

Generalized AbS 구조를 이용한 4kb/s ACELP 음성 부호화기의 설계

Design of a 4kb/s ACELP Codec Using the Generalized AbS Principle

성 호 상*, 강 상 원**
(Ho Sang Sung*, Sang Won Kang**)

* 이 연구는 정보통신부 출연 "저가형 멀티미디어 통신단말 핵심기술 개발" 과제의 연구 결과물입니다.

요 약

본 논문에서는 generalized analysis-by-synthesis (AbS) 개념을 algebraic CELP 부호화기에 도입한 새로운 4kb/s 음성 부호화기를 설계하였다. 전체적인 구조는 G.729를 부분적으로 이용하였고, line spectrum pair (LSP) 양자화기와 적응코드북 및 여기코드북을 4kb/s 전송속도에 맞게 새로이 설계하였으며, 20ms 프레임 크기와 5ms lookahead를 고려해서 총 25ms의 알고리즘 전송지연을 갖는다. 제안된 방식은 일반적인 AbS방식을 사용하는 CELP구조의 음성 부호화기가 4kb/s이하의 전송률에서 성능이 급격하게 떨어지는 단점을 보완하기 위해 저속에서 좋은 특성을 보이는 generalized AbS구조를 사용하였다. 그리고 LPC 계수는 LSP 계수로 변환한 후 예측 2단 VQ를 통해서 양자화하며, 여기 신호는 음질저하를 최소화하며 복잡도를 감소시킨 shift 방식의 대수적 고정 코드북 구조를 사용하고, 적응코드북과 여기코드북의 이득은 VQ로 양자화 하였다. 본 논문에서 제시된 4kb/s 음성 부호화기의 주관적인 성능을 시험하기 위해 고정률 8kb/s QCELP와 A-B 선택 시험을 실시한 결과 전체적인 음질성능이 거의 비슷한 수준을 가지는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, we combine a generalized analysis-by-synthesis (AbS) structure and an algebraic excitation scheme to propose a new 4kb/s speech codec. This codec partly uses the structure of G.729. We design a line spectrum pair (LSP) quantizer, an adaptive codebook, and an excitation codebook to fit the 4 kb/s bit rate. The codec has a 25ms algorithmic delay, which corresponds to a 20ms frame size and a 5ms lookahead. At the bit rates below 4kb/s, most CELP speech codecs using the AbS principle have a drawback that results a rapid degradation of speech quality. To overcome this drawback we use the generalized AbS structure which is efficient for the low bit rate speech codec. LP coefficients are converted to LSP and quantized using a predictive 2-stage VQ. A low complexity algebraic codebook which uses shifting method is used for the fixed codebook excitation, and gains of the adaptive codebook and the fixed codebook are quantized using the VQ. To evaluate the performance of the proposed codec A-B preference tests are done with the fixed rate 8kb/s QCELP. As the result of the test, the performance of the codec is similar to that of the fixed rate 8kb/s QCELP.

I. 서 론

국제 통신 표준화 기구인 ITU-T의 SG-15에서는 차세대 멀티미디어 및 개인 통신 서비스를 위한 음성 부호화 방식으로서 8kb/s의 전송속도로 유선망에서의 음성품질을 제공하는 conjugate structure algebraic CELP (CS-ACELP)[1]를 제안하여 이를 표준안으로 채택하였다. G.729로 명명된 8kb/s CS-ACELP는 잡음 및 비잡음 환경에서 32kb/s ADPCM

(G.726)[2]과 비교할 때 그 이상의 음질을 나타내는 것으로 알려져 있다[3]. 이 후 ITU-T에서는 4kb/s 음성 부호화기의 표준을 진행 중이지만 아직 요구사항을 완전히 만족시키는 부호화기가 결정이 되지 못한 상태이다. 특히 4kb/s에서 음질 성능, 복잡도, 지연을 모두 만족하는 부호화기를 만드는 것은 기술적으로 아직 시기 상조임이 판명되었다. 그래서 ITU-T에서는 요구사항을 완화시켜서 다시 평가를 하고 있다. 현재 제안된 낮은 전송률 음성 부호화기는 크게 CELP형의 분석-합성 방법[4]과 하모닉 부호화 방법[5]으로 나눌 수 있는 데 아직 어떤 방법이 4kb/s에서 더 나은 성능을 가지는지 결론을 내리지 못하고 있는 상태이다.

