論文97-34S-12-12

RLS 알고리즘을 이용한 승용차 내 능동소음제어의 개선

(Improvement of Active Noise Control in Vehicle Interior Using a RLS Algorithm)

金 榮 旭 *, 李 允 熙 **, 金 基 斗 ***

(Young-Wook Kim, Youn-Hee Lee, and Ki-Doo Kim)

요 약

본 논문에서는 DSP 프로세서에 RLS 알고리즘을 적용시켜 자동차 내의 부밍 소음을 능동적으로 개선하는 방법을 제안하였다. 제안한 RLS 알고리즘을 트랜스버셜 구조에 적용시킴으로써 6차의 작은 필터차수로 효과적인 소음제어가 가능함을 확인할 수 있다. 주행 중에 발생하는 200Hz 이하의 저주파수 소음은 사람의 청각을 자극시킨다. 이러한 소음의 발생은 경제적이고 고출력인 승용차가 개발됨에 따라 점점 강하게 나타난다. 이러한 자극을 제거하기 위해 흡음재 등을 설치하기도 하지만 비용 면에서 효율적이지 못하므로 소형 승용차에 설치하기는 곤란하다. 따라서 적은 비용으로 이러한 소음원을 제거하는 능동소음제어에 관한 연구의 비중이 커지고 있으며, LMS와 RLS 알고리즘이 주로 이용되고 있다. LMS 알고리즘은 실시간 시스템 구현이 용이하나 고조파 성분을 제거하는 데에는 효율적이지 못한 단점을 가지고 있다. 반면에 RLS 알고리즘은 계산상의 복잡성을 가지고 있으나, 수렴속도가 빨라 추정성능이 높은 장점이 있다. 본 논문에서는 32 비트 부동소수점 DSP 프로세서를 이용하여 적응 알고리즘을 실시간으로 구현하였다. 또한 적응 알고리즘인 LMS와 RLS 알고리즘의 성능 및 수렴속도를 비교 분석하여 RLS 알고리즘의 우수성을 입증하였다.

Abstract

While driving, the low frequency interior noise below 200Hz causes the main component that irritates the auditory acoustic sense. But these passive control methods bring out increment in cost and weight of the vehicle and result in low efficiency. Recently, various ANC(Active Noise Control) methods to suppress the low frequency noise began to launch into application. In this study, we implemented the active noise control system for passenger vehicle to cancel the engine booming noise using DSP-based control unit, 4 microphones, and 2 speakers. We used MEFX-LMS (Multiple Error Filtered X-Least Mean Square) algorithm since it can be easily implemented in real time. Also, MEFX-RLS algorithm was taken to enhance the suppression of the harmonic components of the engine booming noise inspite of its computational complexity. The performance of two adaptive algorithms were analyzed with experimental results.

* 正會員, (株)이노버텍 附設情報通信硏究所 無線通信室

(Information & Communication R&D Lab., InnovaTek, Inc)

** 正會員, 金浦專門大學校 電子科

(Dept. of Elec. Eng., Kim-Po Technical Collage)

*** 正會員, 國民大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kook-Min University)

接受日字: 1997年6月5日, 수정완료일: 1997年11月18日

I. 서 론

차량의 소형화, 경량화는 필연적으로 실내소음의 증가를 초래하게 된다. 이러한 현상은 승용차 내에서의 정숙성 요구에 역행하는 것으로 이의 해결을 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

김명복 외[1]의 논문에서는 16비트 고정소수점 DSP 프로세서인 DSP 56001에 10차의 FXLMS (Filtered-X Least Mean Square) 알고리즘을 적용

하여 차 실내의 엔진 부밍 소음을 10dB정도 감소시켰다. 또한 남현도[2]는 덕트(Duct) 내에서 연속추정기법을 적용한 16차의 RLMS (Recursive Least Mean Square) 알고리즘을 이용하여 능동소음을 제거하였다. H. Sano[3]는 32차 FXRLS (Filtered-X Recursive Least Square) 알고리즘을 적용하여 80~100Hz의 도로소음 (Road Noise)이 10dB 이상 개선됨을 보였다. RLS 알고리즘은 계산량이 많기 때문에 실시간 구현을 위해서는 낮은 차수로 구현함이 바람직하다.

본 논문에서는 소형 승용차에서 엔진 부밍 소음 제거에 관한 실험을 하였다. 실험적으로 LMS 알고리즘을 적용하였을 때 100Hz~200Hz 사이의 엔진 부밍 소음을 제거하는데에는 효과적이었으나 이의 고조파 성분은 상대적으로 크게 나타나는 경우가 발생하였다. 이것은 입력이 엔진 폭발 주기에 기인하는 삼각함수 형태로 나타나기 때문이라고 사료된다. 엔진 부밍 소음을 능동적으로 처리하기 위해 LMS 알고리즘보다 작은 필터 차수에서 수렴속도가 빠른 RLS 알고리즘을 적용하였다. 또한, 부밍 소음을 실시간으로 제거하기 위해 저가의 32 비트 부동소수점 디지탈 신호처리 프로세서인 Texas Instruments 사의 TMS320C32를 사용하였다[4~6].

