

# 적응 보상기를 채용한 적응 순환 반향제거기

正會員 최 삼 길\*, 김 달 수\*\*

## An Adaptive IIR Echo Canceller with Adaptive Compensator

Sam Kil Choi\*, Dong Soo Kim\*\* *Regular Members*

“이 연구는 1993학년도 동의대학교 자체 학술연구조성비에 의하여 연구되었음”

### 요 약

반향제거기에 사용되는 필터는 대부분 적응비순환필터이다. 그러나 일반적으로 실제의 시스템에서는 전달함수가 영점과 극점을 동시에 가지고 있는 경우가 많으며 그럴 경우 적응순환필터가 적응비순환필터 보다 효과적이다. 본 연구에서는, C-HARF 알고리즘이 적응순환필터이면서도 수렴성이 증명되었다는 점을 활용하여 적응순환 반향제거기에 적용하였다. 시뮬레이션 결과, 비록 수렴속도가 늦긴하지만 C-HARF 알고리즘이 NLMS 알고리즘 보다 잘 수행됨을 알 수 있었다.

### Abstract

Adaptive FIR filters are widely used in the echo canceller. But, most of practical systems have the transfer function composed of poles and zeros. In that case, adaptive IIR filters may be more efficient rather than FIR filters. In this paper, a recently developed C-HARF algorithm is used to implement an adaptive IIR echo canceller. The proved convergence of the algorithm make it attractive for this application. Extensive computer simulations show that C-HARF algorithm performs better than the NLMS algorithm after convergence, although C-HARF algorithm converges more slowly.

### I. 서 론

장거리 전화시스템에서는 2선 전송을 4선 전송으

로 바꾸어주는 하이브리드(hybrid) 회로가 있다.<sup>1), 2)</sup> 이상적으로는 4선을 통하여 들어온 음성 신호의 모든 에너지가 2선에 완전히 전송되어야 한다. 그러나 고객의 회선수가 많고 또한 그 각각 마다 2선의 길이가 다르므로 하이브리드 회로는 결코 이것을 완전하게 정합시키지 못한다. 그러므로서 송화자의 음성 신호

\* 동의대학교 전자통신과

\*\* 동의공업전문대학 전자통신과

論文番號: 95106-0315

接受日字: 1995年 3月 15日

의 지연된 성분이 다시 송화자 쪽으로 되돌아오는 통화자 반향(talker echo) 현상이 생기게 된다.<sup>[2]</sup> 이런 통화자 반향 문제는 근거리 통신망에서는 Bell 전화 연구소에서 반향 억압기(echo suppressor)를 개발함으로써 거의 해결할 수 있었다.<sup>[2]</sup> 그러나 위성통신이 날로 발전하고 있는 오늘날에 있어서는 전통적 반향 억압 기술만에 의해서는 통화의 고품질화가 어렵게 되었다. 즉 지구에서 보낸 음성이 위성을 통하여 다시 되돌아오기까지는 무려 0.5초라는 긴 시간이 필요하며 그 중간에 섞여드는 잡음 등으로 인하여 이제 반향억압기가 아닌 적응반향제거기(adaptive echo canceller)를 쓰지 않으면 통화의 품질은 형편없이 저하되기 때문이다.<sup>[8-11]</sup>

이와같은 적응반향제거기에 적용되는 필터로는 적응비순환필터와 적응순환필터가 있다. 적응비순환필터로 구성된 시스템은 안정되기는 하나 필터 차수가 높아 계산량이 많을 뿐만 아니라 시스템 모델링에 있어서 대략적인 접근 밖에 할 수 없다는 어려움 때문에 최근 적응순환필터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[12-16]</sup>

그러나 적응순환필터는 오차자승함수가 비선형적이며 국부극소점(local mini-mum)을 가질 뿐만 아니라 안정성을 보장할 수 없다는 등의 문제 때문에 아직도 만족할 만한 알고리즘이 개발되지 못한 상태이다.

최근에 HARF(hyperstable adaptive recursive filter) 알고리즘에서의 보상기 설계상의 어려움을 해소하기 위해 시스템이 항상 SPR(strictly positive real) 조건을 만족하도록 오차완화 필터의 파라미터를 자동으로 조절할 수 있는 적응보상기를 채용한 새로운 C-HARF(Compensated-HARF) 알고리즘이 제안되었다.<sup>[17]</sup>

본 연구에서는 이 C-HARF 알고리즘을 반향제거기에 적용하여 기존의 FIR(fin-ite impulse response) 알고리즘에서 사용되는 NLMS(normalize least mean square) 알고리즘과 성능을 비교하여 그 타당성을 검토해 보고자한다.

