

웨이브렛 변환을 이용한 잡음 음성인식에 관한 연구

정희원 김현기*, 홍재근**

A Study on the Noisy Speech Recognition Using Wavelet Transform

Hyun-Ki Kim*, Jae-Keun Hong** *Regular Members*

요 약

잡음 환경에서 음성인식을 위한 전처리 방법으로 스펙트럼 차감법은 잡음과 음성을 정확히 구별하기 힘들고 정확한 잡음의 특성을 추정할 수 없으며, 웨이브렛 변환영역에서의 잡음제거 방법은 thresholding시 저주파 영역보다는 고주파영역에 상대적으로 더 큰 영향을 미쳐 고주파영역에서 신호의 손실이 발생하는 단점이 있다. 본 논문에서는 스펙트럼 차감법 및 웨이브렛 변환을 이용한 잡음제거 방법을 개선하기 위하여 이산 웨이브렛 변환 영역에서 스펙트럼 차감법을 적용시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 한국어 고립단어에 대해 인식실험을 수행해 본 결과 기존의 스펙트럼 차감법이나 웨이브렛 변환 방법에 비해서 인식 성능이 향상됨을 확인하였다.

ABSTRACT

In preprocessing method for speech recognition in noisy environments, spectral subtraction method has a disadvantage which distinction of noise and speech is difficult, and characteristic of noise can't be estimated accurately. Also, noise reduction method in the wavelet transform domain has a disadvantage which loss of signal is generated in the high frequency domain. In order to compensate these disadvantage, this paper propose spectral subtraction method in wavelet transform domain. Experiment evolution using a spoken korean two syllable city name database indicates that the use of proposed method in noisy condition can provide an improvement in recognition accuracy.

I. 서론

최근에 음성인식 시스템의 실용화가 늘어남에 따라 주변 잡음에 대한 인식 시스템의 성능저하가 문제되고 있다. 그러한 이유는 잡음이 없거나 비교적 조용한 실험실 환경에서는 우수한 성능을 나타내는 음성인식 시스템의 성능이 잡음이 존재하는 곳에서는 급격히 떨어지기 때문이다. 따라서 음성에 부가된 잡음을 제거하고자 하는 연구와 잡음이 부가된 음성에서 잡음에 강한 특징 파라미터의 추출에 관한 연구가 오랫동안 수행되어 왔다^[1].

일반적으로 음성에 포함된 잡음을 제거하기 위한

방법에는 스펙트럼 차감법(spectral subtraction method)^[2] 및 적응 잡음 제거법(adaptive noise cancellation)등이 있다. 스펙트럼 차감법은 주파수 영역에서 추정된 잡음신호의 스펙트럼의 크기를 손상된 음성신호로부터 소거함으로써 음성신호의 스펙트럼을 복원하여 음질을 향상시킬 수 있는 방법이며, 적응 잡음 제거법은 적응필터를 이용해 기준입력의 잡음원으로부터 원시입력에 포함된 잡음을 추정하여 잡음이 첨가된 신호에서 원신호를 복구하는 방법이다. 위의 방법은 잡음제거 과정에서 부가적인 잡음이 생길 수 있고, 잡음제거 시스템의 수행시 잡음의 통계학적 특성을 미리 알고 있어야 한다는 단점이

* 전남정보대학 전자정보통신과

** 경북대학교 전자전기공학부

논문번호 : 99007-0322, 접수일자 : 1999년 3월 22일

있다³⁾.

최근 들어 웨이브렛 변환(wavelet transform)의 시간-주파수 국부성(time-frequency localization)은 통계적 특성을 모르거나 시간적으로 예측하기 힘든 비정상(nonstationary)상태의 신호해석에 매우 유용한 것으로 밝혀졌다⁴⁾. 따라서 웨이브렛 변환(wavelet transform, WT)을 이용하여 신호를 옥타브 대역별로 구분한 후 soft threshold 방법을 이용하여 음성신호에 내재된 잡음을 제거하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 이러한 방법은 thresholding시 저주파 영역보다는 고주파영역에 상대적으로 더 큰 영향을 미쳐 고주파영역에서 신호의 손실이 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 스펙트럼 차감법 및 웨이브렛 변환을 이용한 잡음제거 방법의 단점을 개선하기 위하여 웨이브렛 변환 영역에서 웨이브렛 계수의 스케일별 표준편차로 묵음구간과 음성구간을 판별한 후 신호를 3개의 스케일로 분리하여 각각의 스케일 내에서 스펙트럼 차감법을 적용시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법을 잡음이 섞인 한국어 고립단어에 대해 인식 실험을 수행해본 결과 기존의 방법에 비해 인식률이 향상됨을 알 수 있었다.

