

감쇄(damping) 하모닉 크기 파라미터를 이용한 음성의 중첩합산 정현파 합성 방법

정희원 박종배*, 김영준*, 이인성*

Overlap and Add Sinusoidal Synthesis Method of Speech Signal using the Damping Harmonic Magnitude Parameter

Jong-bae Park*, Young-Joon Kim*, In-sung Lee*^o *Regular Members*

요약

본 논문에서는 음성신호의 정현파 합성방법 중 하나인 선형위상을 사용한 중첩합산방법에 대하여 감쇄(Damping) 하모닉 크기 파라미터를 사용하여 합성음성의 연속성을 개선시킨 새로운 방법을 제안한다. 기존의 중첩합산 정현파 합성방법은 프레임의 중간 지점에 대한 정현파 파라미터를 얻기 위해서 가중치로 사용된 정현파 크기값을 과거 프레임과 현재 프레임의 평균값을 사용하였으나 제안하는 방법은 정현파 크기값을 단순히 과거와 현재 프레임에서 평균값이 아닌 원 신호와 합성신호 사이의 상관성을 이용하여 감쇄(Damping)요소를 정의하고 보다 정확한 정현파 크기의 파라미터 값을 추출한 후 합성한다. 이렇게 제안한 합성 방법의 성능을 관찰하기 위해 합성방법의 연속성 평가를 통해 기존의 방법과 비교 평가 한다. 제안한 방법의 평균 MSE값이 N/2 중첩길이에서 0.251dB, N/4 중첩길이에서 0.298dB 낮아짐을 볼 수 있다.

Key Words : Sinusoidal model, Phase Interpellation, Matching Pursuit, Overlap and Add

ABSTRACT

In this paper, we propose a new method with the improved continuity performance of overlap and add speech signal synthesis method using damping harmonic amplitude parameter. The existing method uses the average value of past and current parameters for the sinusoidal amplitude used as the weight of phase error function. But, the proposed method extracts the more accurate sinusoidal amplitude by using a correlation between the original signals and the synthesized signals for the sinusoidal amplitude used as the weights. To verify the performance of the proposed method, we observed the average differential error value between the synthesized signals.

I. 서론

일반적인 정현파 또는 하모닉 모델은 신호를 시변하는 주파수, 진폭, 그리고 위상을 가진 정현파 성분의 선형 합으로 정의한다^[1]. 하지만 프레임 기반으로 처리되는 코덱에서 비트 전송률의 제약 때

문에 한 프레임 구간에서 스펙트럼 크기, 주파수, 그리고 위상이 시간에 따라 일정하다는 가정을 전제로 하게 된다. 정현파 모델은 낮은 비트율로 음성 신호를 부호화하는 효율적인 기술로 알려져 왔고^[2], 최근에는 음성변환^{[3][4][5]}이나 음질개선^[6]. 그리고 저 전송율의 오디오 부호화^{[7][8]}에서도 이용되고 있다.

※ “이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2007)”

* 충북대학교 전파공학과(Department of Radio Engineering, Chungbuk National University) (inslee@cbucc.chungbuk.ac.kr)
(^o : 교신저자 : inslee@cbnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-10-453, 접수일자 : 2008년 10월 15일, 최종논문접수일자 : 2009년 3월 4일

이러한 음성 부호화기의 처리 단계는 파라미터의 보 간법이나 파형의 중첩합산(Overlap and Add) 방법을 통해 수행된다. 정현파 파라미터의 예측은 일반적으로 분석 및 합성 방법인 MP(Matching Pursuit) 방법이 정확한 것으로 알려져 있다⁹⁾.

