

## Whitening Transform 을 이용한 Multiple Description Coding

최광표, 이근영  
성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과  
전화: 031-290-7193

## Multiple Description Coding using Whitening Transform

Kwang-Pyo Choi, Keun-Young Lee  
Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University  
Email: sinawe@ece.skku.ac.kr

## Abstract

In the communications systems with diversity, we are commonly faced on needing of new source coding technique, error resilient coding. The error resilient coding addresses the coding algorithm that has the robustness to unreliability of communications channel. In recent years, many error resilient coding techniques were proposed such as data partitioning, resynchronization, error detection, concealment, reference picture selection and multiple description coding (MDC).

In this paper, we proposed an MDC using whitening transform. The conventional MDC using correlating transform is need additional information to decode the image. But, if an image is transformed using the whitening transform, the additional information is not necessary to transform because the coefficients of whitening transform have uni-variance statistics.

## I. 서론

Error resilient coding 은 다양하고 비신뢰성을 갖춘 통신망에서 통신채널에 대한 강인함을 갖도록 하는 압축 알고리즘이라 할 수 있다. 현재까지 많은 Error Resilient coding 알고리즘이 제안되었는데, 그 중 대표적인 것이 data partitioning, resynchronization, error detection, concealment, reference picture selection, multiple description coding 이 있다. 이 중에 multiple description coding (MDC)은 하나의 부호화기가 N 개의 비트스트림(description)을 만들어서 통신망에 전송을 하게 되는데, 수신단이 전송된 모든 N 개의 비트스트림을 전송 받지 못해도 정상적인 품질이 보장 될 수 있도록 압축 알고리즘을 구성하는 것을 목적으로 한다.

MDC 는 Bell 연구소에서 처음으로 제안되었고, 1981 년 N.S. Jayant 가 음성을 압축할때 짝수번째 샘플과 홀수번째 샘플을 분리하여 각각 다른 채널로 전송하는 것에 대한 연구를 했으며[1], 최근에 V. A.

Vaishampayan 은 scalar 양자화 단계에서 여러 개의 description 을 생성하는 multiple description scalar quantizer (MDSQ) 방법을 제안하였고[2], Y. Wang 은 DCT 계수들간에 선형 변환을 적용, 인위적으로 상관 관계를 만들어 (correlating transform) 두개의 description 을 생성하여 각각 전송하는 방법으로, 한쪽의 description 만 전송이 되어도 correlation 관계로 인해 전송되지 않은 description 을 추정할 수 있는 특징을 가지고 있다[3].

본 논문에서는 MDC 에 whitening transform (WT)을 적용시켜서 현재까지 제시된 correlating transform (CT)의 여러가지 한계를 개선할 수 있는 방법을 제시하였다.

II 장에서는 일반적인 CT 에 대한 대략적인 설명을, III 장에서는 제안된 알고리즘 설명과 IV 장에서는 두가지 알고리즘의 비교 실험과 V 장에서 결론을 서술하였다.

## II. Correlating Transform 을 이용한 MDC 방법

CT 를 이용한 일반적인 MDC 알고리즘[3]에서는 그림 1 과 같이 DCT 계수에 대한 선형 변환을 적용시켜서 두개의 description 으로 분리한 후 각 description 을 서로 다른 통신 채널을 통해서 전송하는 방법이 사용된다.

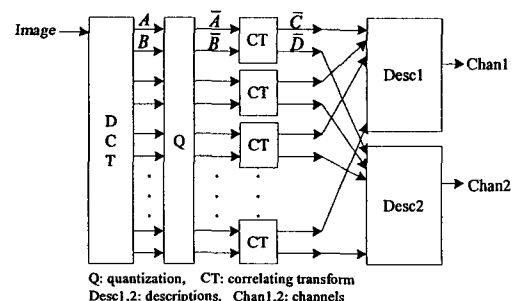


그림 1. 일반적인 CT 를 이용한 MDC

임의의 DCT 계수  $A, B$ 에 대해 양자화한  $\bar{A}, \bar{B}$ 에 식(1)과 같은 2 차원 orthonormal 행렬  $\mathbf{T}$ 를 식(2)와 같이 integer-to-integer CT[4]을 적용하여  $\bar{C}, \bar{D}$ 를 구한 후  $\bar{C}, \bar{D}$ 를 서로 다른 채널에 전송하게 된다.

