

Pyramid VQ를 이용한 AMR-WB+ 코덱 내 TCX 모듈의 성능 개선

Improvement of the TCX Module in AMR-WB+ Codec Using Pyramid VQ

박 상 국*, 박 정 은*, 강 상 원*, 백 승 권**, 서 정 일**

(Sanguk Park*, Jungeun Park*, Sangwon Kang*, Seungkweon Baik**, Jungil Seo**)

*한양대학교 전자컴퓨터공학부, **전자통신연구원

(접수일자: 2007년 2월 2일, 수정일자: 2007년 4월 12일, 채택일자: 2007년 4월 23일)

본 논문은 AMR-WB+ 코덱의 오디오 품질을 개선하기 위하여 TCX모듈 변환계수 양자화기에 8차 및 16차 Pyramid VQ 방식을 제안하였다. 제안된 Pyramid VQ 방식은 AMR-WB+ 코덱에 적용된 REs Lattice VQ 방식과 비교 평가 되었으며, 8차 및 16차 Pyramid VQ 방식의 사용시 Mean Squared Error (MSE)는 각각 4% 및 5.7% 개선되었고, Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ) 값은 각각 3.3% 및 4.7% 개선되었다.

핵심용어: 오디오 부호화, Pyramid VQ AMR-WB+, 양자화

투고분야: 전기음향 분야 (3)

In this paper, we propose a pyramid VQ to quantize the transform coefficients of TCX module for the audio improvement of AMR-WB+ codec. The proposed pyramid VQ is compared to the REs Lattice VQ used in the AMR-WB+ standard codec, demonstrating improvement 4% and 5.7%, respectively, in Mean Squared Error (MSE) and 3.3% and 4.7%, respectively, in Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ) by 8-dimensional and 16-dimensional Pyramid VQ.

Key words: Audio coding, Pyramid VQ, AMR-WB+, Quantization

ASK subject classification: Electro-Acoustics (3.2)

I. 서 론

32kbps 이하의 저속에서 음성 및 음악 신호를 효과적으로 처리할 수 있는 통합코덱의 필요성이 제기되고 있다. 현재 음성 또는 음악과 같은 단일 콘텐츠를 처리하는 코덱이 이동통신에서의 음성통신과 포터블 MP3 재생기와 같은 음악 재생기에서 각각 매우 효과적으로 사용되고 있다. 그런데, 앞으로 방송과 통신의 융합으로 보다 다양한 콘텐츠의 전송이 요구되고 공중 채널의 근본적인 용량 한계로 인하여 저속 전송이 필연적이다. 그래서 음성 및 음악 신호를 통합적이고 효율적으로 처리할 수 있는 저속 통합 코딩 기술이 필요하게 되었고, 이에 따라 AMR-WB+ 코덱과 EAAC+ 코덱이 등장하게 되었다. 하지만,

AMR-WB+ 코덱은 EAAC+ 코덱에 비해 음성 성능은 우수하나 오디오 품질은 24kbps 부근의 전송 속도에서 저하된다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 AMR-WB+ 코덱의 오디오 품질을 개선하기 위하여 TCX 모듈의 변환계수 양자화기에 Pyramid VQ (PVQ) [1] 방식을 응용하였다. PVQ 방식은 Laplacian 분포를 갖는 신호에 우수한 성능을 가지며 적은 계산량과 코드북을 저장하기 위한 메모리를 필요로 하지 않는다는 장점을 지닌다. 또한, 분산 값이 큰 변환계수의 특성을 감안해 PVQ 방식을 개선한 Product Code PVQ (PCPVQ)방식이 존재한다. PVQ 방식은 AMR-WB+ 코덱에서 사용되는 REs Lattice VQ [2, 3] 방식과는 달리 프레임 내 서브벡터에 대한 비트할당 계산을 필요로 한다. 이와 같이 양자화된 변환계수 전송을 위해 프레임 당 비트 수를 만족하도록 계산된 비트 할당 값을 근거로 Multi-rate PCPVQ 방식을 사용하였다.

제안된 PVQ 방식은 MSE 및 PEAQ 성능을 통해 AMR-WB+ 코덱 [4]에서 변환계수 양자화기로 사용되는 RE₆ Lattice VQ 방식과 비교 평가하였다.

