# 광대역 음성 부호화기용 선 스펙트럼 주파수 계수 양자화기 설계

Design of the LSF Parameter Quantizer for the Wideband Speech Codec

지 상 현<sup>\*</sup>, 강 상 원<sup>\*</sup>, 윤 병 식<sup>\*</sup> (Sanghyun Chi<sup>\*</sup>, Sangwon Kang<sup>\*</sup>, Byungsik Yoon<sup>\*</sup>)

\*한양대학교 전자전기제어계측공학과 (접수일자: 2000년 12월 20일; 채택일자: 2001년 3월 29일)

본 논문에서는 고품질 음성 서비스를 가능하게 하는 광대역 음성 부호화기의 선 스펙트럼 주파수 (line spectral frequency: LSF) 계수 양자화기를 설계하였다. 광대역 음성 부호화기를 위한 효율적인 LSF 계수 양자화기를 설계하기 위하여, 인접 프레임간의 상관도를 이용하였으며, 각 해당 프레임의 LSF 계수에 대한 양자화를 인접 프레임간 상관도가 높은 프레임과 상관도가 낮은 프레임으로 나누어 독립적으로 수행하였다. 인접 프레임간 상관도가 높은 프레임의 LSF 계수 양자화를 위하여 예측 피라미드형 벡터 양자화기 (predictive pyramid vector quantizer: PPVQ)를 사용하여 양자화하였고, 상관도가 낮은 프레임의 LSF 계수는 피라미드형 벡터 양자화기 (PVQ)를 사용하여 양자화하였다. PPVQ에서 예측기로 1차 AR 예측가를 사용하였다.

광대역 음성 부호화기를 위해 본 논문에서 설계된 LSF 계수 양자화기를 평균 스펙트럼 왜곡 (spectral distortion: SD) 성능 관점에서 실험한 결과, LSF 계수 양자화에 할당된 비트가 프레임당 40비트일 때, 평균 SD값이 1 dB 내외이고, 2 dB 이상 및 4 dB 이상 outlier가 각각 3.87% 및 0.01%인 transparent한 성능을 얻을 수 있었다.

핵심용어: 광대역 음성 부호화기, 피라미드형 벡터 양자화기, interframe 부호화 기법, safety-net

투고분야: 음성 처리분야 (2.2)

In this paper, we designed an LSF coefficient quantizer of the wideband speech codec that can produce high quality speech service. For the efficient LSF coefficient quantizer, the interframe correlation was used. Also we separately quantized the LSF coefficients with high and low interframe correlation. Predictive pyramid vector quantizer (PVQ) was used for quantizing the LSF coefficients with high interframe correlation, and PVQ was used for quantizing the LSF coefficients with low interframe correlation.

Experiments show that the proposed LSF quantizer can quantize LSF information in 40 bits/frame, with an average spectral distortion (SD) of 1 dB and less than 3.87% frames having SD greater than 2 dB,

Keywords: Wideband speech codec, Pyramid vector quantizer, Interframe coding, Safety-net

ASK subject classification: Speech signal processing (2,2)

# I. 서 론

지난 20년간 음성 부호화 분야에서는 전화용 협대역

(300-3400 Hz) 음성을 전송하는데 필요한 비트량을 상당히 많이 줄여 왔다. 지금은 10 kb/s 이하의 전송속도에서도 고품질의 음성 서비스를 제공할 수 있다. 8 kHz의샘플링 주파수가 요구되는 300-3400 Hz의 주파수 대역으로는 최대 유선 전화급 품질의 음성 서비스를 얻을 수있다. 그러나 IMT-2000, 화상 회의, 멀티미디어 서버스,

고화질 텔레비전 등 그 응용 분야가 확대되면서 향상된 음 질을 갖는 음성 서비스에 대한 요구가 점점 증가되고있다.

