

논문 2010-47SP-1-16

Wyner-Ziv 비디오 부호화를 위한 비트배정

(Bit Assignment for Wyner-Ziv Video Coding)

박종빈*, 전병우**

(Jongbin Park and Byeungwoo Jeon)

요약

본 논문에서는 Wyner-Ziv 비디오 부호화를 위한 비트배정 방법을 제안한다. 손실 압축을 하는 분산 비디오 부호화 기술인 Wyner-Ziv 비디오 부호화는 부호화기에서 예측 부호화를 수행하지 않는 구조로 인해 저 복잡도 비디오 부호화의 실현이 가능하여 이동단말, 원격영상압축전송, 초저전력 비디오 부호화 등의 응용에 기대되는 기술이다. 비트율-왜곡 측면에서의 부호화 성능은 이론적으로 기존의 방법과 동일할 수 있음이 증명되었지만 지금까지 연구결과들의 비트율-왜곡 성능은 아직 이론적인 목표치에 많이 미치지 못하고 있다. 또한 H.264/AVC와 같은 기존의 비디오 부호화는 블록별로 서로 다른 양자화 값으로 부호화 될 수 있는 구조이므로 다양한 비트배정 기술이 연구되었으나, Wyner-Ziv 비디오 부호화의 한 가지 방법인 변환 영역에서의 Wyner-Ziv 방법 (Transform Domain Wyner-Ziv; TDWZ)의 경우 영상 전체에 해당하는 정보를 하나의 메시지로 묶어서 부호화 및 복호화 하므로, 영역 별로 차등화 된 비트할당이 어려워 목표로 하는 비트율로 부호화 수행이 어려웠다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 부호화기에서 영역별 영상 특성을 예측하여 할당해야 할 비트량을 자동으로 계산하며, 이렇게 계산한 할당 비트량은 양자화 행렬을 영역별로 적응적으로 선택하는데 사용하도록 하여 전체 영상의 부호화 성능을 향상시킬 수 있게 한다.

Abstract

In this paper, we propose a new bit assignment scheme for Wyner-Ziv video coding. Distributed video coding (DVC) is a new video coding paradigm which enables greatly low complexity encoding because it does not have any motion prediction module at encoder. Therefore, it is very well suited for many applications such as video communication, video surveillance, extremely low power consumption video coding, and other portable applications. Theoretically, the Wyner-Ziv video coding is proved to achieve the same rate-distortion (RD) performance comparable to that of the joint video coding. However, its RD performance has much gap compared to MC-DCT-based video coding such as H.264/AVC. Moreover, Transform Domain Wyner-Ziv (TDWZ) video coding which is a kind of DVC with transform module has difficulty of exact bit assignment because the entire image is treated as a same message. In this paper, we propose a feasible bit assignment algorithm using adaptive quantization matrix selection for the TDWZ video coding. The proposed method can calculate suitable bit amount for each region using the local characteristics of image. Simulation results show that the proposed method can enhance coding performance.

Keywords : Distributed Video Coding, Wyner-Ziv Coding, Quantization, Bit assignment

I. 서론

분산 비디오 부호화 (Distributed video coding;

DVC)기술은 부호화소스별로 독립적인 부호화를 하면서도 결합 복호화를 수행하여 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 개념의 비디오 부호화 패러다임으로써 원리적으로 예측 부호화를 수행하지 않는 구조를 가진다. 이를 통해 저 복잡도 비디오 부호화가 가능하여 이동단말, 원격영상압축전송, 초저전력 비디오 부호화 등의 응용이 기대되는 비디오 부호화 방법이다.

DVC 방법 중에 하나인 Wyner-Ziv 비디오 부호화는 비트율-왜곡 측면에서의 부호화 성능이 이론적으로 기존의 방법과 동일할 수 있다고 증명되었다^[1]. 그러나 아

* 학생회원, ** 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부 (Sungkyunkwan University, School of Information and Communication Engineering)

※ 본 연구는 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2009-F-032-01, 차세대 모바일 영상서비스를 위한 초경량 비디오 부호화 원천기술개발]

접수일자: 2009년12월24일, 수정완료일: 2010년1월12일

직까지는 실제 비트율-왜곡 성능이 목표치에 도달하지 못하고 있다. 또한 H.264/AVC와 같은 기존의 비디오 부호화는 블록별로 부호화 될 수 있는 구조이지만, 현재의 Wyner-Ziv 비디오 부호화 방법들은 영상 전체에 대한 정보를 하나의 메시지 단위로 묶어서 부-복호화를 수행해야 하므로 영역 별로 차등화 된 비트할당이 어려워 세밀한 비트율 조절을 할 수 없었다. 예를 들어, 기존 방법^[2~3]의 경우 저 비트율에서 고 비트율까지 영상을 부호화할 수 있음에도 불구하고 8개의 양자화 행렬이 존재하여 8가지가 아닌 비트율에 대해서는 부호화가 가능하지 않았으며 영상 내 영역의 특성을 고려하지 못하였다.