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \bar{A} &= \left\lfloor \frac{A}{Q} \right\rfloor, \quad \bar{B} = \left\lfloor \frac{B}{Q} \right\rfloor, \\ W &= \bar{B} + \left\lfloor \frac{1+c}{d} \bar{A} \right\rfloor, \\ \bar{D} &= [dW] - \bar{A}, \quad \bar{C} = W - \left\lfloor \frac{1-b}{d} \bar{D} \right\rfloor \end{aligned} \quad (2)$$

만약 두개의 description  $\bar{C}$ 와  $\bar{D}$ 를 수신단에서 모두 받았을 때는 식(3)과 같이  $\hat{A}, \hat{B}$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} W &= \bar{C} + \left\lfloor \frac{1-b}{d} \bar{D} \right\rfloor, \\ \bar{A} &= [dW] - \bar{D}, \quad \bar{B} = W - \left\lfloor \frac{1+c}{d} \bar{A} \right\rfloor, \\ \hat{A} &= \bar{A}Q, \quad \hat{B} = \bar{B}Q \end{aligned} \quad (3)$$

그리고 description  $\bar{C}$  혹은  $\bar{D}$ 만 받았을 경우에는 식(4)와 같이 선형 추정(linear estimation)을 통해서 전송채널의 문제로 받지 못한 description을 추정 한 후, 식(3)을 통해서  $\hat{A}, \hat{B}$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{B}(\bar{C}) &= \frac{ac\sigma_A^2 + bd\sigma_B^2}{a^2\sigma_A^2 + b^2\sigma_B^2} \bar{C}, \\ \hat{C}(\bar{D}) &= \frac{ac\sigma_A^2 + bd\sigma_B^2}{c^2\sigma_A^2 + d^2\sigma_B^2} \bar{D} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $\sigma_A^2$ 과  $\sigma_B^2$ 는  $A$ 와  $B$ 의 분산값이다.

### III. Whitening Transform 을 이용한 MDC 방법

#### 3.1 Whitening Transform 의 영향

위에서 설명된 일반적인 CT를 이용한 MDC 방법은 채널상의 문제로 인해 전송되지 않은 description을 추정하기 위해 수신측에서 원영상의 확률적 특성을

알아야 하는 필수적인 조건이 있다. 하지만, 그 확률적 특성은 영상마다 다르고, 하나의 영상 안에서도 각 블록마다 다르기 때문에 일반적인 CT를 이용한 MDC에서는 영상을 압축하기 전에 영상의 확률적 특성에 따라 블록들을 몇개의 분류로 나누고 그 분류된 블록들에 대한 DCT 계수의 분산과 그들의 순서를 정해서 그 정보를 수신측에 전송을 해주는 방법을 취하고 있다.

본 논문에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해 WT를 압축 알고리즘에 첨가 시켰는데, 다음과 같은 수학적 근거를 바탕으로 한다.

만약 영상의 DCT 계수를  $x$ 라고 한다면 식(5)같이  $x$ 의 분산값을 행렬 분해(decomposition)할 수 있다.

$$C_x = E\Lambda E^H \quad (5)$$

여기서  $C_x$ 는  $x$ 의 분산값이고,  $E^H$ 는 직교선형변환(orthogonal linear transform),  $\Lambda$ 는 고유값(eigenvalue) 행렬이다. 이 수식을 이용하여 특정 주파수의 성분이 있는 신호(colored random signal)  $x$ 는 잡음성의 신호(white random signal)  $y$ 로 식(6)과 같이 변환이 가능하다.

$$y = \Lambda^{-1/2} E^H x \quad (6)$$

$\Lambda^{-1/2} E^H$ 를 whitening transform 행렬이라 하고, 이를 적용한  $y$ 는 식(7)과 같이 정규 분산값(uni-variance)을 갖게 된다.

$$\begin{aligned} C_y &= (\Lambda^{-1/2} E^H) C_x (\Lambda^{-1/2} E^H)^H \\ &= \Lambda^{-1/2} E^H E \Lambda E^H E \Lambda^{-1/2} = I \end{aligned} \quad (7)$$

그러므로,  $x$  대신에  $y$ 를 이용하여 CT를 하게 되면 수신측에 원영상의 확률적 특성을 전송하지 않아도 되는 특성을 갖게 된다.

예를들어, 다음 식(8)같이 CT를 적용할 경우,

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

두개의  $z_1, z_2$  description 중에  $z_1$ 만 수신측에서 받게 되었다면,  $y$ 의 정규 분산값 특성으로 인해 식(9)와 같은 선형 추정을 통해서  $y$ 의 추정값을 원영상의 확률정보 없이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{a^2\sigma_1^2 + b^2\sigma_2^2} \begin{bmatrix} a\sigma_1^2 \\ b\sigma_2^2 \end{bmatrix} z_1 = \frac{1}{a^2 + b^2} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} z_1 \quad (9)$$

이렇게 추정된 값에 inverse WT 를 적용하면 WT 이 이루어지기 전의 값인 원래의 DCT 계수  $x$ 의 추정값을 구할 수 있다.