II. Pyramid VQ

2.1. Pyramid VQ

PVQ는 피라미드의 표면에 존재하는 큐빅 격자점들을 코드워드로 사용하는 일종의 격자 양자화 방식이다. 따라서 PVQ는 코드북을 저장할 필요가 없으므로 메모리가 요구되지 않으며, 벡터 차수가 증가할수록 부호화의 복잡도가 선형적으로 증가하는 특성을 가지고 있으므로, 적은 계산량으로 입력 벡터 전체를 양자화 할 수 있다. 특히 비메모리 Laplacian 소스에 대한 PVQ의 성능은 입력 벡터 차수가 클 경우, 엔트로피 제한 스칼라 양자화와 비슷한 성능을 나타낸다 [5]. 표 1은 비메모리 Laplacian 소스에 대한 PVQ의 성능을 Lloyd-Max 스칼라 양자화와 비교한 것이다 [6].

표 1. 비메모리 Laplacian 소스 (10차)에 대한 SNR 부호화 성능 비교
Table 1. SNR comparison of Lloyd-Max SQ and PVQ for memoryless Laplacian source (10-dimensions).

Rate (bits/sample)	Lloyd-Max SQ (dB)	PVQ (dB)
1	2.96	4.68
2	7.44	8.63
3	12.40	16.04

차수가 L 인 입력 벡터 \mathbf{X} 가 Laplacian 분포를 가질 때 최적 코드워드는 다음과 같이 표현되는 단일 피라미드 상에 나타낼 수 있다.

$$S(L, K) = \left\{ \mathbf{X} : \sum_{i=1}^L |X_i| = K \right\} \quad (1)$$

기하학적으로 $S(L, K)$ 는 hyperpyramid의 표면을 나타낸다. 예를 들어 입력 신호 벡터의 차수가 3이고 K 가 5이면 그림 1과 같은 3차원 피라미드를 얻을 수 있고, x_1 축을 기준으로 코드워드가 2인 곳에서 횡단한다면 벡터의 차수가 2이고 K 가 2인 2차원 피라미드를 얻을 수 있다.

만약 피라미드 $S(L, K)$ 상에 있는 코드워드의 수를 $N(L, K)$ 라 한다면, K 는 식 (2)를 만족하는 가장 큰 정수로 선택된다.

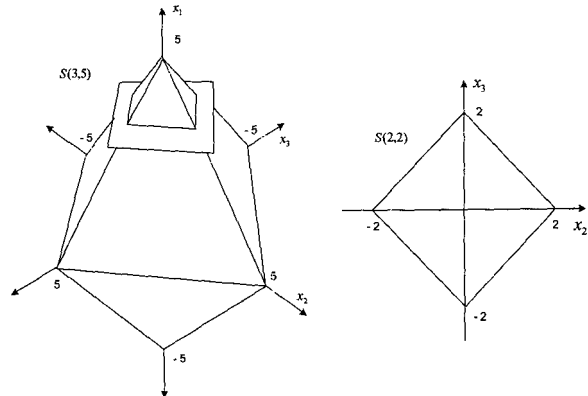


그림 1. 3D 피라미드 S(3,5)와 2D 피라미드 S(2,2)
Fig. 1. 3D pyramid S(3,5) and 2D pyramid S(2,2).

$$N(L, K) \leq 2^{RL} \quad (2)$$

여기서, R 은 벡터 차수 당 할당된 비트이며, $N(L, K)$ 는 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$N(L, K) = N(L-1, K) + N(L-1, K-1) + N(L, K-1) \quad (3)$$

코드워드를 정규화 된 피라미드로 나타낼 필요성이 있으므로 정규화 된 피라미드를 $S(L, L/\lambda)$ 로 표기한다. 여기서 λ 는 $L/E(\|\mathbf{X}\|)$ 를 나타낸다. 양자화 입력 벡터에 대한 PVQ 부호화 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1 : 각 입력 벡터, \mathbf{X} 에 대해서, 프로젝션 공식 (4)식에 의하여 피라미드 $S(L, L/\lambda)$ 의 표면에 프로젝션하여 $\hat{\mathbf{x}}$ 을 찾는다.

