

멀티펄스의 진폭보정에 관한 연구

이시우^{1*}

¹상명대학교 정보통신공학과

A Study on Compensation of Amplitude in Multi Pulse

See-Woo Lee^{1*}

¹Dept. of Information and Telecommunication Engineering, Sangmyung University

요 약 유성음원과 무성음원을 사용하는 멀티펄스 음성부호화 방식에 있어서, 음성신호의 진폭이 증가하거나 감소하는 경우에 음성 파형에 일그러짐이 나타난다. 이것은 대표구간의 멀티펄스를 피치구간마다 복원하는 과정에서 재생 음성신호가 정규화되는 것이 원인으로 작용한다. 이것을 해결하기 위하여 본 논문에서는 피치구간마다 멀티펄스의 진폭을 보정하는 방법(AC-MPC)을 제시하였으며, 기존의 MPC와 멀티펄스 진폭을 보정한 AC-MPC의 SNRseg를 평가한 결과, AC-MPC의 남자음성에서 0.7dB, 여자음성에서 0.7dB 개선된 것을 확인할 수 있었다. 결국, MPC에 비해 AC-MPC의 SNRseg가 개선되어 음성파형의 일그러짐을 제어할 수 있었으며, 본 방법은 셀룰러폰이나 스마트폰과 같이 Low Bit Rate의 음원을 사용하여 음성신호를 부호화하는 방식에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract In a MPC coding using excitation source of voiced and unvoiced, it would be a distortion of speech waveform in case of increasing or decreasing of speech signal amplitude in a frame. This is caused by normalization of synthesis speech signal in the process of restoration the multi-pulses of representation section. To solve this problem, this paper present a method of amplitude compensation(AC-MPC) in a multi-pulses each pitch interval in order to reduce distortion of speech waveform. I was confirmed that the method can be synthesized close to the original speech waveform. And I evaluate the MPC and AC-MPC using amplitude compensation method. As a result, SNRseg of AC-MPC was improved 0.7dB for female voice and 0.7dB for male voice respectively. Compared to the MPC, SNRseg of AC-MPC has been improved that I was able to control the distortion of the speech waveform finally. And so, I expect to be able to this method for cellular phone and smart phone using excitation source of low bit rate.

Key Words : Cellular Phone, Smart Phone, Internet Phone, Speech Coding, Coding System

1. 서론

근래 이동통신 단말기의 대중화를 근간으로 셀룰러폰의 관심이 높아지고 있다. 특히 멀티미디어 기능이 강화된 스마트폰의 사용이 날로 증가하는 추세에 있으며, 스마트폰은 음성통신 기능 외에 다양한 형태의 데이터 송수신으로 인한 이동통신 네트워크에 과부하를 초래하는 원인으로 부각되고 있다. 한편 컴퓨터의 보급과 더불어 전 세계적으로 인터넷 보급률도 점차 높아지고 있는 추

세이며, 특히 우리나라와 같이 인터넷 보급률이 높은 국가에서는 인터넷 폰의 사용이 급격히 증가하는 특징을 나타내기도 한다. 이러한 추세대로라면 향후에는 유선 및 이동통신 네트워크의 용량을 물리적으로 늘리거나 다양한 형태의 신호를 압축 복원할 수 있는 새로운 부호화 방식을 적용하여야 할 것이다. 한편, 애플, 노키아, 삼성은 이동통신 시장의 경쟁력 확보 및 시장 확대를 위하여 현재 이동통신 단말기의 데이터 및 음성부호화 방식에 대한 특허분쟁을 진행하고 있다. 데이터 및 음성부호화 방식은

본 논문은 상명대학교 연구과제로 수행되었음.

*교신저자 : 이시우(swlee@smu.ac.kr)

접수일 11년 05월 31일 수정일 (1차 11년 07월 15일, 2차 11년 08월 22일, 3차 11년 09월 07일) 게재확정일 11년 09월 08일

이동통신 방식의 핵심기술로서 이동통신 시장의 선점 혹은 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 반드시 확보하여야 할 기술이라 할 수 있다.