최근 IMT-2000 시스템을 위한 광대역 음성 부호화 표준방식으로 적응 가변율 광대역 (adaptive multi~rate wide band ;AMR-WB) 코덱에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재 여러 후보 코덱들 중에서 Nokia에서 제안된 음성 부호화 방법이 표준방식으로 선택되었다. 본 연구에서는 Nokia에서 제안한 AMR-WB를 포함한 일반적인 하이브리드 구조의 광대역 음성 부호화기에 응용할 수 있는 효율적인 LSF 계수 양자화기를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 피라미드 벡터 양자화기에 대하여, 제 3장에서는 설계된 광대역 음 성 부호화기용 LSF 계수 양자화기에 대하여 기술하였고, 제 4장에서는 설계된 LSF 계수 양자화기의 성능을 실험 하였고, 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

# II. 피라미드 벡터 양자화기

### 2.1. 피라미드 벡터 양자화기

피라미드 벡터 양자화기 (Pyramid Vector Quantizer: PVQ)는 1986년 Fischer[1]에 의해 제안된 양자화기로서 피라미드의 표면상에 존재하는 큐빅 격자점들을 코드워드로 사용하는 일종의 격자 양자화 방식이다. 따라서 PVQ는 코드북 저장에 필요한 메모리가 요구되지 않으며, 벡터 차수가 증가할수록 인코딩의 복잡도가 선형적으로 증가하는 특성을 가지고 있으므로, 적은 계산량으로 입력 벡터 전체를 양자화할 수 있다. 특히 memoryless Laplacian 소스에 대한 PVQ 양자화기의 성능은 입력 벡터 차수가 클 경우, 엔트로피 제한 스칼라 양자화기와 비슷한 성능을 나타낸다[2].

표 1은 memoryless Laplacian 소스에 대한 PVQ의 성 능을 Lloyd-Max 스칼라 양자화기와 비교한 것이다.

양자화기 입력 벡터가 Laplacian 분포를 가질 때 최적 코드워드는 다음과 같이 표현되는 단일 피라미드상에 설

표 1. Memoryless Laplacian 소스에 대한 SNR 인코딩 성능 비교 Table 1. SNR performance comparison of the encoding memoryless Laplacian source.

Rate (bits)	Lloyd-Max SQ (dB)	PVQ (dim.=10) (dB)
1 .	2.96	4.68
2	7.44	8.63
3	12.40	16.04

계할 수 있다.

$$S(L, L/\lambda) = \left\{ c(n) : \sum_{i=1}^{L} |c_i(n)| = L/\lambda \right\}$$
 (1)

여기서  $\lambda = 1/E[|c(n)|]$ 이 L은 양자화기 입력 벡터 차수이다.

K를 양의 정수라 할 때, 피라미드 S(L,K)는 표면상에 코스워드로 이용하는 많은 큐빅 격자점을 가진다. 만약 피라미드 S(L,K)상에 있는 코스워드의 수를 N(L,K)라 한다면, K는 다음 조건을 만족하는 가장 큰 정수로 선택된다.

$$N(L,K) \le 2^{RL} \tag{2}$$

양자화 입력 벡터에 대한 PVQ 인코딩 알고리즘은 다음 과 같다.

1 단계: c(n)에 대해서, 4(3)과 (4)와 같은 프로젝션 이론 공식에 근거하여 가장 근접한  $\hat{c}(n) \in S(L, L/\lambda)$ 을 선택한다.

$$\hat{c}(n) = c(n) - \left[ \left( c(n), \frac{S}{\|S\|_2} \right) - \frac{\|S\|_2}{\lambda \|S\|_1} \right] \frac{S}{\|S\|_2}$$
(3)

여기서,

$$S_{i} = \begin{cases} 1, & \text{if } c_{i}(n) > 0 \\ 0, & \text{if } c_{i}(n) = 0 \\ -1, & \text{if } c_{i}(n) < 0 \end{cases} \quad \text{if } ||c(n)||_{1} \ge L/\lambda$$

혹은

$$S_i = \begin{cases} 1, & \text{if } c_i(n) \ge 0 \\ -1, & \text{if } c_i(n) \le 0 \end{cases} \quad \text{if } ||c(n)||_1 \le L/\lambda \quad (4)$$

이며, (+, +)은 내적을 나타낸다.

2 단계:  $\hat{c}(n)$ 을  $K/||\hat{c}(n)||_1$ 로 스케일링하고, scaling된 벡터  $\hat{v}(n)$ 이 피라미드  $S(L_p,K)$ 상에 존재하도록 한다. 3 단계:  $\hat{v}(n)$ 과 가장 근접한 정수값을 갖는 코스워드  $\hat{v}(n)$   $\in$   $S(L_p,K)$ 을 찾는다. 이것은 다음과 같은 방법으로 수행된다.

