수 대역에서 성능이 더 향상되는가를 실험해 보았고, 두 번째는 8개의 채널을 가지는 보청 알고리즘에서 몇 개의 채널을 합쳐서 대역을 제한시키는 방법을 실험해 보았다. 이들 각각의 경우에 대해 기존의 전 주파수 밴드에 대해 음향 제한 제거를 하는 경우와 본 논문에서 제안한 대역 제한된 적응필터를 이용한 경우에 대해 각 밴드에서 얻을 수 있는 최대안정이득(maximum stable gain)을 구하여 보았다.

4-2. 3-채널에서의 제안한 음향 제한 제거 기의 성능평가

위에서 만든 음향 제한 경로를 이용하여 실험하는데 있어서 먼저 3개의 채널을 가지는 보청기 구조에 대

표1. 음향제한경로 I 인 경우의 최대안정이득

	band 1	band 2	band 3
No AFC	31.0 dB	23.5 dB	12.0 dB
FB AFC	41.6 dB	34.8 dB	29.5 dB
BL AFC	31.0 dB	23.5 dB	36.9 dB

표2. 음향제한경로 II 인 경우의 최대안정이득

	band 1	band 2	band 3
No AFC	21.6 dB	12.0 dB	14.0 dB
FB AFC	32.0 dB	21.6 dB	31.36 dB
BL AFC	21.6 dB	32.0 dB	20.83 dB

해 실험을 해 보았다. 1.5kHz와 4kHz를 경계로 하는 8차의 저역통과필터와 고역통과필터, 그리고 15차의 대역통과필터를 만들어 사용했으며 각각은 모두 IIR 구조로 되어 있다.

먼저, 고주파 대역에서 날카로운 피크를 갖는 첫 번째 음향 제한 경로에 대해서 기존의 방법과 비교하였다. 이 음향 제한 경로의 주된 부분은 위에서 나눈 3개의 주파수 대역중 밴드 3에 집중되어 있다고 볼 수 있으므로 제안한 음향 제한 제거기는 밴드 3으로만 대역을 제한하여 동작시켰다.

하울링이 발생하지 않을 때까지 가해줄 수 있는 최대 이득을 최대안정이득이라 한다.

음향 제한 제거를 하지 않은 경우(No AFC: Adaptive Feedback Cancellation), 기존의 전 대역 음향 제한 제거를 한 경우(FB AFC: Full-Band Adaptive Feedback Cancellation), 그리고 제안된 음향 제한 제거를 이용(BL ADF: Band-Limited Adaptive Feedback Cancellation)하여 밴드 3에 대해서만 음향 제한 제거를 한 경우의 최대안정이득을 각각 표 1에 나타내었다.

제안한 음향 제한 제거기의 성능을 보면 밴드 3에서 기존의 방법보다 7.4 dB정도 더 안정된 이득을 얻을 수 있었다. 밴드 1, 밴드 2에서는 음향 제한 제거를 하지 않으므로 기존의 방법보다 성능이 나쁘게 나타났다.

다음의 표 2는 음향 제한 경로II를 이용했을 때의 각각의 최대 안정이득을 나타낸 것이다.

제안한 음향제한 제거 시스템이 동작을 하고 있는 밴드 2에서의 결과를 보면 기존의 방법보다 사용 가능한 이득이 10.4 dB정도 더 증가한 것으로 나타났다.

4-3. 8-채널에서 제안한 음향 제한 제거 알고리즘의 성능평가

인간의 청각특성을 고려하여 최근에는 고성능 다채널 보청 알고리즘이 연구되어졌는데 여기서는 환자 데이터 기록에 사용하는 청력도(audiogram)에서 얻는 250 Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz등의 6개의 옥타브 밴드의 중심 주파수에 비해 보다 정확한 보청 시스템의 조정을 위하여 750Hz, 1.5kHz, 3kHz 등의 1/2 옥타브 밴드의 중심 주파수가 사용되어왔다[6].

위의 이런 연구들을 바탕으로 하여 본 논문에서는 다음과 같은 8개의 다채널 필터뱅크를 이용하여 실험을 수행하였다. 표 3은 실험에 사용한 8-채널 필터뱅크 구조에서 각 대역통과필터의 중심주파수와 대역폭을 나타낸 것이다. 단, 250 Hz는 청각 특성상 별 의미가 없어서 제외하였으며 각 대역통과 필터는 모두 8차의 IIR

구조를 가지고 있다.