정현파 모델은 한 프레임 안에서 정현파 파라미터가 일정한 값을 가진다는 기본 가정 때문에 프레임간의 불연속성이 생기게 된다. 일반적으로 이러한 프레임 불연속을 줄이기 위해 스펙트럼 크기의 선형 보간(linear interpolation)과 위상 보간(phase interpolation)이 합성 시 함께 사용된다.¹¹⁾

본 논문에서는 기존의 합성신호들 간의 오차를 최소화하는 방법으로 정현파 파라미터를 추정하는 합성법에서 프레임의 중간 지점에 대한 정현파 파라미터를 얻기 위해 가중치로 사용된 정현파 크기 값을 과거 프레임과 현재 프레임의 평균값이 아닌 원 신호와 과거프레임에서 얻은 정현파 파라미터의 상관성을 이용하여 분석 및 합성과정을 통해 최적의 정현파 크기 값을 얻고 보다 정확한 중간 지점에 대한 정현파 파라미터를 예측함으로써 성능을 개선한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 정현파 크기로 가중치 된 위상 오류 함수를 사용한 음성의 중첩합산 정현파 합성 방법¹¹⁾에 대해 설명하고, III장에서는 제안하는 정현파 합성 방법을 설명한다. IV장에서는 기존의 제안한 방법의 성능을 평가하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 정현파 크기로 가중치 된 선형 위상 중첩합산 정현파 합성법

프레임간의 연속성을 유지하기 위해 정현파 파라미터들의 연결은 필수적이다. 3차 위상 보간¹⁰⁾에 비해 적은 복잡도를 가지면서 프레임간의 연속성을 유지하기 위한 방법으로 정현파 크기로 가중치 된 선형 위상 중첩합산(WE-OLA-LP: weighted - overlap and add - linear phase) 정현파 합성법이 제안되었다¹¹⁾.

WE-OLA-LP 정현파 합성법에서는 중첩되는 경계면에서의 최종 합성된 신호들 간의 차이를 최소화 하는 방법을 사용하여 보간 하려는 지점의 정현파 파라미터를 구함으로써 프레임간의 불연속성을 최소화한다. 중간 지점의 정현파 파라미터(크기 \bar{A} , 주파수 \bar{w} , 위상 $\bar{\theta}$)에 대해서 정현파 파라미터의 크기는 식 (1)과 같이 정의하고 주파수는 정현파 크기 값에 비례하여 식 (2)로 정의한다.

$$\bar{A} = \frac{A_k + A_{k+1}}{2} \tag{1}$$

$$\bar{w} = \frac{A_k \cdot w_k + A_{k+1} \cdot w_{k+1}}{A_k + A_{k+1}} \tag{2}$$

중간 지점의 정현파 파라미터의 위상 $\bar{\theta}$ 을 얻기 위해서 최대 중첩지점 $N/4, 3N/4$ 에 대하여 합성과형에 대한 MSE(mean-squared error) 값을 $\epsilon_{N/4}^s(\bar{\theta})$ 와 $\epsilon_{3N/4}^s(\bar{\theta}, M)$ 로 각각 정의 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{N/4}^s{}^2(\bar{\theta}) &= |W_{1/4} \cdot e^{j\phi_k(N/4)} - W_{1/4} \cdot e^{j\bar{\phi}(-N/4)}|^2 \\ \epsilon_{3N/4}^s{}^2(\bar{\theta}, M) &= |W_{3/4} \cdot e^{j\phi_{k+1}(-N/4)} - W_{3/4} \cdot e^{j\bar{\phi}(N/4)}|^2 \end{aligned} \tag{3}$$

where $W_{1/4} = \frac{3A_k + A_{k+1}}{4}, W_{3/4} = \frac{A_k + 3A_{k+1}}{4}$
 $\phi_k(n) = w_k \cdot n + \theta_k, \bar{\phi}(n) = \bar{w} \cdot n + \bar{\theta}$

여기서 $W_{1/4}$ 와 $W_{3/4}$ 는 $N/4$ 지점과 $3N/4$ 지점에서의 k 번째 프레임과 $k+1$ 번째 프레임으로부터 각 지점의 평균 크기 값이다.