* 한국전자통신연구원 단말 H/W팀

** 한양대학교 제어계측공학과

접수일자 : 1999년 2월 12일

본 논문에서는 우수한 복잡도 및 지연 성능과 그리고 음질 성능에서도 뒤떨어지지 않는 새로운 4kb/s 음성부호화기를 설계하였다. 제안된 부호화기는 CELP형의 분석-합성 방법을 사용하였으며 이 방법이 4kb/s의 전송률에서 성능이 많이 저하되는 단점을 generalized AbS구조[6]를 이용하여 보완하는 방법을 제안한다. 이 구조는 피치를 파라미터화 하여 부호화하며 이때 발생하는 오류를 원신호의 warping을 통해서 방지하는 방식이다. Generalized AbS구조를 이용함으로써 음질저하 없이 피치 신호에 적은 비트를 할당할 수 있으며 개루프로 분석이 이루어지므로, 전송률과 복잡도의 측면에서 많은 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 generalized AbS 구조에 대해 살펴보고, III장에서는 설계된 4kb/s 음성 부호화기에 대해 설명하며, IV장에서는 설계된 알고리즘에 대한 실험 및 결과에 대해 알아보고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. Generalized AbS 구조

Generalized AbS 구조는 relaxed CELP (RCELP)[7]에서 처음 사용되었으며 지금까지 사용되었던 AbS 구조와는 다른 새로운 패러다임에 해당한다. 그래서 전통적인 AbS 구조와 구분하기 위해 generalized AbS 구조라고 명명되었다. 이 구조는 피치 주기의 선형적인 보간에 의해 많은 비트를 아낄 수 있는 장점이 있으나 보간된 부분에서 발생하는 피치 주기의 작은 차이가 일반적인 ABS 메카니즘의 성능에 심각한 영향을 줄 수 있는 단점이 있다. 그래서 generalized AbS 구조는 피치 주기를 파라미터화 하여 선형보간을 하며 이 보간된 피치 주기에 따라 원음이 손상 받지 않는 범위 내에서 원 신호의 시간변형을 통한 왜곡을 수행한다. 이 왜곡된 신호를 이용하여 AbS 메카니즘을 사용하면 피치 보간에 의해 생기는 작은 불일치를 없앨 수 있다. Generalized AbS 구조는 다음의 새 단계로 이루어진다. 첫째 피치 주기 contour를 결정하며, 둘째 과거의 합성신호를 현재로 mapping하며, 셋째 원 신호의 warping을 수행한다.

2.1 피치주기 contour의 결정

피치주기는 계산량을 줄인 피치 탐색 알고리즘에 의해 20ms마다 구해진다. 피치 탐색을 위해 프레임 경계(boundary)에 window 중심을 맞추어 피치주기를 구하고, 구해진 피치주기를 사용하여 선형보간 되어진다. j가 현재 부프레임을 나타낼 때, t_j 는 현재 부프레임의 시작 위치이며 이전 부프레임 피치 주기의 마지막 값을 $d(t_j)$ 라 하면 선형보간 되어진 순간적인 주기 $\tau_c(n)$ 은 식 (1)과 같이 나타난다.

$$\tau_c(n) = d(t_j) + \alpha(n - t_j), t_j < n < t_{j+1} \quad (1)$$

여기서 α 는 부프레임의 크기에 따라 정해지는 상수이다. 보간은 기본주기의 2배나 3배에 해당하는 주기성이 발생

하는 프레임에 대해서는 수행되지 않으며, 이 경우 이전 프레임 경계의 피치주기가 적당한 정수값에 의해 끊어지거나 나누어진다.