최근 TDWZ (Transform Domain Wyner-Ziv) 구조에서 영상 내의 영역별로 적응적으로 양자화를 수행하여 비트율-왜곡 성능을 향상시키는 연구^[4~5]가 있었지만 주어진 비트를 효과적으로 할당하는 방법으로서는 한계가 있었다.

본 논문에서는 이러한 기존의 문제들을 해결하기 위해 TDWZ구조^[2~4]에서 적응적인 양자화 방법^[5~6]을 이용하여 Wyner-Ziv 비디오 부호화의 비트를 배정하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 TDWZ구조에서 영상의 특성에 맞는 양자화를 수행하여 제한된 양의 비트를 영역별로 효과적으로 할당하고, 이를 통해 이미 주어진 양자화 행렬 이외의 비트율로도 부호화가 가능하도록 한다. 본 논문의 제안 방법은 아직 Wyner-Ziv 비디오 부호화의 원리적인 어려움과 상관성 모델 및 비트예측 모델의 부정확성으로 인해 기존 MC-DCT 기반 부호화 방법과 같은 정밀도로 목표 비트량을 설정하여 조절할 수는 없었다. 그러나 문제를 단순화하는 가정들을 사용한 제안 방법을 이용하면 기존 TDWZ방법이 생성할 수 있었던 비트율들에서 상대적으로 비트율을 높이거나 낮추는 것이 가능해진다. 또한 이를 통해 비트율-왜곡 성능을 높일 수 있다.

II. 기존 방법

1. 변환영역 DVC방법

변환영역에서 DVC를 수행하는 TDWZ의 일반적인 구조는 그림 1과 같다. 영상들의 집합 $\{..., X_{2t}, X_{2t+1}, X_{2t+2}, \dots\}$ 을 부호화기의 입력으로 하여 압축 전송하고 TDWZ복호화기에서 복원하여 영상들의 집합 $\{..., \hat{X}_{2t},$

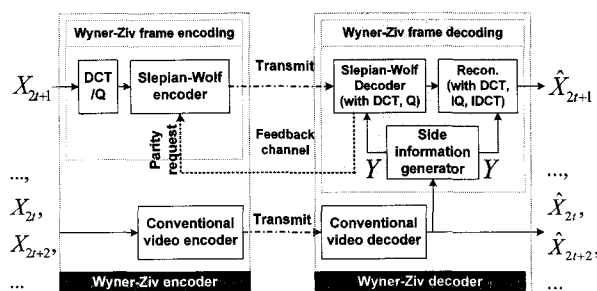


그림 1. TDWZ 구조

Fig. 1. Structure of TDWZ.

$X_{2t+1}, X_{2t+2}, \dots$)을 출력한다. 본 논문에서는 짝수번째 영상은 KEY영상, 홀수번째 영상은 Wyner-Ziv 영상 (WZ 영상)으로 정의한다. 단, KEY 영상들 사이에 여러 장의 WZ 영상을 포함하는 방식도 가능하다.

그림 1에서 KEY 영상들은 JPEG, MPEG-2, H.264/AVC와 같은 기존의 영상 및 비디오 부호화 방법을 사용하여 부호화를 수행한다. 본 논문에서는 부호화 성능 등을 고려하여 H.264/AVC를 사용한다.

그림 1에서 WZ 영상은 KEY영상과는 다른 방식으로 부-복호화를 수행하는데, 이 방법의 가장 두드러진 특징은 서로 독립적으로 부호화를 하지만 상호 협력적인 복호화를 수행하는 것이다. 즉, Wyner-Ziv 부호화기는 시간축상의 주변의 영상들을 참조영상으로 하여 예측 부호화 하는 방식을 사용하지 않는다. 이는 기존의 인트라 (INTRA) 부호화 방법과 유사하지만 인트라 부호화된 압축 정보는 독립적으로 복호화 되는 것에 비해 Wyner-Ziv 복호화기는 주변에 이미 복원한 영상을 이용하여 결합 복호화를 수행하므로 기존의 인트라 부호화 방법보다 비트율-왜곡 관점에서 성능을 향상 시킬 수 있다.

그림 1에서 WZ 부호화기를 보다 상세히 살펴보면 입력한 WZ 영상을 이산 여현 변환 (discrete cosine transform; DCT)과 같은 변환 수행 후 양자화를 적용한다. 이는 화소 값에 바로 양자화를 적용하는 화소 영역 Wyner-Ziv (Pixel Domain Wyner-Ziv; PDWZ) 방법과 다른 점이다. 양자화를 수행한 영상을 Slepian-Wolf 부호화기로 입력하면 출력으로 비트스트림을 생성한다. 일반적으로 Slepian-Wolf 부호화기는 BCH, Reed-Solomon, Turbo, LDPC 코드와 같은 채널 부호화 기술을 사용한다^[1]. 본 논문에서는 비트율 조절이 가능한 LDPCA^[7] 코드를 사용하고 있다. WZ 복호화부는 크게 보조정보 생성부 (Side information

