

음성 향상을 위한 최소값 제어 음성 존재 부정확성의 추적기법

Minima Controlled Speech Presence Uncertainty Tracking Method for Speech Enhancement

이 우 정*, 장 준 혁*
(Woojung Lee*, Joon-Hyuk Chang*)

*인하대학교 전자전기공학부
(접수일자: 2009년 8월 6일; 채택일자: 2009년 9월 9일)

본 논문에서는 최소값 제어 음성 존재 부정확성의 추적기법을 이용한 음성 향상 기법을 제안한다. 기존의 음성 존재 부정확성 추정기법에서는 간단한 *a posteriori* SNR에 근거하여 프레임, 채널마다 다른 *a priori* 음성 부재 확률값을 결정하여 음성 부재 확률 계산에 적용하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 기존 음성 존재 부정확성 추적방법과는 달리 최소값 제어방법을 이용하여 주파수성분별 최소값에 근거한 강인한 *a priori* 음성 부재 확률값 추정방법을 통해 음성 부재 확률에 적용하여 음성을 향상시킨다. 제안된 음성 향상 기법은 ITU-T P. 862 perceptual evaluation of speech quality (PESQ)를 이용하여 평가하였고 기존의 음성 존재 부정확성 추적방법보다 향상된 결과를 나타내었다.

핵심용어: 음성 존재 부정확성 추정기법, 음성 부재 확률

투고분야: 음성처리 분야 (2)

In this paper, we propose the minima controlled speech presence uncertainty tracking method to improve a speech enhancement. In the conventional tracking speech presence uncertainty, we propose a method for estimating distinct values of the *a priori* speech absence probability for different frames and channels. This estimation is inherently based on *a posteriori* SNR and used in estimating the speech absence probability (SAP). In this paper, we propose a novel estimation of distinct values of the *a priori* speech absence probability, which is based on minima controlled speech presence uncertainty tracking method, for different frames and channels. Subsequently, estimation is applied to the calculation of speech absence probability for speech enhancement. Performance of the proposed enhancement algorithm is evaluated by ITU-T P. 862 perceptual evaluation of speech quality (PESQ) under various noise environments. We show that the proposed algorithm yields better results compared to the conventional tracking speech presence uncertainty.

Keywords: Tracking speech presence uncertainty, Speech absence probability (SAP)

ASK subject classification: Speech Signal Processing (2)

I. 서론

음성향상 시스템에서 잡음을 정확하게 추정하는 것은 매우 중요한 요소이다. 잡음신호의 추정은 음성향상 시스템의 품질에 미치는 영향이 크며 특히, 잡음신호를 작게 추정을 하였을 경우 잔류잡음으로 인하여 자연스럽게 들리지 않는 음성이 들리게 되며, 반대로 잡음신호를 크게 추정을 하였을 경우, 음성신호의 명료도가 떨어져 음성이 둔

탁하게 들리게 된다. 전통적인 잡음 추정 방법으로는 음성 검출기 (voice activity detector, VAD)에 의존하여 음성 부재 구간에서 잡음의 평균을 구하는 방법이 있다 [1]-[3]. 이러한 방법은 조정이 어려우며 신호 대 잡음비가 낮은 응용분야에 사용될 경우 정확한 추정이 불가능하여 왜곡된 음성 신호를 출력하는 오류를 범하기 쉽다는 단점을 지니고 있다. 대안으로 나온 최소 통계 잡음 추정 (minimum statistics noise estimation, MSNE) [4] 경우에는 VAD를 사용하지 않으며 최적으로 신호의 파워 스펙트럼을 스무딩하여 최소 전력을 계산하고 있다. 전력 스펙트럼 스무딩 알고리즘은 시간과 주파수에 종속관

계가 있는 스무딩 매개변수로 1차 회귀 시스템을 사용하는데 이때 스무딩 매개변수의 최적화를 통하여 조건적인 평균 자승 오차를 최소로 하여 이상 잡음 신호를 추적한다. 그러나 전통적인 방법들보다 두 배 정도의 분산을 가지며 특이점들에서만 민감하게 반응하고 특히 최소 탐색 윈도우를 너무 작게 하였을 시 작은 에너지를 갖는 음소를 더욱 약하게 만드는 단점을 지니고 있다 [5]. 단점들을 보완하여 계산량을 줄이고 효율적인 최소 추적방법이 제안되기도 했었다 [6]. 하지만 이 방법 또한 잡음 신호의 에너지가 급상승하는 경우엔 잡음 추정이 느려지고 신호를 소멸시킨다는 문제점을 지니고 있다 [7]. 다른 방법으로는 최근 연구들에 주로 사용되고 있는 soft decision 방식을 적용한 잡음 추정방법이 있다. soft decision의 경우 VAD에 의존하는 방식과 달리 음성 영역 구간에서도 잡음 신호의 파워 스펙트럼을 추정을 하여 음성을 향상시킨다 [8].