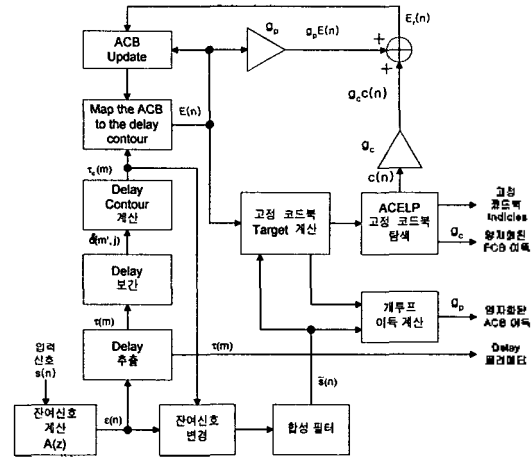


그림 1. Generalized AbS 구조
Fig. 1. Structure of the generalized AbS principle.

2.2 과거 합성신호의 mapping

RCELP에서 피치주기는 샘플 단위로 선형보간한다. 계산적인 이점을 위해 각 샘플에서의 피치주기는 샘플링 주기의 1/8로 반올림한다. 그리고 과거의 재생 여기신호로부터 현재의 여기신호 샘플을 계산하기 위해 적당한 polyphase 보간 필터를 사용한다. 식 (2)는 polyphase 보간 필터를 사용한 적응 코드북 기여값을 나타낸다.

$$u(n) = \sum_{i=0}^{2f_1} u(i + n - T_E(n) - f_1) I_E(i + (2f_1 + 1)T_E(n)), \quad 0 \leq n < (L + 10) \quad (2)$$

여기서 L은 현재 부프레임 크기이며, $T_E(n)$ 과 $T_{IE}(n)$ 은 식 (3)에 의해 구해진다.

$$T_E(n) = \begin{cases} \text{round}\{\tau_c(n)\}_8, & \tau_c(n) > 0 \\ -\text{round}\{-\tau_c(n)\}, & \tau_c(n) \leq 0 \end{cases}$$

$$T_{IE}(n) = \text{trunc}\{(T_E(n) - \tau_c(n) + 0.5)R + 0.5\} \quad (3)$$

그리고 피치주기 contour가 8배로 oversampling되었을 때 oversampling factor R은 8이 되며, $I_E(n)$ 은 polyphase 보간 필터 계수의 집합이며, f_1 은 보간 필터 tap의 갯수이다.

2.3 원 신호의 warping

원 신호의 warping 목적은 여기신호에 대한 고정 코드북 기여값(contribution)을 결정할 때 linear-prediction based analysis-by-synthesis (LPAS) 과정을 사용하기 위해서이다. 그래서 RCELP 부호화기의 여기신호에 대한 피치에

측기 기여값은 변형된 잔여신호와 정합 되어져야 하며 시간변형은 원 신호의 변화가 음질에 거의 영향을 주지 않는 범위 내에서 실시한다. 원 신호의 피치주기 contour를 변형하는 가장 좋은 방법은 잔여신호에 대해 연속적인 time-warp 작용을 수행하는 것이다. 이 방식을 사용하면 변형된 신호에 불연속점이 없어진다. 정확한 정합을 위해 원신호의 변형은 식 (4)의 정합기준(matching criterion)을 이용해야 한다.

$$\epsilon = \frac{((x_r(l) + q(l))^T H^T H u(l))^2}{(x_r(l) + q(l))^T H^T H (x_r(l) + q(l)) u(l)^T H^T H u(l)} \quad (4)$$

여기서, $x_r(l)$ 은 시간 변형된 linear prediction (LP) 잔여신호이며, H 는 spectral weighting matrix이며, 현재 프레임의 여기신호 $q(i)$ 는 다음 식과 같이 정의된다.

$$q(i) = \begin{cases} 0, & i < \hat{i} \\ z(i) - \sum_{n=1}^i \gamma^n a_n z(i-n), & \hat{i} \leq i < \hat{i} + N \\ 0, & i \geq \hat{i} + N \end{cases} \quad (5)$$

여기서, \hat{i} 은 부프레임의 첫번째 샘플을 가르키며, $z(i)$ 는 합성필터의 zero input 응답을 나타낸다. γ 는 weighting factor이며, a_n 은 LP 계수를 나타내며, N 은 LP 계수의 차수인데 보통 10을 사용한다.