II. 스펙트럼 차감법을 이용한 잡음제거

잡음신호가 정적(stationary)이며 음성신호와 상관성이 없다면 잡음이 섞인 음성신호의 스펙트럼은 잡음신호의 스펙트럼과 깨끗한 음성신호의 스펙트럼의 합으로 표현될 수 있다. 잡음이 섞인 음성신호의 스펙트럼에서 잡음신호의 스펙트럼을 빼어줌으로써 깨끗한 음성신호의 스펙트럼을 얻고자 하는 것이 스펙트럼 차감법의 기본 원리이다. 그러나 이 방법은 잡음의 스펙트럼 형태를 미리 알고 있거나 잡음의 스펙트럼을 추정하기에 충분한 묵음 구간(약 300ms)이 주어져야 하고, 음성이 존재하는 구간과 잡음만이 존재하는 구간을 검출할 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 조건을 만족한다고 가정하면 잡음 신호 $n(k)$ 가 음성신호 $s(k)$ 에 더해졌을 때 손상된 음성신호 $x(k)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(k) = s(k) + n(k) \quad (1)$$

식을 푸리에 변환하면

$$X(\omega) = S(\omega) + N(\omega) \quad (2)$$

와 같이 된다. 추정된 음성신호의 스펙트럼 크기는

$$|\hat{S}(\omega)| = |X(\omega)| - |N(\omega)| \quad (3)$$

와 같이 나타나지만 실제로는 잡음의 특성을 정확히 알 수 없으므로 $|N(\omega)|$ 대신 잡음 스펙트럼의 평균값인 $\mu(\omega)$ 를 사용하여 아래와 같이 나타낸다.

$$|\hat{S}(\omega)| = |X(\omega)| - \mu(\omega) \quad (4)$$

여기서 $\mu(\omega)$ 는

$$\mu(\omega) = E\{|N(\omega)|\} \quad (5)$$

이고 음성이 없는 잡음구간에서 수 프레임의 데이터로부터 취한 샘플평균을 의미한다. 크기정보 이외에 위상정보는 음질향상이나 음성인식 과정에서 중요한 변수가 아니라는 것을 고려하여 손상된 음성의 위상정보 $\theta_x(\omega)$ 를 추정음성의 위상 $\theta_s(\omega)$ 로 간주하여 사용한다. 따라서 추정된 음성은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{S}(\omega) &= [|X(\omega)| - \mu(\omega)] e^{j\theta_s(\omega)} \\ &= H(\omega) X(\omega) \end{aligned} \quad (6)$$

이다. 여기서 $H(\omega)$ 는 스펙트럼 차감필터의 전달함수이고

$$H(\omega) = 1 - \frac{\mu(\omega)}{|X(\omega)|} \quad (7)$$

이다. 추정된 음성의 스펙트럼을 역푸리에 변환하여 출력 음성신호를 얻을 수 있다. 그러나 잡음의 특성을 정확히 알 수 없으므로 잡음 스펙트럼 $|N(\omega)|$ 대신 평균값인 $\mu(\omega)$ 를 사용함에 따라 잡음제거 과정에서 다음과 같은 주파수오차(spectral error)가 발생한다.

$$\begin{aligned} \varepsilon(\omega) &= \hat{S}(\omega) - S(\omega) \\ &= N(\omega) - \mu(\omega) e^{j\theta_s} \end{aligned} \quad (8)$$

이러한 주파수오차를 줄이는 방법에는 프레임별 크기를 평균하는 방법과 반파 정류 방법이 있다. 스펙트럼 차감법의 잡음제거 과정은 그림 1과 같다.

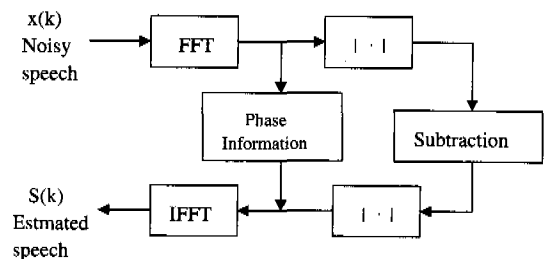


그림 1. 스펙트럼 차감법의 블록도

III. 웨이브렛 변환을 이용한 잡음제거

웨이브렛 해석은 웨이브렛이라고 불리는 하나의 원형 함수와 이 함수의 스케일된 함수가 기저함수를 이루게 되며 대역통과필터와 같은 역할을 수행하게 된다. 이러한 대역통과필터들은 일정한 Q값을 가진다. 이때 해석되는 신호는 옥타브 대역으로 분할되게 된다. 기저함수는 원형 함수의 크기와 스케일(수축/확장)에 의해 얻어진다.