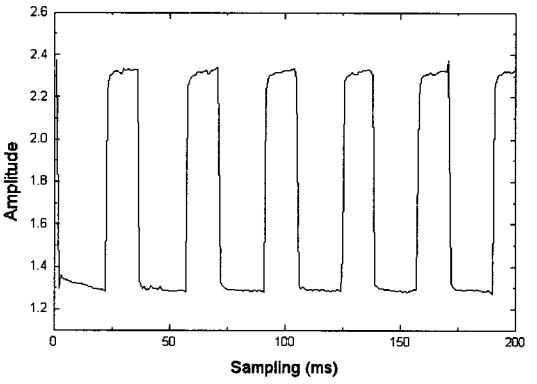
Ⅱ. 자동차의 엔진 소음특성

차량 실내 소음원 중에서 가장 큰 원인이 되는 부밍 소음은 엔진의 폭발과 밀접한 관계가 있다. 즉, 4기통 엔진의 경우에 크랭크축이 1회전할 때마다 2회 폭발이 일어난다. 이때의 폭발음이 엔진소음이며 이것은 엔진회전수와 관련된 주파수 성분들로 구성된다. 엔진의 분당 회전수를 RPM으로 나타내며 주파수와는 다음과 같은 관계를 갖고 있다.

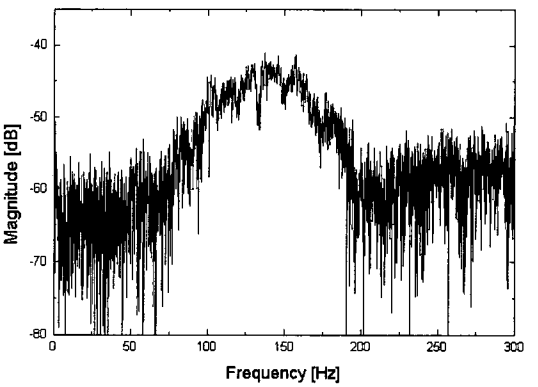
$$\text{주파수}[Hz] = 2 \times \frac{\text{엔진회전수}[RPM]}{60} \qquad (1)$$

엔진회전수와 주파수의 관계는 전자제어장치 (ECU : Electronic Control Units)에서 나오는 신호 중의 타코미터 (Tachometer) 신호특성으로부터 알 수 있다. 타코미터 신호는 엔진의 폭발에 의해 발생하며 다음 그림 1 (a)와 같이 구형파의 모양을 갖는다. 그림 1은 타코미터에서 나오는 신호를 시간축과 주파수축상에 표현한 것이다.

그림 1에 사용된 데이터는 3000~6000 RPM을 sweep하면서 얻은 것으로써 식 (1)에 의해 100~200Hz 부근에서 신호전력이 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 타코미터 신호 주기와 관련된 주파수 성분을 예측하여 소음을 제거하게 된다.



(a) 시간축 특성



(b) 주파수축 특성 (전력 밀도 스펙트럼)

그림 1. 타코미터의 신호특성
Fig. 1. Signal characteristics of tachometer.

Ⅲ. 능동소음제어 시스템의 하드웨어 구성

그림 2는 승용차 내의 능동소음제어 시스템 하드웨어 전체 블록도이며 다음과 같이 크게 아날로그 시스템과 디지탈 시스템으로 구분된다. 아날로그 시스템은 LPF, 앰프, 스피커, 마이크로폰으로 구성되고, 디지탈 시스템은 ADC와 DAC, 그리고 DSP 프로세서로 나눌 수 있다. 아날로그 시스템에서는 50Hz~14KHz에서 특성이 좋은 무지향성 마이크로폰과 임피던스 정합

이 우수한 4Ω의 스피커를 사용하였다. 디지털 시스템에서는 32비트 부동소수점 DSP 프로세서 중 성능과 가격면에서 적합한 TMS320C32를 선택하였다.

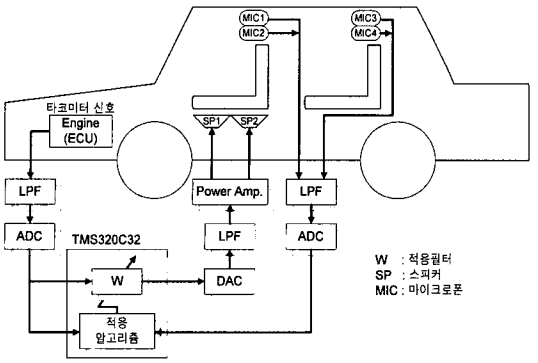


그림 2. 승용차 내에서 엔진소음 감쇠를 위한 다채널 ANC 시스템

Fig. 2. Multiple-channel ANC system to reduce engine noise in a car.

Ⅳ. 능동소음제어 알고리즘 구현

1. FXRLS Algorithm

그림 3은 FXRLS 알고리즘의 블록도를 나타낸다[7].

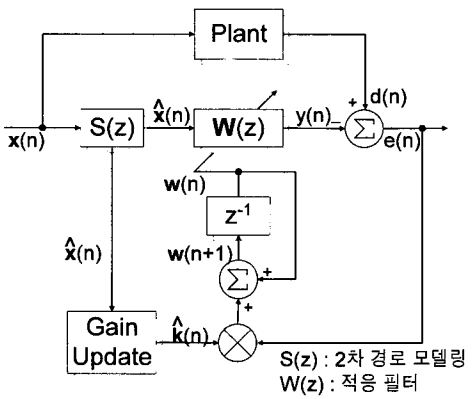


그림 3. FXRLS 알고리즘을 이용한 ANC 시스템의 블록도

Fig. 3. Block diagram of ANC system using the FXRLS algorithm.