이동통신에 적용하는 음성부호화 방식은 대체적으로 낮은 Low Bit Rate를 실현하는데[1-3], 이러한 음성부호화 방식의 하나인 멀티펄스 음성부호화 방식은 Bell연구소의 Atal에 의하여 처음으로 제안되었다[4]. 이 방식은 AbS(Analysis by Synthesis)법에 의하여 멀티펄스(Multi-Pulse)를 탐색하고, 멀티펄스에 의하여 합성 필터를 구동하여 음성신호를 재생하는 방식이다. 이후 NEC의 Ozawa는 피치예측법을 이용하여 4.8~9.6kbps의 멀티펄스 음성부호화 방식(MPC: Multi Pulse Coding)을 제안하였다[5]. 그러나 구동음원인 대표구간의 멀티펄스를 피치구간마다 복원하는 과정에서 본래의 음성파형이 갖는 진폭을 제대로 재생하지 못하는 문제점이 발생한다. 이것은 실제 인간이 발생하는 음성에너지는 시간에 따라 변동되지만 이것을 대표구간의 음원에너지로 일정하게 정규화 함으로서 재생된 음성신호의 에너지가 일정해지는 것이 원인이라 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 NEC의 Ozawa가 제안한 멀티펄스 음성부호화 방식(MPC)에서 발생하는 멀티펄스 음원의 정규화된 진폭을 보정하여 원 음성파형에 가까운 신호를 재생하는 멀티펄스 진폭보정 방식(AC-MPC: Amplitude Compensation-Multi Pulse Coding)을 새롭게 제안하고자 한다.

2. 멀티펄스 탐색

음성신호는 폐의 압력으로 빠져나온 공기가 성대와 구강을 빠져나오면서 공기의 진동과 흐름에 따라서 유성음(V: Voiced)과 무성음(UV: Unvoiced)으로 나뉘어 진다. 유성음은 비교적 낮은 주파수대에 존재하는 주기적인 신호인 반면, 무성음은 높은 주파수대에 존재하는 비주기적인 신호의 특징을 갖는다. 이러한 신호의 특징을 이용하여 V/UV 선택신호에 의하여 V와 UV에 적합한 음원을 선택적으로 적용하는 Low Bit Rate의 음성부호화 방식들이 제안되었다[4-7].

V/UV 음원을 사용하는 멀티펄스 음성부호화 방식에 있어서, 멀티펄스의 진폭과 위치를 결정하기 위해서는 자기상관함수와 상호상관함수를 사용한다. 원 음성신호에서 구한 자기상관함수와 상호상관함수를 사용하여 재생한 음성신호와의 차가 최소가 되도록 한다. 즉, 원 음성신호 $x(n)$ 와 멀티펄스 $v(n)$ 에 의하여 재생된 음성신호

$\bar{x}(n)$ 로부터 식(1)이 최소가 되도록 멀티펄스의 진폭(g_i)과 위치(m_i)를 결정하게 된다.

$$E = \sum_{n=0}^{N-1} [x(n) - \bar{x}(n) * w(n)]^2 \quad (1)$$

$$\bar{x}(n) = \sum_{i=1}^K g_i \cdot h(n - m_i)$$

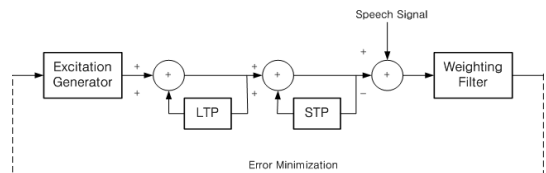
$$h(n) = h_p(n) * h_s(n)$$

여기에서 K , g_i , m_i 는 멀티펄스의 수, i 번째의 펄스진폭과 위치를 나타낸다. $h_p(n)$, $h_s(n)$, $h(n)$ 는 각각 피치재생필터(LTP), 음성스펙트럼합성필터(STP), LTP와 STP를 접목한 합성 필터의 임펄스 응답을 나타낸다. 여기에서, $w(n)$ 은 Weighting 필터로서 다음 식과 같은 특성을 갖는다.