한편 Malah가 제안한 음성 존재 부정확성 추적방법은 기존의 soft decision에서 음성 부재 확률 (speech absence probability, SAP)을 구할 때 사용되는 q 값이 고정된 값이었던 것과는 다르게 프레임, 채널마다 입력 신호의 a posteriori SNR을 특정 임계값과 비교하여 음성인지 아닌지를 판별하여 q 값을 다르게 적용하여 음성 부재 확률의 신뢰도를 높이는 방법으로 음성을 향상시킨다 [9]. 하지만 음성 존재 부정확성 추적방법에도 문제점은 존재한다. a posteriori SNR로 입력신호가 음성인지 아닌지를 판별할 경우 약한 음성 구간 혹은 SNR이 낮은 입력 신호일 경우 그 결과의 신뢰도가 매우 낮아진다. q 값은 스무딩을 이용하여 얻은 값이므로 약한 음성 구간 혹은 SNR이 낮은 구간이 많은 입력신호가 들어왔을 시 전체적으로 음성 향상의 결과가 좋지 않게 나타날 수 있다.

본 논문에서는 이점을 보완하고자 기존의 음성 존재 부정확성 추적방법에서 입력 신호가 음성인지 아닌지 여부를 판별할 때 사용된 a posteriori SNR을 대신하여 MCRA에서 제안된 잡음이 섞인 신호의 국부 에너지와 주어진 윈도우에서의 최소값 사이의 비를 이용하여 그 채널이 음성인지 아닌지를 판별하도록 하였다 [10]. 제안된 방법은 기존의 방법과 달리 잡음이 섞인 신호의 국부 에너지와 주어진 윈도우에서의 최소값 사이의 비를 이용하여 얻은 결과를 노이즈 스펙트럼 추정에 적용시키지 않고 a posteriori 음성 부재 확률에 사용되는 새로운 a priori 음성 존재 확률 q 값에 적용하여 향상된 음성 향상 기법을 도출하였다. 객관적 음질 평가 방법인 perceptual evaluation of speech quality (PESQ) 테스트 결과 향상된 성능을 보였다.

II. 음성 존재 부정확성 추적기법 개요

시간축 상에서 $x(n)$ 을 음성신호, $d(n)$ 을 독립적인 잡음 신호라고 한다. 이때 관측되는 신호 $y(n)$ 은 $y(n) = x(n) + d(n)$ 으로 주어지고 부분적으로 중복으로 나누어 윈도우를 취한 뒤 실시간 푸리에 변환 (short-time Fourier transform, STFT)을 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(k, l) = X(k, l) + D(k, l) \quad (1)$$

여기서 $Y(k, l)$, $X(k, l)$ 그리고 $D(k, l)$ 은 각각 k 번째 스펙트럼 성분, l 번째 프레임을 의미하며 음성 향상 기법에서 기본 가설로 사용되는 음성의 부재와 존재는 각각에 대해 $H_0(k, l)$ 과 $H_1(k, l)$ 로 나타내며 다음과 같은 식으로 정의내릴 수 있다.

