

論文2002-39TE-2-7

# 주변 노이즈에 강건한 StepSize 예측기를 갖는 음향 반향 제거기

## (A Robust Acoustic Echo Canceler with StepSize Predictor for Environment Noise)

李世源\*, 姜熙勳\*\*, 李垣錫\*\*\*

(Se-Won Lee, Hee-Hoon Kang, and Won-Seok Lee)

### 요 약

ES(Exponentially weighted StepSize) 알고리즘을 이용한 기존의 음향 반향 제거기는 동작 구조가 간단하고, NLMS 알고리즘에 비해 빠른 수렴 속도를 갖지만, 외부 잡음에 약하다. 그 이유는 ES 알고리즘은 특정 음향학적 조건에서 결정된 공간 임펄스 응답의 평균 에너지 감쇄율을 이용해 필터의 탭을 업데이트하기 때문이다. 본 논문에서는 StepSize 생성기와 선택기를 추가한 새로운 구조의 음향 반향 제거기를 제안하였다. 제안된 StepSize 생성기와 선택기는 외부 노이즈에 대한 기존의 음향 반향 제거기의 단점을 개선하여, 음향 반향 제거 시스템의 강건함을 향상시켜준다. StepSize 생성기는 이동 평균기를 이용하여 별도의 StepSize 값을 생성한다. 이 때 생성된 StepSize 값은 잔여 에러양의 에너지 값에 상수  $\gamma$ 를 곱해준 결과이다. StepSize 선택기는 계수 선택 요소  $\Delta_{diff}$ 를 이용해 음향 반향 제거기가 좀 더 향상된 성능을 갖을 수 있는 StepSize 값을 선택한다. 본 논문의 시뮬레이션 결과는 외부 노이즈의 SNR에 관계없이 제안된 알고리즘은 잔여 에러양을 5[dB]에서 10[dB]정도 저하시켰고, 조절 오차의 양도 크게 개선되었음을 보여준다.

### Abstract

Conventional acoustic echo cancelers using ES(Exponentially weighted StepSize) algorithm have simple operational configuration and fast convergence speed better than NLMS algorithm, but they are very weak in external noise because ES algorithm updates filter taps using an average energy reduction rate of room impulse response in specific acoustical condition. So, a new configuration of acoustic echo canceler with stepsize generator and selector is proposed in this thesis. The proposed stepsize generator and selector improve conventional acoustic echo canceler's weakness in external noise and improve the system robustness. The stepsize generator generates additional stepsize value using moving averager, which is the residual noise energy of error signal multiplied by constant  $\gamma$ . The stepsize selector selects the stepsize value that has better performance in an acoustic echo canceler using a coefficient decision factor  $\Delta_{diff}$ . The simulation results show that the proposed algorithm reduces residual error by 5[dB] to 10[dB], improves misadjustment regardless of external noise's SNR.

**Keyword** : ES, NLMS, VS

\* 正會員, 光云大學校 電子工學科

(Kwangwoon University)

\*\* 正會員, 麗州大學 情報通信科

(Yeoo Institute of Technology)

\*\*\* 正會員, 東洋工業專門大學 電氣電子通信工學部

(Dongyang Technical College)

接受日字:2001年11月7日, 수정완료일:2002年5月16日

## I. 서 론

음향 반향 제거기(Acoustic Echo Canceled)는 원격회의나 핸즈프리 시스템을 사용해 통화 중 발생하는 반향(Echo)현상을 제거하여 상대방과 원활하게 의사소통을 할 수 있도록 하는 시스템이다. 이러한 음향 반향 제거기에는 불규칙적인 반향경로(EchoPath)의 전달함수를 예측하기 위해 적응 알고리즘이 사용된다. 많은 적응 알고리즘에서도 NLMS(Normalized LMS)알고리즘은 가장 기초적인 적응 알고리즘으로써, 구조와 동작이 간단하기 때문에 많이 사용되지만, 동시에 수렴속도가 매우 늦은 단점을 갖는다.<sup>[1-2]</sup>

