

# 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍 최적화

홍정표<sup>1</sup>, 박지훈<sup>1</sup>, 이성주<sup>2</sup>, 한민수<sup>1</sup>  
한국정보통신대학교 음성음향 정보연구실<sup>1</sup>, 한국전자통신연구원 음성처리연구팀<sup>2</sup>

## Optimized Filterbank Frost Beamforming

Jungpyo Hong<sup>1</sup>, Jihoon Park<sup>1</sup>, Sangbae Jeong<sup>1</sup>, Sungjoo Lee<sup>2</sup>, Minsoo Hahn<sup>1</sup>  
Speech and Audio Information Laboratory, Information and Communication University<sup>1</sup>  
Speech Processing Team, Electronics and Telecommunications Research Institute<sup>2</sup>  
E-mail : {rookie,batho2n,sangbae,mshahn}@icu.ac.kr, lee1862@etri.re.kr

### Abstract

Beamforming is intelligent spatial filtering which extracts only target signals from noisy environment using microphone arrays. Fixed beamforming is simple and easy concept but does not show good performance in real noisy situations. As an adaptive method, Frost beamforming which has error correction feature is a good alternative. Furthermore, to adjust elements of each filterbank such as filter length and learning rate, Quadrature Mirror Filter (QMF) is implemented. The filter lengths and learning rates of the beamformer are optimized in each band. The performance is evaluated by Signal to Noise Ratio (SNR) gain and Bark scale Spectral Distortion (BSD).

### I. 서론

잡음제거 연구 분야에서 칼만 필터와 위너 필터는 가장 널리 쓰이는 방법들이다. 그러나 칼만 필터와 위너필터는 정상적 잡음을 제거하는데 우수한 성능을 보여주나, 비정상적 잡음을 제거하는데 있어서 추천할 만한 방법이 아니다. 빔포밍 기법은 비정상적 잡음제거에 우수한 방법으로 활발히 연구되고 있으며, 텔레컨퍼런싱,

빔포밍은 강력한 공간적 필터링 방법으로서, 목적신호의 위치정보를 이용하는 기술이다. , 목적신호와 잡음신호가 동시에 녹음되면 일반적인 시간 영역의 필터링 방법으로는 잡음신호를 제거할 수 없다. 하

지만 신호원의 위치는 다르기 때문에 마이크로폰 어레이와 신호원들의 위치정보를 이용하여 이러한 문제점을 해결할 수 있다[2].

암묵 신호 분리(BSS)와 빔포밍은 혼합된 신호들의 공간적 정보를 이용하기 위해 마이크로폰 어레이를 사용한다는 공통점이 있다. 그러나 암묵신호 분리는 신호원의 개수( ) · 마이크의 개수보다 적거나 같아야하는 제약이 있다. , 실제 환경에서 신호원들의 개수는 특정하게 정해져있지 않고 신호들이 넓은 지역에 흩어져있기 때문에 암묵적 신호 분리의 성능은 크게 기대하기 어렵다. , 암묵적 신호 분리 알고리즘이 수렴하는데 시간이 걸리는 단점이 있다. 반면에 빔포밍은 마이크개수의 제약이 없으며 암묵적신호 분리 보다 나은 성능을 기대할 수 있다.

다양한 빔포밍 방법들 중에서 프로스트 빔포밍과 Generalized Sidelobe Canceller (GSC)가 가장 널리 쓰인다. GSC[3] : 빔포밍 분야에서 가장 기본이 되는 구조로서, (Delay and Sum Beamforming), , multiple input canceller . GSC | 문제점은 잡음과 함께 목적신호도 제거가 크다는 점이다. 목적신호가 많이 깔이면 음질의 열화가 커진다. GSC | 목적신호 제거를 보완하기 위해 연구 개발된 방법들 중 Coefficient Constrained Adaptive Filter Generalized Sidelobe Canceller(CCAF-GSC) : 가장 뛰어난 성능을 보여준다. CCAF-GSC[6] : 목적신호 차단 행렬의 계수에 제

약을 두고, multiple input cancellation [1]에 크기 제약을 뒤서 기존의 GSC [3]서 고정되어 있던 목적신호 차단행렬을 적응적으로 조절할 수 있다.