식 (3)은 MSE(mean-squared error)를 최소화 하는 중간 지점의 위상을 얻기 위해 편미분시 0이 되는 해를 구하게 된다. 그러나 위상 항에 대한 삼각 함수를 포함 하고 있고 많은 국소해(local solutions)를 가지고 있어 최적 해를 구하기 힘들다. 그러므로 이 문제를 해결하기 위해서 식 (3)은 중간지점의 위상 $\bar{\theta}$ 에 대해서 삼각함수의 공식을 사용하여 보다 간단한 식으로 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{N/4}^s{}^2(\bar{\theta}) &= (W_{1/4})^2 |e^{j\phi_k(N/4)} - e^{j\bar{\phi}(-N/4)}|^2 \\ &= (W_{1/4})^2 \left(\sqrt{2 - 2 \left(\cos \phi_k \left(\frac{N}{4} \right) \cdot \cos \bar{\phi} \left(-\frac{N}{4} \right) + \sin \phi_k \left(\frac{N}{4} \right) \cdot \sin \bar{\phi} \left(-\frac{N}{4} \right) \right)} \right)^2 \\ &= (W_{1/4})^2 \left(\sqrt{2 \left(1 - \cos \left(\phi_k \left(\frac{N}{4} \right) - \bar{\phi} \left(-\frac{N}{4} \right) \right) \right)} \right)^2 \\ &= 2 \cdot (W_{1/4})^2 \left(1 - \cos \left(\phi_k \left(\frac{N}{4} \right) - \bar{\phi} \left(-\frac{N}{4} \right) \right) \right) \\ \epsilon_{3N/4}^s{}^2(\bar{\theta}, M) &= (W_{3/4})^2 |e^{j\phi_{k+1}(-N/4)} - e^{j\bar{\phi}(N/4)}|^2 \\ &= 2 \cdot (W_{3/4})^2 \left(1 - \cos \left(\phi_{k+1} \left(-\frac{N}{4} \right) - \bar{\phi} \left(\frac{N}{4} \right) \right) \right) \end{aligned} \tag{4}$$

1차 테일러 급수(1st Tatlor Series)에 의해서 변수 x 가 작은 값이라면, $\cos \cong 1 - \frac{x^2}{2}$ 이므로 식 (4)는 다음과 같이 근사화 된다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{N/4}^s{}^2 &= (W_{1/4})^2 \left(\phi_k \left(\frac{N}{4} \right) - \bar{\phi} \left(-\frac{N}{4} \right) \right)^2 \\ &= (W_{1/4})^2 \left(\left(\theta_k + w_k \cdot \frac{N}{4} \right) + \bar{w} \cdot \frac{N}{4} - \bar{\theta} \right)^2 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{3N/4}^s &= (W_{3/4})^2 \left(\phi_{k+1} \left(-\frac{N}{4} \right) - \bar{\phi} \left(\frac{N}{4} \right) \right)^2 \\ &= (W_{3/4})^2 \left(\theta_{k+1} + 2\pi M - w_{k+1} \cdot \frac{N}{4} - \bar{w} \cdot \frac{N}{4} - \bar{\theta} \right)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 위상의 불연속을 줄이기 위해 첨가된 위상 $\bar{\theta}$ 와 정수 M 을 추정하는 것이 중요하다. 두 지점에서 에러의 제곱의 합을 위상오차함수 $r(\bar{\theta}, M)$ 로 정의 하면 다음과 같다.

$$r(\bar{\theta}, M) = \varepsilon_{N/4}^s(\bar{\theta}) + \varepsilon_{3N/4}^s(\bar{\theta}, M) \quad (7)$$

위의 식 (7)에서 합성된 신호를 최소로 하는 위상 $\bar{\theta}$ 와 위상 비 구속 정수 인자 M 을 구할 수 있는데, 이것은 각각에 대해서 편미분 값이 0 이 되는 값을 구하면 다음과 같다.