### 3.2 Whitening Transform 의 근사화

설명된 WT 를 이용하면 수신단이 원영상의 확률 특성을 알고 있을 필요가 없기 때문에 일반적인 CT 만을 이용한 알고리즘보다 좀더 효율적으로 MDC 시스템을 구현할 수 있다.

하지만 위에서 설명한 WT 를 그대로 적용하기에는 논리적으로 문제가 생기는데, inverse WT 이 수신단에서 제대로 이루어지기 위해서는 고유값 행렬을 전송해 줘야 하기 때문이다.

모든 영상 블록의 고유값 행렬을 전송하는 것은 압축을 측면에서 매우 비효율적이기 때문에 위의 WT 를 근사화하여 전송 데이터를 줄일 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 방법은 특히 lossless 압축 방법에서 많이 연구되어 왔는데, 선형예측분석(linear prediction analysis)[5]나 평균과 다운샘플링을 이용한 예측 [6] 등의 알고리즘을 통해서 WT 의 근사화가 가능하다.

본 논문에서는 두번째 방법을 이용하여 그림 2 와 같이 간단하게 WT 를 근사화 하였다.

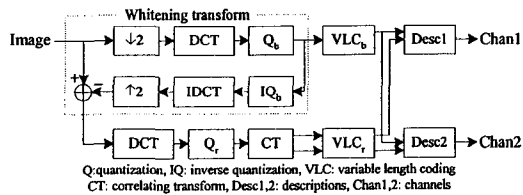


그림 2. WT 를 적용한 MDC

먼저, 원영상이  $2 \times 2$  의 다운샘플링을 한 후에 DCT 변환을 적용한 후 강한 양자화를 시킨 이미지를 다시 원영상의 크기로 복원한다. 이 영상을 가변장 부호화를 통해서 description 1 과 description 2 에 공통적으로 전송을 하고, 원영상과 복원된 영상과의 차분영상을 DCT 변환과 약한 양자화를 한 후에 CT 를 적용한후 각 description 을 가변장부호화를 해서 채널로 전송을 하게 된다.

이와같이 근사화 된 WT 를 통해 얻어진 원영상의 차분영상은 식(7)과 같은 정규 분산값의 확률 특성을 갖지는 않지만, 각 DCT 계수들이 확률적으로 일정한 분산값을 가지게 되므로 식(9)는 성립하게 된다.

## IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 일반적인 CT 와 제안된 알고리즘과의 압축을 대 최대신호대잡음비(PSNR)를 측정하였다. 실험 결과에서 WCT 는 WT 을 적용한 제안된 알고리즘을 나타내며, CT 는 일반적인 CT 를 이용한 알고리즘을 나타낸다. 그리고 실험결과에서 BPP 는 description 1, 2 각각의 픽셀당 비트수를 더한 값을 나타낸다.

실험용 영상은 그레이 lena 영상을 이용하였으며, 그림 2 의  $Q_s$  와 그림 1 에서의  $Q$  에 사용된 양자화 테이블은 JPEG 표준 양자화 테이블을 사용하였고, 그림 2 의  $Q_r$  에는 균일 양자화 방식을 사용하였다.

먼저 두개의 description 을 모두 받았을 경우는 그림 3 과 같은 실험결과를 얻을 수 있었다.

그림 3 에서 볼 수 있듯이 1.0 BPP 에서 약 2dB 정도의 성능 향상을 볼 수 있었다. 그러나, 낮은 비트수 (약 0.5BPP 이하)에서는 제안된 알고리즘의 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그림 4 는 WCT 와 CT 를 통하여 복원된 영상을 나타낸 것이다.