프로스트 빔포밍[1],[4],[5] GSC 는 구조적으로 또 다른 빔포밍으로서, 목적신호보존 측면에서 GSC . 기존의 프로스트 방법은 전대역 적응 방식으로서, 주파수 대역 전체에 하나의 빔포머 웨이트가 적용되었다. 하지만 인간의 인지특성상 저주파주파수 대역의 신호의 보존이 중요하고, 주파수 대역들의 특성을 최대한 반영하기 위해서 주파수 대역마다 웨이트를 조정되도록 필터뱅크기반의 프로스트 빔포밍을 구현하였다. , 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포머의 주파수 대역마다 필터길이와 학습률을 최적화 시킴으로써, 기존의 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍보다 2dB SNR : 향상시켰다.

## II. 프로스트 빔포밍

프로스트 빔포밍은 Linearly Constrained Minimum Variance(LCMV) . LCMV : 목적신호가 웨이트 적응과정에서 많이 깎이는 것을 방지하기 위해서 몇 개의 제약을 통해 목적신호의 주파수 응답을 고정하고, (sidelobe) : 낮추기 위해 빔포머의 출력 전력이 최소화 되도록 웨이트를 적응 하는 방법이다.

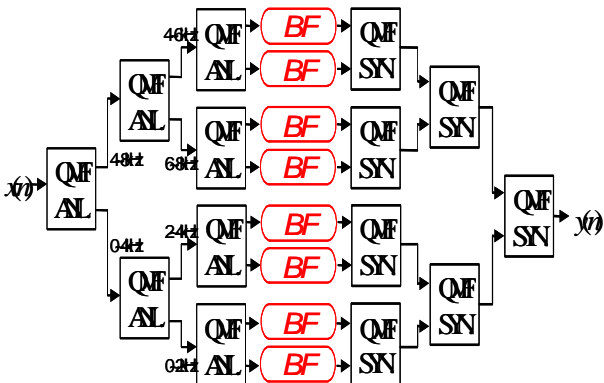


Figure 1: LCMV의 블록도

위 그림은 LCMV .  $\tau$ 는 시간 지연이다.  $K$ 는 마이크 개수.  $J$ 는 필터 탭의 개수.  $K \times J$ 의 웨이트가 목적신호와 잡음의 방향에 따라 조정된다. LCMV | 중요한 구조는 등화필터이다 등화필터는 목적신호의 주파수 응답을 나타낸다. 등화필터의 임펄스 응답이  $\delta(n)$  . 이것은 주파수 왜곡 없이 잡음을 제거하기 위함이다.