$$\bar{\theta} = \frac{W_{1/4}X + W_{3/4}Y}{W_{1/4} + W_{3/4}} \quad (8)$$

$$M = \theta \left(\frac{W_{1/4}X + W_{3/4}Z - \theta_{k+1} + w_{k+1} \cdot \frac{N}{4} + \bar{w} \cdot \frac{N}{4}}{2\pi - \frac{W_{3/4} \cdot 2\pi}{W_{1/4} + W_{3/4}}} \right) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{where } X &= \theta_k + \frac{3w_k + w_{k+1}}{2} \cdot \frac{N}{4} \\ Y &= \theta_{k+1} + 2\pi M - \frac{w_k + 3w_{k+1}}{2} \cdot \frac{N}{4} \\ Z &= \theta_{k+1} - \frac{w_k + 3w_{k+1}}{2} \cdot \frac{N}{4} \end{aligned}$$

III. 감쇄(Damping) 하모닉 크기 파라미터를 이용한 음성의 중첩 합산 정현파 합성방법

기존의 WE-OLA-LP 정현파 합성법에서 정현파 크기 값 $W_{1/4}, W_{3/4}$ 은 중간지점의 위상 $\bar{\theta}$ 와 비구속 정수 인자 M 을 추정하는 과정에서 가중치 요소로 적용된다^[11].

우리는 가중치로 사용된 정현파 크기 값을 과거와 현재 크기 파라미터의 평균값으로 표현 하지 않고 과거 프레임의 정현파 파라미터의 합성신호와 원본신호와의 상관성을 이용하여 N/4지점과 3N/4지점의 정현파 크기를 반복되는 분석 및 합성 과정을 통해 과거프레임에 대한 최적의 정현파 크기의 파라미터의 비를 예측함으로써 보다 정확한 중간지점의 위상 $\bar{\theta}$ 와 비구속 정수 인자 M 를 구한다. 이러한 과정에서 k번째 프레임에서의 l번째 하모닉에 대한 정현파 크기의 비를 damping 요소 g_k^l 라 정의

하고 식 (10)과 같이 표현한다.

$$A_{k+1}^l = g_k^l \cdot A_k^l \quad (10)$$

스펙트럼 크기의 보간법(amplitude interpolation)은 시간 변화에 따라 피치의 변화가 크지 않다는 가정 하에 선형 함수를 이용하고 여기에 식(10)을 적용한 스펙트럼 크기의 선형 보간식은 식 (11)과 같다.

$$\begin{aligned} \widetilde{A}_k^l(n, g_k^l) &= (1 - \frac{n}{N})A_k^l + \frac{n}{N} \cdot A_{k+1}^l \\ &= [1 + (1 - g_k^l) \cdot \frac{n}{N}] \cdot A_k^l \end{aligned} \quad (11)$$

원본신호 $s_k(n)$ 와 합성신호 $\widehat{s}_k(n)$ 의 MSE(Mean-Squared Error)를 식 (12)와 같이 정의 하고 여기서 g_k^l 의 최적 해를 얻기 위해서 식 (12)의 g_k^l 대한 편미분 값이 0이 되는 값을 구하면 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} \xi(n, g_k^l) &= \left(\sum_{n=1}^N (s_k(n) - \widehat{s}_k(n, g_k^l))^2 \right) \\ \text{where, } \widehat{s}_k(n, g_k^l) &= \sum_{l=1}^L \widetilde{A}_k^l(n, g_k^l) e^{j\phi_k(n)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi(n, g_k^l)}{\partial g_k^l} &= \frac{\partial}{\partial g_k^l} \left(\sum_{n=1}^N \left(s_k(n) - \frac{(1 - (1 - g_k^l)n}{N}) \widehat{v}(n) \right)^2 \right) \\ &= -2 \sum_{n=1}^N \left(\left(s_k(n) - \frac{(1 - (1 - g_k^l)n}{N}) \widehat{v}(n)}{N} \right) \frac{n}{N} \widehat{v}(n) \right) \\ &= -2 \sum_{n=1}^N \left(\frac{(N-n)}{N} \widehat{v}^2(n) - \frac{n}{N} s_k(n) \widehat{v}(n) - \left(\frac{n}{N} \right)^2 g_k^l \widehat{v}(n) \right) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{where, } \widehat{v}(n) = \sum_{l=1}^L e^{j\phi_k(n)}$$