- (a) v(n)을  $\tilde{v}(n)$ 을 구한다.
- (b)  $r(n)\|_1$ 을 계산한다. 만약  $\|\hat{u}(n)\|_1 = K$ 이면 4 단계를 수행하고.  $\|\hat{u}(n)\|_1 > K$ 이면 올림한 요수값들 중에서 가장 오차가 큰  $(\|\hat{u}(n)\|_1 K)$ 개의 요소값들을 하

나씩 감소시키고,  $||\widehat{v}(n)||_1 < K$ 이면 내림한 요소값들 중 에서 가장 오차가 큰  $(K-||\hat{v}(n)||_1)$ 개의 요소값들을 하나씩 증가시킨다.

4 단계:  $\hat{v}(n)$ 을  $||\hat{c}(n)||_1/K$ 로 스케일링하여, PVQ 출 력벡터  $\hat{c}(n)$ 을 구한다.

#### 2.2. Product code PVQ

PVQ는 입력 벡터의 차수가 충분히 클 때 우수한 성능 을 나타낸다. 즉 입력 벡터의 차수가 약 20이상일 때, n의 값에 상관없이  $||\tilde{\alpha}(n)||_1$ 이 상수값에 가까운 값을 갖게 된다. 그러나 벡터 차수가 20 이하일 때에는  $||\widetilde{c}(n)||_1$ 의 분산값이 커져서 상수값으로 볼 수 없는 단점을 가진다. 그렇기 때문에 단일 피라미드를 사용하여 양자화할 때 많은 오차가 발생하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위 하여 product code PVQ[1]가 제안되었다.

Product code PVQ는 양자화기 입력 벡터를 정규화한 후 단일 피라미드를 사용하여 양자화 하고, 정규화 요소 값  $\hat{r} = Q(||\hat{c}(n)||_1)$ 을 사용하여 양자화된 피라미드를 인덱싱하는 방식이다. 여기서 Q(·)은 스칼라 양자화기 를 의미한다. 만약  $\hat{c}(n) = PVQ(\hat{v}(n))$ 이 PVQ의 출력 벡터이고  $\hat{r} = Q(||\hat{c}(n)||_1)$ 이 스칼라 양자화기의 출력 값이라면, product code PVQ의 출력 벡터  $\hat{c}_{PCPVQ}(n)$ 은 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\hat{c}_{PCPVO}(n) = \hat{r} \times \hat{c}(n) \tag{5}$$

이렇게 함으로써 스칼라 양자화기의 양자화 레벨수 만 큼의 피라미드를 사용하는 효과를 얻을 수 있다. PVQ의 평균 벡터 차수당 비트율을  $R_{\nu}$ , 스칼라 양자화기에 할당 된 비트를 R,이라 하면 전체 비트율 R은 식(6)을 만족 한다.

$$R_b L + R_r = RL \tag{6}$$

# III. 광대역 음성 부호화기용 LSF 계수 양자화기 설계

#### 3.1. Interframe LSF 양자화기

선형 예측 음성 부호화 알고리즘에서, LPC 파라메터 전송시 요구되는 비트율은 음성 부호화기 총 전송 비트율 중 큰 부분을 차지한다. LSF 파라메터들은 일반적으로

인접 프레임간 상관도가 크므로, interframe 부호화 기법 [3]을 사용하면 비트율을 상당히 많이 줄일 수 있다. 이러 한 interframe 상관도를 활용하는 벡터 양자화 방법에는 predictive VQ[4,5], finite-state VQ (FSVQ)[6] 등이 있 다. Interframe 부호화 기법은 채널에 노이즈가 있는 경 우 에러 전달 현상을 초래할 수 있으나, 비메모리 양자화 기를 도입함으로써 이를 극복할 수 있다. 그러므로 에러 전달 현상을 효과적으로 줄여주는 safety-net[3]을 메모 리 기반 VQ에 도입한 형태의 구조를 가지면 인접 프레임 간 상관도도 이용할 수 있고, 에러 전달 현상도 줄일 수 있다.

## 3.2. 예측 벡터양자화기 (predictive VQ)

Predictive VQ 방법은 입력되는 벡터를 이전에 양자화 된 벡터들의 선형적인 조합에 의하여 예측하고, 그 예측 에러 값을 양자화기로 양자화 하는 방법이다.

벡터 예측기는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$\widehat{X}_n = \sum_{k=1}^M A_k \widehat{X}_{n-k} \tag{7}$$

여기서  $\hat{X}$  ,은 예측된 벡터이고.  $\hat{X}$  ,은 이전에 양자 화된 벡터이다.