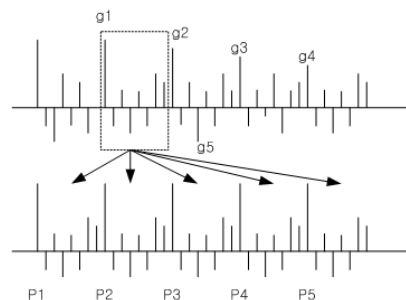
$$W(z) = (1 - \sum_{i=1}^p a_i z^{-i}) / (1 - \sum_{i=1}^p a_i r^i z^{-i}), (0 < r < 1) \quad (2)$$

LTP와 STP로 구성된 멀티펄스 탐색의 블록도를 그림 1에 나타내었으며, 이 시스템의 전달함수 $H(z)$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$H(z) = 1 / (1 - \sum_{i=1}^Q b_i z^{-(T+i-1)}) \cdot (1 - \sum_{i=1}^P k_i z^{-i}) \quad (3)$$



[그림 1] 멀티펄스 부호화
[Fig. 1] Multi Pulse Coding



[그림 2] 멀티펄스 음원
[Fig. 2] Exciting Source of Multi Pulse

여기에서 1항과 2항은 각각 LTP, STP의 전달함수를 나타낸다. 여기에서 b_i , T , a_i 는 자기상관함수와 상호상관함수로부터 구하여진 피치계수, 피치주기, 예측계수를 나타낸다. 또한 식(1)을 최소화하는 멀티펄스의 진폭과 위치는 다음 식을 만족한다.

$$\sum_{j=1}^K g_j \cdot R(m_i - m_j) = \Phi(m_i), (1 \leq i \leq K) \quad (4)$$

윗 식에서 R 은 자기상관함수, Φ 는 상호상관함수를 나타낸다. 자기상관함수는 멀티펄스의 탐색은 물론 STP를 구동하여 음성신호를 재생하는 과정에서도 사용되는 파라미터이다. 피치는 음성신호의 기본주파수를 나타내는 것으로 멀티펄스 음원의 대표구간을 그림 2와 같이 피치주기마다 복원함으로써 멀티펄스 음원을 생성한다. 음성신호의 기본 주파수인 피치 주파수는 약80~370Hz이기 때문에 이를 시간 간격으로 나타내면 약2.7ms~12.5ms이고, 프레임 길이를 25.6ms로 하였을 경우 2개~9개의 피치가 존재하게 된다. 대표구간의 멀티펄스와 피치정보를 수신측에 전송하고, 수신측에서는 피치구간마다 대표구간의 멀티펄스를 재생하여 멀티펄스 음원을 재구성한다.

3. 멀티펄스 보정

유성음은 무성음과 달리 음성에너지가 점차 증가하거나 감소하는 특성을 나타낸다. 이러한 특성에 맞게 음원의 진폭도 변화시킬 필요가 있다. 이러한 변화에 대응하는 음원을 사용하지 않을 경우에 음질열화 특성이 나타나는데, 특히 V/UV 선택에 따른 멀티펄스 음원을 사용하는 음성부호화 방식(MPC)이나 휴대폰의 음성부호화 방식으로 사용하는 CELP방식에서도 같은 음질열화 특성이 나타난다. CELP방식에서는 음원이득을 제어하지 않음으로서 발생하는 음질열화 특성을 제어하기 위하여 코드북의 구동음원을 재구성할 때 발생하는 에리신호를 이용하여 음원이득을 제어하여 음질을 개선하고 있다[8].