피치예측기 기여값 사이의 정합 정밀도를 위해 고정 코드북 기여값을 더하기 전에 부프레임 단위로 warping 작용을 수행해야 한다. 이 과정에서 잔여신호는 delay나 advance에 대해 작은 segment들로 나누어지는데 그것을 shift라 하며 상수값을 갖는다. 그러한 segment들의 경계에서 shift가 바뀔때마다 잔여신호의 어떤 부분이 생략되거나 반복된다. 이러한 사실때문에 shift segment의 경계는 중요한 특징값(예, 피치 펄스)을 포함하지 않은 부분으로 설정되어야 한다.

III. Generalized AbS 구조를 이용한 4 kb/s 음성 부호화기

Generalized AbS 구조를 이용한 4kb/s 음성 부호화기의 전체적인 구조는 그림 2와 같다. 그림에 의하면 원신호의 시간 변형 불리움을 제외하면 일반적인 CELP 구조[8]와 거의 유사함을 알 수 있다.

3.1 비트 할당 및 프레임 구조

입력된 신호는 8kHz로 샘플링되며 20ms의 프레임과 10ms의 부프레임을 가지며 5ms의 lookahead를 가지므로 총 알고리즘 지연은 25ms가 된다.

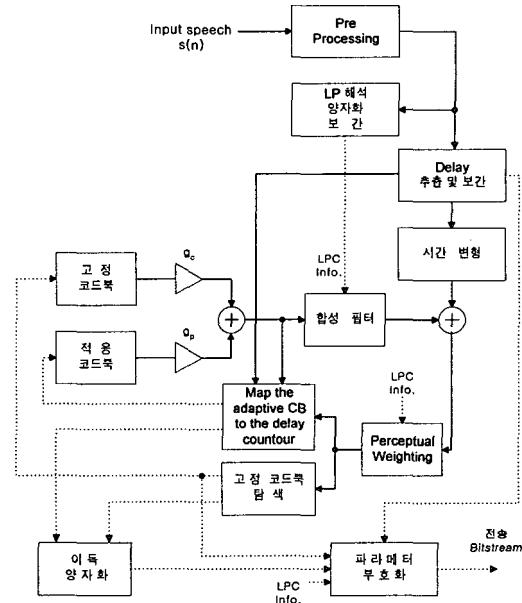


그림 2. Generalized AbS 구조를 이용한 4 kb/s 음성 부호화기의 구조
Fig. 1. Structure of the 4 kb/s speech codec using the generalized AbS principle.

LP 계수 추출을 위해, 현재 프레임의 160샘플과 이후 프레임의 80샘플로 총 240샘플을 이용하며 비대칭의 hamming window를 사용한다. 표 1은 제안된 4kb/s 음성 부호화기의 비트 할당을 나타낸다.

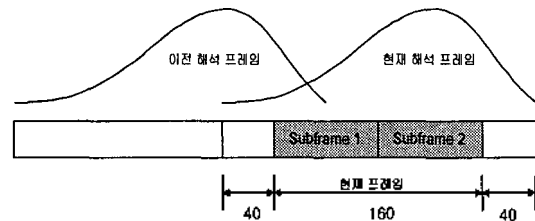


그림 3. 프레임 구조 및 windowing
Fig. 3. Frame structure and windowing.

표 1. Generalized AbS 구조를 이용한 4kb/s 음성부호화기의 비트 할당

Table 1. Bit allocation of the proposed 4kb/s speech codec.

파라미터	부프레임 1	부프레임 2	프레임당 비트수
LSPs	23		23
적용 코드북 delay	7		7
고정 코드북 grid index	1	1	2
고정 코드북 위치	13	13	26
고정 코드북 부호	4	4	8
코드북 이득 (stage 1)	3	3	6
코드북 이득(stage 2)	4	4	8
Total			80