generator), Slepian-Wolf 복호화기, 영상 복원부 (Reconstruction) 로 나누어 생각할 수 있다. 먼저 보조 정보 생성부는 기 복원한 KEY 영상들($\dots, \widehat{X}_{2t}, \widehat{X}_{2t+2}, \dots$)을 이용하여 원본 WZ 영상(X_{2t+1})과 유사할 것으로 예상하는 보조정보 Y 를 생성하는 작업이다. 보조정보 생성 방법의 주요 내용을 요약하면 \widehat{X}_{2t} 를 참조 영상으로 하고 \widehat{X}_{2t+2} 를 현재영상으로 하여 움직임 보상기반 시간축 보간 (Motion compensated temporal interpolation; MCTI) 영상을 X_f , 반대로 \widehat{X}_{2t+2} 를 참조 영상으로 하고 \widehat{X}_{2t} 를 현재영상으로 하여 MCTI한 결과를 X_b 로 정의하면 $Y=(X_f+X_b)/2$ 를 수행하여 보조 정보를 생성한다. 여기서 MCTI는 KEY영상으로 움직임 벡터를 찾은 후에 이를 1/2 크기로 바꾸어서 움직임 보상을 수행하는 것이다. 이와 같은 보조정보 생성 방법의 성능을 개선하기 위해서 KEY영상에 중간값 (median) 필터링을 취하여 부드러운 영상을 만들거나 움직임벡터의 중간값을 선택하여 보상하는 등의 성능 개선 방법들이 제안되었다^[8~11]. 보조정보 생성 과정은 최초의 시간적 해상도를 원하는 시간적 해상도로 바꾸는 기술인 프레임율 변환 기술 (frame-rate up conversion)^[8]과 유사한 과정이지만 프레임율 변환 기술은 주관적 화질에 대한 상당한 고려가 필요한 반면 Wyner-Ziv 부호화를 위한 보조정보 생성기술은 비트율-왜곡 성능 향상을 위해 객관적 화질 향상에 보다 중점을 두고 있다.

Slepian-Wolf 복호화기는 Slepian-Wolf 부호화기를 통해 부호화하여 전송받은 비트스트림과 보조정보 생성부를 통해 생성한 보조정보를 이용하여 복호화를 수행하는데 Slepian-Wolf 부호화기와 대응되는 채널부호화 방법을 사용하며 본 논문에서는 신뢰전과알고리즘[7]을 통해 반복적인 복호화를 수행하는 LDPCA[7]복호화 방법을 사용한다. 이렇게 전송한 메시지는 무손실로 복호화 한다^[1].

영상 복원부는 간단한 복원방법 혹은 확률 모델에 기반을 둔 최적의 복원 방법을 사용할 수 있으며^[12], Slepian-Wolf 복호화 한 양자화 정보와 보조정보를 이용하여 최종 영상 \widehat{X}_{2t+1} 를 복원한다.

2. 기존의 양자화 방법

변환영역에서의 양자화 방법은 주어진 가용 비트를

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 16 & 8 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_2 = \begin{pmatrix} 32 & 8 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_3 = \begin{pmatrix} 16 & 8 & 4 & 0 \\ 8 & 4 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$Q_4 = \begin{pmatrix} 32 & 16 & 8 & 4 \\ 16 & 8 & 4 & 0 \\ 8 & 4 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_5 = \begin{pmatrix} 32 & 16 & 8 & 4 \\ 16 & 8 & 4 & 4 \\ 8 & 4 & 4 & 0 \\ 4 & 4 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_6 = \begin{pmatrix} 64 & 16 & 8 & 8 \\ 16 & 8 & 8 & 4 \\ 8 & 8 & 4 & 4 \\ 8 & 4 & 4 & 0 \end{pmatrix},$$

$$Q_7 = \begin{pmatrix} 64 & 32 & 16 & 8 \\ 32 & 16 & 8 & 4 \\ 16 & 8 & 4 & 4 \\ 8 & 4 & 4 & 0 \end{pmatrix}, Q_8 = \begin{pmatrix} 128 & 64 & 32 & 16 \\ 64 & 32 & 16 & 8 \\ 32 & 16 & 8 & 4 \\ 16 & 8 & 4 & 0 \end{pmatrix}$$

그림 2. 양자화 행렬^[2,3]
Fig. 2 Quantization matrix^[2,3]

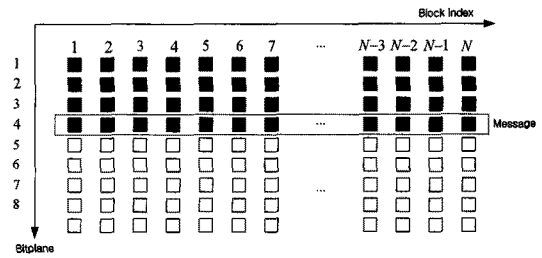


그림 3. 동일 양자화 방법의 예
Fig. 3. Example of same quantization.

변환계수별로 적절히 할당하는 과정이라 할 수 있다. 이는 원본 정보를 손실시키게 되어 왜곡을 발생시키지만 전송해야 하는 비트량을 줄일 수 있는 과정이다. 따라서 비트율을 최대한 줄이면서 왜곡을 최소화 하는 것이 양자화기 설계의 기본 원칙이다. TDWZ 방법의 제안과 함께 양자화 방법도 함께 연구되었다^[2~3].