본 연구에서 제안한 AC-MPC는 유성음(V)의 음원인 멀티펄스 중에서 피치위치에 있는 멀티펄스의 진폭을 보정함으로써 SNR_{seg} 을 개선하고자 하였다. 여기에서 피치위치에 있는 멀티펄스의 진폭을 보정하는 것을 주요 목적으로 하는 이유는, 원 음성신호에서 진폭 값이 큰 위치에서 피치 및 진폭 값이 큰 멀티펄스가 산출되는데, 이 멀티펄스의 진폭 값이 음성신호의 스펙트럼 일그러짐(음질열화)에 중요한 역할을 하기 때문이다. 즉, 음성신호의

스펙트럼 일그러짐을 측정하는 SNR_{seg} 는 원 음성신호의 진폭과 재생 음성신호의 차(잔차신호)가 적을수록 개선되는 효과가 크다.

우선, V/UV 음원을 살펴볼 필요가 있는데, 유성음(V)은 폐에서 나오는 공기압의 변화 즉 음성에너지가 시간에 따라서 주기적으로 변화하며, 무성음(UV)은 음성에너지가 불규칙하여 비주기적으로 변화하는 특성을 갖는다. 음성신호는 V와 UV의 결합에 의하여 발생하는 신호로서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$f_{UC}(t) = [S_{UC}(t) \cdot N_{UC}(t)] * h_{UC}(t) \quad (5)$$

여기에서 $f_{UC}(t)$ 는 방사출력, $N_{UC}(t)$ 는 백색잡음, $S_{UC}(t)$ 는 $N_{UC}(t)$ 에 대한 무성자음의 시간길이에 상응하는 시간간격, $h_{UC}(t)$ 는 성대의 임펄스응답을 나타낸다. 여기에서 랜덤 한 특성을 갖는 백색잡음의 경우 진폭을 제어하거나 보정하는 것이 어려운 반면, 유성음은 한정된 길이의 프레임에 주기적인 파형이 나타나기 때문에 다음 식과 같이 n개의 진폭파형으로 나타낸 다음 진폭보정이 용이하다.

$$f_V(t) = \sum_{k=1}^n A_V(k) e^{(-\pi B_V(k)t)} \cdot \cos(2\pi F_V(k)t + \phi_V(k)) \quad (6)$$

여기에서 $F_V(k)$ 는 공진주파수, $B_V(k)$ 는 대역폭, $A_V(k)$ 와 $\phi_V(k)$ 는 파형의 진폭과 위상을 나타낸다. 윗 식에서 $A_V(k)$ 는 피치구간내의 멀티펄스의 진폭에 상응하는 진폭 값을 나타낸다. 그러나 피치는 윗 식과 같은 진폭 값을 갖지 않는 주기적인 펄스를 나타내며, 그림 2에 나타낸바와 같이 피치위치에 있는 g_2, g_3, g_4 의 진폭은 멀티펄스의 재구성시에 g_1 의 진폭으로 대치됨으로서 다음 식의 진폭 변동량은 0으로 정규화 된다. 그러나 실제 유성음의 진폭은 시간에 따라 변화되기 때문에 프레임마다 음성파형의 진폭레벨이 증가하거나 감소하는 패턴을 갖게 된다. 식(7)은 음성파형의 진폭레벨의 증감 패턴을 나타내는 식으로 α_i 는 피치위치에 있는 원 음성파형의 진폭 값을 나타낸다.

$$A_m = \gamma \cdot \sum_{i=1}^M \alpha_i \quad (7)$$

여기에서 γ 는 각 프레임의 진폭레벨의 패턴(증폭패턴, 감쇄패턴)을 나타내는 정보이다. 멀티펄스의 진폭은 원 음성신호의 진폭에 따라 변동되는데, 이 멀티펄스의 진폭