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x} - \left[\left(\mathbf{x} \cdot \frac{\mathbf{s}}{\|\mathbf{s}\|_2} \right) - \frac{L \|\mathbf{s}\|_2}{\lambda \|\mathbf{s}\|_1} \right] \frac{\mathbf{s}}{\|\mathbf{s}\|_2} \quad (4)$$

여기서, \mathbf{s} 는 식 (5)와 같고, (\cdot, \cdot) 은 내적을 말한다.

$$S_i = \begin{cases} 1, & \text{if } X_i \geq 0 \\ -1, & \text{if } X_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

또한, $\|\mathbf{s}\|_v$ 는 다음과 같이 일반화하여 정의한다.

$$\|\mathbf{s}\|_v = \left(\sum_{i=1}^L |S_i|^v \right)^{1/v}, \quad v \geq 1 \quad (6)$$

단계 2 : 피라미드 $S(L, K)$ 표면으로 위치시키기 위하여 \hat{x} 을 $K\lambda/L$ 로 스케일링 한다.

단계 3 : 피라미드 $S(L, K)$ 표면의 $N(L, K)$ 개의 정수 코드워드 중 가장 가까운 코드워드, \tilde{x} 를 찾는다. 찾는 과정은 다음과 같다.

- (1) \tilde{x} 의 각 요소를 가장 가까운 정수로 올림 한다. 이때 올림 된 벡터를 \tilde{y} 이라고 하자.
- (2) $\|\tilde{y}\|_1$ 이 K 와 같다면 $S(L, K)$ 표면의 가장 가까운 코드워드가 찾아진 것이다. $\|\tilde{y}\|_1 < K$ 이면 $K - \|\tilde{y}\|_1$ 만큼 \tilde{y} 의 요소들 중 큰 오차를 가지는 것을 1 증가시키고, $\|\tilde{y}\|_1 > K$ 이면 $\|\tilde{y}\|_1 - K$ 만큼 \tilde{y} 의 요소들 중 0이 아니면서 큰 오차를 가지는 것을 1 감소 시킨다.

단계 4 : \tilde{y} 를 다시 $L/K\lambda$ 로 스케일링하여 양자화된 벡터 Y 로 나타낸다.

2.2. Product Code PVQ (PCPVQ)

피라미드 벡터 양자화는 입력 벡터의 차수가 클 때 충분히 우수한 성능을 나타낸다. 즉 입력 벡터의 차수가 약 20이상일 때, $\|X\|_1$ 이 일정한 값을 갖게 된다. 그러나 벡터의 차수가 20이하일 때 $\|X\|_1$ 의 분산 값이 커져서 일정한 값을 갖지 않는 단점을 가진다. 이러한 경우 단일 피라미드를 사용하여 양자화하면 많은 오차가 발생한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 PCPVQ [1]가 제안되었다. PCPVQ는 양자화기 입력 벡터를 정규화된 여러 개의 피라미드를 사용하여 양자화하는 개념으로, 정규화 된 피라미드의 크기는 스칼라 양자화 된 형태, $\hat{x} = Q(\|X\|_1)$ 로 나타내어진다. 여기서 $Q(\cdot)$ 는 스칼라 양자화를 의미하며, \hat{y} 이 PVQ의 출력 벡터라 가정 시 PCPVQ의 출력 벡터 Y 는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = \hat{x} \hat{y} \tag{7}$$

이와 같이 스칼라 양자화기의 양자화 레벨 수만큼의 피라미드를 사용하는 효과를 얻을 수 있다. PVQ의 평균 벡터 차수 할당 비트를 R_p , 스칼라 양자화기에 할당된 비트를 R_s 이라 하면, 전체 비트 R 은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_p L + R_s = RL \tag{8}$$