$$h_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} h\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (9)$$

여기서 $a \in R^+$, $b \in R$ 이다. a 가 큰 값일 때 기저함수는 원형함수의 확장된 형태이며 저주파 함수이다. a 가 작은 값일 때 기저함수는 원형함수의 수축된 형태이며 고주파 함수이다.

웨이브렛 변환은 다음과 같이 정의된다.

$$X_w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} h^*\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (10)$$

식 (9)와 (10)에서 크기와 확장, 수축 파라미터를 이산화하면

$$h_{mn}(t) = a_0^{-m/2} \cdot h(a_0^{-m}t - nb_0), \quad (11)$$

$$m, n \in Z, \quad a_0 > 1, \quad b_0 \neq 0$$

$$X_w(m,n) = a_0^{-m/2} \int_{-\infty}^{\infty} h(a_0^{-m}t - nb_0)x(t) dt \quad (12)$$

이다. 이것은 $a = a_0^m$, $b = n a_0^m b_0$ 에 대응된다.

특히, $a_0 = 2$, $b_0 = 1$ 로 이원화 하면 식 (13)과 같다.

$$h_{mn}(t) = a_0^{-m/2} \cdot h(a_0^{-m}t - nb_0), \quad (13)$$

$$m, n \in Z, \quad a_0 = 2, \quad b_0 = 1$$

웨이브렛 변환을 수행하면 낮은 주파수 대역내의 계수들이 신호의 전체적인 성분을 포함하고 있으므로 높은 주파수 대역을 제거한다 하더라도 원신호를 어느 정도는 복구할 수 있으므로 잡음성분을 웨이브렛 계수들의 임계치(threshold value) 이하 되는 성분을 제거하는 방법이 웨이브렛 변환을 이용하여 잡음을 제거하는 방법의 기본이다^{5, 6, 7}.

원신호 x 가 평균값이 영이고 표준편차가 σ 인 백색

가우시안 잡음(white Gaussian noise)에 의해 손상되었다면 잡음에 손상된 신호 y 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y = x + \sigma n \quad (14)$$

식(14)를 웨이브렛 변환시키면 식(15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = X + N \quad (15)$$

나타내고 식(15)에서 여기에서, 대문자는 웨이브렛 영역에서의 신호를 웨이브렛 변환 행렬이 W 라면 Y, X, N 는 다음과 같다. 즉, $Y = W y$, $X = W x$, $N = W n$ 이다.

웨이브렛 변환행렬의 역함수를 M 이라 표현하면 복구된 원신호 \hat{x} 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{x} = M Y = M \hat{Y} \quad (16)$$

여기서 \hat{Y} 는 특정 임계치 이하를 제거시킨 웨이브렛 계수를 나타내고 \hat{X} 는 원신호에서 단순히 개개의 웨이브렛 계수를 없애거나 유지함으로써 추정될 수 있다. 위와 같은 가정은 낮은 주파수 대역의 웨이브렛 계수가 원신호의 정보의 대부분을 가지고 있으므로 높은 주파수 대역의 성분을 없애거나 특정 임계값 이하의 값을 제거하더라도 원신호와 가까운 값을 얻을 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 식(17)과 같은 soft threshold 방법^{8, 9}으로 웨이브렛 계수들을 제거하는 방법을 사용하였다.

$$y = \begin{cases} \text{sign}(x) (|x| - th), & |x| > th \\ 0, & |x| < th \end{cases} \quad (17)$$

IV. 웨이브렛 변환 영역에서 스펙트럼 차감법을 적용한 잡음제거

음성구간 판별법은 웨이브렛 변환으로 얻어지는 잡음 신호와 깨끗한 음성신호의 웨이브렛 계수가 스케일별로 다른 분포를 나타내는 특성을 이용하였다. 임계값은 스케일이 1인 경우, 즉 원신호를 웨이브렛 변환한 웨이브렛 계수의 표준분포 평균값을 이용한다.