그림 3에서 오차신호 e(n)과 2차경로 모델링의 출력 $\hat{\mathbf{x}}(n)$은 각각 식 (2)와 식 (3)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} e(n) &= d(n)-y(n) \\ &= d(n)-\mathbf{w}^T(n)\,\hat{\mathbf{x}}(n) \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 $\mathbf{w}(n)$은 L차 적응 필터의 현재 가중값 벡터로서 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{w}(n)=[w_0(n)\ w_1(n)\ \ldots\ w_{L-1}(n)]^T \tag{3}$$

$$\hat{\mathbf{x}}(n)=s(n)*\mathbf{x}(n) \tag{4}$$

여기서 s(n)은 2차경로 S(z)의 임펄스 응답이고, $\mathbf{x}(n)$은 시각 n에서의 Lx1 기준 벡터로서 식 (5)로 표현된다.

$$\mathbf{x}(n)=[x(n)\ x(n-1)\ \ldots\ x(n-L+1)]^T \tag{5}$$

이와 같이 물리적인 현상을 미리 모델링하여 기준신호가 그 모델을 통과하도록 하는 알고리즘을 Filtered-X 알고리즘이라고 한다. ANC를 위한 Filtered-X RLS 알고리즘은 식 (2) ~ 식 (5)와 식 (6) ~ 식 (9)로 정리될 수 있다.

$$\hat{\mathbf{z}}(n) = \lambda^{-1}\mathbf{Q}(n-1)\,\hat{\mathbf{x}}(n) \tag{6}$$

$$\hat{\mathbf{k}}(n) = \frac{\hat{\mathbf{z}}(n)}{\hat{\mathbf{x}}^T(n)\,\hat{\mathbf{z}}(n)+1} \tag{7}$$

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n)+\hat{\mathbf{k}}(n)e(n) \tag{8}$$

$$\mathbf{Q}(n) = \lambda^{-1}\mathbf{Q}(n-1)-\hat{\mathbf{k}}(n)\,\hat{\mathbf{z}}^T(n) \tag{9}$$

식 (6)에 사용된 λ는 0~1의 값을 갖는 필터의 망각인자 (forgetting factor)로서 불안정한 신호를 조정하기 위해 최근 데이터에 더 많은 가중값을 부여한다. 식 (8)에 나타난 $\hat{\mathbf{k}}(n)$은 칼만이득 벡터를 나타내고, 식 (9)에서의 $\mathbf{Q}(n)$은 식 (10)에 정의한 LxL 자기상관 행렬 $\mathbf{R}(n)$의 역수를 나타낸다.

$$\mathbf{R}(n)=\sum_{i=1}^{n}\lambda^{n-i}\mathbf{x}(i)\mathbf{x}^T(i) \tag{10}$$

2. 2차경로 모델링

2차경로 모델링에는 온라인 (On-line) 모델링과 오프라인 (Off-line) 모델링의 두가지 방식이 있다. 온라인 모델링은 물리적인 2차경로의 전달함수를 매 시각마다 추정하는 방법을 말하고, 오프라인 모델링은 ANC를 동작시키기 전에 물리적인 2차경로의 전달함수를 추정하는 것을 말한다. 두 가지 모델링 방법 중에 온라인 모델링은 오프라인 모델링과는 다르게 물리적인 2차경로 전달함수에 대한 사전지식이 필요하지 않은 장점이 있으나 계산량이 많아 다채널인 경우 사용하기 힘든 단점이 있다[2]. 본 논문에서는 입력으로

마이크 신호 4개와 타코미터 신호 1개의 5채널과, 출력으로 스피커 2개의 2채널 시스템에 대한 2차경로 모델링이므로 오프라인 모델링 방식을 선택하였다.

오프라인 모델링은 전달함수 S(z)에 대한 사전지식을 필요로 한다. 2차경로를 모델링하기 위해, 먼저 2차경로의 특성이 시변이므로 미지수라고 가정한다. 오프라인 모델링은 학습단계동안 2차경로 전달함수 S(z)를 계속 갱신한다. 학습의 마지막 단계에서 2차경로 모델링 전달함수 S(z)는 고정되며, 고정된 전달함수 S(z)는 ANC 시스템의 2차경로 전달함수로 사용된다. 물리적인 2차경로를 모델링하기위해 입력으로 사용된 백색잡음은 모든 주파수에서 전력스펙트럼 밀도가 상수값을 갖기 때문에 시스템의 특성을 알기 위해서는 이상적인 신호이다.

그림 4는 오프라인 시스템 모델링을 위한 시스템 구성을 나타낸다. 여기서 상관관계가 0인 백색잡음은 DSP 시스템에 의해 내부적으로 생성된다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 백색잡음 생성기는 타코미터 신호원을 끊고 입력으로 사용된다. 즉, 스피커 및 2차경로 모델링에 사용되는 적응필터 S(z)의 입력으로 사용된다[7].