III. Pyramid VQ를 이용한 변환계수 양자화

3.1. 변환계수 특성

AMR-WB+ 코덱 내 TCX 모듈의 변환계수 특성을 분석하기 위해, 전송속도를 본 논문에서 목표로 하는 24kbp로 고정하고 [3], 코어 코덱의 성능만을 비교하기 위하여 모노 입력을 사용하였다. AMR-WB+의 1024-샘플 수퍼 프레임은 256-샘플 ACELP, 256-샘플 TCX, 512-샘플 TCX, 1024-샘플 TCX 모드 각각에 대해 segmental SNR을 계산하여 선택된 최적의 모드로 동작한다. 그런데, 그림 2와 표 2에서 볼 수 있듯이 1024-샘플 수퍼 프레임은 전형적인 음악 신호에 대하여 대부분 1024-샘플 TCX 모드로 동작하기 때문에 본 논문에서는 1024-샘플 TCX 모드의 성능 개선에 초점을 맞추었다. 그림 2와 표 2는 신뢰성을 위하여 European Broadcasting Union (EBU)에서 제공하는 Sound Quality Assessment Material (SQAM) 중 90개의 음악 샘플들을 사용하여 얻은 결과를 토대로 작성하였다.

표 2. 음악 신호에 대한 프레임 별 동작 모드 선택률
Table 2. The percentage of ACELP/TCX mode for music signals.

모드	ACELP	TCX256	TCX512	TCX1024
선택률(%)	0.25	1.25	4.5	94

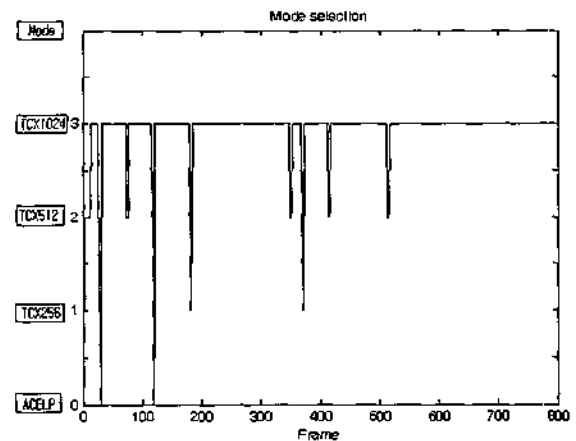


그림 2. 음악 신호에 대한 프레임 별 동작 모드 변화
Fig. 2. ACELP/TCX mode for music signals.

오디오 샘플들의 입력 프레임은 다음 식과 같이 DFT를 통해 주파수 도메인으로 변환된 후, RE_8 lattice VQ에 의해 양자화 된다.

$$X(k) = \frac{1}{L_{TOT}} \sum_{n=0}^{L_{TOT}-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi}{L_{TOT}} nk} \tag{9}$$

여기서 L_{TOT} 는 슈퍼프레임 내의 샘플들의 수인데, 본 논문에서는 TCX1024만을 고려했기 때문에 L_{TOT} 는 1152 (프레임 길이 1024 + lookahead 128)가 된다. 이와 같이 1152샘플에 대한 DFT 변환에 의하여 1152개의 Complex 계수가 출력되고, 계수의 주파수 대칭 성질을 활용하여 576개의 Complex 계수만 사용한다. 따라서 실제 양자화가 필요한 값은 실수 계수와 허수 계수를 합하여 모두 1152개이다. 그림 3은 그림 2에서 사용된 90개의 음악 파일에 대해 RE₈ lattice VQ의 입력 신호가 되는 변환 계수의 통계적 특성을 나타내었다.

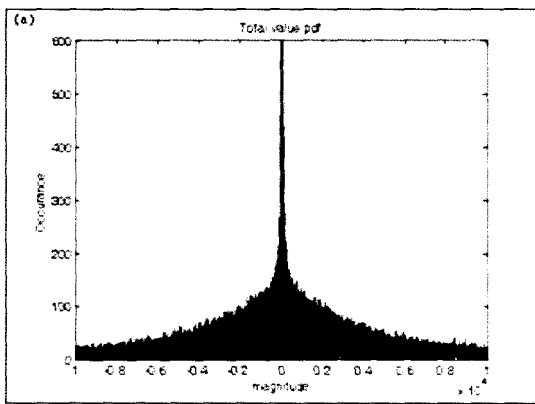


그림 3. DFT 변환 계수의 PDF
Fig. 3. PDF of DFT coefficients.