## II. 본 론

### 1. 적응반향제거기

전형적인 4선 전화 시스템에 있어서 반향의 원인을 그림 1에 나타내었다. 시스템은 전화 1 및 2에 대하여

대칭이다. S1은 송화자이고, S2는 수화자라고 가정한다. S1의 음성신호는 2선을 통하여 단국(local office)에 전달된다. 단국에서는 하이브리드 회로가 2선과 4선 사이를 연결시켜 주고 이 음성신호는 4선의 윗경로를 통하여 먼거리로 전달된다. 이때 잡음이 2선과 하이브리드 회로 등으로 들어가게 되며 백색잡음으로 나타난다. S2 부근에 있는 수신 단국의 하이브리드 회로 H는 음성신호를 S2의 전화 세트에 연결되어 있는 2선에 보낸다. 이상적으로, 들어온 음성신호의 에너지 전부가 4선의 윗경로로 부터 2선으로 또 S2로 전해져야 한다. 이것은 실제적으로는 주의깊게 설계된 하이브리드 회로 H에 의해서 수행된다고 볼 수 있다. 그러나 고객 수의 다양화와 2선의 길이의 차이 등으로 하이브리드 회로 H는 이것을 완전하게 정합시키지 못하고 있는 실정이다.<sup>[2]</sup>

따라서 그림 1에서 보는 반향통로가 생기게 되었으며 S1의 음성신호는 수신단 끝에서 누설되어 4선의 아래 경로를 통하여 다시 S1 쪽으로 전달되는 일부의 성분이 있으므로 인하여 S1의 자신의 목소리가 다소 지연된 소리 즉 통화자 반향성분을 듣게 된다.

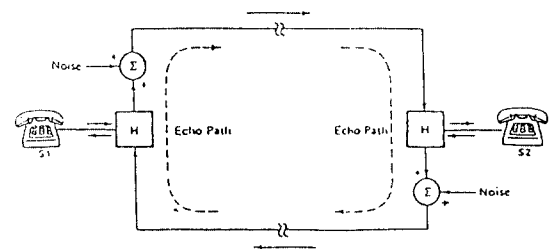


그림 1. 4선 장거리 전화 시스템

Fig. 1. A 4-wire long distance telephone system.

그림 2에서 S2는 말을 하지 않고 가만히 있다고 가정한다. S2가 말을 하는 동시통화(double talk)의 경우는 적응 프로세서를 멈추게 하는 음성검출 기능이 있다고 가정한다. 동시통화의 경우 나타나는 여러가지 문제점에 관한 많은 새로운 연구가<sup>[12]</sup> 있었으나 본 논문에서는 적응반향제거기에 적용되는 FIR 혹은 IIR(infinite impulse response)형 알고리즘의 비교에 국한한다.

그림 2에서 반향경로의 전달함수가 미지의 다이나믹 플랜트라고 한다면 그림 2는 반향제거기의 시스템 인식 모델인 그림 3과 일치한다. 이와같은 반향경로의 전달함수를 모델링 하는데는 극점과 영점을 동시에 가지고 있는 적응순환필터가 더 정확히 구현된다.

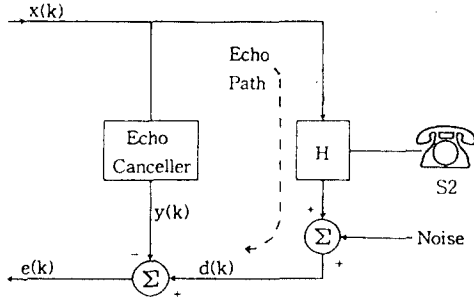


그림 2. 반향제거기를 사용한 반향제거  
Fig. 2. Echo cancellation using an echo canceller.

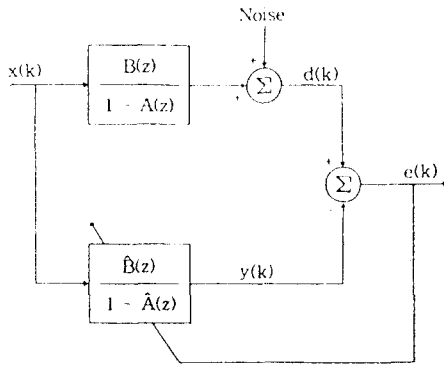


그림 3. 시스템 인식 모델  
Fig. 3. System identification model.