이 원 음성신호의 진폭에 근사한 값일수록 원 음성신호에 가까운 재생 음성신호를 얻을 수 있다. 이러한 경우에 작은 잔차신호를 얻을 수 있으며, SNR_{seg} 의 개선효과를 얻을 수 있다. 따라서 원 음성신호의 진폭변동에 대응되는 멀티펄스 진폭의 변동치 α_i 를 식(8)과 같이 계산하여 피치위치에 있는 멀티펄스의 진폭을 보정처리 한다. 멀티펄스 진폭의 변동치 α_i 는 피치위치의 멀티펄스 g_i 과 다음의 멀티펄스의 진폭 g_{i+1} 의 차이를 계산하여 수신측에 전송하고, 수신측에 전송된 대표구간의 멀티펄스를 피치구간 마다 복원할 때 발생하는 정규화된 멀티펄스 진폭(그림 2의 아래 그림)에서 피치위치에 있는 멀티펄스의 진폭을 보정하여 그림 2의 위 그림과 가깝게 멀티펄스 음원을 재구성하는 것이다.

$$\alpha_i = |g_i - g_{i+1}| \quad (i = 1, 2, 3, \dots, M) \quad (8)$$

여기에서 α_i 를 전송하는데 사용하는 bit를 줄이기 위해 g_i 와 피치위치에 있는 멀티펄스의 최대 진폭 값(g_{max})으로부터 다음 식과 같은 진폭보정계수(β_i)를 구하여 사용하고자 하였다. 즉, 전송된 β_i 와 g_{max} 의 정보는 수신측에서 α_i 를 구하여 적용할 수 있고, α_i 에 비해 β_i 가 작은 값이기 때문에 보다 작은 bit를 할당할 수 있다.

$$\beta_i = |\alpha_i / g_{max}| \quad (9)$$

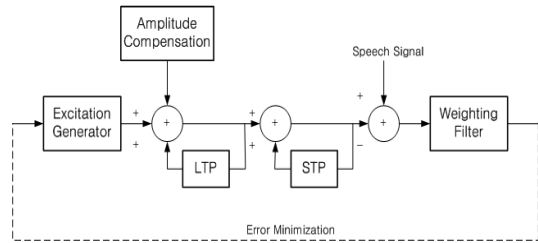
결국, 수신측에 전송한 g_{max} 와 β_i 로 피치위치에 있는 멀티펄스의 진폭을 보정하여 생성된 멀티펄스 음원을 다음 식으로 나타내었다.

$$V_C(n) = \sum_{k=1}^N (g_k + \gamma|\beta_i \cdot g_{max}|) \cdot \delta(n - m_k) \quad (10)$$

이 멀티펄스 음원을 피치간격마다 재구성하여 음성합성필터(STP)를 구동하여 음성신호를 재생하게 된다.

4. 시스템 구현

멀티펄스 음원의 진폭을 보정하여 음성신호를 재생하는 AC-MPC를 그림 3에 나타내었다. 기존의 MPC와 AC-MPC의 성능을 비교평가하기 위해서 같은 bit rate이 되도록 부호화한 다음, 재생한 음성신호를 객관적 평가척도인 SNR_{seg} 를 통하여 평가하고자 하였다.



[그림 3] 진폭보정-멀티펄스 부호화(AC-MPC)
[Fig. 3] Amplitude Compensation-Multi Pulse Coding

MPC와 AC-MPC는 3.4kHz LPF로 대역제한하고 10kHz, 12bit로 표본화 및 양자화 하였으며 시뮬레이션에는 C프로그래밍 언어를 사용하였다. 또한 향후 FFT를 적용할 것을 고려하여 프레임 길이는 25.6ms로 하였다. 좀더 구체적인 부호화 조건을 살펴보면 표 1에 나타낸바와 같이 V/UV의 선택정보에 각각 2bit를 할당하였으며, V의 경우에는 피치와 멀티펄스, 합성필터 계수를 사용하여 음성신호를 합성하고, UV의 경우에는 white noise를 사용하였다. 합성필터의 차수는 10차를 사용하였으며, 합성필터 계수의 변화가 스펙트럼의 변화에 미치는 영향은 낮은 차수의 계수일수록 영향이 크기 때문에 낮은 차수일수록 많은 bit를 할당하였다[9].