$$\begin{aligned} g_k^l &= \frac{\sum_{n=1}^N \left(\frac{N-n}{N} \{ \widehat{v}(n) \}^2 - \frac{n}{N} s_k(n) \widehat{v}(n) \right)}{\sum_{n=1}^N \left(\left(\frac{n}{N} \right)^2 \{ \widehat{v}(n) \}^2 \right)} \\ &= N \left(\frac{\sum_{n=1}^N n \cdot s_k(n) \widehat{v}(n)}{\sum_{n=1}^N (n \cdot \widehat{v}(n))^2} - \frac{\sum_{n=1}^N n \cdot (\widehat{v}(n))^2}{\sum_{n=1}^N (n \cdot \widehat{v}(n))^2} \right) + 1 \end{aligned} \quad (13)$$

위의 식(13)에서 얻은 정현파 크기의 감쇄(Damping) 하모닉 파라미터 크기의 요소 g_k^l 를 적용하여 기존의 WE-OLA-LP 정현파 합성법에서 가중치로 사용된 정현파 크기값을 보다 정확히 구한다. 우리는 g_k^l 요소가 적용된 정현파 합성법을 Damp-OLA-LP 정현파 합성법이라 부른다.

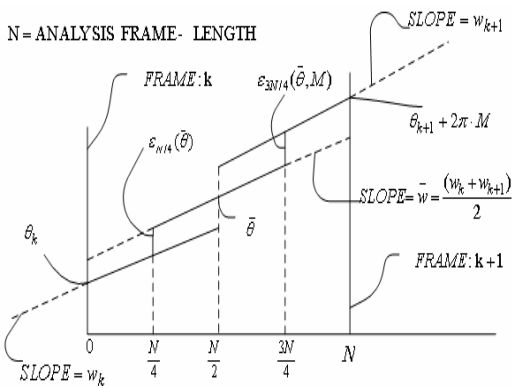


그림 1. N/2 지점의 프레임이 첨가된 위상 궤적

IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

정현파 모델은 프레임간의 연속성을 유지하기 위해 정현파 파라미터의 연결은 필수적이다. 이러한 정현파 합성법에 대한 연속성을 평가하기 위해서 그림 2와 같이 k번째 프레임의 정현파 파라미터 A_k, w_k, θ_k 으로부터 합성된 신호를 $\hat{s}_k(n)$, k+1번째 프레임의 정현파 파라미터 $A_{k+1}, w_{k+1}, \theta_{k+1}$ 으로부터 합성된 신호는 $\hat{s}_{k+1}(n)$ 으로 정의한다. 그리고 정현파 파라미터 $\bar{A}, \bar{w}, \bar{\theta}$ 으로부터 합성된 신호를 $\bar{s}(n)$ 이라 하면, 그 정현파 파라미터는 2장에서 설명된 기존의 WE-OLA-LP 정현파 합성법과 3장에서 설명된 제안된 Damp-OLA-LP 정현파 합성법으로부터 각각 구해진다.

N/4 지점과 3N/4 지점뿐만 아니라, 각 샘플에 대한 연속성을 관찰하기 위하여 $\hat{s}_k(n)$ 와 $\bar{s}(n)$ 의 차이 값의 전체 프레임에 대한 평균값을 식 (14)으로 정의 하고 $\bar{s}(n)$ 와 $\hat{s}_{k+1}(n)$ 의 차이 값에 대한 전체