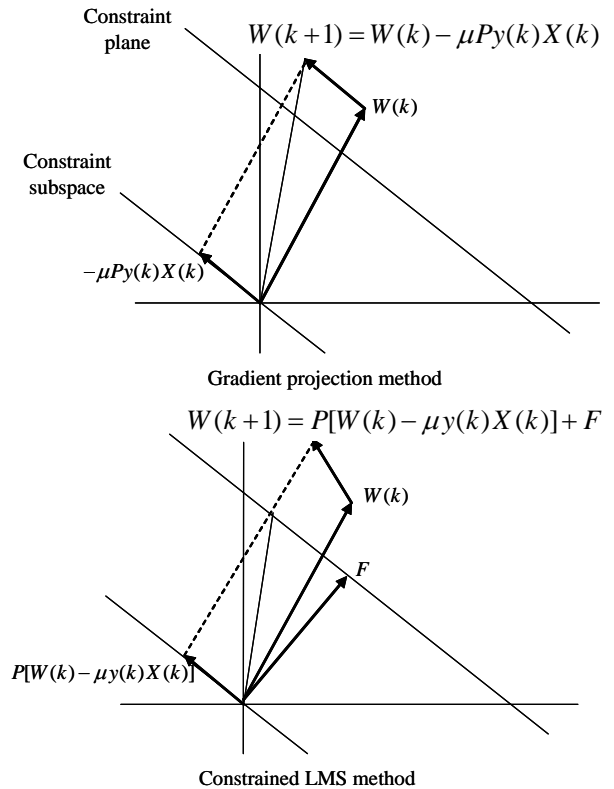


Figure 2: Gradient 방법과 프로스트 방법의 비교

$W(k)$ 은 빔포머의 웨이트,  $X(k)$ 은 빔포머의 입력,  $y(k)$ 은 빔포머의 출력,  $P$ 은 사영행렬,  $\mu$ 은 학습률,  $F$ 은 제약 벡터이다. 2 : 에러가 발생했을 때( , 웨이트가 제약평면에 있지 않을 때), gradient 사영방법으로는 수정되지 않고 에러가 다음 웨이트 벡터로 전달되지만, 프로스트 방법에 의해서는 웨이트가 다시 제약 평면으로 수렴되는 것을 볼 수 있다. 이것을 프로스트 방법의 에러 수정 특징이라고 부른다. 이 특징은 프로스트의 장점으로 성능을 높이는 요인이 된다. 하지만 프로스트는 수렴속도가 느리다는 단점이 있다.

## III. QMF 필터뱅크

$x(n)$ 은 입력,  $y(n)$ 은 출력,  $A_0, A_1$ 은 분석 필터뱅크,  $x_0(n)$ 은 저주파통과 필터의 입력,  $x_1(n)$ 은 고주파통과 필터의 입력,  $\uparrow 2$ 은 decimation.  $\downarrow 2$ 은 interpolation 이다.  $d_0(n), d_1(n)$ 은 Digital Signal

Processing (DSP) 기술. (본 논문에서는 빔포밍),  $u_0(n)$ ,  $u_1(n)$  은 interpolated 출력,  $S_0, S_1$  은 합성필터,  $y_0(n)$  은 저주파 통과필터의 출력,  $y_1(n)$  은 고주파 통과필터의 출력,  $y(n)$  은 QMF의 출력이다 만약 입력신호의 완전 복구가 가능하다면, QMF의 출력신호는 시간 지연된 입력신호와 전력이득의 곱으로 나타난다.

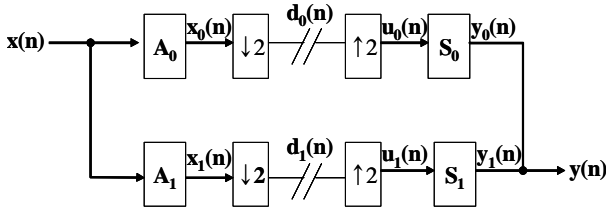


Figure 3: QMF 구조

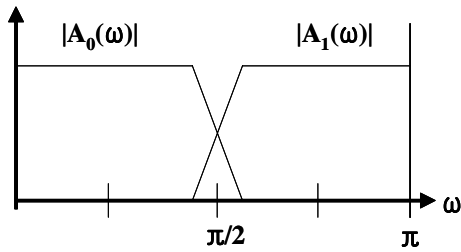


Figure 4: 저주파대역 통과 필터와 고주파대역 통과 필터의 대칭구조

분석필터단에서 저주파대역 통과 필터 ( $A_0(\omega)$ ) 와 고주파대역 통과필터는 ( $A_1(\omega)$ ) 0 |서부터  $\pi$ 까지 배열된다. 이 두 필터는  $\pi/2$  . 이것이 QMF . QMF[7]의 주된 장점은 알리아싱이 없고 입력신호의 완전 복구가 가능하다는 것이다.