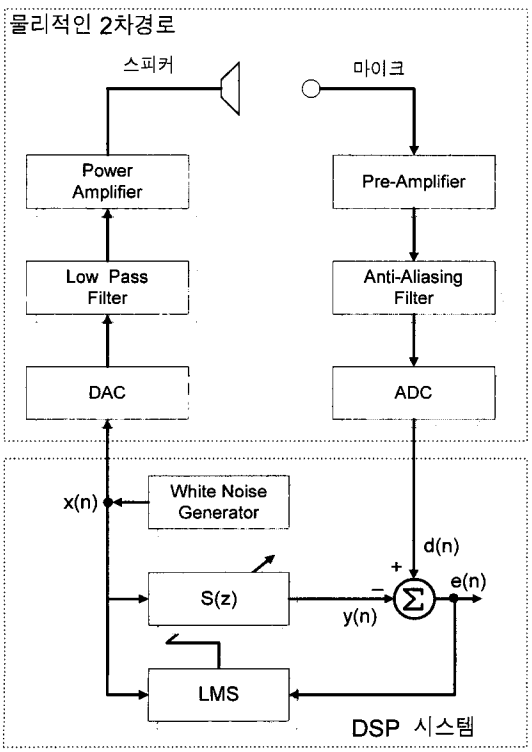


그림 4. 오프라인 2차경로 모델링을 위한 실험 구성도
Fig. 4. Experimental configuration diagram for off-line secondary-path modeling.

다음 그림 5는 그림 2에 나타난 운전석 스피커에서 마이크 1까지의 임펄스 응답이다. 운전석 스피커에서 마이크 2부터 마이크 4까지의 각 임펄스 응답도 유사한 방식으로 나타낼 수 있다.

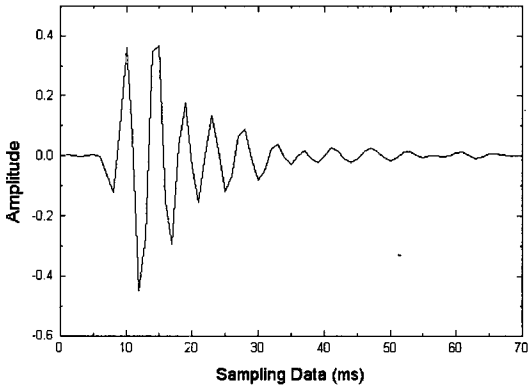


그림 5. 2차경로의 임펄스 응답 (마이크 1에서)
Fig. 5. Impulse response of secondary-path (at MIC1).

3. 적응 알고리즘의 차수 및 파라미터 결정

LMS와 RLS 알고리즘은 각각 스텝 사이즈 μ와 가중요소 λ값에 의해 수렴속도와 성능이 좌우된다. 그러므로 μ와 λ값의 적절한 선택이 필요하다. 본 논문에서는 먼저 필터의 차수(L)를 결정하고 이때 적절한 파라미터 값을 결정한다. 편의성 LMS 알고리즘의 μ값을 0.3으로 하고 필터의 차수를 변경하면서 3500 RPM에 대한 성능을 분석하여 표1에 나타내었다. 그리고 결정된 필터 차수를 가지고 파라미터 값을 가변시키면서 최적의 파라미터 값을 결정하고자 성능 분석한 내용을 표2에 요약하였다. 한편 RLS 알고리즘은 필터 차수와 파라미터 값을 가변하면서 최적의 차수와 파라미터 값을 결정하였다.

표 1. 각 차수에 대한 FXLMS 알고리즘의 성능분석 (μ=0.3)
Table 1. Performance of FXLMS algorithm for the different order of a filter (μ=0.3).

차수 (L)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20
성능 (dB)	5.7	1.9	19	21.6	17.8	16.4	18.5	21	21	21.1	25	31.9

표 1의 결과를 살펴보면 필터의 차수가 6이상일 때 대체적으로 성능이 우수하나 차수가 7~8에서 성능이 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 시스템 전달함수

모델링이 적절하지 못하기 때문이다. 이는 차수가 높다고하여 항상 좋은 결과를 기대할 수 없다는 것을 의미하기도 한다. 표1의 결과로부터 차수가 6보다 큰 경우 성능이 크게 향상되지는 못하였으며, 본 논문에서는 작은 차수에서 높은 성능을 기대하기 때문에 FXRLS 알고리즘의 차수로 6차를 선정하였다.

표 2는 6차의 FXLMS 알고리즘을 적용했을 때 μ 값의 변화에 따른 소음감쇠정도를 나타내며, 이로부터 최적의 μ값을 선정하고자 한다.

표 2. μ값의 변화에 따른 6차의 FXLMS 알고리즘의 성능 분석

Table 2. Performance of FXLMS algorithm with various μ values (L=6).

μ	0.0001	0.0005	0.001	0.005	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
소음감쇠(dB)	7.1	6.3	5.7	5.1	4.1	3.9	13	17.9	21.5	18	18

표 1과 표 2에 제시한 결과는 ANC를 동작시킨 10초 후의 데이터를가지고 분석한 것이다. 실험을 통하여 알고리즘의 μ값이 큰 경우에 2초 내외에서 수렴하는 것을 볼 수 있었으나 μ값이 작은 경우와 비교 분석하기 위하여 ANC를 동작시킨 10초 후의 데이터를 가지고 분석하였다. μ값이 작을수록 제어효과가 떨어지며 상대적으로 긴 수렴시간이 요구된다. 이와 같은 상황을 고려하여 μ값으로 0.3을 선택하였다.