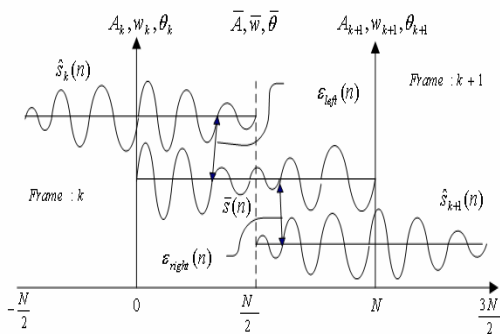


그림 2. k와 k+1번째 프레임의 하모닉 성분과 N/2 지점에서의 하모닉 성분으로 합성된 파형 모양

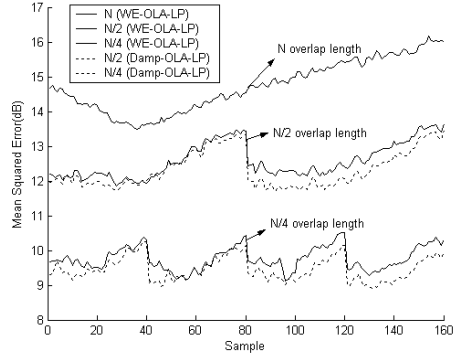


그림 3. 합성 프레임수에 따른 각 샘플마다 평균 MSE값 (dB)(실선: WE-OLA-LP, 점선: damping WE-OLA-LP)

프레임에 대한 평균값을 식 (15)으로 정의하여 성능을 관찰한다.

$$\epsilon_{left}(n) = \frac{1}{P} \sqrt{\sum_{n=0}^{N/2-1} \sum_{k=1}^P (\hat{s}_k(n) - \bar{s}(n))^2} \quad (14)$$

$$\epsilon_{right}(n) = \frac{1}{P} \sqrt{\sum_{n=N/2k=1}^{N-1} \sum_{k=1}^P (\bar{s}(n) - \hat{s}_{k+1}(n))^2} \quad (15)$$

여기서 P는 전체 프레임 개수이다.

그림 3은 WE-OLA-LP 정현파 합성법과 제안한 Damp-OLA-LP 정현파 합성법에 대한 식 (14), (15)의 결과 값을 나타낸 것이다.

전체적으로 기존의 WE-OLA-LP 정현파 합성법과 Damp-OLA-LP 정현파 합성법 모두 중첩길이(overlap-length)를 N/2, N/4으로 짧게 하였을 경우 MSE (mean-squared error) 값이 줄어드는 것을 볼 수 있고, 제안한 정현파 합성법이 기존의 WE-OLA-LP 정현파 합성법보다 MSE 값이 작음을 볼 수 있다.

이것은 제안한 Damp-OLA-LP 정현파 합성법이 기존 보다 파라미터간의 연속성이 더 좋아짐을 알 수 있다.

여기서 각 실험 샘플은 8kHz NTT 음성 데이터 한국어 남자, 여자 각각 20 문장이 사용 되었고 전 이구간을 포함한 유성음 구간에 대해서 측정 되었다.

V. 결론

본 논문에서는 음성신호의 정현파 합성방법 중 하나인 선형위상을 사용한 중첩합성방법에 대한 합성음성의 연속성을 개선시킨 새로운 방법을 제안하였다. 이렇게 제안한 합성신호들 간의 차이를 최소화

표 1. 각 샘플과 합성 프레임률에 따른 MSE의 평균값(dB)

Overlap-length	WE-OLA-LP (dB)	Damp-OLA-LP (dB)
N	14.826	14.826
N/2	12.584	12.333
N/4	9.763	9.465

화 하는 과정에서 기존에 WE-OLA-LP 정현파 합성법에서 단순히 중첩 지점의 크기를 과거와 현재 프레임의 중간 값을 사용 하였다면 제안한 방법은 중첩 지점에서 원본신호와 합성신호의 상관성을 이용하여 보다 정확한 정현파 크기를 얻었다. 표 1에서 볼 수 있듯이 제안한 방법의 평균 MSE값이 N/2 중첩길이에서 0.251dB, N/4 중첩길이에서 0.298dB 낮아짐을 볼 수 있다. 또한 중첩길이를 줄일수록 MSE 값이 낮아짐을 볼 수 있다. 이렇게 제안된 정현파 합성법으로 합성 하였을 때 기존의 합성방법보다 연속성이 좋아짐을 확인 할 수 있었다. 제안한 방법으로 Embedded variable bit-rate speech 코덱이나 low bit-rate speech 코덱의 응용분야에 유용할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] R. J. McAulay and T. F. Quatieri, "Speech analysis/synthesis based on a sinusoidal representation," IEEE Trans. on ASSP, vol. 34, no. 4, pp. 744 - 754, Aug. 1986.