예측 행렬의 최적 값은 식 (8)에 외하여 구할 수 있다.

$$R_{0j} = \sum_{k=1}^{M} A_k R k j \tag{8}$$

여기서  $R_{ij}$ 는 상관도 행렬이며, 식 (9)로 정의된다.

$$R_{ii} = E\left[X_{n-i}X_{n-i}^{T}\right] \tag{9}$$

예측 벡터 양자화 방법에는 auto-regressive (AR) 과 moving-average (MA) 두 가지 방법이 있는데, MA의 주 된 장점은 디코더의 임펄스 응답이 유한하다는 점이다. 그래서 현재의 에러가 필터의 차수까지만 영향을 미치므 로 에러 전달 현상이 한정된다. 반면에 AR 구조는 IIR 필터 형태이므로 에러 전달 현상을 피할 수 없다.

# 3.3. Safety-net을 이용한 예측 PVQ

실험에 사용된 20차 LSF 계수들의 분포도가 그림 1에 나타나 있다. LSF 계수들은 대체적으로 Laplacian 분포 를 갖는다. 하지만 각 LSF 계수 분포의 평균값에서 멀어 진 부분은 Laplacian 분포를 따르지 않고 넓게 분포하므 로 분산이 커지고, 상관도 값이 작음으로써 예측기로의

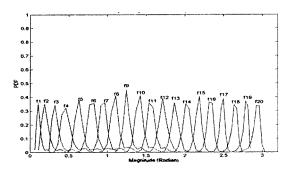


그림 1, 20차 LSF 계수들의 분포도

Fig. 1. Distribution of the 20-order LSF parameters.

예측이 어렵다.

이러한 부분들에 의하여 interframe 부호화시 SD 성능 을 감소시키는 outlier가 발생한다. 성능 개선을 위하여 outlier로 결정되는 프레임들의 LSF 계수에 대한 통계적 특성이 반영된 양자화기를 safety-net의 형태로 interframe 부호화기와 병렬로 결합하여 사용한다.

그림 2는 outlier로 결정되는 프레임들의 LSF 계수에 대한 분포도를 보여주고 있다. 이 LSF 계수들 역시 Laplacian 분포를 가진다. 그래서 interframe 부호화와 safety-net 부호화의 양자화기로써 피라미드형 벡터 양 자화기를 사용하는 것이 타당함을 알 수 있다.

그림 3은 본 연구에서 제안하는 광대역 음성 부호화기 의 LSF 계수 양자화기 구조를 나타낸다. 이 구조는 safety-net을 사용하는 interframe 부호화 방법과 피라 미드형 격자 구조 벡터 양자화기를 사용함으로써, 두 방 식이 갖고 있는 장점을 활용하였다.

그림 3에서 보여진 양자화기의 동작원리는 다음과 같

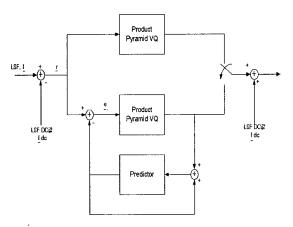


그림 3. 배메모리 PVQ와 메모리 기반 PVQ가 결합된 LSF 계수 양자화기 구조

Fig. 3. Structure of LSF Quantizer: combine a memorybased PVQ with a memoryless PVQ.

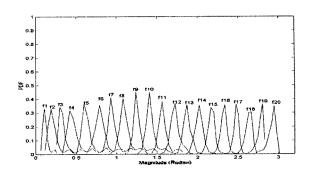


그림 2. Outlier를 발생시키는 LSF 계수 분포도

Fig. 2. Distribution of the LSF parameters which cause outliers.

다. 우선 입력 LSF 계수 벡터의 DC 성분을 제거한다. DC 성분이 제거된 LSF 계수 벡터는 메모리 기반 PVQ와 비메 모리 PVQ에 동시에 입력되어, 각 벡터 양자화기에서 독 립적으로 양자화가 이루어진다. 메모리 기반 PVQ에서는 입력된 벡터를 1차 AR 예측기를 사용하여 예측하고, 예측 된 벡터와 입력 벡터와의 차이인 예측 에러 벡터를 PVQ 를 사용하여 양자화한다.

비메모리 PVQ에서는 outlier에 해당하는 입력 벡터들 에 최적으로 설계된 PVQ를 이용하여 양자화한다. 각 양 자화기에서 양자화된 후보 백터들과 원래 입력 벡터와의 차이인 양자화 에러는 Euclidean 에러를 이용하여 판정 되고, 양자화 에러가 작은 후보벡터를 최종 양자화 벡터 로 선택한다.