3.2 LPC 계수의 양자화

10차의 LP 해석 필터를 통해 얻어진 LP 계수는 양자화와 안정도 측면에서 유리한 LSP계수[9]로 변환되며, 이 값과 4차의 moving average (MA) 예측기를 통해 예측된 값과의 차이신호를 각각 128개와 32개의 코드워드값을 갖는 2단계의 VQ와 3 split VQ[10]를 통하여 총 23비트로 부호화한다. 이 때 서로 다른 계수값을 가지는 2종류의 MA 예측기가 사용되며, 그 중 각각의 예측기에 의해 구해진 합성 LSP 계수값과 원 LSP 계수값 사이의 weighted mean square error (WMSE)[11]를 최소화하는 것을 선택한다. 첫 번째 단계의 VQ는 7비트를 할당하였으며 10차의 벡터 크기를 갖는다. 두 번째 단계의 VQ는 총 15비트 (=5+5+5)를 할당한 3 split VQ를 사용하였으며 각각은 3,3,4의 차원을 갖는다. 그림 3에서 부프레임 1은 이전 프레임에서 구해진 LP 계수를 그대로 사용하며 부프레임 2는 이전 프레임과 현재 프레임에서 구해진 두 LP 계수를 각각 25% 및 75%의 비율로 보간하여 사용한다.

$$\omega_i = 0.25 \omega_i^{(previous)} + 0.75 \omega_i^{(current)}, \quad i=1, \dots, 10 \quad (6)$$

3.3 Low complexity algebraic 코드북의 설계

일반적인 algebraic 구조의 코드북[12]은 좋은 성능을 가지는 데 반해 계산량 측면과 사용 비트 측면에서 불리하다. 특히 위치정보가 80가지인 10ms의 부프레임 구조에서 일반적인 algebraic 구조는 복잡도 측면에서 매우 비효율적이다. Low complexity algebraic 코드북은 grid 인덱스를 사용하는 algebraic 구조로서 적은 계산량으로 우수한 성능을 나타낸다. 고정 코드북 부프레임(10ms : 80 샘플)의 여기신호 벡터는 4개의 영이 아닌 펄스만 제외하고 모두 영의 성분들로 구성되어지며 그 구조는 표 2에 나타나 있다. 부호화 시에는 처음 세 펄스들의 위치정보에 각각 3비트를 할당하고, 네번째 펄스의 위치에 4비트를 할당하며, 부호정보에 각각 1비트씩을 할당하므로써 총 17비트가 할당된다. 모든 펄스들의 위치는 표 2에서와 같이 동시에 0 또는 1 샘플만큼 shift를 가능하게 하였다. 이러한 두 가지 shift값 중 합성에러를 최소화하는 최적 shift값을 구하고, 이렇게 구해진 shift값을 전송하기 위해 1비트를 사용한다. 그래서 전체 고정 코드북에 18비트를 할당하였다.

3.4 이득값 양자화

부프레임의 크기 증가에 따른 적용 코드북과 고정 코드북 이득값의 통계학적 분포 및 성질이 G.729의 경우와 유사함을 실험적으로 알 수 있었다. 그래서 제안된 부호화기에서 사용한 적용 코드북과 고정 코드북의 이득값 양자화는 G.729에서 사용된 방식을 그대로 이용하였다. 즉 G.729에서와 같이 검색의 효율을 높이기 위해 conjugate 구조를 갖는 2개의 코드북을 사용하였다[13]. 각각의 코드북은 8개와 16개의 요소값을 가지며, 구해진 이득값들에 의해 미리 선택된 4개와 8개의 요소값들에

대해서만 검색이 이루어진다. 결국 적용 및 고정코드북에 대한 최적 이득값들을 32가지의 조합된 경우들에 대해서만 검색을 수행하므로써 각각 8개와 16개의 요소값들을 가지는 코드북의 검색과 비교할 때 상당한 계산량의 감소를 얻게 한다.

표 2. Low complexity algebraic 코드북의 구조
Table 2. Structure of the low complexity algebraic codebook.
(a) Grid index = 0 일 때
(a) Grid index = 0

펄스	부호	위 치
i0	s0 : ±1	m0 : 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70
i1	s1 : ±1	m1 : 2, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72
i2	s2 : ±1	m2 : 4, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74
i3	s3 : ±1	m3 : 6, 16, 26, 36, 46, 56, 66, 76 8, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78

(b) Grid index = 1 일 때
(b) Grid index = 1

펄스	부호	위 치
i0	s0 : ±1	m0 : 1, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71
i1	s1 : ±1	m1 : 3, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73
i2	s2 : ±1	m2 : 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75
i3	s3 : ±1	m3 : 7, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77 9, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 먼저 설계된 LSP 양자화기의 성능을 평가하기 위해 spectral distortion (SD)값을 구하였다. 시험 음성은 8kHz로 샘플링된 남성 및 여성화자의 약 1분 40초 (802,427샘플) 동안의 한국어 음성을 사용하였으며 LSP 양자화기에는 총 23비트를 할당하였다.