$$T_H = c \cdot E[s d_1] \quad (18)$$

여기서 상수 c 는 잡음레벨에 따라 변경시킬 수

있으며 sd_1 은 스케일 1에서의 표준분포 값이다. 잡음 특성은 처음 묵음구간(300ms)에서 추정한다. 추정된 음성신호는 이산 웨이블릿 변환을 통한 각 주파수 대역에서의 웨이블릿 계수를 푸리에 변환하여 스펙트럼 차감한 후 역푸리에 변환한다. 원신호를 3개의 대역을 가지도록 분해하여 각각의 대역에서 신호의 특성을 나타내는 웨이블릿 계수를 스펙트럼 차감법에 적용한다. 웨이블릿 변환과정에서 부가적인 잡음제거 효과가 있으며 각각의 스케일에서 잡음 스펙트럼 특성에 근사하는 평균값을 구할 수 있어서 기존의 잡음제거 방법보다 향상된 음질을 얻을 수 있었다. 전체 알고리즘을 그림 2에 나타내었다.

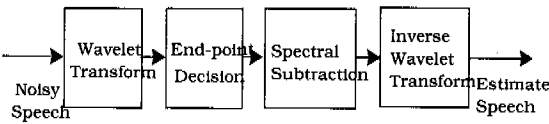


그림 2. 웨이블릿 변환 영역에서의 스펙트럼 차감법 적용

V. 실험결과 및 고찰

1. 음성내에서의 잡음제거

원음성에 잡음을 첨가한 후, 256개의 샘플을 1개의 프레임으로 하고 128샘플씩 이동시켜 가며 프레임을 형성하였다. 먼저, 잡음에 손상된 음성의 웨이블릿 변환된 스케일 1의 표준편차 값을 이용하여 잡음구간과 묵음구간을 판별한다. 이때 사용되는 기저 웨이블릿 함수는 mexican hat 웨이블릿 함수를 사용하였다. 그리고, 음성의 묵음구간 동안 잡음을 추정하여 잡음 스펙트럼의 평균값과 스케일별 평균값을 구한 후 웨이블릿 변환을 이용한 스펙트럼 차감법을 이용하여 잡음이 제거된 음성을 추정하였다. 이때 사용되는 기저 웨이블릿 함수는 다우베치(Daubechies) 웨이블릿 함수를 사용하였다. 실험에서 사용된 잡음은 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포에서 발생하는 랜덤 잡음값으로 하였다. 또한 비음성구간은 신호가 없는 것으로 하였다.

그림 3은 “대한민국”의 음성신호를 나타내고 있고 그림 4는 잡음에 손상된 음성신호를 나타내고 있으며 10dB의 신호대 잡음비를 가지고 있다.

그림 5, 그림 6 및 그림 7에 각각 손상된 음성에 대해 기존의 스펙트럼 차감법 및 웨이블릿 변환으로 추정된 음성신호와 제안한 방법으로 추정된 음성신호를 나타내었다.



그림 3. 원 음성신호

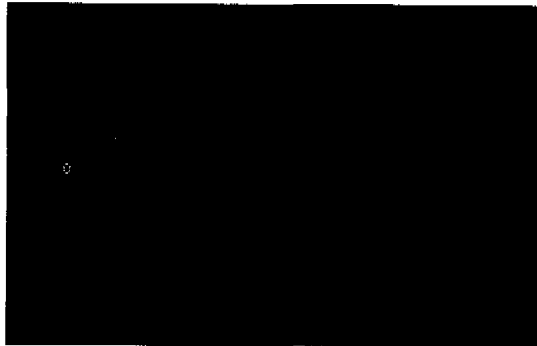


그림 4. SNR이 10dB인 잡음첨인 음성신호



그림 5. 기존의 스펙트럼 차감법으로 추정한 음성신호



그림 6. 웨이블릿 변환법으로 추정한 음성신호

SNR이 10dB인 경우에 가정 적은 IS 거리를 나타내는 것은 원음(clean speech)이 완전히 잡음이 없는 상태에서 녹음된 것이 아니라 10dB에서 15dB사이의 신호임을 추정할 수 있다.

2. 고립 단어 인식실험

제안한 방법이 잡음 환경하에서 음성인식 시스템의 인식성능을 얼마나 개선시키는지 알아보기 위하여 원음성에 백색 가우스 잡음을 첨가시켜 잡음이 섞인 신호를 만들었다. 음성인식 시스템은 단순 좌우 구조의 4개의 상태와 3개의 가지를 갖는 CDHMM(continuous density hidden Markov model)^[10]을 사용하였고, 음성 데이터베이스는 연구실 환경에서 10명의 화자(남자 5명, 여자 5명)에 의해 녹음된 15개의 2음절 한국 도시명을 사용하였다. 각각의 단어는 10번씩 반복해서 발음되었고 특징벡터는 12차의 LPC-켄스트럼을 사용하였다.