알고리즘의 구조적 간단함을 살리면서 동시에 수렴속도가 늦은 결점을 보완해주기 위해 입력 데이터에 따라 적절하게 탭 계수(tap coefficient) 값을 결정해주는 VS 알고리즘이 연구되었다.<sup>[3-6]</sup> 많은 VS 알고리즘에서도 ES 알고리즘은 수렴속도를 높이기 위해 Room 임펄스 응답의 변화 특성을 이용하여 음향 반향 제거기의 탭 계수 값을 결정한다. ES 알고리즘은 채집된 Room 임펄스 응답의 에너지 평균 감쇠율을 이용해 Stepsize 값을 가변적으로 결정한다.<sup>[7]</sup> 그러나 이러한 ES 알고리즘은 이용되는 Room 임펄스 응답들이 모두 일정한 조건에서 결정되었던 것이기 때문에 예상치 못한 외부 간섭이 발생하였을 경우 제거기로서의 동작에 큰 문제점이 발생한다. 즉 돌발적인 외부간섭이 발생하게 되면 기존의 갖고 있던 Room 임펄스 응답이 왜곡되어 실시간 처리에서 제거기의 성능이 크게 저하된다. 따라서 본 논문에서는 기존의 빠른 수렴 속도를 살리면서도 외부의 간섭에 대한 강건함을 향상시키기 위해 기존의 음향 반향 제거기에 Stepsize 예측기와 비교기를 추가하였고, 시뮬레이션을 통해 기존의 제거기와 성능을 비교하였다.

## II. 기본적인 음향 반향 제거기 알고리즘

### 1. 음향 반향 제거기의 기본 구조

음향 반향 제거기의 기본 구조는 그림 1과 같다. 상대방과의 통화 시 마이크로폰을 통해 전달되는 수신신호  $x(k)$ 의 일부가 스피커를 통해 상대방에게 다시 피드백 된다. 이때 스피커로 유입되는  $x(k)$ 는 반향(Echo) 신호  $y(k)$ 로 변형되어진다.

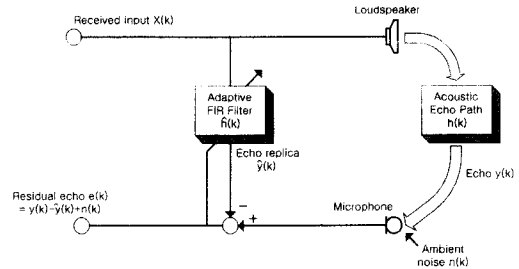


그림 1. 기존의 음향 반향 제거기의 구조  
Fig 1. Configuration of Conventional Acoustic Echo Canceled.

음향 반향 제거기는 이러한 동작 과정에서 적응 알고리즘을 이용해 반향경로(EchoPath)의 전달함수  $h(k)$ 를 예측하고, 그에 근사한 전달함수  $\hat{h}(k)$ 를 만들어서 반향 복사본(Echo Replica) 신호  $\hat{y}(k)$ 를 생성한다. 이렇게 만들어진 반향 복사본 신호  $\hat{y}(k)$ 를 실제 반향(Echo) 신호  $y(k)$ 에서 감산시켜줌으로써 상대방에게 음성 신호를 전송할 때 발생하는 반향(Echo) 현상을 제거한다. 음향 반향 제거기의 모든 동작 과정은 실시간 처리이기 때문에, 상대방과의 원활한 의사소통을 위해서는 발생하는 반향(Echo) 현상을 빠르게 제거할 수 있어야 한다.

### 2. NLMS 알고리즘 과 VS (Variable Stepsize) 알고리즘

많은 적응 알고리즘 중에서도 NLMS 알고리즘은 간단한 동작과 적은 연산량으로 인해 가장 널리 사용되는 대표적인 적응 알고리즘이다. NLMS 알고리즘을 이용한 적응 필터의 Weight Update 는 식(1)로 표현된다<sup>[1-2]</sup>.