표 3은 λ값과 차수의 변화에 따른 FXRLS 알고리즘의 성능분석 결과를 나타낸다. 표 3을 보면 차수와 λ의 변화에 따른 성능결과가 다소 일관성이 없음을 알 수 있다. 3차에서는 10초 이내에 수렴하지 못하는 결과를 보였으며 4~5차에서는 λ값이 작을수록 좋은 결과를 얻었다. 그리고 9차 이상에서는 λ값이 클수록 좋은 결과를 나타냈으며 20차에서는 λ가 0.6 이하일 때 발산하였다. 이것은 낮은 차수에서는 λ값이 작더라도 반복계산량이 적으므로 효과적으로 신호를 예측할 수 있었고, 높은 차수에서는 바로 이전 신호에 작은 가중값을 주며 많은 반복계산을 할 경우에는 원하는 예측신호를 생성하지 못했다. 표 3의 데이터에서 가장 안정된 결과를 나타낸 것은 6차일 때이나, 6차의 경우 λ가 0.75 이상에서 20dB이상의 안정된 결과를 얻었다. 이와 같은 결과를 토대로 본 논문에서는 λ값을 0.85로 선택하였고 필터 차수를 6으로 정하였다.

표 3. λ값과 차수의 변화에 대한 FXRLS 알고리즘의 적용시 소음감쇠값

Table 3. Performance analysis of FXRLS algorithm according to the variation of λ and L.

(단위:dB)

λ \ L	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20
1	-5.1	12.5	17.8	19	19.9	17.9	17.9	18	21.7	24	24.6	23.1
0.95	-5.5	12.2	15.6	22.8	23	18.3	18	18.9	20.5	23.3	25.1	23
0.9	-5.7	12.6	16	23.9	21	17.2	15.5	15.5	16.2	21.3	24.2	24.8
0.85	-6.6	13.5	16.5	24.5	19.5	17	13.5	12.4	13	18	22.1	21.7
0.8	-6.8	14.5	17.8	22.8	17.7	15	10.2	9.	9.4	14.5	19.9	18.4
0.75	-7.1	16.7	20	21.2	15.9	11.9	8.7	7.5	8	11.5	18.3	16.4
0.7	-7.4	17	19	19.1	14.3	9.9	6.5	6	6.3	9.2	16.8	-7.3
0.6	-8.1	16.5	16.7	12.7	12.5	7	3.9	4.1	4.7	5.5	14.6	X

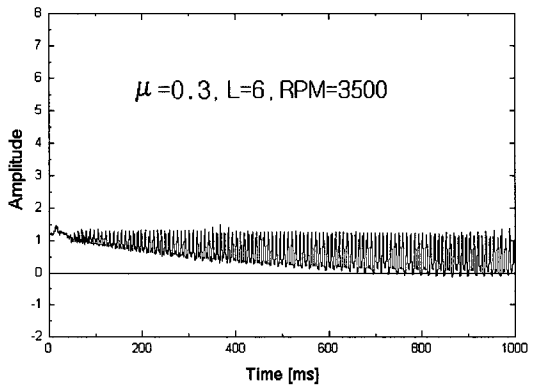


그림 6. FXLMS 알고리즘의 수렴특성

Fig. 6. Convergence characteristics of FXLMS algorithm.

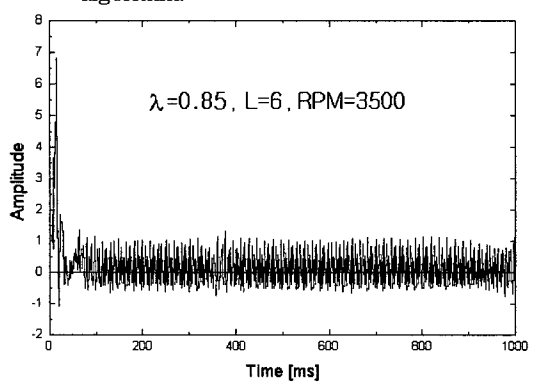


그림 7. FXRLS 알고리즘의 수렴특성

Fig. 7. Convergence characteristics of FXRLS algorithm.

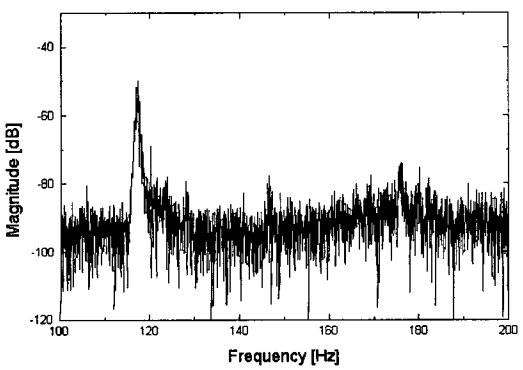
다음 그림 6과 그림 7은 각각 LMS와 RLS 알고리즘의 수렴속도를 나타낸 것이다. 각 그림은 ANC를 동작시킨 후부터 수렴영역에 도달할 때까지를 보여주

는데, RLS 알고리즘이 LMS 알고리즘보다 상당히 빠른시간에 수렴영역으로 들어가는 것을 볼 수 있다. RLS 알고리즘은 100 ms 이내에 수렴영역으로 들어갔으나 LMS 알고리즘은 1000 ms에 도달해서야 비로소 수렴영역으로 들어간다. 그러나 RLS 알고리즘은 초기에 불안한 상태를 갖는 것을 볼 수 있다.