[2] W. B. Kleijin and K. K. Paliwal, Speech coding and synthesis, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1995

[3] T. F. Quatieri and R. J. McAulay, "Speech transformations based on a sinusoidal representation," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-34, pp. 1449-1464, 1986.

[4] E. B. George and M. J. T. Smith, "Speech analysis/synthesis and modification using an analysis-by-synthesis/overlap-add sinusoidal model," IEEE Trans. Speech Audio Processing, vol. 5, no. 5, pp. 389-406, 1997.

[5] Y. Stylianou, "Applying the harmonic plus noise model in concatenative speech synthesis," IEEE Trans. Speech Audio Processing, vol. 9, pp. 232-239, Mar. 2001.

[6] J. Jensen and J. H. L. Hansen, "Speech enhancement using a constrained iterative sinusoidal model," IEEE Trans. Speech Audio Processing, vol. 9, pp. 731-740, Oct. 2001.

[7] J. Nieuwenhuijse, R. Heusdens, and E.F. Deprettere, "Robust exponential modeling of audio signals," IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP '98, Seattle, Washington, USA, vol. 6, pp. 3581 - 3584, May 1998.

[8] T. S. Verma and T. H. Y. Meng, "Sinusoidal modeling using frame-based perceptually weighted matching pursuits," IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP '99, Phoenix, Arizona, USA, vol. 2, pp. 981 - 984, May 1999.

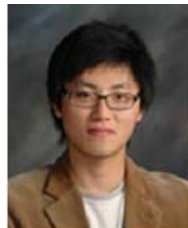
[9] M. Goodwin, 'Matching Pursuit with Damped Sinusoids', Proc. IEEE ICASSP 1997, vol.3, pp.2037-2040.

[10] R. J. McAulay and T. F. Quatieri, "Computationally efficient sine-wave synthesis and its application to sinusoidal Transform coding" Proc. IEEE ICASSP pp.370~373, 1998.

[11] 박종배, 김규진, 정규혁, 김종학, 이인성 "정현파 크기로 가중치 된 위상 오류 함수를 사용한 음성의 중첩합산 정현파 합성 방법" 한국 통신 학회 논문지 제 32권 제 12호, pp. 1149~1155, 2007.

박 종 배 (Jong-bae Park)

정회원



2007년 2월 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
 2009년 2월 충북대학교 전과 공학과(공학 석사)
 <관심분야> 음성/오디오 부호화, 통신 신호 처리, 적응 필터

김 영 준 (Young-joon Kim)

정회원



2004년 2월 충북대학교 전기전자
자릿컴퓨터공학부 (공학사)

2008년 2월 충북대학교 전자공
학과 (공학석사)

2009년 2월 충북BIT 연구중심
대학육성사업단 전임연구원

2009년 3월~현재 충북대학교 전
파통신공학과 (박사과정)

<관심분야> USN, 생체 신호 처리

이 인 성 (In-sung Lee)

정회원



1983년 2월 연세대학교 전자공
학과 (공학사)

1985년 2월 연세대학교 전자공
학과 (공학석사)

1992년 2월 Texas A&M University
전기공학과(공학박사)

1993년 2월~1995년 9월 한국전

자 통신 연구원 이동통신 기술연구단 선임연구원

1995년 10월~현재 충북대학교 전기전자공학부 정교수

<관심분야> 음성/영상 신호 압축, 이동통신, 적응필터.