이러한 방법들은 Slepian-Wolf 부호화를 위해서 변환 계수별로 양자화를 수행한 결과가 정수 형태를 가져야 하므로 $2^M, M \in \{1, 2, 3, \dots\}$ 레벨 양자화를 수행한다.

그림 2는 오프라인 학습 (offline training)을 통해 찾은 8개의 양자화 행렬이다^[2~3]. 8개의 양자화 행렬은 변환 계수별로 양자화 시 사용하는 양자화 구간의 수를 의미하지만 실제 양자화는 변환 계수별로 발생 확률 모델이 다르므로 DC 변환계수는 균일 양자화를 수행하고 AC 변환 계수들은 데드존 (dead zone) 양자화를 수행한다^[3~4].

그림 3은 영상의 모든 영역에 대해서 그림 2의 양자화 행렬을 동일하게 적용하였을 때 Slepian-Wolf 부호화를 위해 메시지를 생성하는 예이다. 임의의 변환계수에 대해서 4개의 비트가 할당되는 경우 각각의 비트플레인에는 Slepian-Wolf 부호화를 통해 전송하기 위한 메

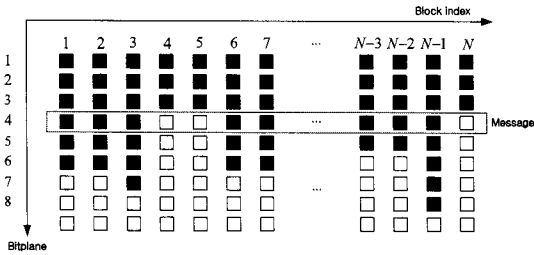


그림 4. 제안한 적응 양자화 방법의 예
Fig. 4. Example of proposed adaptive quantization.

시지가 된다. 그러나 영상 전체에 동일한 강도의 양자화를 적용하는 것은 영상의 특성이 영역별로 큰 차이가 없는 경우에는 합리적이지만 일반적으로 영상특성은 영역별로 다르기 때문에 이런 경우에는 부호화 성능 감소가 발생할 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 영역별로 적응적으로 양자화를 수행하여 부호화 성능을 높이는 방법이 제안 되었다^[5-6].

그림 4는 이에 대한 예를 나타낸다. 그러나 기존의 적응 양자화 방법^[5-6]에서는 영역별로 분산을 계산한 후에 분산값이 실험적으로 획득한 임계값 구간(threshold zone)에 포함되면 8개의 양자화 행렬 중에서 하나씩을 선택하였기 때문에 비트 할당을 위해 다양한 영상의 특성에 적응적이지 못한 한계가 있었다.

II. 제안방법

1. 적응양자화 문제

본 논문에서는 Wyner-Ziv 부호화를 위해 영역별로 적절한 양자화 행렬의 선택을 통해 다양한 비트율로 영상을 부호화 할 수 있게 하기 위해, 다음과 같이 해결해야 하는 문제를 정의한다.

먼저, 양자화 행렬 집합 $Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_M\}$, $M \in \{1, 2, 3, \dots\}$ 가 주어지면, 영상을 N 개의 영역 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$ 로 나누고, 영상의 각각의 영역에 적당한 양자화 행렬을 선택하여 비트를 할당하는 집합 $\{q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(n)}, \dots, q^{(N)}\}$ 를 찾는 것이 문제이다. $q^{(n)}$ 는 영역 x_n 에 대하여 선택된 양자화 행렬을 말한다.

영상의 영역들에 대해서 선택하는 양자화 행렬 $q^{(n)}$ 을 사용했을 때 비트율(bit-rate)과 왜곡(distortion)은 $R_n(q^{(n)})$, $D_n(q^{(n)})$ 로 정의할 수 있으며, 영상 전체에 대한 평균 비트량과 왜곡은 부분 영역들의 평균인 $R = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N R_n$, $D = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N D_n$ 로 나타낼 수 있다. 여기서

R_n 과 D_n 은 n 번째 영역의 비트율과 왜곡을 의미한다. 영상 전체에 대한 목표 비트량을 R_{target} 이라 하면 $R < R_{target}$ 이 되면서 평균 왜곡 D 를 최소화 하는 $\{q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(n)}, \dots, q^{(N)}\}$ 을 구하는 것이 최적의 방법이다.

2. Wyner-Ziv에서의 적응양자화 문제

앞서 정의한 문제는 관련 선행 연구들^[13~15] 및 최신의 영상 압축 방법인 H.264/AVC 부호화부에서 비트율-왜곡 최적화에 의한 움직임 탐색 및 부호화 모드 결정 등에서 찾아 볼 수 있다. 그러나 H.264/AVC와 같은 기존의 부호화 방법에서 수행하는 비트율-왜곡 최적화는 부호화기에서 발생 가능한 모드들에 대해 부호화 및 복호화를 완료하여 비트율과 왜곡을 미리 계산해 본 후에 최적인 모드를 선택하는 방식이다.