$$\hat{h}(k+1) = \hat{h}(k) + \alpha \frac{e(k)}{\|x(k)\|^2} x(k) \quad (1)$$

식(1)에서  $\hat{h}(k)$ 는 적응 알고리즘을 이용한 음향 반향 제거기의 탭 계수(tap weight) 값을 나타내고,  $e(k)$ 는 잔여 에러 신호,  $x(k)$ 는 수신된 신호를 의미한다. 또한  $\alpha$ 는 탭 계수 값의 업데이트(update) 속도를 조절해주는 Stepsize값이다. NLMS 알고리즘의  $\alpha$ 는 음향 반향 제거기의 수렴속도와 잔여 노이즈의 양의 정도가 상호간에 최적이 되도록 결정된다. 즉  $\alpha$ 값을 크게 결정하면, 수렴속도는 매우 빨라지지만 잔여 노이즈의 양은 커지게 된다. 반대로  $\alpha$ 값을 작게 결정하면, 잔여 노이즈의 양은 작아지는 반면에 수렴속도는 현저히 떨어지

게 된다. 일반적으로 수신신호  $x(k)$ 가 White Noise일 경우,  $\alpha=1$ 일 때 가장 빠른 수렴속도를 갖게 된다.

$\alpha$ 에 관한 위와 같은 특성을 이용해 기존의 NLMS 알고리즘의 단점을 보완해주는 방식이 VS 알고리즘이다<sup>[3]</sup>. 즉 초기 처리 과정일 때는  $\alpha$  값을 크게 결정해 약간의 잔여 노이즈의 크기가 커지는 것을 감안하며 처리 속도를 높이고 처리과정의 최종 부분에서는  $\alpha$  값을 작게 결정해 잔여 노이즈 레벨을 최소화시킨다. 이때  $\alpha$  값을 적절하게 적용시키는 방법이 다양하게 연구되고 있다.

### III. ES(Exponential StepSize) 알고리즘

#### 1. Room 임펄스 응답의 특성

사물의 움직임이나 마이크로폰과 스피커 사이의 거리변화와 같은 다양한 이유로 한정된 공간에서 채집되어지는 Room 임펄스 응답은 모두 다르다.

그러나 특정조건에서 채집되는 Room 임펄스 응답들의 평균 감쇠율의 크기는 모두 유사한 형태를 갖는다. 그림 2는 반향 시간이 280ms인 공간에서 스피커와 마이크로폰 사이의 거리가 1m일 때 채집되어진 Room 임펄스 응답을 나타내고 있다.<sup>[4]</sup>

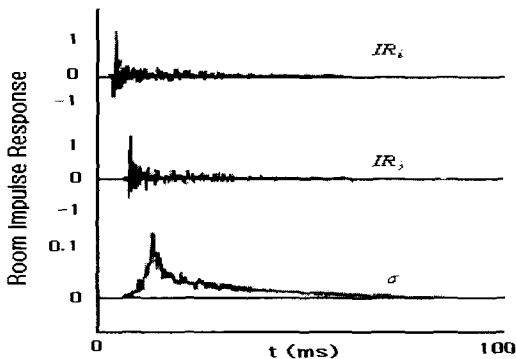


그림 2. Room 임펄스 응답 특성  
Fig 2. Property of Room Impulse Response.

그림 2에서 알 수 있듯이 임펄스 응답  $IR_1$ 와  $IR_2$ 의 크기는 서로 다르지만 평균 에너지 감쇠율  $\sigma$ 는 서로 유사함을 알 수 있다. ES 알고리즘은 이러한 고유의 특성을 이용해 StepSize 값  $\alpha$ 를 결정하는 방법이다.<sup>[5]</sup>

#### 2. ES 알고리즘

ES 알고리즘은 VS 알고리즘 중에서도 StepSize 값을

결정하는 기준으로 특정조건에서 측정된 Room 임펄스 응답들의 평균 감쇠율을 이용한다<sup>[6]</sup>. ES 알고리즘을 이용한 적응 필터의 Weight Update는 식(2)로 표현된다.

$$\hat{h}(k+1) = \hat{h}(k) + A \frac{e(k)}{\|x(k)\|^2} x(k) \quad (2)$$

식(2)에서  $A$ 는 Step Gain Matrix를 나타내고, 식(3)으로 정의된다.

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \alpha_2 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \alpha_3 & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \alpha_L \end{pmatrix} \quad (3)$$

이 때  $\alpha_i$ 는  $i$ 번째 입력에 대한 StepSize 값을 의미하고,  $L$ 개의 StepSize 값들은 채집되어진 Room 임펄스 응답의 평균 감쇠율을 이용하여  $\alpha_1$  부터  $\alpha_L$ 까지 지수 함수 형태로 일정하게 값을 갖는다. ES 알고리즘은 이렇게 결정된  $L$ 개의 stepsize 값  $\alpha$ 를 수신된 데이터에 따라 적절하게 사용하여 음향 반향 제거를 할 수 있게 한다.