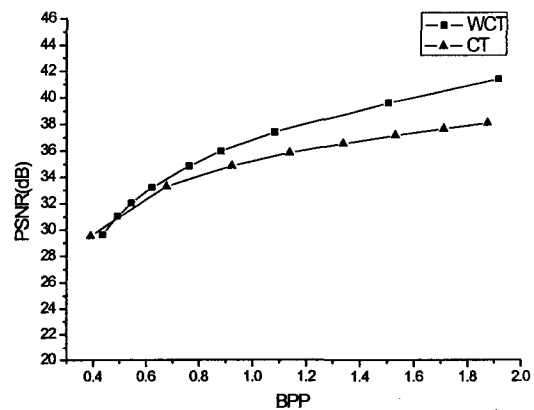


그림 3. 두개의 description 이 전송된 경우



(a) WCT (1.0BPP, 36.84dB) (b) CT (1.05BPP, 35.45dB)

그림 4. 두개의 description 을 이용하여 복원된 영상

그리고 한개의 description 만 전송되었을 경우 그림 5 와 같은 실험결과를 얻었다. PSNR 값은 description 1 만 전송되었을 때의 결과치와 description 2 만 전송되었을 때의 결과치의 평균을 나타낸 것이다.

그림 5 에서 볼 수 있듯이 1.0BPP 에서 약 6dB 의 차이가 발생되며, 낮은 비트수가 될 수록 많은 차이가 생기는 것을 알 수 있다. 제안된 알고리즘은 WT 를 근사화한 예측 방식을 이용하기 때문에 적어도 예측 영상 만큼의 화질은 보장이 되므로, 낮은 비트수로 압축을 한다고 하더라도 적당한 화질을 보장해준다. 그림 6 은 하나의 description 만 받았을 경우의 복원된 영상을 나타낸 것이다.

본 논문에서 제안된 방법이나, 일반적인 방법이 비트수를 많이 올려주더라도 PSNR 이 급격하게

좋아지지 않는 이유는 확률적 정보를 이용한 선행 추정치를 통해 손실된 description 정보를 구하기 때문인 것으로 생각된다.

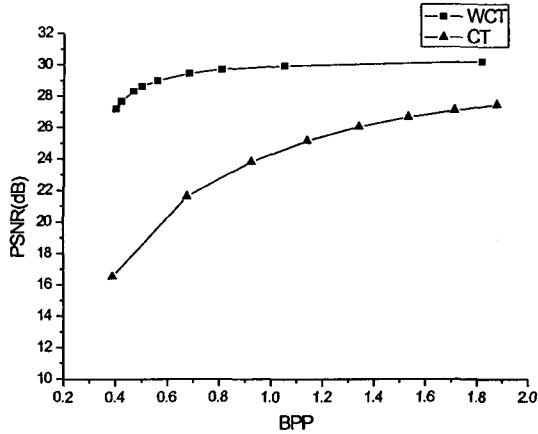


그림 5. 하나의 description 만 전송된 경우



(a) WCT (1.0BPP, 29.72dB) (b) CT (1.05BPP, 23.73dB)

그림 6. 하나의 description 만으로 복원한 영상

## V. 결론

MDC 는 다양하고 비신뢰성을 갖춘 통신망에서 채널상의 애러에 강인성을 주기 위한 압축 알고리즘이다.

본 논문은 WT 를 일반적인 CT 기반의 MDC 에 적용하는 방법으로 현재까지의 CT 방식의 MDC 가 각 블록의 확률적 특성을 전송해 주어야 한다는 필요성을 제거하여, MDC 시스템을 좀더 효율적으로 설계 할 수 있게 하였다.

제안된 알고리즘을 사용하여 영상을 압축 할 경우 실험결과에 따라 수신단에서 두개의 description 을 모두 받았을 경우는 1.0 BPP 에서 약 2dB 의 성능 향상을 나타냈고, 하나의 description 만 받았을 경우는 1.0 BPP 에서 약 6dB 의 성능 향상을 나타내었다.

## Reference

- [1] N.S. Jayant, "Subsampling of a DPCM speech channel to provide two 'self-contained' half-

rate channels," Bell Syst. Tech. J., vol.60, no.4, pp.501-509, April 1981.

- [2] V.A. Vaishampayan, "Design of multiple description scalar quantizers," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.39, pp.821-834, May 1993.

- [3] Y. Wang et al. "Multiple description coding using pairwise correlating transforms," IEEE Trans. Image Proc., vol.10, no.3, pp.351-366, March 2001.

- [4] X. Li, B. Tao, and M.T. Orchard, "On implementing transform from integers to integers," Proc ICIP98, Oct, 1998

- [5] Maragos et al. "Two-Dimensional Linear Prediction and Its Application to Adaptive Predictive Coding of Images," IEEE Trans. ASSP., vol.32, no.6, pp.1213-1229, Dec. 1984.

- [6] K. Knowlton. "Progressive transmission of grey-scale and binary pictures by simple, efficient and lossless encoding schemes," Proceedings of the IEEE, vol.68, no.7, pp.885-896, 1980