2. 적응보상기를 이용한 적응반향제거기의 제안

오늘날 적용되고 있는 반향제거기의 대부분은 적응비순환필터이다. 그것은 주로 안정도가 좋고 수렴성을 보장받을 수 있기 때문이다. 그러나 일반적으로 실제의 시스템에서는 전달함수가 극점과 영점을 동시에 가지고 있는 경우가 많다. 이러한 경우 적응순

환필터로는 쉽게 모델링 할 수 있으나 적응비순환필터로는 대략적인 접근만 할 수 있으며 또한, 적응순환필터로는 수차로써 모델링 할 수 있는 것도 적응비순환필터를 이용하면 수백차의 필터가 요구되기도 한다. 그것은 시스템을 구현하는데 비용이 많이 들며 또한 계산이 복잡해진다.<sup>[17]</sup>

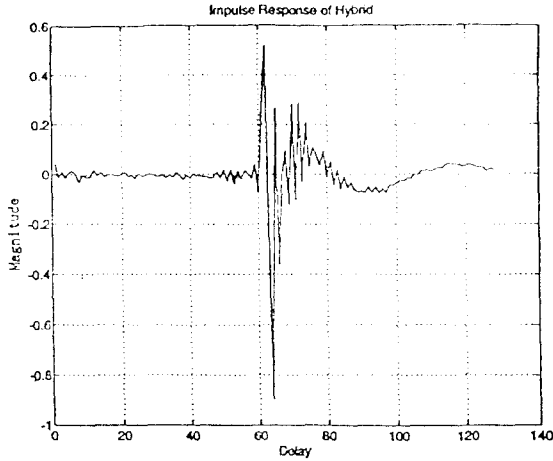
이런 적응순환필터의 장점에도 불구하고 아직도 만족할만한 IIR 알고리즘이 없는 이유는 첫째, IIR 필터의 오차자승합수가 극부극소점을 가져 LMS 알고리즘에서 널리 사용되는 경사법을 사용하기 어렵다는 것이다.<sup>[15]</sup> 둘째, 시스템의 극점들이 단위원 밖에 존재하는 경우가 있으며 그 원인으로 시스템이 불안정하게 되는 경향이 있다.<sup>[16]</sup>

Sterns<sup>[15]</sup>는 적응순환필터에 충분한 수의 극점과 영점을 첨가시키면 오차 표면의 극부극소점을 제거시킬 수 있다고 했으며 Long과 Shwed<sup>[16]</sup>는 입력신호의 자기상관행렬의 고유치의 분산을 줄여주면 시스템이 빨리 수렴할 수 있다고 했다. 그러나 이 방법은 적응순환필터에 단순히 필터 계수를 첨가 함으로써 극부극소점을 제거할 수 있을 뿐만아니라 기울기 방법까지 사용할 수 있다는 장점이 있는 반면 필터 차수가 높아지고 계산량이 많아진다.

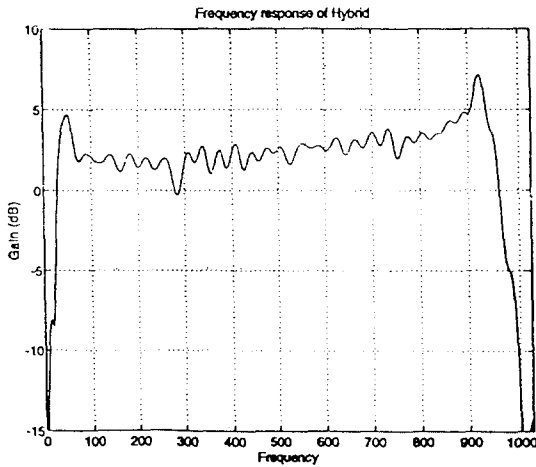
또 다른 형태의 적응순환필터의 응용은 초안정성에 기초를 둔 알고리즘들이다. 1978년 Johnson<sup>[5]</sup>은 시스템이 V.M.Popov<sup>[6]</sup>가 제안한 초안정성 이론의 SPR 조건을 만족하면 그 시스템은 근사적으로 수렴한다는 것을 증명하였으며 안정도 문제를 개선시키기 위한 수단으로 보상기를 사용한 HARF 알고리즘을 발표하였다.<sup>[16]</sup> 그러나 시스템이 SPR 조건을 만족해야 한다는 가정을 둔 것은, 보상기를 설계하기 위해서는 식별해 내고자 하는 미지의 기준시스템에 대한 사전 지식이 요구되는 것과 같은 뜻이므로 HARF 알고리즘이 실제적으로 응용되는데 있어서 또 하나의 장애 요인으로 지적되었다.<sup>[15]</sup>