$$\begin{aligned} H_0(k, l) : Y(k, l) = D(k, l) \\ H_1(k, l) : Y(k, l) = X(k, l) + D(k, l) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 음성, 잡음신호의 스펙트럼이 영평균 복소 가우시안 분포를 가진다고 가정하였을 때 주어진 두 가설을 조건으로 한 확률 밀도 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} p(Y(k, l)|H_0) &= \frac{1}{\pi \lambda_d(k, l)} \exp\left\{-\frac{|Y(k, l)|^2}{\lambda_d(k, l)}\right\} \\ p(Y(k, l)|H_1) &= \frac{1}{\pi [\lambda_d(k, l) + \lambda_x(k, l)]} \\ &\quad \cdot \exp\left\{-\frac{|Y(k, l)|^2}{\lambda_d(k, l) + \lambda_x(k, l)}\right\} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $\lambda_x(k, l)$ 와 $\lambda_d(k, l)$ 는 각각 l 번째 프레임에 대한 k 번째 주파수 성분에서의 음성과 잡음의 분산을 나타낸다. 따라서 위의 가설로부터 입력 신호 $Y(n)$ 의 음성부재확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} p(H_0|Y(k, l)) &= \frac{p(Y(k, l)|H_0)p(H_0)}{p(Y(k, l))} \\ &= \frac{p(Y(k, l)|H_0)p(H_0)}{p(Y(k, l)|H_0)p(H_0) + p(Y(k, l)|H_1)p(H_1)} \\ &= \frac{1}{1 + qA(Y(k, l))} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $A(Y(k, l))$ 는 l 번째 프레임에서의 k 번째 주파

수 대역의 우도비 (likelihood ratio, LR)로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A(Y(k,l)) = \frac{p(Y(k,l)|H_1)}{p(Y(k,l)|H_0)} - \frac{1}{1 + \xi(k,l)} \exp\left[\frac{\gamma(k,l)\xi(k,l)}{1 + \xi(k,l)}\right] \quad (5)$$

식 (5)에서 $\gamma(k,l)$, $\xi(k,l)$ 는 각각 *a posteriori* SNR과 predicted SNR로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma(k,l) = \frac{|Y(k,l)|^2}{\lambda_d(k,l)} \quad (6)$$

$$\xi(k,l) = \frac{\lambda_x(k,l)}{\lambda_d(k,l)} \quad (7)$$

또한 식 (5)에서 기존의 soft decision에서는 q 는 $q = p(H_1)/p(H_0)$ 를 의미하며 보통 고정된 q 값으로 사용되었다. 하지만 음성 존재 부정확성 추적방법은 고정된 q 값을 대신하여 각 프레임별 채널마다 다른 q 값을 적용한다. 그 q 값을 $q(k,l)$ 라고 가정하면 음성 부재 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있으며

$$p(H_0|Y(k,l)) = \frac{1}{1 + q(k,l)A(Y(k,l))} \quad (8)$$

여기서 $q(k,l)$ 는 현재 신호의 음성 존재 판별을 통하여 값이 결정되며 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$q(k,l) = \alpha_q q(k,l-1) + (1 - \alpha_q) I(k,l) \quad (9)$$

여기서 α_q 값은 스무딩 매개변수이며 $I(k,l)$ 는 H_0 일 경우 0, H_1 일 경우 1로 사용되며 다음의 식을 이용하여 판별하게 된다.

$$\begin{matrix} H_1 \\ \gamma(k,l) > \gamma_{TH} \\ H_0 \end{matrix} \quad (10)$$

III. 최소값 제어 음성 존재 부정확성의 추적기법

기존 음성 존재 부정확성 추적방법에서는 *a posteriori*

SNR을 이용하여 음성 존재 유무를 판별을 통하여 얻은 q 값을 적용한 SAP를 이용하여 음성 향상 시스템을 구성하였다. 하지만 SNR을 이용한 추정은 약한 음성 구간 또는 SNR이 낮은 경우 신뢰도가 떨어진다는 단점을 지니고 있다. 특히 *a posteriori* SNR은 상당히 잡음의 성격 및 시간변화에 따라 변화량이 크므로, 강인한 q 값 추정이 어렵다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 outlier에 불필요한 영향을 적게 받는 [10] MCRA에서 사용된 국부밴드의 에너지와 에너지의 최소값의 비를 이용하여 음성 존재 구간 판별하여 새로운 q 값을 얻어 SAP에 적용하였다. 전통적인 MCRA에서 국부밴드의 에너지는 실시간 퓨리에 변환 (STFT)한 값의 제곱의 스무딩 값으로부터 얻을 수 있다. 시간 영역에서 스무딩된 에너지는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$S(k,l) = \alpha_s S(k,l-1) + (1 - \alpha_s) S_f(k,l) \quad (11)$$