그림 3은 실제  $\alpha_{max}$  부터  $\alpha_{min}$ 까지 matrix  $A$ 의 값을 결정하는 방법을 보여주고 있다.

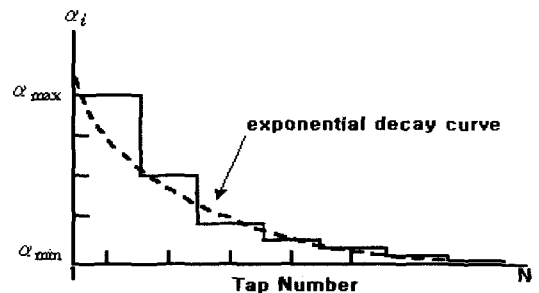


그림 3. StepSize  $\alpha_i$  of Matrix  $A$   
Fig 3. StepSize  $\alpha_i$  of Matrix  $A$ .

### IV. 제안된 음향 반향 제거기

ES 알고리즘은 NLMS 알고리즘에 비해 2배 이상의 빠른 수렴속도를 갖는다. 그러나 제안된 조건에서 채집된 Room 임펄스 응답의 감쇠 특성을 이용한다는 점에서 실시간 동작 시 불안정해질 수 있다<sup>[4]</sup>. 즉 외부 간섭에 의해 Room 임펄스 응답이 왜곡되어질 경우 기존의 Room 임펄스 응답의 감쇠 특성을 이용해 결정된  $\alpha$  값의 사용이 적절치 못하게 되고 따라서 음향 반향 제



0.25보다 작을 경우는 제거기의 weight update 식에 room 임펄스 응답의 감쇠 특성에 의해 산출된  $\alpha_{NRK}$ 을 적용시키고 0.25보다 클 경우에는 다음 동작에서 weight update를 할 때  $\alpha_{Pre}$ 를 적용시키게 된다. 이러한 비교과정은 음향 반향 제거기의 매 동작마다 계속 되지만 결정된 두 개의 값에 대한 단순한 크기비교이기 때문에 제거기 전체의 처리속도에는 크게 영향을 끼치지 않는다.

Step size 결정요소  $\Delta_{differ}$ 의 기준값(threshold value)은 주위환경의 변화나 외부 간섭의 정도에 따라 적절적으로 결정되어질 수 있다. 즉 외부의 간섭이 거의 없는 곳에서는 결정요소  $\Delta_{differ}$ 의 기준값을 크게 해서 산발적인 간섭에 의한 왜곡은 무시하고 제거기의 수렴속도를 최대한으로 증대시키고, 반대로 불규칙적인 외부 잡음이 잦을 경우에는  $\Delta_{differ}$ 의 기준값을 작게 설정해서 약간의 간섭에 의한 왜곡에도 음향 반향 제거기가 반응할 수 있도록 하여 상대방과의 원활한 의사소통을 할 수 있도록 하였다.

### V. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 C++ 과 Matlab을 이용하여, 외부 잡음의 크기에 따른 NLMS, ES 그리고 본 논문에서 제안한 알고리즘의 수렴 특성의 변화를 비교하였다.<sup>[7]</sup> 입력 신호는 8kHz로 샘플링된 음성 신호를 이용하였고, Room의 반향시간은 500ms로 조건을 주었다. 외부 잡음은 SNR이 각각 30[dB]와 10[dB] 그리고 5[dB]인 백색 노이즈 신호를 이용하였다. 또한 본 논문에서 중요한 몇 가지 파라미터에 대해서도 실험을 통해 최적화하였다. 첫 번째 이동 평균기의 구간 정도(leakage

factor)는  $2^{-20}$ , 두 번째 이동 평균기의 구간 정도는  $2^{-10}$ 으로 하였고, 예측기에 최종적으로 step size를 결정하기 위해 사용되는  $\gamma$ 는 0.0064로 지정하였다. 또한 비교기에서 결정 요소  $\Delta_{differ}$ 의 기준값도 0.25로 최적화하였다.