이와같은 HARF 알고리즘에서의 보상기 설계상의 난점을 해소하기 위해 시스템이 항상 SPR 조건을 만족하도록 오차완화필터의 파라미터를 자동으로 조절할 수 있을 뿐만아니라 미지의 기준 시스템에 대한 사전 지식이 전혀 필요없는 새로운 적응 알고리즘인 C-HARF이 발표되었다.<sup>[17]</sup> 본 논문에서는 이 C-HARF 알고리즘을 적응 반향제거기에 적용하여 기존의 NLMS





(a)



(b)

그림 5. 하이브리드 임펄스 응답

- (a) 시간영역에서의 하이브리드 임펄스 응답
- (b) 주파수영역에서의 하이브리드 임펄스 응답

Fig. 5. Impulse response of Hybrid.

- (a) Impulse response of Hybrid in time domain.
- (b) Impulse response of Hybrid in frequency domain.

아하고 영점과 극점을 동시에 사용하는 IIR의 경우는 필터 차수가 낮아도 가능하기 때문에 전체적 계산량은 FIR 보다 작다.

본 연구의 시뮬레이션에서는 표 1과 같은 조건으로

표 1. 제안한 알고리즘과 NLMS 알고리즘간의 계산량 비교  
Table 1. Comparison of the required number of computational operations between the proposed algorithm and NLMS algorithm.

	NLMS	C-HARF
계산량	$3Z + 1$	$(2P + Z)^2 + P + Z + C + 1$
	385	80
필터 차수 = Z		영점 차수 = Z = 2
= 128		극점 차수 = P = 3
		보상기 차수 = C = 10

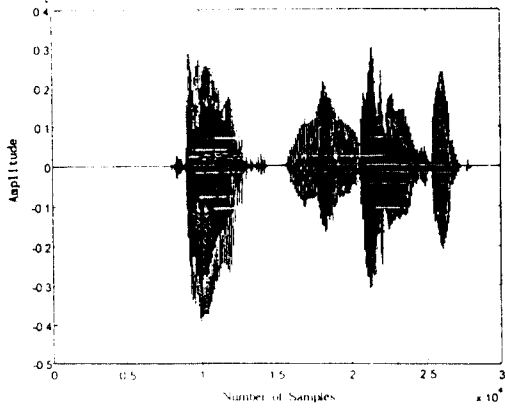
실험하였으며 그림 6은 음성신호입력에 대한 되돌아온 반향을 나타내고 그림 4의  $v(k)$ 에 해당되는 신호이다. 그림 6 (a)는 음성입력신호이며, (b)는 NLMS 알고리즘에서 필터차수 128차,  $\mu = 0.1$ 로 주었을 때의 되돌아온 반향이고, (c)는 C-HARF 알고리즘에서  $\mu = 0.1$ ,  $\rho = 0.01$ ,  $\gamma = 0.1$ 로 주었을 때의 되돌아온 반향을 나타낸다. NLMS 알고리즘의 경우가 C-HARF 알고리즘의 경우 보다 배 이상의 큰 값이 반향으로 되돌아오고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 위의 실험의 음성신호입력 대신 백색잡음 입력을 주어 위의 실험을 반복하였다. 그림 7 (a)는 백색잡음입력을 나타내며 (b), (c)는 NLMS 및 C-HARF 알고리즘의 백색잡음입력에 대한 되돌아온 반향을 나타낸다. 역시 C-HARF 알고리즘의 경우가 되돌아온 반향 값이 다소 작음을 알 수 있다.