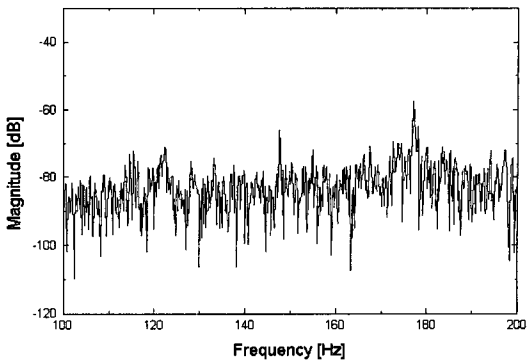
본 실험에서 6차의 FXLMS 알고리즘을 적용했을 때에는 소음레벨보다 21.6dB가 개선되었고, 6차의 FXRLS 알고리즘을 적용했을 때에는 소음레벨보다 24.5dB가 개선되어, 같은 차수의 FXLMS 알고리즘보다 약 3dB정도 우수함을 확인하였다. 또한 그림 6과 그림 7을 비교하면 FXRLS 알고리즘의 수렴속도가 FXLMS 알고리즘 보다 매우 빠름을 확인할 수 있다. 본 결과는 저주파수의 소음레벨에 대한 결과이므로 다른 주파수대의 소음에 적용할 때에는 파라미터와 차수 결정에 신중을 기해야 할 것이다.

V. FXRLS를 이용한 능동소음제어 실험

본 실험에서는 4장에서 구한 6차의 FXRLS 알고리즘에 소형 승용차의 소음을 적용시켜 능동적으로 제어하는 방법을 구현하였다. 이때 사용된 데이터는 실제 차량의 실내 소음데이터로서 고정 RPM 환경에서의 데이터와 RPM을 증가시키며 받은 sweep 데이터로 구성되어 있다. 고정 RPM으로는 3500, 4000, 4500 RPM을 사용하였고, sweep 데이터로는 3000~6000 RPM을 사용하였다. 또한 실차 상태와 동일한 환경을 구축하기위하여 실제 차량 내에서의 물리적인 2차경로를 모델링하여 그림 3에서 설명한 시뮬레이션 환경에 적용하였다.



(a) 3500 RPM에서의 소음특성



(b) 3500 RPM에서의 6차 FXRLS 알고리즘 적용 (λ=0.85)

그림 8. 3500 RPM에서의 소음감쇠특성
Fig. 8. Noise attenuation characteristics at 3500 RPM.

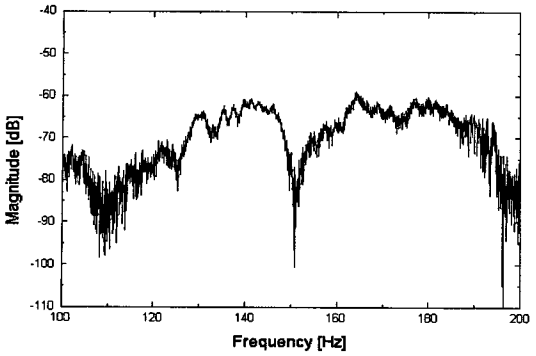
표 4. 고정 RPM에서의 엔진소음 감쇠정도
Table 4. Engine noise attenuation at fixed RPM.

RPM	소음감쇠 정도
3500	24.5 dB
4000	18.7 dB
4500	30.5 dB

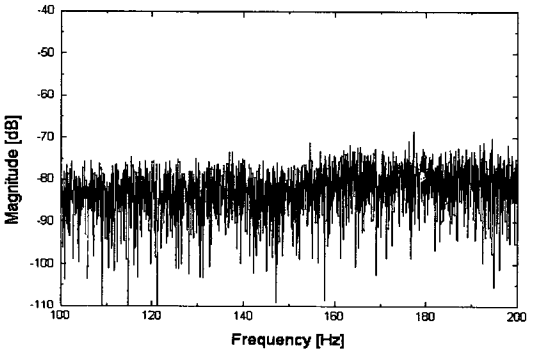
그림 8은 운전석에서의 3500 RPM에 대한 소음특성과 ANC를 적용하여 소음을 제거한 신호를 나타낸 것이다. 그림 8(a)에서는 식 (1)에 대응하는 주파수 부근에서 소음레벨이 크게 발생함을 확인할 수 있으며 그림 8(b)에서는 이 소음레벨이 효과적으로 감소된 것을 볼 수 있다. 표4는 각각의 고정 RPM에서 얻은 소음 감쇠정도를 요약한 것이며, 18 dB 이상의 높은 소음 감쇠성능을 보여준다.

그림 9는 승용차 내의 운전석에서 3000~6000 RPM으로 sweep하면서 받은 소음신호와 ANC를 적용한 후 소음감쇠 특성을 나타낸 것이다. 3000~6000 RPM을 sweep하였기 때문에 그림 9(a)와 같이 주파수 축의 100~200Hz 사이에서 소음레벨이 크게 발생함을 볼 수 있다. 또한, 본 논문에서 제안한 6차의 FXRLS 알고리즘을 적용했을 때 그림 9(b)와 같이 소음레벨을 효과적으로 감소시키는 것을 확인할 수 있다. 같은 방법으로 각 자리별 소음감쇠정도를 피크값을 기준으로 표5에 나타내었다. 표5에 나타난 결과를 보면 주파수 전대역에 걸쳐 대체적으로 10dB 이상의 높은 소음감쇠를 보여주고 있다. 소음감쇠정도가 운전

석 뒷자리, 운전석, 조수석 뒷자리, 조수석 순으로 좋게 나타났다.