그러나 현재의 Wyner-Ziv 부호화 구조에 이러한 비트율-왜곡 최적화 방법을 적용하는 것은 다음과 같은 원인들에 의해 어려움이 있다.

먼저, Wyner-Ziv 부호화기는 원리적으로 부호화기 내에 복호화기를 내장할 수 없다. 이는 부호화기의 복잡도 증가 문제 때문이기도 하지만 Wyner-Ziv 부호화 방법이 부호화기에서 주변 영상을 참조하지 않음을 가정하고 있기 때문이다. 따라서 Wyner-Ziv 부호화기는 부호화와 동시에 비트율과 왜곡을 미리 계산할 수 없어서 비트율-왜곡 최적화 관점에서 적절한 부호화 모드를 결정하거나 양자화 행렬을 선택할 수 없다.

마찬가지로 복호화기에서도 원칙적으로는 비트율-왜곡 최적화를 수행하는 것이 가능하지 않다. 원본 영상을 복호화기에서 이용할 수 없기 때문이다. 하지만 본 논문에서는 이러한 문제를 회피하면서 복호화기에서 비트율-왜곡 최적화와 유사한 과정을 통해 영역별로 서로 다른 양자화 행렬 $\{q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(n)}, \dots, q^{(N)}\}$ 을 할당하는 알고리즘을 제안한다. 이를 통해 기존의 양자화 행렬들을 영상 전체에 대해서 일률적으로 적용해서는 부호화 할 수 없었던 비트율에 대해서도 부호화가 가능하도록 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 다음과 같은 가정을 도입한다.

(가정 1) 왜곡(distortion)은 일반적으로 원본영상과 복원한 영상의 에너지의 차이로 정의되지만 이는 현재의 Wyner-Ziv 구조에서는 가능하지 않으므로 기 복원한 KEY영상들을 이용하여 왜곡을 영역별로 식 1과 같

이 정의하여 사용한다.

$$D(i, j) = \sum_{ii=0}^3 \sum_{jj=0}^3 \left(X_f[i \times 4 + ii][j \times 4 + jj] \right. \\ \left. - X_b[i \times 4 + ii][j \times 4 + jj] \right)^2 \quad (1)$$

여기서 i 는 영상을 4x4 블록으로 나누었을 때 블록의 행에 대한 인덱스 이고 ($0 \leq i < \text{영상높이}/4$), j 는 영상을 4x4 블록으로 나누었을 때 블록의 열에 대한 인덱스 이다 ($0 \leq j < \text{영상넓이}/4$). 그리고 X_f 와 X_b 는 보조정보를 생성할 때 사용되는 KEY 영상으로부터 예측된 영상들이다.

(가정 2) 정확한 비트율을 계산하기 위해서는 영상을 모두 복원한 후에 실제 소요된 비트율을 산출해야 하지만 현재의 Wyner-Ziv 구조에서는 가능하지 않으므로 선택된 양자화 행렬에 따라 동시에 확정비트가 소요된다고 가정한다. 예를 들면 양자화 행렬 1을 선택하면 영역 당 최대 4+3+3=10비트, 양자화 행렬 8을 선택하면 영역 당 최대 63비트가 소요된다고 가정하는 것이다. 그림 5는 각각의 양자화 행렬들에 대해 변환 계수별로 할당되는 비트량을 의미하고, 식 2는 영상의 각 영역별로 해당 양자화 행렬을 사용함으로써 인해서 영역마다 소요되는 최대의 비트량을 나타낸다.

$$M_1 = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, M_2 = \begin{pmatrix} 5 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, M_3 = \begin{pmatrix} 5 & 3 & 2 & 0 \\ 3 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\ M_4 = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 3 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 0 \\ 3 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, M_5 = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 3 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}, M_6 = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 3 & 3 \\ 4 & 3 & 3 & 2 \\ 3 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 2 & 2 & 0 \end{pmatrix}, \\ M_7 = \begin{pmatrix} 6 & 5 & 4 & 3 \\ 5 & 4 & 3 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 2 & 2 & 0 \end{pmatrix}, M_8 = \begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 \\ 6 & 5 & 4 & 3 \\ 5 & 4 & 3 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

그림 5. 양자화 행렬별로 할당되는 비트량
Fig. 5 Bit amount for each quantization matrix.

$$R_{M_1} \leq 10, R_{M_2} \leq 11, R_{M_3} \leq 17, R_{M_4} \leq 30, \\ R_{M_5} \leq 36, R_{M_6} \leq 45, R_{M_7} \leq 50, R_{M_8} \leq 63 \quad (2)$$

3. 제안하는 Wyner-Ziv에서의 적응양자화 방법
제안 알고리즘을 기술하기 위해 먼저 그림 6과 같이

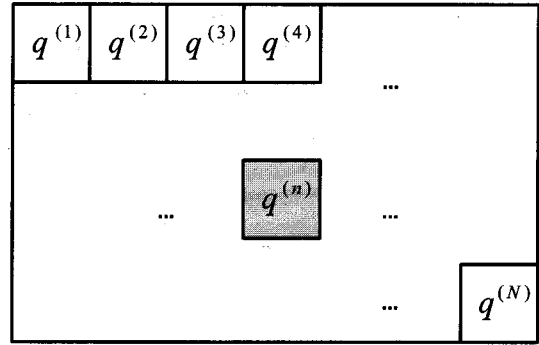


그림 6. 양자화 행렬의 할당
Fig. 6. Assignment of quantization matrixes

영상을 N 개의 부분 영역들로 나눈다. 본 논문에서는 QCIF (176x144)영상을 4x4 블록 크기로 나누기 때문에 $N=1584$ 이다.