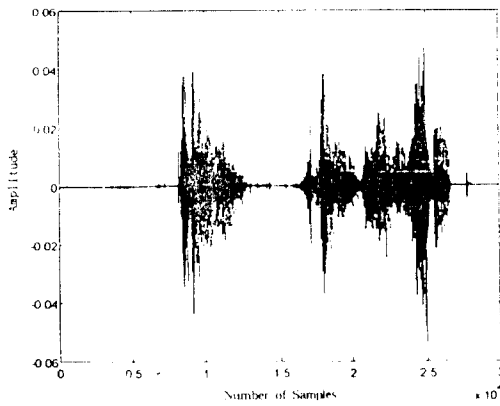
또한 FIR 알고리즘을 적용한 것과 제한한 IIR 알고리즘을 적용한 적응반향제거기의 성능을 평가하기 위하여 ERLE(echo return loss enhancement)복선율식 (10)과 같이 비교하여 그림 8에 나타내었다. 그림 8은 음성신호입력에 대하여 그림 6과 같은 조건하에서의 ERLE 값을 비교한 것이다. 전체적으로 C-HARF의 경우가 NLMS 보다 평균 10[dB] 정도 더 높다. 그래프 중간에 거의 0으로 떨어지는 곳은 북음 구간이기 때문이다.

$$ERLE = 10 \log \frac{E[y^2(n)]}{E[e^2(n)]} \quad (10)$$

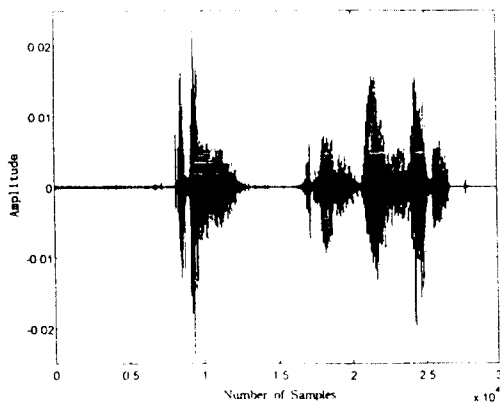
그림 9는 백색잡음입력에 대한 ERLE를 비교한 것이다. C-HARF 알고리즘의 경우가 NLMS 알고리즘보다 다소 늦게 정상상태에 도달하지만 평균 약 10 [dB] 정도 더 높은 ERLE 값을 나타낸다.



(a)



(b)



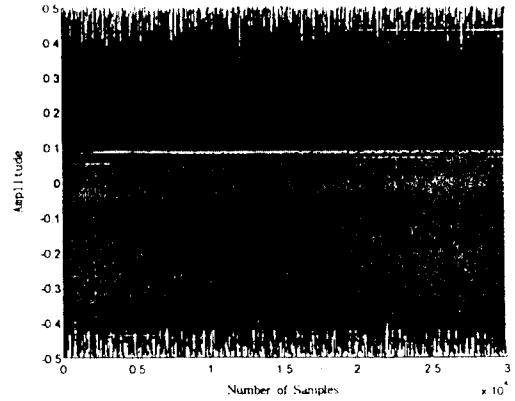
(c)

그림 6. 음성신호입력에 대한 되돌아온 반향

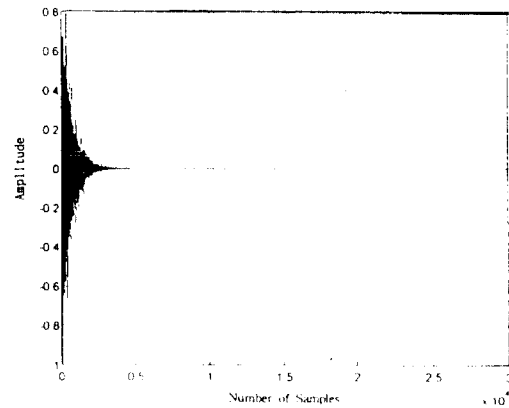
- (a) 음성입력신호
- (b) NLMS 알고리즘을 사용한 반향
- (c) C-HARF 알고리즘을 사용한 반향

Fig. 6. Returning echo for speech signal input.