# IV. 실험 및 결과

본 연구에서는 SNR 값을 이용해서 양자화기 자체의 성능을 분석하였고, LSF 계수 양자화기의 성능 평가는 식 (10)의 spectral distortion (SD) 측정치를 이용하여 이 루어졌다.

$$SD = \left[ \frac{1}{M} \sum_{n=1}^{M} \left( \frac{1}{\pi} \int_{0}^{\pi} (\log S_{n}(\omega) - \log \hat{S}_{n}(\omega))^{2} d\omega \right) \right]^{\frac{1}{2}} (10)$$

Laplacian 입력 소스에 대한 Lloyd-Max scalar quantizer (LMSQ)와 PVQ와의 성능을 SNR 관점에서 비 교한 것이 표 2에 나타나 있다.

실험시 사용한 소스는 분산이 1인 Laplacian 소스이다. 표 2를 살펴보면 양자화기 성능이 LMSQ보다 PVQ가 우수 함을 볼 수 있다. 특히 20차원인 PVQ의 경우 LMSQ에 비해 4 dB 이상 성능이 우수함을 알 수 있다. LMSQ가 비트율 3일 때의 성능을 20차원의 PVQ에서는 비트율 2에

표 2. 비메모리 Laplacian 소스에 대한 PVQ 양자화기의 SNR 성 등 실험 결과

Table 2. SNR performance of the PVQ quantizer for momoryless Laplacian source.

D (bits (diss)	LMCO (40)	PVQ(dB)	
R (bits/dim)	LMSQ (dB)	dim=10	dim=20
1	296	4.68	7.60
2	7.44	8.63	12.12
3	12.40	16.04	16.42

표 3. MSVQ 구조에서 비트할당에 따른 SD 성능 Table 3. Spectral distortion performance of MSVQ for different bit altocations.

비트수 (bits)		테스트 벡터에 대한 성능		
	구조	要记SD	% frame > 2dB	% frame > 4dB
32	5-66666	1.87	35.28	1.66
34	5-88666	1.77	30.20	1.37
36	6-666666	1.62	21.74	1.11
38	6-866666	1.61	22.77	1.27
40	6-886666	1.54	20.17	1.12
48	6-888888	1.25	10.89	0.67
56	7-888888	1.05	7.42	0.48

(X-YYYYY에서 X는 stage 수이고, YYYYY는 각 stage당 할당된 비트 수를 의미한다)

서 거의 동등한 SNR 성능을 얻을 수 있다. R이 벡터 차수 당 할당되는 비트이므로 벡터가 20차원이면, PVQ를 사 용함으로써 SQ보다 벡터당 20비트를 절약할 수 있다.

이러한 PVQ를 이용한 LSF 계수 양자화기의 성능을 SD 관점에서 분석하였는데, 실험에 쓰인 음성 데이터는 NTT 에서 16bits, 16kHz 샘플링 주파수로 제작 배포한 한국어 음성으로 훈련에 27,000 프레임, 시험에 8,900 프레임의 음성데이터를 사용하였다.

제안한 LSF 벡터 양자화기의 성능을 multi-stage

표 4. Safety-net을 이용하는 예측 PVQ 구조에서 비트 할당에 따른 SD 성능

Table 4. Spectral distortion performance of predictive PVQ with a safety-net for different bit allocations.

비트수 (bits)	평균 SD	% frame > 2dB	% frame > 4dB
32	1.57	21.63	0.045
34	1.40	14.75	0.034
36	1,26	10.13	0.023
38	1.16	7.07	0.020
40	1.08	3.87	0.011
48	0.85	0.40	0.033
56	0.73	0.19	0.033

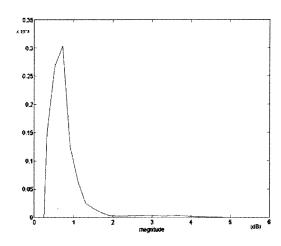


그림 4, 프레임당 40 비트 할당시 SD 분포도 Fig. 4. Distribution of spectral distortion at 40 bits per frame.