그림 3에서 볼 수 있듯이, 변환계수는 Laplacian 분포를 이루기 때문에 TCX모듈에서 사용되는 RE₈ lattice VQ 대신 Laplacian 소스에 대해 우수한 성능을 갖는 Pyramid VQ를 사용함으로써 성능개선이 예상된다.

3.2. Pyramid VQ를 이용한 변환계수 양자화

프레임 당 1152개의 변환계수는 144개의 8차 서브벡터 단위로 gain에 의해 pre-shaping 된 후, RE₈ lattice VQ 대신 Pyramid VQ 방식을 사용하여 양자화 된다.

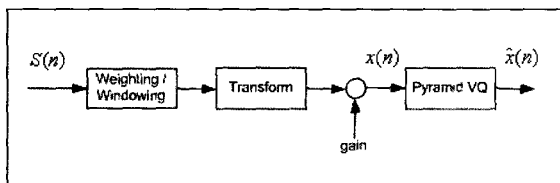


그림 4. PVQ가 응용된 TCX 인코더 모듈의 구성도
Fig. 4. Block diagram of the TCX encoder module with PVQ.

RE₈ lattice VQ 방식과는 달리 PVQ 방식은 프레임 내 서브벡터들에 대한 비트할당 계산을 필요로 한다. TCX1024 모드에서 양자화된 변환 계수를 전송하기 위해 패킷에 할당된 비트 수는 1399비트이다. 본 논문에서는 변환계수

값의 서브벡터 에너지를 이용하여 다음 단계들을 통해 각 서브벡터에 대한 비트할당 값을 계산하였다. 계산된 최종 비트 값들을 PVQ에 할당하여 각 서브벡터를 양자화 하였다.

단계 1 : 프레임 내 서브벡터에 대한 비트를 계산

(1) 각 서브벡터의 에너지 값 E_k 을 계산

$$E_k = \max(2, \sum_{m=0}^7 B_k[m]B_k[m])$$

(2) E_k 로부터 비트할당의 초기 예측 값을 계산

$$R_k(1) = 5 \log_2 \left(\frac{E_k}{2} \right)$$

(3) 초기화 :

fac= 128, offset= 0, nbits_max=프레임당 비트

(4) Iteration : 다음 과정을 10회 수행

- offset= offset + fac

- nbits= $\sum_{k=1}^K \max(0, R_k(1) - \text{offset})$

(여기서, K= 프레임내 서브벡터 수)

- If nbits <= nbits_max, then offset = offset - fac, else fac= fac/2

단계 2 : 에너지 값 E_k 값에 따라 프레임 내 서브벡터들을 내림차순으로 정렬

단계 3 : 에너지 값 E_k 값이 큰 순서대로 다음 과정을 수행

(1) $R_k = \max(0, R_k(j) - \text{offset})$

(2) 표 3 (8차 서브벡터인 경우) 혹은 표 4 (16차 서브벡터인 경우)에서 R_k 값에 가까운 rate 선택

(3) If $(\sum_{k=1}^m R_k > \text{nbits_max})$, then $R_k = 0$ for $k = m, K$

단계 4 : 결정된 R_k 값에 따라 스케일 된 스펙트럼을 pyramid VQ로 양자화

표 3. 8차 서브벡터에 사용된 Pyramid VQ 규격
Table 3. PVQ spec. for an 8-dimension subvector.

Rate	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7
N	0	0	3	3	4	4	4	5	6	7
K	2	4	4	7	10	16	24	48	97	195

표 4. 16차 서브벡터에 사용된 Pyramid VQ 규격
Table 4. PVQ spec. for an 16-dimension subvector.

Rate	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6
N	0	0	3	3	4	4	5	6	7
K	4	7	10	15	22	33	46	93	187

표 3과 표 4에서 N과 K의 값은 고정된 rate에서 최소의 MSE 값을 발생하는 값들로 90개의 음악 신호를 대상으로 실험적으로 결정되었다.

IV. 실험 및 결과

제안된 Pyramid VQ의 성능 평가는 Mean Squared Error (MSE)와 Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ)에 의해 이루어졌다. 또한, 평가를 위한 훈련 및 테스트 샘플로 European Broadcasting Union (EBU)에서 제공하는 Sound Quality Assessment Material (SQAM) 중 90개의 음악 샘플들을 사용하였다.