이 실험에서는 여러 채널을 가지는 필터뱅크의 구조에서 음향 왜곡 제거를 하나의 밴드에서만 하는 것이

표3. 8-채널 보청기의 각 대역구간 및 중심주파수

	band 1	band 2	band 3	band 4	band 5	band 6	band 7	band 8
중심 주파수 (kHz)	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	8
최저주파수 ~ 최고주파수 (kHz)	0.61 ~ 0.87	0.87 ~ 1.22	1.22 ~ 1.73	1.73 ~ 2.45	2.45 ~ 3.46	3.46 ~ 5.66	5.66 ~	

아니라 인접한 몇 개의 밴드로 대역폭을 확장시키는 경우에도 제대로 동작하여 성능이 향상되는가를 알아 보았다. 위에서 나눈 8개 밴드의 각 대역을 고려해 볼 때 여러 밴드를 함께 많이 이용할 수 있는 음향 왜곡 경로 II를 사용하여 실험을 하였다. 이 경로의 특성이 주로 위치하고 있는 부분은 8개의 밴드 중 밴드 4, 5, 6, 7에 해당한다고 보고 제안한 음향 왜곡 제거기를 이 밴드로만 제한을 하여 동작시켰다. 표 4는 각 밴드에 대해 가할 수 있는 최대 안정이득을 나타내고 있다.

최대안정이득을 늘리려고 설정한 밴드에서의 결과를 보면 밴드 4는 같으며 밴드 5, 6, 7에서는 7.9 dB, 4.5 dB, 8.8 dB만큼 기존의 방법에 비해 안정된 이득을 더 얻을 수 있었다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 다채널 처리 보청기에서 음향 왜곡 제거를 하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였고 기존의 일반적인 알고리즘과의 성능을 실험을 통하여 비교하였다.

제안한 알고리즘에서는 음향 왜곡 제거에 사용되는 적응필터를 보다 정확한 음향 왜곡 경로의 추정치 요구되는 주파수 대역으로 제한하여 동작시킴으로써 이 대역에서는 기존의 전 주파수 대역에서 음향 왜곡 제거를 하는 방법보다 더 많은 안정이득을 얻을 수 있다. 보청 알고리즘 내의 필터 뱅크와 음향 왜곡 제거 시스템을 연결하는 방법에 따라 음향 왜곡 제거가 이루어지는 대역의 위치와 대역폭을 조절할 수 있다. 음향 왜곡 시스템을 모든 밴드와 연결할 경우에는 전 주파수 대역에서 동작하게 된다.

제안한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 먼저 3개의 채널을 갖는 간단한 보청 시스템에서 실험을 하였다. 2가지의 음향 왜곡 경로에 대해 실험 한 결과 2가지 경우 다 원하는 대역으로만 적응필터를 제한한 경우가 전 주파수 대역에서 적응필터를 동작시킨 경우보다 그 대역대에서는 더 정확한 경로 추정이 이루어졌으며 최대안정이득값 또한 더 높게 나타났다. 다음으로 8개의 채널을 갖는 보청 시스템에서도 실험을 행하였다. 먼저 음향 왜곡 제거 시스템을 몇 개의 밴드와 동시에 연결함으로써 대역폭을 확장한 경우에도 제대로 동작하

는지를 살펴보았다. 8개의 밴드중 4개의 밴드로 대역을 제한하여 음향 왜곡 제거를 한 결과 4개의 밴드 내에서는 기존의 전 대역 음향 왜곡 제거 시스템보다 같거나 더 나은 성능을 나타내었다.

앞으로 보다 향상된 음향 왜곡 제거 알고리즘 개발을 위해서는 음향 왜곡 경로에 대한 정확한 측정이 필요할 것이며 실시간 구현을 통한 실제 상황에서의 실험이 수반되어야 할 것이다.

표4. 음향왜곡경로II인 경우의 최대안정이득

	band 1	band 2	band 3	band 4	band 5	band 6	band 7	band 8
No AFC (dB)	33.1	32.0	20.0	12.0	9.5	9.5	14.0	23.5
FB AFC (dB)	35.6	35.6	24.6	27.9	23.5	29.5	26.0	30.9
Bl. AFC (dB)	33.1	34.0	20.0	27.9	31.4	34.0	34.8	23.5

참 고 문 헌

- [1] J. A. Maxwell and P. M. Zurek, "Reducing Acoustic Feedback in Hearing Aids," *IEEE Trans. on Speech and Audio Processing*, vol.3, No.4, pp.304-313, Jul. 1995.
- [2] J. M. Kates, "Feedback Cancellation in Hearing Aids: Result from a Computer Simulation," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.39, No.3, pp.553-562, Mar. 1991.
- [3] A. M. Engebretson, M. P. O'Connell, and F. Gong, "An Adaptive Feedback Equalization Algorithm for the CID Digital Hearing Aid," *Proc. IEEE ann. Int. Conf. Eng. Med. and Biol. Soc.*, pp. 2286-2287, 1990
- [4] S. F. Lybarger, "Acoustic feedback control," *The Vanderbilt Hearing aid Report*, Studebaker and Bess, Eds. Uper Darby, PA: Monographs in Contemporary Audiology, pp. 94-103., 1982.
- [5] A. Maynard Engebretson and Marilyn French-St. George, "Properties of an Adaptive Feedback Equalization Algorithm," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol.30, No.1, pp. 8-16, 1993.
- [6] 박선준, "다채널 보청 알고리즘의 성능 개선 및 실시간 구현", 연세대학교 석사 논문