VQ(MSVQ) 구조[7]의 양자화기와 SD 관점에서 비교한 것이 표 3과 4에 나타나 있다. 여기에서 쓰인 MSVQ는 비트할당에 따라 5~7개의 stage를 가지며 양자화를 수행한 것이다. 표 3과 4는 LSF 계수 양자화에 할당되는 비트를 바꾸어가며 SD 관점에서 성능을 비교한 것이다. 표 3은 MSVQ 구조의 LSF 벡터 양자화기의 성능을 평균 SD와 outlier의 발생 번도수 관점에서 보여주고 있다. 그리고 표 4는 본 논문에서 제안한 safety—net을 이용한 PPVQ LSF 계수 양자화기의 성능을 보여주고 있다. 할당된 비트가 40비트인 경우를 비교해 보면, 본 논문에서 제안된 LSF 계수 양자화기는 MSVQ에 비해 평균 SD 값을 0.46 dB 개선하고, 2 dB 이상 및 4 dB 이상 outlier는 각각 16.3% 및 1.1% 감소 시킴을 알 수 있다. 그림 4는 할당된 비트가 40 비트일 때의 SD의 분포를 나타낸 것이다.

# V. 결론

본 논문에서는 광대역 음성 부호화기용 LSF 계수 양자화기를 설계하였다. 양자화기는 safety-net을 이용하는 메모리 기반 양자화기 구조를 가진다. Safety-net과 메모리 기반 양자화기는 메모리와 인코딩/디코딩 계산량측면에서 우수한 성능을 갖기 위하여 피라미드형 벡터 양자화기를 사용하였다. 설계된 양자화기의 성능을 평가하기 위하여 SD 측정치를 사용하였으며, 할당 비트가 40 비트에서 약 1 dB 내외의 평균 SD 값을 얻을 수 있었다. 제안된 양자화기는 MSVQ에 비해 평균 SD 값은 0.46 dB 개선하고, 2 dB 이상 및 4 dB 이상 outlier는 각각 16.3% 및 1.1% 개선하였다.

#### 참고문헌

- 1, T. R. Fischer, A pyramid vector quantizer, IEEE Trans, on Information Theory, vol. 32, no. 4, pp. 568-583, July 1986,
- 2, W. A. Finamore and W. A. Pearlina, Optimal encoding of discrete-time continuous-amplitude memeryless sources with finite output alphabets, IEEE Trans, Inform, Theory, vol. Π-26, pp. 144-155, March, 1980,
- 3, T. Eriksson, J. Linden, and J. Skoglund, Interframe LSF Quantization for Noisy Channels, IEEE Trans, Speech & Audio Processing, vol. 7, No.5, Sept. 1999,
- 4, Y. Shoham, Vector predictive quantization of the spectral parameters for low rate speech coding, Proc, IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, Dallas, TX, vol. 4, pp. 2181-2184, 1987,
- 5, M. Yong, G. Davidsson, and A. Gersho, Encoding of LPC spectral parameters using switched-adaptive interframe vector prediction, Proc, IEEE Int. Conf, Acoustics, Speech and Signal Processing, New York, NY, vol. 1, pp. 402-405,
- 6, J. Foster, R. M. Gray, and M. O. Dunham, Finite-state vector quantization for waveform coding, IEEE Trans, Inform, Theory, vol. 31, pp. 348-359, 1985,
- 7, M. Ferhaoui and S. V. Gerven, LSP quantization in wideband speech coders, IEEE Workshop on Speech Coding Processing, pp. 25-27, 1999,

#### 저자 약력

#### ●지 상 현 (Sanghyun Chi)



2000년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터공학부 (학사) 2000년 3월: 한양대학교 대학원 전자전기제어계축 공학과 재학 (석사과정) ※ 주관심분야: 음성코딩, 신호처리, 이동통신

#### ●강 상 원 (Sangwon Kang)



1976년~1980년: 한양대학교 전자공학과 (학사) 1980년~1982년: 서울대학교 전자공학과 (석사) 1985년~1990년: Texas A&M 대학교 전기공학과 (박사)

1982년~1994년 2월: 한국전자통신연구소 신호처리 연구실

1994년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터공학부, 부교수

※ 주관심분야 음성코딩, 산호처리, 이동통산

## ●윤 병 식 (Byungsik Yoon)



1990년: 경북대학교 전자공학과 졸업 (학사) 1992년: 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (석사) 1992년~현재: 한국전자통신연구원 이동서비스연구 팀 선임연구원

※ 주관심분야: 음성부호화, 음성신호처리. IMT-2000 시스템