여기서 $S_f(k,l)$ 은 현재 프레임의 실시간 퓨리에 변환 값의 제곱을 나타내며 α_s 는 스무딩 매개변수로 0부터 1 사이의 값을 가진다. 국부밴드 에너지의 최소값, $S_{\min}(k,l)$ 과 일정 프레임 이후 초기화에 사용될 임시 변수, $S_{\text{tmp}}(k,l)$ 2개의 변수를 이용하여 최소값 제어에 필요한 현재 프레임까지의 최소값을 구할 수 있는데 방법은 다음과 같다. 최초 2개의 변수는 $S_{\min}(k,0) = S(k,0)$ 와 $S_{\text{tmp}}(k,0) = S(k,0)$ 로 초기화를 한다. 초기 이후에는 국부 에너지와 이전 프레임까지 최소값의 비교를 통하여 현재 프레임까지의 최소값을 구하게 되는데 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_{\min}(k,l) &= \min\{S_{\min}(k,l-1), S(k,l)\} \\ S_{\text{tmp}}(k,l) &= \min\{S_{\text{tmp}}(k,l-1), S(k,l)\} \end{aligned} \quad (12)$$

L 개의 프레임을 처리한 뒤 임시 변수인 $S_{\text{tmp}}(k,l)$ 을 이용하여 다음의 식을 따라 초기화를 해준다.

$$\begin{aligned} S_{\min}(k,l) &= \min\{S_{\text{tmp}}(k,l-1), S(k,l)\} \\ S_{\text{tmp}}(k,l) &= S(k,l) \end{aligned} \quad (13)$$

식 (12), (13) 과정의 반복을 통하여 국부에너지의 최소값을 구한다. 국부에너지와 위의 과정을 통하여 얻어진 최소값의 비, $S_r(k,l)$ 을 얻을 수 있으며 식으로는 다음과 같다.

$$S_r(k,l) = S(k,l)/S_{\min}(k,l) \quad (14)$$

Bayes 법칙을 이용하여 판별식을 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{p(S_i|H_1)}{p(S_i|H_0)} \begin{matrix} > & H_1 \\ < & H_0 \end{matrix} \frac{c_{10}P(H_0)}{c_{01}P(H_1)} \quad (15)$$

여기서 $P(H_0)$ 와 $P(H_1)$ 는 각각 음성 부재와 음성 존재 구간의 *a priori* 확률을 나타내며 c_{ij} 는 H_j' 일 때 H_i' 를 판별하기 위한 비용을 나타내며 다음과 같이 표현될 수 있다 [10].

$$S_i(k,l) \begin{matrix} > & H_1 \\ < & H_0 \end{matrix} \delta \quad (16)$$

위의 판정을 이용하여 MCRA에서는 스무딩을 이용한 연계 되는 p 값을 기존의 음성 부재 확률에서 사용되는 q 를 대체하는 \hat{q} 로 사용하였다.

$$\hat{q}(k,l) = \alpha_p \hat{q}(k,l-1) + (1-\alpha_p)I(k,l) \quad (17)$$

여기서 α_p 는 스무딩 배개변수로 0부터 1사이의 값을 가지며 $I(k,l)$ 는 식 (16)를 이용하여 H_1 일 때는 1, H_0 일 때에는 0으로 나타낼 수 있다. 우리는 \hat{q} 를 통하여 새로운

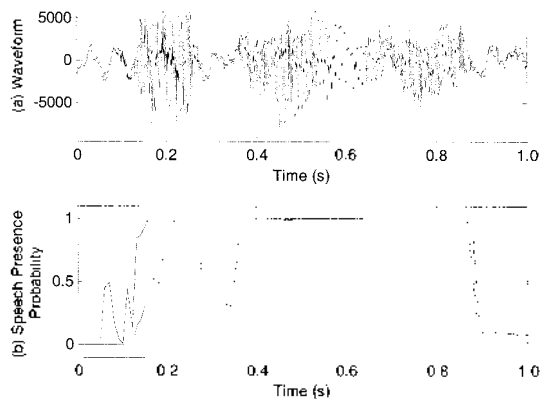


그림 1. Car 잡음 (SNR = 5 dB) 에서의 확률 비교 (a) 노이즈가 섞인 음성파형 (b) 실시간 프레임에서의 음성 존재 확률: 기존 알고리즘의 확률 (점선), 제안된 알고리즘의 확률 (굵은선)

Fig. 1. Comparison of probability under the car noise (SNR = 5 dB) (a) Noisy speech waveform (b) Speech presence probability in short-time frames probability of conventional algorithm (dashed line), probability of proposed algorithm (bold line).