(a) 운전석에서의 소음특성



(b) 운전석 소음에 6차 FXRLS 알고리즘 적용

그림 9. 운전석에서의 소음감쇠특성
Fig. 9. Noise attenuation characteristics at the driver seat.

표 5. 6차 FXRLS 알고리즘을 적용했을 때 각 자리별 소음 감쇠정도 (λ=0.85)
Table 5. Noise attenuation characteristics at each seat of a car when 6th order FXRLS algorithm is applied (λ =0.85).

차량내의 자리	자리별 소음 감쇠정도
운전석	13.8 dB
조수석	10.3 dB
운전석 뒷자리	16.1 dB
조수석 뒷자리	11.4 dB

VI. 결 론

본 논문에서는 DSP 프로세서에 RLS 알고리즘을 적용시킴으로써 자동차 내의 부밍 소음을 능동적으로 개선하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 RLS 알고리즘을 트랜스버셜 구조에 적용시키므로써 6차의 필터 차수로도 효과적인 소음제어가 가능함을 입증하였다.

본 논문에서 제안한 방법은 김명복 외[1]가 제안한 10차의 FXLMS 알고리즘을 적용한 방법보다 약 3.8dB이상 개선된 결과를 얻었으며 16차의 RLMS 알고리즘을 덕트 내의 소음제어에 적용하여 25dB의 개선된 결과를 얻은 남현도[2]의 논문보다 더 작은 차수에서 비슷한 성능을 보였다. 또한 32차의 FXRLS 알고리즘을 도로소음에 적용하여 10dB이상 개선을 얻은 H. Sano[3]가 제안한 방법보다 작은 차수로 약 3.8dB 정도의 개선된 결과를 얻었다.

6차의 FXRLS 알고리즘을 적용한 결과는 각각의 소음레벨에서 3500 RPM에서 24.5dB, 4000 RPM에서 18.7dB, 4500 RPM에서 30.5dB 개선된 결과를 얻었고, 3000~6000 RPM으로 sweep하며 얻은 데이터에 대해서는 운전석에서 13.8dB, 조수석에서 10.3dB, 운전석 뒷자리에서 16.1dB, 조수석 뒷자리에서 11.4dB 개선된 것을 확인하였다. 그리고 LMS 알고리즘과 비교하여 같은 차수일 경우 수렴초기에 불안한 특성을 보였으나 RLS 알고리즘이 훨씬 빠른 수렴속도를 보였으며, 성능 면에서도 6차에서 3dB 우수함을 확인하였다.

FXRLS 알고리즘의 차수를 결정하기위해 시행착오 방식의 실험결과를 토대로 6차를 최적의 차수로 선택하였다. 필터차수 7~9사이에서 특성이 나빠진 것은 표본 주파수와 엔진 부밍 소음의 주기성과의 관계를 모델링하는데 문제가 발생한 것으로 추정되며 이 문제 규명은 앞으로의 지속적인 연구과제로 볼 수 있다. 또한 이 관계가 규명된다면 보다 정확한 필터의 차수와 파라미터를 결정할 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

[1] 김명복, 김형곤, 이윤희, 김철수, 이봉호, "차 실내에 존재하는 저주파대역 소음저감을 위한 실시간 능동소음 제거기의 적용," 현대자동차 제4회 학술대회 논문집, pp. 115-125, 1996.
[2] 남현도, "디지탈 신호처리 기법을 이용한 적응 능동 소음제어," Telecommunications Review, Vol. III, No. 10, pp. 62-78, 1993.
[3] H. Sano, S. Adachi, and H. Kasuya,

"Active noise control based on RLS algorithm for an automobile," ACTIVE 95, Newport Beach, CA, USA, pp. 891-898, July 1995.

[4] *TMS320C32 User's Guide*, Texas Instruments, 1995.

[5] R. Chassaing, *Digital Signal Processing with C and the TMS320C30*, John Wiley & Sons, Inc., 1992.

[6] 김재석, "고속 DSP 기술동향," '95 DSP 설계 및 응용 워크숍 논문집, pp. 179-188, 1995.

[7] S. M. Kuo and D. R. Morgan, *Active Noise Control Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1996.