#### IV 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍

기존의 프로스트 빔포밍을 필터뱅크 기반으로 구현한 이유는 각 주파수 대역별로 최적화시키기 위해서이다. 최적화 요소는 각 주파수 대역의 필터의 길이와 웨이트의 학습률이다. 일반적으로 짧은 필터의 길이는 빔포밍의 처리속도를 높여주고 학습률은 적응필터의 스텝 크기를 나타내며, 높은 학습률은 적응필터의 수렴속도를 높여준다. 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍에서는 높은 학습률은 높은 잡음제거율을 의미한다. 따라서 목적신호의 제거 없이 높은 잡음제거 효과를 이룩하기 위해서는 신호구간에 따른 학습률 조절이 필요하다.

아래 그림은 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍의 구조도이다. QMF polyphase structure , 이 구조는 전체 시스템의 계산량 감소에 기여한다.

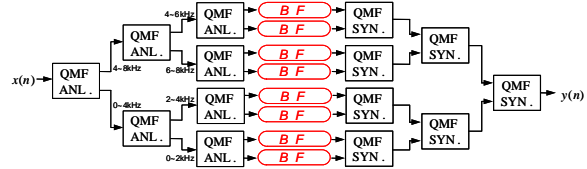


Figure 5: 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍의 구조도

### V 실험환경 및 결과

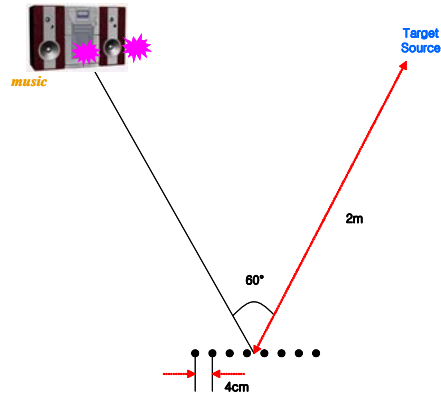


Figure 6: 데이터 베이스 수집 환경

#### 1. Experiment

8 , 마이크간의 간격은 4 cm . 목적신호원과 잡음 신호원은 마이크 배열과 각각 2 m , 음성 데이터 베이스는 남성, Phoneme Balanced Word (PBW) 450 . DB : 음성신호와 잡음신호가 각각 녹음된 뒤 SNR 0, 5, 10, 15, 20 dB . 음성신호원과 잡음신호원의 각도( 6) 60 , 16 kHz. , SNR Bark scale Spectral Distortion (BSD) 를 사용하였다( !정빔포밍의 출력과 제안한 빔포밍을 비교). SNR BSD : 목적신호 구간에서만 측정하였고, SNR BSD : 빔포머의 좋은 성능을 나타낸다.

필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍의 성능은

전대역 CCAF, 빔포밍들의 성능과 비교되었다. 7 8 : 필터뱅크 프로스트 방식이 SNR 측면에서 가장 성능이 좋음을 나타낸다.