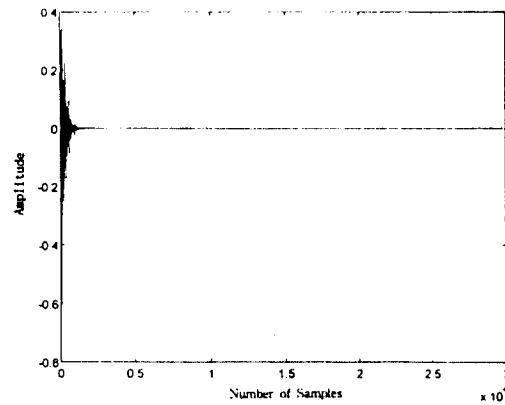
- (a) Input speech signal.
- (b) Returning echo using NLMS algorithm.
- (c) Returning echo using C-HARF algorithm.



(a)



(b)



(c)

그림 7. 백색잡음입력에 대한 되돌아온 반향

- (a) 백색잡음입력
- (b) NLMS 알고리즘을 사용한 반향
- (c) C-HARF 알고리즘을 사용한 반향

Fig. 7. Returning echo for white noise input.

- (a) Input white noise.
- (b) Returning echo using NLMS algorithm.
- (c) Returning echo using C-HARF algorithm.

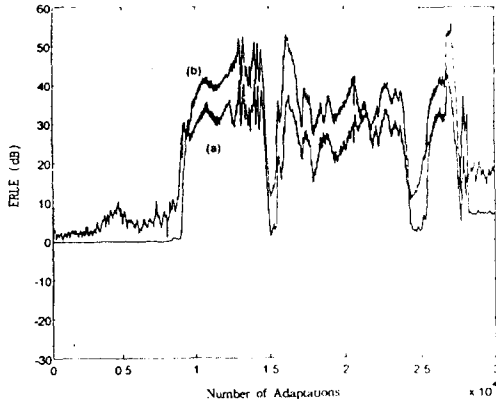


그림 8. 음성신호입력에 대한 ERLE 곡선  
 (a) NLMS ( $\mu=0.1$ )  
 (b) C-HARF ( $\mu=0.1, \rho=0.01, \gamma=0.1$ )  
 Fig. 8. ERLE curves for speech signal input.  
 (a) NLMS ( $\mu=0.1$ )  
 (b) C-HARF ( $\mu=0.1, \rho=0.01, \gamma=0.1$ )

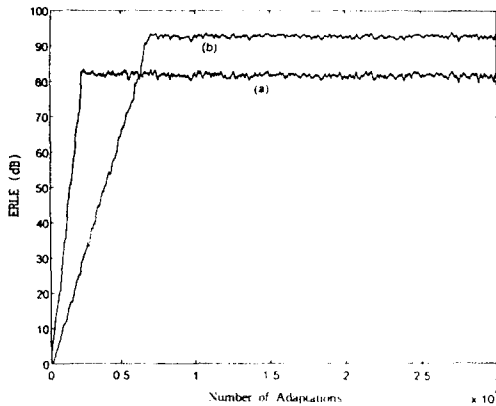


그림 9. 백색잡음입력에 대한 ERLE 곡선  
 (a) NMS ( $\mu=0.1$ )  
 (b) C-HARF ( $\mu=0.1, \rho=0.01, \gamma=0.1$ )  
 Fig. 9. ERLE curves for white noise input.  
 (a) NMS ( $\mu=0.1$ )  
 (b) C-HARF ( $\mu=0.1, \rho=0.01, \gamma=0.1$ )

#### IV. 결 론

적응반향제거기에 적용되는 필터로는 적응비순환 필터와 적응순환필터가 있다. 적응비순환필터로 구

성된 시스템은 안정되기는 하나 필터 차수가 높아 계산량이 많은 뿐만 아니라 시스템 모델링에 있어서 대략적인 접근 밖에 할 수 없다는 어려움 때문에 최근 적응순환필터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직도 만족할 만한 알고리즘이 개발되지 못한 상태이다.

최근에 HARF 알고리즘에서의 보상기 설계상의 어려움을 해소하기 위해 시스템이 항상 SPR 조건을 만족하도록 오차완화 필터의 파라미터를 자동으로 조절할 수 있는 적응보상기를 채용한 새로운 C-HARF 알고리즘이 제안되었다.

본 연구에서는, 이 C-HARF 알고리즘이 적응순환 필터이면서도 대체로 수렴한다는 점을 활용하여 반향제거기에 적용하였다. 시뮬레이션 결과, 알고리즘 자체의 계산량이 다소 많긴하지만 반향제거기에서 대표적으로 논의되고 있는 ERLE값은 NLMS알고리즘을 쓴 경우가 제안한 알고리즘을 쓴 경우 보다 평균 10[dB] 정도 개선됨을 알 수 있었다.