표 3. LSP 양자화기의 성능
Table 3. Performance of the proposed LSP quantizer.

평균 SD(dB)	% of Outlier	
	2~4 dB (%)	> 4 dB (%)
1.00	2.73	0

표 3은 사용된 LSP 양자화기의 성능으로서 거의 transparent한 성능을 제공할 수 있다. 여기서 transparent한 성능이란 평균 SD가 1dB 이하이며, 2~4dB outlier가 2% 이내이고, 또한 4dB 이상의 outlier가 0%로서 사람의 귀로 LSP계수의 양자화 에러를 감지할 수 없는 수준을 의미한다.

제안된 4kb/s 음성 부호화기의 음질 성능을 평가하기

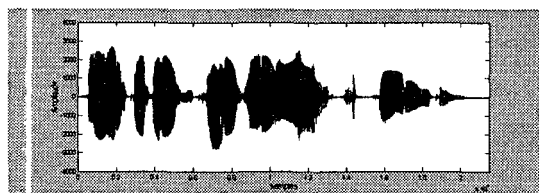
위해 잘 알려진 표준 코덱과 A-B 선택 시험을 실시하였다. 이 시험에 사용된 표준 코덱으로는 현재 CDMA 디지털 이동통신 시스템에 사용중인 8kb/s QCELP를 이용하였다. 대상 음성 샘플은 이동통신 환경에서 채취한 주변소음을 첨가한 남성 및 여성 화자의 한국어 음성 샘플을 각각 6개씩 사용하였다. 주변소음의 채취는 자동차 내부, 차도가 있는 거리, 지하철 내부, 역 대합실, 에어컨 소음 등 이동통신환경 하에서 가능한 일반적인 소음들 위주로 이루어졌으며, 이중 대표적인 주변소음 3가지와 잡음이 없는 음성 샘플들을 혼합하여 잡음 환경의 음성샘플을 만든 후 12명의 청취자를 대상으로 시험을 실시하였다. 표 4는 A-B 선택 시험 결과를 보였다.

표 4. 제안된 4kb/s 부호화기와 8kb/s QCELP 부호화기의 A-B 선택 시험 결과

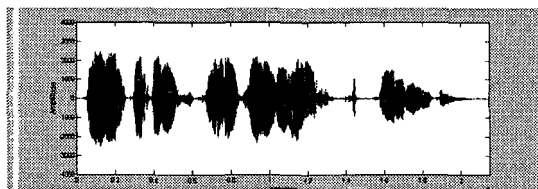
Table 5. Result of the A-B preference test.

	설계된 4 kb/s 부호화기 Better	8 kb/s QCELP 부호화기 Better	Same
남성화자	44.4 %	48.1 %	7.4 %
여성화자	33.3 %	44.4 %	22.2 %
총 계	38.9 %	48.1 %	14.8 %

시험 결과를 보면 남성 화자의 경우는 거의 성능 차이가 없음을 알 수 있으며, 여성화자의 경우는 새로 설계된 알고리즘이 약간 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 전체적으로는 두 코덱이 거의 비슷한 성능을 가지는 것으로 판단된다. 그림 4는 원음과 generalized AbS 구조를 이용한 4kb/s ACELP 음성 부호화기의 출력 음성 파형이다.



(a)



(b)

그림 4. 출력음성 파형 “올림픽은 전 인류의 축제입니다.”