나뉘진 영역들은 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$ 로 표현하며, M 개로 구성된 양자화 행렬 집합 $Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_M\}$ 을 가지고서 영상 각각의 영역에 적당한 양자화 행렬 $\{q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(n)}, \dots, q^{(N)}\}$ 을 선택하여 블록별로 비트를 할당할 것이다. 본 논문에서는 이미 주어진 양자화 행렬의 종류가 8개 이므로 $M=8$ 이다.

양자화 행렬을 영역별로 선택하는 구체적인 제안 알고리즘은 다음과 같다.

(단계 1) 영상 전체에 대해 사용할 양자화 행렬 Q_i 를 결정 한다 $i \in (1, 2, 3, \dots, 8)$. 이 값을 영상 전체에 사용하면 기존 방식의 양자화 방법과 동일하다.

(단계 2) Q_i 를 기초로 블록별로 사용하고자 하는 목표 비트량 R 을 정한다. 식 2에서 표현한 기존의 8개의 양자화 행렬 8개에 대한 평균적인 최대 할당 비트량을 $R_{\max}(Q_i)$ 로 정의하면 $R_{\max}(Q_i) = \{10, 11, 17, 30, 36, 45, 50, 63\}$ 이다. 그리고 영역별로 사용할 수 있는 목표 비트량 R 을 $R_{\max}(Q_{i-1}) < R \leq R_{\max}(Q_i)$ 로 한정하도록 한다.

예를 들어 영상의 모든 영역에 대해서 3번째 양자화 행렬(즉, $i = 3$)을 사용한다면 평균적인 최대 할당 비트량은 $R_{\max}(Q_3) = 17$ 이고 각 영역에 대해 사용할 수 있는 목표 비트량은 $11 < R \leq 17$ 을 만족하는 값들 중에 하나이다.

(단계 3) 이전 단계에서 정한 목표 비트량 R 과 영역

별 분산 정보와 식 3을 이용하여 영역별로 사용할 비트량 R_n 을 계산한다.

$$R_n = R + \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma_{\theta_n}^2}{\left(\prod_{i=1}^N (\sigma_{\theta_i}^2) \right)^{\frac{1}{N}}} \quad (3)$$

식 3에 대한 유도는 Saywood의 문헌[16]을 참고할 수 있으며 참고문헌[16]에서는 식 3을 변환 계수의 주파수 영역별로 비트를 할당하기 위해 사용하였으나 본 논문에서는 영상의 블록별로 비트를 할당하기 위해 사용한다. 따라서 $\sigma_{\theta_n}^2$ 은 보조정보를 생성할 때 사용되는 X_f 와 X_b 의 차이 영상을 N 개의 영역으로 나눈 후에 n 번째 영역에 대해 계산한 분산값을 의미한다. 위식을 다시 표현하면 식 4와 같다.

$$R_n = R + \frac{1}{2} \log_2 \sigma_{\theta_n}^2 - \frac{1}{2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_2 \sigma_{\theta_i}^2 \quad (4)$$

식 4에서 $\frac{1}{2} \log_2 \sigma_{\theta_n}^2$ 은 현재 계산하고자 하는 n 번째 영역의 예측 비트량을 의미하고, $\frac{1}{2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_2 \sigma_{\theta_i}^2$ 은 영상 전 영역에서 평균적으로 요구하는 비트량을 의미한다. 따라서 $\frac{1}{2} \log_2 \sigma_{\theta_n}^2 - \frac{1}{2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_2 \sigma_{\theta_i}^2$ 이 양수이면 n 번째 영역에서 평균값 보다 많은 비트량을 요구하는 것이고 음수이면 해당 영역에서 평균보다 적은 비트량을 요구하며, 0 이면 평균과 동일하게 요구하는 것이다. 이 값을 R 에 더하면 R_n 이 결정된다. 영역별로 할당된 R_n 의 평균은 $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N R_n = R$ 이 되므로 식 3을 사용하여 비트를 할당하면 전체 영상에 대해 목표 비트량 R 을 할당할 수 있다.

(단계 4) 식 3에 의해 결정한 영역별로 할당된 비트량 R_n 은 정수만으로는 표현이 되지 않으며 수식의 특성상 음수가 발생할 수 있어서 음수 발생시 0으로 수정하는 작업을 거치고 반올림 과정을 통해 실수를 정수로 수정하여 R_n' 을 출력한다.