MSE는 그림 4에서 변환계수 양자화기의 입력 신호 $x(n)$ 과 출력 신호 $\hat{x}(n)$ 간의 식(10)에 의하여 구하였다.

$$MSE = \frac{1}{N} \left(\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L (x_l - \hat{x}_l)^2 \right) \tag{10}$$

여기서 N 은 프레임 내 서브벡터의 수 144이고, L 은 서브벡터 당 샘플 수 8이다. 표 5는 표준 방식에서 사용한 RE₃ lattice VQ 방식과 본 논문에서 제안하는 PVQ 방식으로 변환계수를 양자화 하였을 때의 MSE 성능을 비교하였다. PVQ는 보다 큰 차수에서 보다 좋은 성능을 보이기 때문에 서브벡터의 차수를 16까지 확장해 보았다. 8차 및 16차 PVQ 방식이 표준 방식인 RE₃ Lattice VQ에 비해 MSE 값이 각각 4% 및 5.7% 개선됨을 알 수 있다.

표 5. TCX1024 모듈 변환계수 양자화기에 PVQ 적용 시 MSE 성능 비교
Table 5. MSE comparisons of RE₃ Lattice VQ and PVQ in the TCX1024 module.

	RE ₃ Lattice VQ	PVQ (8차)	PVQ (16차)
MSE	0.236664	0.227352	0.223144

AMR-WB+ 오디오 부호화기의 성능을 평가하기 위하여 ITU-T 표준 오디오 측정 software BS.1387을 사용하였다. PEAQ로 알려진 이 권고는 원 신호와 테스트 신호의 음질 차이를 평가하는 심리음향 방법으로 측정한다. PEAQ의 점수 분포는 표 6과 같다.

표 6. PEAQ 점수 분포도
Table 6. Definition of PEAQ scores.

Description of impairments	Difference Grade
Imperceptible	0
Perceptible but not annoying	-1
Slightly annoying	-2
Annoying	-3
Very annoying	-4

표 7은 AMR-WB+ 표준 방식에서 사용한 RE₃ lattice VQ 방식과 본 논문에서 사용하는 PVQ 방식으로 변환계수를 양자화 하였을 때의 TCX1024 모듈의 음악신호에 대한 PEAQ 성능을 비교하였다. PEAQ 값은 총 90개의

음악 샘플들에 대한 평균값을 의미한다. 8차 및 16차 PVQ 방식이 표준 방식인 RE₃ Lattice VQ에 비해 PEAQ 값이 각각 3.3% 및 4.7% 개선됨을 알 수 있다. 또한, 각 음악 샘플들에 대한 PEAQ 측정 결과를 보면 transparent quality 범주 내의 PEAQ 값을 갖는 음악 샘플들은 인지할 수 없는 범위내의 음질 개선 및 감소의 성능을 갖지만, 나쁜 음질을 갖는 음악 샘플에 대해서는 다소 높은 성능 개선을 보임을 알 수 있다.

표 7. TCX1024 모듈 변환계수 양자화기에 PVQ 적용 시 PEAQ 성능 비교
Table 7. PEAQ comparisons of RE₃ Lattice VQ and PVQ in the TCX1024 module.

	RE ₃ Lattice VQ	PVQ (8차)	PVQ (16차)
PEAQ	-1.53191	-1.4815	-1.46001

V. 결론

AMR-WB+ 코덱은 AAC+ 코덱에 비해 음성 품질은 우수하나, 오디오 품질은 24kbps 부근의 전송속도에서 성능이 떨어진다. 본 논문에서는 해당 전송속도에서 AMR-WB+의 오디오 품질을 개선함으로써, AMR-WB+를 기반으로 하는 음성/오디오 통합 코덱을 개발한다. AMR-WB+ 코덱의 오디오 품질을 개선하기 위해서는 오디오 입력신호들에 대해 동작되는 TCX 모듈의 성능을 향상시켜야 하는데, 본 논문에서는 TCX 모듈 변환계수의 통계적 특성에 적합한 pyramid VQ를 도입하여 변환계수의 양자화 성능을 개선함으로써 궁극적으로 AMR-WB+ 코덱의 오디오 성능을 향상시킨다.