저 자 소 개

金 榮 旭(正會員) 第 33卷 B編 第 5號 參照
현재 (주)이노버텍 부설정보통신연구소 무선통신실

金 基 斗(正會員) 第 32卷 B編 第 10號 參照
현재 국민대학교 전자공학과 부교수. 관심분야는 CDMA 이동통신, 적응 신호처리

李 允 熙(正會員)
1985년 2월 국민대학교 전자공학과 졸업(학사), Polytechnic University, NY (석사). 1984년 12월 ~ 현대자동차 승용차 개발연구소 전자설계 2팀. 1997년 1월 ~ 현재 김포전문대 전자과 교수. 1996년 3월 ~ 현재 국민대학교 전자공학과 박사과정. 관심분야는 디지털 통신, 적응신호처리

電子工學會論文誌 目次 (1997年)

第34卷 S編 第 1號~第34卷 S編 第12號

第 34卷 S編 第 1號

Radix-2 트리 ATM 스위치를 위한 멀티캐스팅 알고리듬에 관한 연구 ..... 金弘烈, 林濟鐸

다중 톤 방해신호가 존재하는 레일레이 페이딩 전송로에서 비동기 DPSK DS/SFH 복합 확산대역 시스템의 성능분석 ..... 朴贊範, 李在弘

차량 추적 시스템에서 차분기법을 이용한 정밀도 향상에 관한 연구 ..... 張慶日, 李沅雨, 吉柱煥, 金容潤, 黃春植

IP over ATM 프로토콜의 VHDL 구현 ..... 崔秉台, 崔埈均, 金在根, 高聖濟

버퍼의 점유도에 기초한 입력버퍼 ATM 스위치의 경합제어 방식 ..... 白政勳, 林濟鐸

시간지연 및 파라미터 불확실성을 갖는 선형 시스템의 2 자유도 견실성능 제어기 설계 ..... 李甲來, 丁銀泰, 崔鳳烈 朴烘培

이동 로보트의 동적 제어 구현 ..... 李章明, 金容台

동등하중함수를 이용한 μ-최적제어기 설계 ..... 方敬皓, 李然定, 朴烘培

개방형 자기공명영상시스템용 경사자계코일의 새로운 설계 기법 ..... 李壽烈, 朴富植, 李定漢, 李 浣

유전 알고리즘에 의한 다단 Gain-Shape 양자화기의 최적 코드북 설계 ..... 金大鎭, 安旋何

유전 알고리즘을 이용한 색 보정용 색 샘플 결정 ..... 李圭憲, 金椿宇

임의의 1차원 신호의 최소 위상 신호화와 2차원 위상복원문제에의 응용 ..... 金禹植

디지탈 영역에서의 다항식 행렬의 분해와 MIMO LBR 구현에의 응용 ..... 孟勝柱, 林一澤, 李秉基

TMS320C80시스템에서 고속 이산 여현 변환의 해석 및 구현 ..... 劉現範, 朴玄旭

광웨이브렛 원형고조 정합필터를 이용한 회전불변 패턴인식 ..... 李河運, 金喆洙, 金正雨, 金秀重

포화인덕터를 이용한 일정주파수제어 포워드 공진형 컨버터 ..... 安泰榮

第 34卷 S編 第 2號

DVCR 시스템의 연집 오류 정정을 위한 클러스터 순환 프러덕트 부호 ..... 李鐘和, 劉哲雨, 康昌彦, 洪大植

ATM-based PCN에서의 연결재라우팅을 위한 유선망자원 예약방안 ..... 張景訓, 沈哉廷, 金惠鎭, 姜景薰

타원형 환경 모델을 이용한 이동로보트의 주행 제어 ..... 韓在宗, 李基哲, 高在源, 金賢泰, 李義振, 朴玟用

다중해상도 영상을 이용한 동영상 압축 ..... 裵成鎬, 朴吉欽

양자화를 이용한 블록 정합 알고리즘에 대한 연구 ..... 李 榮, 朴貴泰

복수의 거리영상 간의 변환계수의 추출 ..... 鄭徒賢, 尹逸東, 李商郁

하나의 2차원 영상에서 표면의 Signature를 이용한 다면체의 표현 및 인식 알고리즘 ..... 李富衡, 韓獻洙

GMRF 모델의 안정성과 합성 영상과의 관계에 관한 연구 ..... 金星二, 崔潤植

무기억 균일 신호원에 대한 수리 형태론적인 불림과 등가 시스템의 통계적 비교 ..... 金柱明, 羅相臣, 崔太永

회전불변 패턴인식을 위한 WCHF-FSJTC ..... 房俊鶴, 李河運, 盧德樹, 金秀重

공간 벡터 PWM 법을 적용한 3상 Boost 콘버터의 역률개선 ..... 白種顯, 洪性泰, 裵相俊, 裵英鎬, 權純杰

동기 정류기를 이용한 클램프 모드 포워드 다중 공진형 컨버터 ..... 安康淳, 金熙峻

第 34卷 S編 第 3號

Pager 내장형 PCS 단말기를 이용한 location tracking 기법 ..... 張景訓, 沈哉廷, 朴正植, 金惠鎭

ATM 교환 시스템의 성능향상을 위한 새로운 셀 스위치 구조 연구 ..... 鄭鎭泰, 李沃宰, 田炳實

페루프시스템의 성능을 보장하는 이산제어기 차수축소 ..... 吳道昌, 丁銀泰, 朴烘培

자율이동로봇군의 협조행동을 위한 통신시스템의 개발 ..... 李東昱, 沈貴寶

유전 알고리듬과 퍼지 논리 시스템을 이용한 비선형 시스템의 피드백 선형화 제어 ..... 崔永吉, 金成炫, 沈貴寶 全洪兌

웨이브렛 계수의 축소와 평균 가산에 의한 유발전위뇌파신호의 추출 ..... 李龍喜, 李斗秀

Mesh 그룹화 방법을 이용한 EIT 정적 영상 복원의 고속화 ..... 趙慶鎬, 禹應濟, 高誠澤