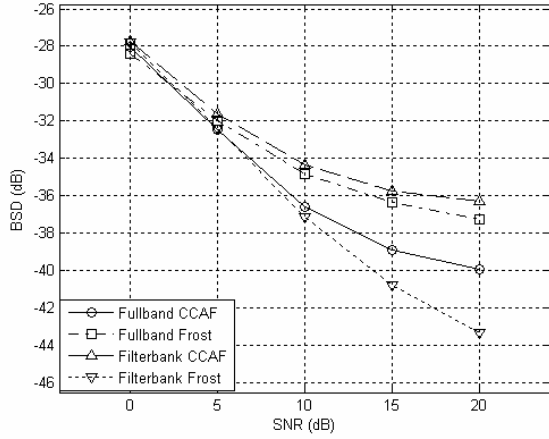


Figure 7: 전대역 빔포밍과 필터뱅크 기반의 빔포밍의 BSD 결과

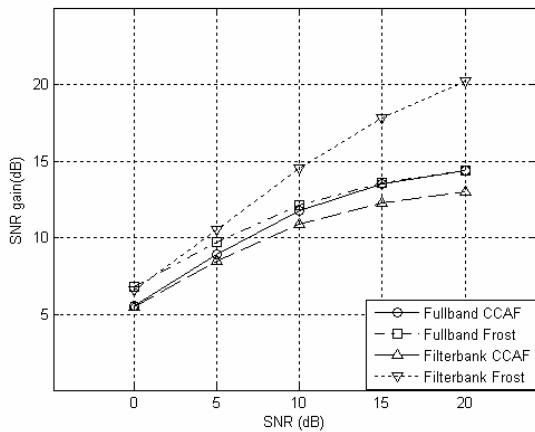


Figure 8: 전대역 빔포밍과 필터뱅크 기반의 빔포밍의 SNR 이득 결과

그림 9 10 : 필터뱅크별 최적화된 필터의 길이와 학습률을 나타낸다. 위의 선정기준은 필터뱅크별 SNR BSD | 차이가 크지 않을 경우는 빔포밍의 수행속도를 위해서 짧은 필터 길이를 선정하였다.