본 연구에서는 수렴속도 문제에 대하여 충분히 고려하지 못하였다. 실제 적응반향제거기에서 실시간 처리가 되려면 이 문제가 충분히 해결되어야 하나 본 연구에서는 향후 연구해볼 과제로 남았다.

#### 참 고 문 헌

1. M. Sondhi, "An adaptive echo canceller," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 46, pp. 497-511, Mar. 1967.
2. J. Rosenberger and E. Thomas, "Performance of an adaptive echo canceller operating in a noisy, linear, time-invariant environment," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 50, pp. 985-813, Mar. 1971.
3. S. D. Stearns, "Error surfaces of recursive adaptive filters," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. CAS-28, Special Issue on Adaptive Systems, June 1981.
4. G. Long, D. Shwed, and D. D. Falconer, "Study of a Pole-Zero adaptive echo canceller," *IEEE Circuits Syst.*, vol. CAS-34, Special Issue on Adaptive Systems and Applications, July 1987.
5. C. R. Johnson, Jr., "A convergence proof for a hyperstable adaptive recursive filter," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-2 no. 6, Nov. 1978.

6. C. R. Johnson, Jr., "Adaptive IIR filtering: current results and open issues," *IEEE Inform. Theory*, vol. ITR-30, no. 2, pp. 237-250, Mar. 1984.
7. M. J. Gingell, B. G. Hay, and L. D. Humphrey, "A Block Mode Update Echo Canceller Using Custom LSI," *GLOBECOM Conference Record*, vol. 3, pp. 1394-97, Nov. 1983.
8. D. G. Messerschmitt, "Echo Cancellation in Speech and Data Transmission," *IEEE Journal on Selected Topics in Communitions*, SAC-2, no. 2, pp. 283-303, Mar. 1984.
9. D. L. Duttweiler, "A Twelve-Channel Digital Voice Echo Canceller," *IEEE Transactions on Communications*, COM-26, no. 5, pp. 647-53, May 1978.
10. L. Pagnucco and C. Ershine, "Companding Routines for the TMS32010/TMS 32020," *Digital Signal Processing Applications with the TMS320 Family*, Texas Instruments(1986).
11. W. B. Mikhoel, "A Frequency-domain adaptive echo cancellation algorithm," in *Proc. Int. Symp. Circuits Syst., Chicago, IL*, May 1981.
12. D. D. Falconer, "Adaptive reference echo cancellation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 2083-2094, Sept. 1982.
13. O. L. Frost, III, "An algorithm for linearly constrained adaptive array processing," *Proc. IEEE*, vol. 60, no. 8, pp. 926-935, Aug. 1972.
14. L. J. Griffiths, C. W. Jim, "An alternative approach to linearly constrained adaptive beamforming," *IEEE Trans. Ant. Propag at*, vol. AP-30, no. 1 Jan. 1982.
15. Gooch R. Paul, "Adaptive pole-zero filtering: The equation error approach," *Ph. D. Dissertation Dept. of Elect. Eng., Stanford Univ.*, June. 1983.
16. C. R. Johnson, "SHARF convergency properties," *IEEE Trans. Acoust., Speech Signal Processing*, vol. ASSP-29, pp. 659-670. June 1981.
17. 윤병우, 신윤기 "적응 보상기를 채용한 초안정성 적응순환필터," 전자공학 회 논문지, 제 27권, 제 3호, 1990년 3월.



최 삼 길(Sam Kil Choi) 정회원

1946년 11월 28日生  
 1969년 2월: 光云大學校 無線通信學科(學士)  
 1988년 2월: 東亞大學校 電子工學科(碩士)  
 1991년 2월: 東亞大學校 電子工學科(博士課程修了)

1973년 2월~1985년 2월: 東義工業專門大學 通信科 副教授

1985년 3월~現在: 東義大學校 電子通信工學科 教授



김 달 수(Dong Soo Kim) 정회원

1972년 3월 1976년 2월: 부산대학교 전자공학과(학사)

1979년 3월 1982년 2월: 부산대학원 전자공학과(석사)

1988년 3월 1992년 8월: 부산대학원 전자공학과(박사)

1978년 3월 1979년 2월: 경동공업전문학교 전임강사

1996년 현재: 동의공업전문대학 교수