음성 부재 확률을 아래와 같이 도출하였다.

$$p(H_0|Y(k,l)) = \frac{1}{1 + \frac{q(k,l)A(Y(k,l))}{c_{10}P(H_0)}} \quad (18)$$

실제로 그림 1은 제안된 최소값 제어 음성 존재 부정확성 추적방법을 이용하여 얻은 음성 존재 확률을 보여 주고 있다. 기존의 음성 존재 부정확성 추적방법보다 음성이 시작하는 부분은 빨리 음성임을 알아내고 음성이 끝나는 부분에서는 늦게 떨어지면서 음성임에도 불구하고 음성이 아니라고 판단하는 경우를 줄여 주는 것을 볼 수 있다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 기존의 음성 존재 부정확성 추적 알고리즘에서 *a posteriori* SNR을 이용하여 음성구간의 추정하는 방법으로 인하여 낮은 SNR과 약한 음성 구간에서의 신뢰성이 떨어지는 문제를 MCRA에서 사용되는 잡음이 섞인 신호의 국부에너지와 주어진 윈도우에서의 최소값 사이의 비를 이용하여 음성 존재 유무를 결정하여 새로운 음성 부재 확률에 대한 신뢰도의 향상을 통하여 음성 향상을 유도하였다. 제안된 음성 향상 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 ITU-T P.862 PESQ 테스트를 통하여 객관적인 성능 평가를 하였다. 제안된 알고리즘은 음성 존재 부정확성의 추적기법을 MCRA의 최소값 제어방법을 이용하여 사전 음성 부재 확률을 개선시킨 것으로 비교대상으로는 Malah가 제안한 기존의 음성 존재 부정확성 추적 알고리즘과의 성능 비교를 통하여 성능이 개선되었는지를 알아보았다.

표 1의 PESQ 테스트를 위하여 샘플은 모두 8 kHz로 샘플링한 8초 길이의 데이터로써 남성, 여성 각각 90개의 문장을 발음하도록 한 음성에 네 가지 형태의 잡음이 부가되었다. 잡음은 NOISEX의 white noise, street noise, car noise, office noise를 사용하였으며 5, 10, 15 dB 세 가지의 SNR로 나누어 테스트하였다. Malah와 제안된 알고리즘 모두 128크기의 FFT를 이용하였다. PESQ값은 이들 샘플에 대한 평균 수치로 나타냈고, 기존 음성 존재 부정확성 추적기법의 경우 기존 실험에서 사용된 값인 $\alpha_p=0.95$, $\gamma_{TH}=0.8$ 로 설정하여 실험하였으며 제안된 알고리즘의 경우 기존 MCRA에서 사용된 $\alpha_p=0.2$, $\delta=0.5$ 를 이용하였다. 최소값 제어를 위한 탐색 윈도우, L 의 크기

표 1. 다양한 노이즈 환경에서 Malah가 제안한 기존 방법과 제안된 알고리즘의 PESQ 수치비교

Table 1. PESQ score of the original method made by Malah and proposed algorithm.

Noise type	Method	SNR (dB)		
		5	10	15
White noise	Input	1.680	1.959	2.341
	Malah	2.071	2.404	2.723
	Proposed	2.088	2.422	2.749
Street noise	Input	2.526	2.849	3.133
	Malah	2.834	3.124	3.388
	Proposed	2.891	3.162	3.398
Car noise	Input	3.282	3.547	3.807
	Malah	3.341	3.634	3.883
	Proposed	3.386	3.665	3.898
Office noise	Input	1.966	2.348	2.698
	Malah	2.307	2.632	2.930
	Proposed	2.343	2.667	2.963

는 100개 즉, 1초로 설정하여 PESQ를 수행하였다.