[표 1] 부호화
[Table 1] Coding Condition

Parameter[bit]	MPC	AC-MPC
V/UV(1)	2	2
합성필터계수	7,6,5,5,4 3,3,3,3,3	7,6,5,5,4 3,3,3,3,3
$g_{max}(1)$		10
$g_k(10)$	7	5
$m_k(10)$	8	5
$\beta_i(10)$		4
$\gamma(1)$		2
멀티펄스 수(10)	10	10
평균 피치정보(1)	8	8
kpbs	약 8	약 8

MPC, AC-MPC 모두 10개의 멀티펄스를 사용하였으며, 평균 피치정보에 8bit를, MPC의 경우, 멀티펄스 진폭 및 위치에 7bit와 8bit를, AC-MPC의 경우는 진폭 및 위치에 각각 5bit를 할당하였다. 이것은 AC-MPC에서 최대진폭과 진폭레벨 패턴, 진폭보정계수에 bit를 할당하여야 하기 때문에 MPC에 비하여 상대적으로 적은 bit를 할당하였다.

[표 2] 음성샘플

[Table 2] Speech Sample

	남자	여자
발성자	4	4
발성 시간	54.4초	54.4초
단문 수	16	16
모음 수	145	145
무성자음 수	34	34

여기에서 멀티펄스의 최대진폭에 10bit, 진폭레벨 패턴에 2bit, 진폭보정계수에 4bit를 할당하였다. 이러한 부호화 조건하에서 남녀 4명이 발성한 표 2의 음성제원을 사용하여 MPC와 AC-MPC의 SNR_{seg} 를 측정하였다.

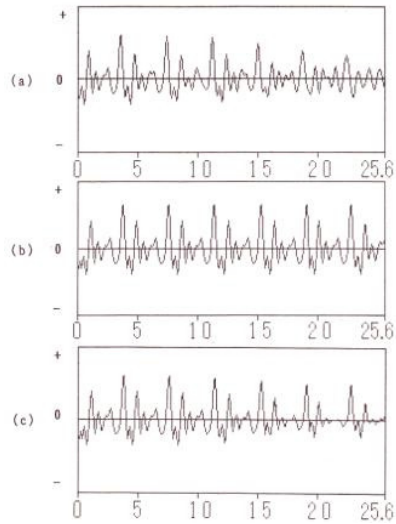
실험결과, 표 3에 나타낸바와 같이 MPC의 경우 남자음성은 13.2dB, 여자음성은 12.7dB를 얻을 수 있었으며, AC-MPC의 경우 남자와 여자음성은 각각 13.9dB, 13.4dB를 얻었다. 결국, AC-MPC의 SNR_{seg} 이 MPC에 비하여 남자와 여자 음성에서 각각 0.7dB정도 개선된 것을 알 수 있었다.

[표 3] MPC와 AC-MPC의 SNR_{seg}

[Table 3] SNR_{seg} of MPC and AC-MPC

Method [dB]	kbit/s	male	female
MPC	8	13.2	12.7
AC-MPC	8	13.9	13.4

SNR_{seg} 의 개선정도는 음성파형을 관찰해보면 알 수 있는데, 우선 멀티펄스의 진폭보정을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 음성파형을 그림 4에 제시하였다. 그림 4는 멀티펄스의 진폭을 보정한 경우와 그렇지 않은 경우를 관찰하고자 컴퓨터 실험화면을 캡처 한 그림이다. 여기에서 (a)는 원 음성파형이며, (b)는 멀티펄스의 진폭을 보정하지 않은 경우, (c)는 멀티펄스의 진폭을 보정한 경우를 나타낸 것이다. 음성에너지가 점차 하강하는 파형으로 멀티펄스의 진폭을 보정하지 않은 경우(b)에 비하여 멀티펄스의 진폭을 보정한 경우(c)가 원 음성파형에 보다 가깝게 재생되어 있음을 알 수 있다. 원 음성파형에 가까운 재생신호를 얻음으로서 직접적으로 SNR_{seg} 개선 효과를 얻을 수 있다.