본 논문에서 TCX모듈 변환계수 양자화기로 사용되는 pyramid VQ 양자화기는 피라미드의 표면에 존재하는 큐빅 격자점들을 코드워드로 사용하는 일종의 격자 양자화 방식으로서, 코드북을 저장할 필요가 없으므로 메모리가 요구되지 않으며, 벡터 차수가 증가할수록 부호화의 복잡도가 선형적으로 증가하는 특성을 가지고 있으므로, 적은 계산량으로 입력 벡터 전체를 양자화 할 수 있다. 또한 Laplacian 분포를 갖는 신호에 최적의 성능을 제공한다.

본 논문에서는 전송 속도를 24kbps로 고정하였고, 코어 코덱의 성능만을 평가하기 위해 모노 입력을 사용하였으며, 전형적인 음악 신호에 대해 AMR-WB+의 수퍼프레임은 대부분 TCX1024 모드로 동작하기 때문에 1024-샘플 TCX 모드의 성능 개선에 초점을 맞추었다.

제안된 PVQ의 성능 평가는 TCX1024 모듈 내 변환계수 양자화기 입출력 신호간의 MSE 값과 TCX1024 모듈의 입출력 신호간의 PEAQ 값에 의해 이루어졌다. 24kbps 전송속도에서, 8차 및 16차 PVQ 방식이 표준 방식인 8차 RE₈ Lattice VQ에 비해 MSE 값이 각각 4% 및 5.7% 개선되었고, PEAQ 값은 각각 3.3% 및 4.7% 개선되었다.

감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구원의 “차세대 AV 서비스를 위한 부호화 기술 연구” 위탁연구 과제로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Thomas R. Fischer, "A Pyramid Vector Quantizer," IEEE Trans. Information Theory, IT-32 (4) 568-583, July 1986.
2. J. D. Gibson and K. Sayood, "Lattice Quantization," Adv. Electron. Phys., 72, 259-331, 1988.
3. S. RAGOT, B. BESSETTE, and R. LEFEBVRE, "Low-complexity multi-rate lattice vector quantization with application to wideband TCX speech coding at 32 kbit/s," Proc. ICASSP, 2004, 2004: 1, 1 - 501-504.
4. 3GPP TS 26.290, "Extended AMR wideband codec: Transcoding Functions."
5. W. A. Finamore, W. A. Pearlina, "Optimal Encoding of Discrete-Time Continuous-Amplitude Memoryless source with Finite Output Alphabets," IEEE Trans. Inform. Theory, IT-26, 144-155, Mar. 1980.
6. T. R. Fischer and R. M. Dicharry, "Vector quantizer design for memoryless Gaussian, gamma, and Laplacian sources," IEEE Trans. Commun., COM-32, nn. 1065-1069, Sep. 1984.

저자 약력

• 박상국 (Sangkuk Park)



2001년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 졸업 (공학사)
 2001년 3월~2005년 7월: 일본 전자 근무
 2005년 8월~현재: 한양대학교
 전자전기 제어계측공학과 대학원 석사 과정
 * 관심 분야: 음성 및 오디오 신호처리

• 박정은 (Jungeun Park)



2006년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 졸업 (공학사)
 2006년 3월~현재: 한양대학교
 전자전기 제어계측공학과 대학원 석사 과정
 * 관심 분야: 음성 및 오디오 신호처리

• 강상원 (Sangwon Kang)

한국음향학회지 제20권 제4호 참조

• 백승권 (Seungkweon Baik)



1999년: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2001년: 한국정보통신대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2005년: 한국정보통신대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 2005년~현재: 한국전자통신연구원 전파방송연구단 방송미디어연구그룹 선임연구원
 * 관심분야: 오디오신호처리, 음원 분리, 객체기반 3차원 오디오 신호처리, MPEG, DMB 등

• 서정일 (Jungil Seo)



1994년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1994년: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1998년~1999년: LG 반도체 근무
 1999년~2000년: 현대 전자 근무
 2005년~현재: 한국전자통신연구원 전파방송연구단 방송미디어연구그룹 선임연구원
 * 관심분야: 음성신호처리, 음성신호처리, 객체기반 3차원 오디오 신호처리, MPEG, DMB 등