(단계 5) 최종적으로는 영역별로 기준에 가지고 있는 8개의 양자화 행렬 중에서 1 개를 사용할 수 있도록 선

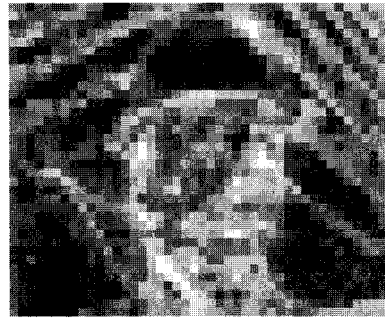


그림 7. 알고리즘 단계 4의 결과
Fig. 7. Result of algorithm step 4



그림 8. 알고리즘 단계 5의 결과
Fig. 8. Result of algorithm step 5.

택해야 하므로 R_n' 은 $\{10, 11, 17, 30, 36, 45, 50, 63\}$ 중에서 유클리디언 거리가 가장 가까운 값의 인덱스 m 을 양자화 행렬의 인덱스로 정하여 q_m 을 찾는다. 이 과정을 모든 영역에 대해서 수행하여 $\{q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(n)}, \dots, q^{(N)}\}$ 을 계산한다. 단, 본 논문에서는 최초에 정한 Q_i 보다 q_m 이 크면 ($Q_i \leq q_m$), $q_m = Q_i$ 로 정하는 과정을 수행한다. 이는 q_m 의 발생 범위를 줄여서 영역별로 q_m 을 알려주기 위해서 추가로 소요되는 비트량을 줄이기 위함이다.

제안한 알고리즘을 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

(단계 1) 영상 전체에 적용할 양자화 행렬을 Q_3 으로 결정한다.

(단계 2) 이전 단계에서 결정한 Q_3 으로 인해 $R_{\max}(Q_3) = 17$ 이 되며, 이를 기초로 R 을 정해야 하는데 ($R_{\max}(Q_2) = 11$) < $R \leq (R_{\max}(Q_3) = 17)$ 이므로 11과 17 사이의 값인 $R=16.24$ 를 선택하는 것이 가능하다.

(단계 3) 식 3을 전체 영역에 대해서 계산해야 하지

만 이해를 쉽게 하기 위해 영상이 1개의 영역으로만 구성되었다고 가정하면 (영상 전체 = 영역 1개) $R_{n=1} = R=16.24$ 가 된다.

(단계 4) R_n 이 음수이면 0으로 만들고 실수이면 정수로 만드는 과정을 수행하여 $R_{n=1}'=16$ 이 된다.

(단계 5) $R_{n=1}'=16$ 은 {10, 11, 17, 30, 36, 45, 50, 63} 중에서 17과 유클리디언 거리가 가장 가까우므로 $m=3$ 이 계산되고 영상이 한개의 블록으로만 되어 있다고 가정하였으므로 $q^{(1)}=q_3$ 이 된다.

위 예에서 최종 단계에 이르렀을 때 알고리즘이 선택한 것은 3번째 양자화 행렬로써 일반적인 상식과도 일치하는 결과이다.

제안한 알고리즘을 $Q_7, R=40$ 으로 하여 Foreman 영상에 적용하였을 때 알고리즘의 단계 4까지 거친 후에 영역별로 계산된 R_n' 의 값을 영상으로 그려보면 그림 7과 같다. 밝을수록 많은 비트를 할당해야 하고 어두울수록 적은 비트를 할당해야함을 의미한다.

그리고 알고리즘 단계 5를 거치면 8개의 양자화 행렬 중에서 한 가지를 선택해야 하므로 2가지 양자화 행렬만이 선택됨으로 인해 그림 8과 같이 흑백 영상으로 표현된다. 흰색은 7번째 양자화 행렬, 검은색은 6번째 양자화행렬을 의미한다. 영상의 모서리 부분과 같이 복잡도가 높은 부분에서는 전송해야할 정보량이 많다고 판단하여 많은 비트를 할당하고 상대적으로 평탄한 부분에 대해서는 상대적으로 적은 비트가 할당되고 있음을 알 수 있다.

4. 제안 방법의 추가적인 비트 요구량

적용양자화 방법은 영역별로 서로 다른 양자화를 수행하기 때문에 이를 위해 추가적인 비트를 소모한다. 적용양자화를 수행하기 위해서 복호화기는 부호화기로 되먹임 (feedback) 채널을 통하여 {양자화 모드}, {영상 전체 양자화 값}, {영역별 적응 양자화 값} 순서로 전송한다. 여기서 영역별로 적응 양자화 강도를 알려주기 위한 정보는 적응 양자화에 의한 비트배정을 위해서 추가적으로 발생하는 비트로써 본 논문에서는 이를 저감하는 방법을 제안한다.

가. 영상별 추가 비트량

{영역별 적응 양자화 값}을 제외한 영상별로 필요한 추가 비트량은 다음과 같이 {양자화 모드}와 {영상 전체 양자화 값}을 전송하기 위해 필요하다.

{양자화 모드}는 프레임별로 적응양자화의 수행 유무를 알려주기 위한 것으로써 그림 9와 같이 2가지 모드인 $MODE_0, MODE_1$ 로 구분한다. 이를 위해 영상 한장에 대해서 1비트를 추가로 소요한다.