SNR이 30[dB], 10[dB] 그리고 5[dB]인 외부 잡음에 따른 NLMS, ES 그리고 제안된 알고리즘의 수렴 특성은 그림 6, 7, 8과 같다.

그림 6은 외부 간섭 잡음 SNR이 30[dB]일 때, 세 가지 알고리즘의 수렴 특성을 보여준다. NLMS 알고리즘에 비해 ES 알고리즘과 본 논문에서 제안된 알고리즘

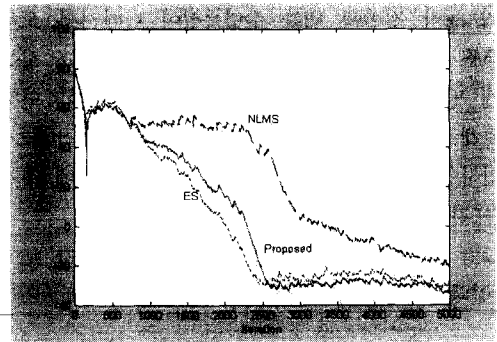


그림 6. NLMS, ES 그리고 제안된 알고리즘의 수렴 특성(30dB)

Fig 6. Convergence Characteristics for the NLMS, the ES and the Proposed Algorithms(30dB).

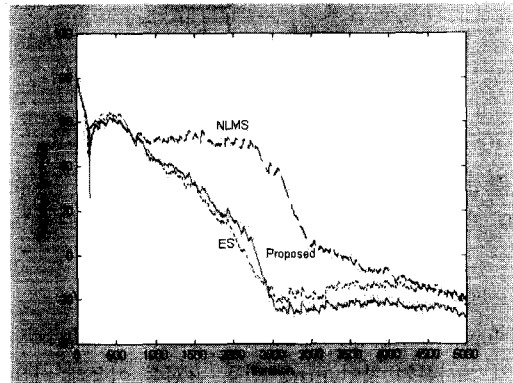


그림 7. NLMS, ES 그리고 제안된 알고리즘의 수렴 특성(10dB)

Fig 7. Convergence Characteristics for the NLMS, the ES and the Proposed Algorithms(10dB).

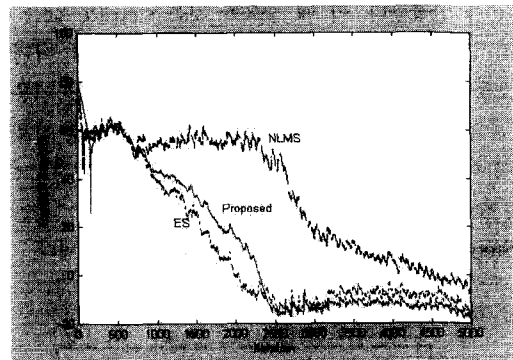


그림 8. NLMS, ES 그리고 제안된 알고리즘의 수렴 특성(5dB)

Fig 8. Convergence Characteristics for the NLMS, the ES and the Proposed Algorithms(5dB).

의 수렴 속도는 2배 정도 빠름을 알 수 있다. 그러나

동작 횟수가 2500번이 지난, 안정 상태(Steady-State)에서는 제안된 알고리즘의 잔여 오류량이 ES 알고리즘에 비해 10[dB] 이상 감소하였고, 조절 오차(Misadjustment)의 크기도 줄어들었음을 알 수 있다. 외부 간섭 잡음 SNR이 클 경우, 그림 7, 8과 같이 본 논문에서 제안한 알고리즘의 우수성이 나타난다. NLMS 알고리즘이나 ES 알고리즘에 비해 수렴하는 전반적인 과정에서 발생하는 조절 오차의 크기가 현저하게 낮음을 쉽게 알 수 있다. 마찬가지로 잔여 오류량도 외부 간섭 잡음의 크기에 상관없이 ES 알고리즘에 비해 평균 5[dB] 이상 낮음을 보여준다. 다양한 잡음 레벨에서 각각의 알고리즘의 수렴 특성을 시뮬레이션을 통해 비교 해본 결과, 수렴 속도 측면에서 제안된 알고리즘은 ES 알고리즘과 마찬가지로 NLMS 알고리즘에 비해 2배정도 빠르다는 사실을 알 수 있었고, 기존의 NLMS 알고리즘이나 ES 알고리즘에 비해 외부 노이즈의 레벨의 변화에 잔여 에러량이 거의 영향을 받지 않는다는 점을 알 수 있었다. 그리고 본 논문에서 제안된 알고리즘은 조절 오차 문제가 크게 개선하였음을 보여준다. 이러한 결론은 본 논문에서 제안한 알고리즘이 실제 통화 과정에서 통화품질을 크게 개선시킬 수 있음을 보여준다.