Fig. 4. Waveform of the output speech;

(a)원음, (b)4kb/s 음성 부호화기 출력,

(a) Original speech (b) Output speech of the proposed 4kb/s speech codec

V. 결 론

본 논문에서는 generalized AbS 개념을 algebraic CELP 부호화기에 도입한 새로운 4kb/s 음성 부호화기를 설계하였다. 20ms의 프레임 크기를 가지며 5ms의 lookahead를 고려해서 총 25ms의 알고리즘 전송지연을 갖는다. 전체적인 구조는 G.729를 부분적으로 이용하였으며 LSP 양자화기와 적응 코드북 및 여기 코드북을 4kb/s 전송 속도에 맞게 새로이 설계하였다. Generalized AbS 구조는 피치를 파라미터화 하여 부호화하므로 피치 신호에 적은 비트를 할당할 수 있으므로 여분의 비트를 LSP 양자화기에 사용하였다. 이로 인하여 LSP 양자화기는 transparent한 성능을 가진다. 전체적인 음질성능은 8kb/s QCELP와 거의 비슷한 수준을 가지는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. ITU-T Recommendation G.729, "Coding of speech at 8kb/s using conjugate-structure algebraic code-excited linear-prediction (CS-ACELP)," June 1995.
2. CCITT Recommendation G.726, "40-, 32-, 24-, and 16-kb/s adaptive differential pulse code modulation," 1990.
3. P. Usai, A. Takahashi, D. Pascal, J. Sotscheck, and G. Schroeder: "Subjective performance of the proposed ITU-T 8 kb/s speech coding standard," *IEEE speech coding Workshop, Annapolis, Sept. 1995*, pp. 5-6.
4. B.S. Atal "Predictive coding of speech signals at low bit rates," *IEEE Trans. Comm.* Vol. 30, No.4, 1982, pp. 600-614.
5. R. J. McAulay and T. F. Quatieri, "Speech Analysis /Synthesis Based on a Sinusoidal Representation," *IEEE Trans. on Acoust. Speech and Signal Proc.*, Vol. ASSP-34, No. 4, Aug. 1986, pp. 744-754.
6. W. B. Kleijn, R. P. Ramachandran, and P. Kroon, "Generalized analysis-by-synthesis coding and its application to pitch prediction," in *Proc Int. Conf. Acoust., Speech Signal Processing (San Francisco)*, 1992, pp. 1337-1340.
7. W. B. Kleijn, P. Kroon, and D. Nahumi, "The RCELP speech coding algorithm," *European Trans. on Telecom.*, Vol. 4, No. 5, 1994, pp. 573-582.
8. B. S. Atal and M. R. Schroeder, "Stochastic coding of speech signals at very low bit rates," *Conf. Rec. Int. Conf. Commun.*, May 1984, pp. 1610-1613.
9. N. Sugamura and N. Farvardin "Quantizer design in LSP speech analysis-synthesis," *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, Vol.6, Feb. 1988, pp. 432-440.
10. K. K. Paliwal and B.S. Atal, "Efficient vector quantization of LPC parameters at 24 bits/frame," *IEEE Trans Speech and Audio Proc*, Vol 1, Jan. 1993, pp. 3-14.
11. A. Kataoka, T. Moriya, J. Ikeda, and S. Hayashi, "LSP and gain quantization for the proposed ITU-T 8kb/s speech coding standard," *IEEE Speech Coding Workshop, Annapolis, Sept. 1995*.
12. C. Laflamme, J. P. Adoul, R. Salami, S. Morissette, and P.

- Mabilleau, "16kb/s wideband speech coding technique based on algebraic CELP," in *Proc. ICASSP '91*, Toronto, May 14-17, 1991.
13. A. Kataoka, T. Moriya, and S. Hayashi, "Conjugate structure CELP coder for the CCITT 8 kb/s standardization candidate," in *Proc. IEEE Workshop on speech Coding for Telecomm.*, October 13-15, 1993.

▲성 호 상(Ho Sang Sung)



1996년 2월 : 한양대학교 제어계측
공학과 졸업(학사)
1999년 2월 : 한양대학교 제어계측
공학과 졸업(석사)
1999년 6월 ~ 현재 : 한국전자통신
연구원 단말 H/W팀
연구원

※주관심 분야: 음성 신호처리

▲강 상 원(Sang Won Kang)

한국음향학회지 16권 1호 참조

현재 : 한양대학교 제어계측공학과 부교수

※주관심 분야: 음성 신호처리, 이동 통신, 디지털 통신