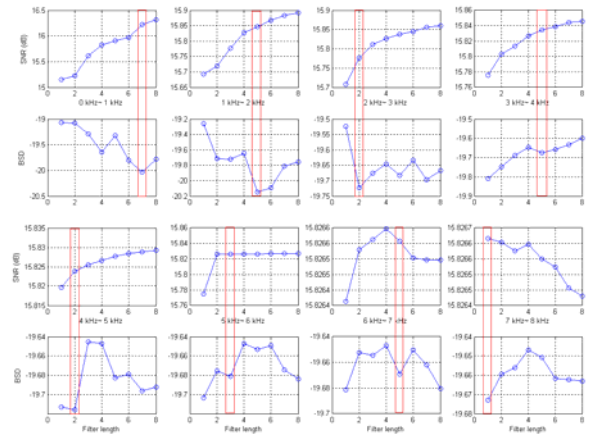


Figure 9: 대역별 최적화된 필터 길이

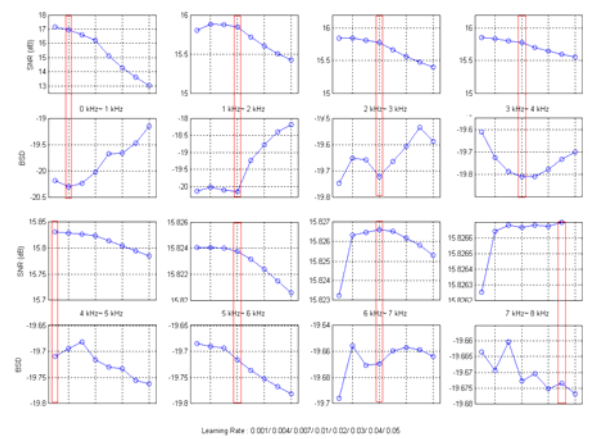


Figure 10: 대역별 최적화된 학습률

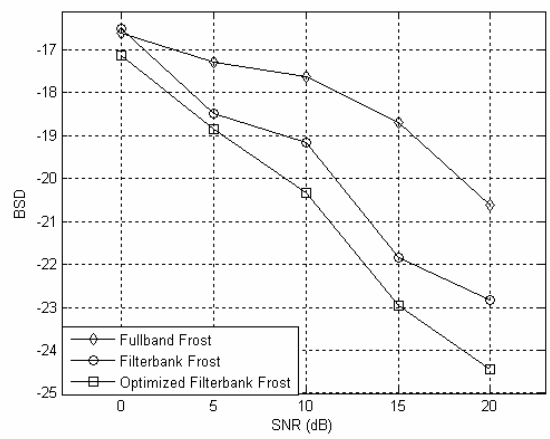


Figure 11: 제안한 방법의 BSD 결과

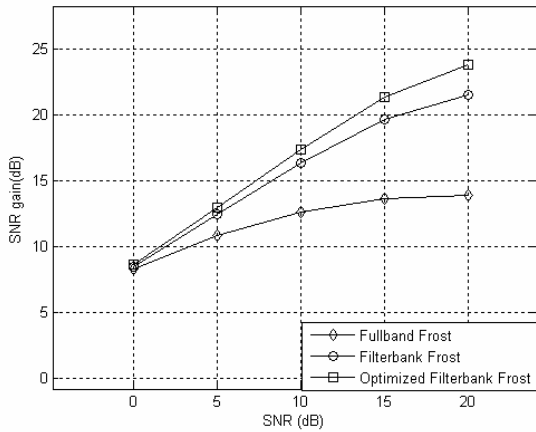


Figure 12: 제안한 방법의 SNR 이득

그림 11 12 : 제안한 방법이 기존의 필터뱅크 프로스트 빔포밍보다 2dB 정도 성능을 향상시켰음을 보여준다.

주파수 주파수 주파수 대역	필터길이	학습률	주파수 주파수 주파수 대역	필터길이	학습률
0 ~ 1 kHz	29	0.004	4 ~ 5 kHz	9	0.001
1 ~ 2 kHz	21	0.01	5 ~ 6 kHz	13	0.01
2 ~ 3 kHz	9	0.01	6 ~ 7 kHz	21	0.01
3 ~ 4 kHz	5	0.01	7 ~ 8 kHz	5	0.04

Table 1: 대역별 최적화된 필터길이와 학습률

위 표1 : 각 주파수 대역별 필터길이와 학습률을 정리한 것이다.

## VI 결론

본 논문에서는 최적화된 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍을 제안하였다. 필터뱅크 기반의 프로스트 빔포밍은 전대역 빔포밍에 비해 성능이 우수하다. 그 이유는 전대역 빔포밍은 전대역에 하나의 웨이트를 이용해서 잡음을 제거하지만 필터뱅크기반의 프로스트 빔포밍은 전대역을 8 개의 밴드로 나눠서 각 대역마다 최적화된 웨이트를 구함으로써 잡음을 보다 더 미세하게 제거 할 수 있다. , 본 논문에서 제안하였듯이 각 대역별로 필터길이와 학습률을 조정할 경우 기존의 전대역 프로스트 빔포밍보다 2dB SNR 이득을 얻을 수 있었다.

필터뱅크기반의 프로스트 빔포밍 방법을 보다 향

상시키기 위한 앞으로의 연구 방향은 목적신호의 제거를 방지하기위해 목적신호 구간을 찾고 그에 따른 학습률을 적응적으로 조절 하는 것이다.

## 참고문헌

- [1] Otis Lamont Frost, "An Algorithm for Linearly Constrained Adaptive Array Processing," *proceedings of the IEEE*, Vol. 60, No.8, AUGUST 1972.
- [2] Barry D. Van Veen and Kevin M. Buckley, "Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering," *IEEE ASSP MAGAZINE* APRIL 1988.
- [3] LLOYD J Griffiths., "An Alternative Approach to Linearly Constrained Adaptive Beamforming," *IEEE Transactions on antennas and propagation*, Vol. AP-30, No.1, January 1982
- [4] Kevin M. Buckley, "Spatial/Spectral Filtering with Linearly Constrained Minimum Variance Beamformers," *IEEE Transactions on Acoustics, speech, and signal processing*, Vol.ASSP-35, No.3. March 1987.
- [5] Qiyue Zou, Zhu Liang Yu, and Zhiping Lin, "A robust Algorithm for Linearly Constrained Adaptive Beamforming," *IEEE Signal processing letters*, Vol. 11, No.1, January 2004.
- [6] O. Hoshuyama, A. Sugiyama and A. Hirano, "A robust adaptive beamformer for microphone array with blocking matrix using constrained adaptive filter," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 47, no. 10, pp. 2677-2684, October 1999.
- [7] P.P. Vaidyanathan, "Multirate Systems and Filter Banks," Prentice Hall, Chapter 3~4, Oct. 1992