각각의 방법에 대한 비교를 위해 화자독립 인식 방법으로 인식실험을 하였다. 이때의 화자독립 인식 실험방법은 인식하고자하는 1명을 제외한 나머지 화자들의 음성으로 훈련시킨 모델로 인식하고, 인식 대상 화자를 차례로 바꾸어가며 반복하는 round-robin 방식을 사용하였다. 각각의 방법에서 변동하는 SNR 값을 가지는 잡음이 섞인 신호에 대한 인식실험을 하여 그 결과를 표 2 및 그림 8에 나타내었다.

그림 7. 제안한 방법으로 추정된 음성신호

기존의 방법으로 추정된 음성신호와 제안한 방법으로 추정된 음성신호는 신호대 잡음비가 비교적 큰 경우에는 별로 차이가 나지 않으나 신호대 잡음비가 적은 경우에는 큰 차이가 있음을 볼 수 있다. 그림 7은 웨이브렛 계수의 각 스케일별 표준편차를 임계치와 비교하여 묵음구간과 음성구간을 판별한 후 신호를 3개의 스케일로 분리하여 각각의 스케일 내에서 스펙트럼 차감법을 적용하여 추정된 음성이다.

기존의 스펙트럼 차감법, 웨이브렛 변환법 및 제안한 방법에서 추정된 음성신호의 신호대 잡음비를 표 1에 나타내었다.

표 1. 추정된 음성신호의 신호대 잡음비[dB]와 IS 거리 (IS_SN: 원신호와 잡음신호간의 IS 거리, IS_SR: 원신호와 추정된 음성신호간의 IS 거리)

SNR [dB]		20	15	10	5	0
spectral subtraction	SNR	26.73	23.83	21.83	18.96	13.93
	IS_SN	0.46	0.82	1.30	1.81	2.31
	IS_SR	9.99	2.64	0.43	0.65	1.10
wavelet transform	SNR	20.55	18.77	17.90	14.36	10.08
	IS_SN	0.46	0.82	1.30	1.81	2.31
	IS_SR	0.07	0.37	0.51	0.63	3.41
proposed method	SNR	34.63	30.41	26.13	22.46	19.06
	IS_SN	0.46	0.82	1.30	1.81	2.31
	IS_SR	0.02	0.05	0.25	0.45	0.83

표 1에서 나타난 바와 같이 제안한 방법이 기존의 스펙트럼 차감법 및 웨이브렛 변환을 이용한 잡음제거 방법에 비해 신호대 잡음비의 향상 정도가 크고 잡음이 많이 섞인 음성 신호에서 개선되는 정도가 크다는 것을 알 수 있고 유사도를 나타내는 Itakura-Saito (IS) 거리도 감소되어 원음에 가깝다는 것을 알 수 있었다. 또한, 스펙트럼 차감법에서

표 2. SNR에 따른 인식률[%]

Method	SNR[dB]			
	30 dB	20 dB	10 dB	0 dB
spectral subtraction	79.00	68.20	28.33	10.73
wavelet transform	80.66	65.60	21.86	8.86
proposed method	81.40	71.00	29.53	11.66

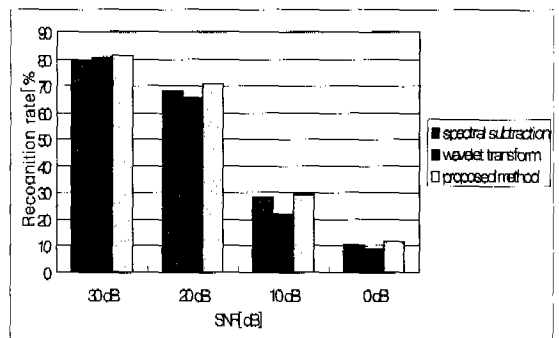


그림 8. 각 방법에서 SNR에 따른 인식률 비교

위의 표 2와 그림 8에서 나타난 바와 같이 제안한 방법으로 잡음을 제거하면 기존의 스펙트럼 차감법이나 웨이브렛 변환법보다 잡음이 섞인 음성에 대한 인식률이 향상됨을 알 수 있었다. 그리고 향상 정도는 SNR이 낮은 신호보다 높은 신호에서 두드러지게 나타났다.