[그림 4] (a)원 음성파형, (b)진폭보정을 적용하지 않은 경우, (c)진폭보정을 적용한 경우

[Fig. 4] (a) Original Speech Waveform (b) Not Apply Amplitude Compensation (c) Apply Amplitude Compensation

5. 결론

V/UV 스위칭 음원절환 음성부호화 방식인 MPC방식을 개선하고자 멀티펄스의 진폭을 보정한 AC-MPC방식을 제안하고, 객관적 평가척도인 SNR_{seg} 를 사용하여 비교평가 하였다. 실험결과, 기존의 MPC에 비하여 AC-MPC에서 남자와 여자음성에서 각각 0.7dB 정도 개선되었으며, 멀티펄스의 진폭을 보정하여 음원으로 사용함으로써 원 음성에 비교적 가까운 파형을 재생할 있었다. 향후, 본 연구에서 제안한 AC-MPC를 셀룰러폰이나 스마트폰에 적용할 수 있는 Bit Rare인 4kbps~4.8kbps까지 낮추는 동시에 음질을 개선할 수 있는 효율적인 방법의 연구를 진행하고자 한다.

References

- [1] Ghaemmaghami,S.,Sridharan,S.:“Very low rate speech coding using temporal decomposition”.IEE Electron. Lett.35(6), p456-457.1999
- [2] LeBlanc,W.P., Bhattacharya,B.,Mahmoud, S.A.:“Efficient search and design procedures for robust multi stage vector quantization of LPC parameters for 4kbps speech coding”. IEEE Trans. Speech Audio Process. p373-385.

1993

- [3] McCree, A.V., Barnwell, T.P.,: "A mixed excitation LPC vocoder model for low bit rate speech coding", IEEE Trans. Speech Audio Process, p242-250,1995
- [4] B.S.Atal and J.R.Remdo: "A New Medel of LPC Excitation for Producing Natural Sounding Speech at Low Bit Rates", IEEE, ICASSP, p614~617, 1982
- [5] Campbell, J.P., Tremain, T.E.: "Voiced/unvoiced classification of speech with applications to the U.S. Government LPC-10e algorithm", Proc.IEEE Int.Conf. on Acoustics, Speech, Sinal Processing, p473-476.1986
- [6] Kazunori OZAWA, Takashi ARASEKI: "Multi-Pulse Excited Speech Coding Utilizing Pitch Information at Rates Between 9.6 and 4.8 kbit/s", IEICE, Vol.J72-D-2, No.8, 1989
- [7] Selma Ozaydm, Buyurman Baykal: "Matrix quantization and mixed excitation based linear predictive speech coding at very low bit ates", Speech Communication 41, p381-392, 2003
- [8] K.Krishna, V.L.N.Murty, .R.Ramakrishnan: "Vector quantization of excitation gains in speech ding", Signal Processing 81, p203-209, 2001
- [9] Nobuhiko KITAWAKI, Fumitada ITAKURA and Shuzo SAITO: "Optimum Coding of Transmission Parameters in PARCOR Speech Analysis Synthesis System", IEICE, Vol. J61-A No.2, 1978

이 시 우(See-Woo Lee)

[정회원]



- 1990년 3월 :日本大學(Nihon Univ)전자공학과(공학석사)
- 1994년 3월 : 日本大學(Nihon Univ)전자공학과(공학박사)
- 1994년 4월 ~ 1998년 2월 : 삼성전자 기술총괄 통신연구소/멀티미디어연구소
- 1998년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

음성신호처리, 음주판독시스템, 유무선통신