표 1은 기존의 음성 존재 부정확성 추적방법보다 논문에서 제안한 최소값 제어 음성 존재 부정확성의 추적방법이 PESQ 수치로 white noise, street noise, car noise, office noise에서 각각 평균 0.020, 0.035, 0.027, 0.042 정도 향상된 수치를 보여주고 있다. 이는 제안된 알고리즘의 음성 향상 기법이 기존 알고리즘의 음성 향상 기법보다 깨끗한 음성 신호에 좀 더 가까운 신호를 생성하는 것을 의미하는 것으로써 음성 존재 확률을 더 잘 추정함에 따라 음성 향상 기법의 성능의 향상이 있음을 확인할 수 있었다. 실험에 사용된 모든 잡음 환경에서 기존의 음성 존재 부정확성 추적기법보다 제안된 최소값 제어 음성 존재 부정확성의 추적 알고리즘의 PESQ 수치가 향상된 것을 보여주고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 Malah가 제안한 음성 존재 부정확성 추적 알고리즘에 MCRA에서 사용된 최소값 제어를 이용, 음성 존재 부정확성의 추정방법을 사용하여 음성 향상 시스템의 성능을 개선하였다. 기존의 방법은 처음으로 고정된 q 값이 아닌 각각의 국부밴드마다 다른 q 값을 적용하여 음성 향상 시스템의 성능을 향상시켰지만 낮은 SNR 및 약한 음성 구간에서의 추정에 약점을 보여 그 구간에서의 음성 유무 판정에 대한 신뢰도가 떨어진다는 단점을 가지고 있었다.

본 논문에서 최소값 제어를 통한 국부 밴드의 에너지와 에너지의 최소값의 비를 이용하여 새로운 사전 음성 부재

확률, \hat{q} 를 제안하였다. 새로운 사전 음성 부재확률 값을 이용한 결과, 기존의 추정방법의 단점을 보완하여 음성 존재 부정확성의 추정방법의 결과의 신뢰도를 향상시켰다. 실험에 사용된 모든 잡음 환경과 신호 대 잡음 비 환경에서 기존의 음성 존재 부정확성 추적기법보다 우수한 성능을 보였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT핵심기술개발사업 [2008-F-045-02, 장애인 및 고령자를 위한 Digital Guardian 기술개발]과 또한, 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고 문헌

1. Y. Ephraim and D. Malah, "Speech enhancement using a minimum mean-square error short-time spectral amplitude estimator," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. ASSP-32, no. 6, pp.1109-1121, 1984.
2. Y. Ephraim and D. Malah, "Speech enhancement using a minimum mean-square error log-spectral amplitude estimator," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. ASSP-32, no. 2, pp. 443-445, 1985.
3. S. F. Boll, "Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. ASSP-27, no. 2, pp. 113-120, 1979.
4. R. Martin, "Spectral subtraction based on minimum statistics," in *Proc. 7th EUSIPCO'94*, Edinburgh, U.K., pp. 1182-1185, Sept. 1994.
5. I. Cohen and B. Berdugo, "Speech enhancement for non-stationary noise environments," *Signal Processing*, vol. 81, pp. 2403-2418, 2001.
6. G. Doblinger, "Computationally efficient speech enhancement by spectral minima tracking in subbands," in *Proc. 4th EUROSPEECH'95*, Madrid, Spain, pp. 1513-1516, Sept. 1995.
7. J. Meyer, K. U. Simmer and K. D. Kammeyer, "Comparison of one- and two-channel noise-estimation techniques," in *Proc. 5th IWAENC'97*, London, U.K., pp. 137-145, Sept. 1997.
8. N. S. Kim and J. H. Chang, "Spectral enhancement based on global soft decision," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 7, no. 5, pp. 108-110, 2000.
9. D. Malah, R. Cox, and A. J. Accardi, "Tracking speech-presence uncertainty to improve speech enhancement in nonstationary noise environments," in *Proc. Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Phoenix, AZ, Mar. 1999.
10. I. Cohen and B. Berdugo, "Noise estimation by minima controlled recursive averaging for robust speech enhancement," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 9, no. 1, pp. 12-15, Jan. 2002.

저자 약력

•이 우 정 (Woojung Lee)



2009년 2월: 수원대학교 정보통신공학과 학사
2009년 3월~ 현재: 인하대학교 전자공학과 석사과정

•장 준 혁 (Joon-Hyuk Chang)



1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 학사
2000년 2월: 서울대학교 전기공학부 석사
2004년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2000년 3월~2005년 4월: 넷넷디스 연구소장
2004년 5월~2005년 4월: 캘리포니아 주립대학,
산타바바라 (UCSB) 박사후연구원
2005년 5월~ 2005년 8월: 한국과학기술연구원 (KIST)
연구원
2005년 9월~ 현재: 인하대학교 전자전기공학부 조
교수