VI. 결론

잡음에 의한 음성의 손상은 음성인식 시스템의 성능에 큰 영향을 끼치게 된다. 따라서, 전처리단계에서 잡음을 적절히 제거하거나 잡음에 강인한 특성을 가지는 특징파라미터를 추출하는 방법들이 필요하다. 이중 잡음제거기를 전처리단계에서 사용하는 방법은 시스템에 부가적으로 설치함으로써 인식 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 음성에 부가된 잡음을 제거하는 방법에 있어, 스펙트럼 차감법에서 나타나는 잡음과 음성의 구별이 어려운점과 정확한 잡음의 특성을 추정할 수 없는 단점을 극복하고, 웨이브렛 변환법에서 나타나는 고주파 영역에서의 신호의 손실을 감소시키기 위하여, 웨이브렛 변환 영역에서 스펙트럼 차감법을 이용하여 잡음을 제거시키는 방법을 제안하였다.

제안한 방법에서는 원 신호를 3개의 대역을 가지도록 분해하여 각각의 대역에서 신호의 특성을 나타내는 웨이브렛 계수를 웨이브렛 변환을 통하여 얻은 후 이 웨이브렛 계수를 스펙트럼 차감법에 적용시켰다. 웨이브렛 변환과정에서 부가적인 잡음제거 효과와 각각의 스케일에서 잡음 스펙트럼 특성에 좀 더 근사하는 평균값을 구할 수 있어서 기존의 스펙트럼 차감법 및 웨이브렛 변환 방법보다 신호대 잡음비와 IS 거리 측면에서 향상되었다. 그리고 한국어 고립단어에 대해 인식실험을 수행해 본 결과 제안한 방법이 기존의 방법에 비해서 인식 성능이 향상됨을 확인하였다.

참고 문헌

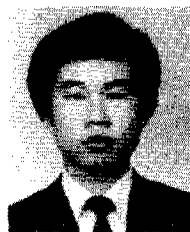
- [1] L. R. Rabiner, *Fundamentals of speech recognition*, Prentice-Hall, 1993.
- [2] S. F. Boll, "Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction," *IEEE Trans. ASSP*, vol. ASSP-27, no. 2, Apr. 1979.
- [3] J. S. Lim and A. V. Oppenheim, "Enhancement

and bandwidth compression of noisy speech," *Proceedings of the IEEE*, vol. 67, no. 12, Dec, 1979.

- [4] Ingrid Daubechies, "The Wavelet transform, time-frequency localization and signal. analysis," *IEEE Trans. on information theory*, vol. 36, no. 5, Sep. 1990.
- [5] Martin Vetterli, Cormac Herley, "Wavelet and filter banks: Theory and design," *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 40, no. 9, Sep. 1992.
- [6] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelet and signal processing," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 14-38, Oct. 1991.
- [7] Christian van den Branden Lambrecht, "Wavelet packets-based high-resolution spectral estimation," *Signal processing* 47, pp. 135-144, 1995.
- [8] D. L. Donoho, "De-Noising by soft thresholding," *IEEE Trans. on Info. Theory*, pp. 613-627, May 1995.
- [9] A. Teolis and J. J. Benedetto, "Noise Suppression using a wavelet model," *IEEE Trans. ASSP*, vol. I, pp. 17-20, 1994.
- [10] L. Rabiner, "A tutorial on hidden Markov modeks and selected applications in speech recognition," *Proc. IEEE*, vol. 77, no. 2, pp. 257-286, Feb. 1989.

김 현 기(Hyun-Ki Kim)

정회원



1986년 2월: 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업 (공학사).

1988년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1995년 3월~현재: 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료

1988년 2월~1995년 8월: 한국전자통신연구원 미디어연구실 선임연구원

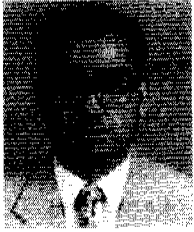
1993년 4월~1994년 5월: 미국 Bicom Product Inc. 객원연구원

1995년 9월~현재: 경남정보대학 전자정보통신과 조교수

<주관심 분야> 음성인식, 음성신호 처리, 멀티미디어 시스템

홍 재 근(Jae-Keun Hong)

정회원



1975년 2월: 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업
(공학사)

1979년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업
(공학석사)

1985년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1979년~1982년: 경북산업대학교 조교수

1983년~현재: 경북대학교 전자전기공학부 교수

<주관심 분야> 음성인식, 음성합성, 음성신호 처리