## VI. 결 론

ES 알고리즘을 이용한 기존의 음향 반향 제거기는 빠른 수렴속도를 나타내었다. 그러나 일정한 조건에서 채집된 Room 임펄스응답의 감쇠 특성을 이용해 step-size 값을 결정하는 알고리즘의 특성 때문에 외부 간섭이 발생했을 경우 오히려 수렴정도가 크게 떨어지는 단점이 발생하였다.

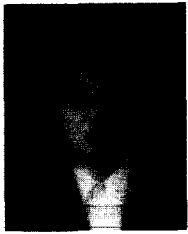
본 논문에서는 ES 알고리즘의 빠른 수렴속도를 유지하면서도 외부의 간섭에 대한 강건함을 향상시키기 위해 기존의 음향 반향 제거기에 추가할 Stepsize 예측기와 비교기를 제안하였다. 시뮬레이션 결과, 실제 본 논문에서 제안된 알고리즘의 수렴속도와 수렴정도는 기존의 ES 알고리즘과 유사하였고, 외부 잡음에 의해 증가하는 잔여 에러량의 크기는 기존의 NLMS 알고리즘에 비해서 평균 20[dB], 그리고 ES 알고리즘에 비해서는 평균 10[dB] 이상 작은 것을 알 수 있었다. 이는 제안된 stepsize 예측기와 비교기를 추가한 음향 반향 제거기가 외부 잡음에 크게 강건해졌음을 나타내고 있다.

제안된 음향 반향 제거기는 실제 상대방과 원활한 의사 소통을 할 수 있을 뿐만 아니라, 통화중 발생하는 외부 잡음에 의한 통화 품질 저하 문제도 크게 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall, 1st Edition, 1985.
- [2] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 3rd Edition, 1996.
- [3] Heng-Chou Chen and O. T.-C. Chen, "A predictive updating scheme to improve the NLMS algorithm for acoustic echo cancellation", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, vol. 3, 1999.
- [4] J. F. Doherty and R. Porayath, "A robust echo canceler for acoustic environments", *IEEE Trans. on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, vol. 44 5, pp. 389-396, May 1997.
- [5] B. Ayad, G. Faucon and R. Le Bouquin-Jeannes, "Optimization of noise reduction preprocessing in an acoustic echo and noise controller", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp. 953-956, 1996.
- [6] S. Makino, Y. Kaneda and N. Koizumi, "Exponentially weighted stepsize NLMS adaptive filter based on the statistics of a room impulse response", *IEEE Trans. on Speech and Audio Processing*, vol. 11, pp. 101-108, Jan. 1993.
- [7] *Signal Processing Toolbox User's Guide*, The MathWorks Inc., 1988-2000.

## 저 자 소 개



## 李世源(準會員)

2000년 2월 : 광운대학교 전자공학과 학사. 2002년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사. 2002년 2월~현재 : 동대학원 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : A/D Filters, Speech Signal Processings, Adap-

tive Signal Processings>



## 李 垣 錫(定會員)

1977년 2월 : 광운대학교 응용전자공학과 학사. 1979년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 석사. 2001년 8월 : 광운대학교 전자공학과 박사. 1980년 3월~현재 : 동양공업전문대학 전기전자통신공학부 교수. <

주관심분야 : Digital Modem, Electronic Communication Circuitry, A/D Filters>



## 姜 熙 勳(定會員)

1997년 2월 : 서울산업대학교 전기공학과 학사. 1999년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사. 2002년 2월 : 동대학원 박사학위과정 수료. 2002년 3월~현재 : 여주대학 정보통신과 전임강사. <주관심분야 :

Digital Modems, Source Coding / Voice Codecs, Channel En/Decoders, A/D Filters, Transmission Channels>