{영상 전체 양자화 값}은 $MODE_0, MODE_1$ 에 다함께 필요하며 8가지 양자화 행렬을 구분하기 위해 영상당 3비트를 소요한다.

	Initial State	$q_i^{(1)}$	$q_i^{(2)}$	$q_i^{(3)}$...	$q_i^{(N)}$
q_1	○	○	○	○	...	○
q_2	○	○	○	○	...	○
q_3	○	○	○	○	...	○
q_4	○	○	○	○	...	○
$MODE_0$	q_5	○	○	○	...	○
	q_6	○	○	○	...	○
$MODE_1$	q_7	○	○	○	...	○
	q_8	○	○	○	...	○

그림 9. 적응양자화 모드의 예 ($MODE_0, MODE_1$)
Fig. 9. Example of adaptive quantization mode ($MODE_0, MODE_1$)

나. 영역별 추가 비트량

영역별로 적응적인 양자화를 위해서는 {영역별 적응 양자화 값}을 전송해야 한다. {영역별 적응 양자화 값}의 경우 모드별로 발생 비트량의 차이가 있는데 $MODE_0$ 에서는 {영상 전체 양자화 값}이 모든 영상에 대해서 적용되기 때문에 추가 비트는 0이다. 그러나 $MODE_1$ 에서는 영역별로 양자화 행렬이 변할 수 있기 때문에 이를 위한 모드 정보를 전송하기 위해서는 엔트로피 부호화를 하지 않는 경우에 최대 $3*N$ 비트가 추가로 발생한다. 그러나 실험 결과 Q_i 가 결정되었을 때 제안한 알고리즘을 사용하면 실험적으로 Q_{i-1}, Q_i, Q_{i+1} 이 발생한다. 이를 부호화하기 위해서는 $2*N$ 비트가 소요되는데 이를 절반으로 줄이기 위해서 제안 알고리즘에서는 최초 정한 Q_i 보다 $q^{(n)}$ 이 크면 ($Q_i \leq q^{(n)}$), $q^{(n)}=Q_i$ 로 재정의 하도록 하여 Q_{i-1}, Q_i 으로만 $MODE_1$ 에서 적응적으로 사용할 수 있도록 한다.

따라서 한 영상 마다 추가되는 총 비트량을 도식화하여 기술하면 그림 10과 같다. 예를 들어 $MODE_1$ 에 대

	Initial State	$q_i^{(1)}$	$q_i^{(2)}$	$q_i^{(3)}$...	$q_i^{(N)}$
q_1	○	○	○	○	...	○
q_2	○	○	○	○	...	○
q_3	○	○	○	○	...	○
q_4	○	○	○	○	...	○
q_5	○	○	○	○	...	○
q_6	○	●	○	○	...	○
MODE 1 q_7	○	○	●	●	...	●
q_8	○	○	○	○	...	○

그림 10. MODE₁의 부호화 시의 예
Fig. 10. Example of MODE₁ coding

해서 $\{q^{(1)}, q^{(2)}, q^{(3)}, \dots, q^{(N)}\} = \{q_6, q_7, q_7, \dots, q_7\}$ 인 경우 그림 10과 같이 양자화 행렬이 영역별로 변화하며 적응 양자화를 위해 소요되는 비트는 엔트로피 부호화를 하지 않는 경우 모드를 위해 1비트 + 영상 전체 양자화 행렬 3비트 + 영역별로 N 비트가 필요하여 총 $N+4$ 비트가 소요된다.

N 개의 영역에 대해서 각각의 양자화 행렬을 알려주기 위해서는 비트열 $\{1,0,0,\dots,1,0\}$ 과 같이 정보를 표현할 수 있으며 이를 run-length 부호화와 허프만 부호화를 결합하여 부호화 및 전송할 경우 추가로 소요되는 비트량을 줄일 수 있다.

III. 실험 결과

제안 방법의 성능 확인을 위한 실험은 QCIF 공간 해상도 및 15Hz 시간해상도를 갖는 Foreman, Hall monitor, Coastguard, Soccer 영상에 대해서 수행했다. 부호화한 총 영상의 수는 149프레임이며 짝수번째 KEY 영상 75프레임들은 H.264/AVC로 부호화 하였으며, 홀수번째 WZ 영상 74프레임들은 Wyner-Ziv 부호화를 수행하였다.

성능 분석을 위해 총 4가지 방법으로 각각의 영상에 대해 실험하였는데 BA 미적용 (Real), BA 적용 (Real), BA 미적용 (Est.), BA 적용 (Est.)으로 표기하였다. 여기서 BA는 Bit Assignment를 의미한다. 즉, BA 미적용은 제안하는 비트배정을 하지 않는 경우, BA 적용은 제안하는 비트배정을 하는 경우를 의미하고 (Real)은 채널 잡음 모델링을 실제 원본 정보를 이용하여 이상적으로 수행하는 경우에, (Est.)는 채널 잡음 모델링을 복호화한 KEY 영상들로부터 추측하여 사용하는 경우를 의미한다. 구체적으로 실제 채널 잡음 모델링(Real

channel noise modeling)은 원본 WZ 영상 X_{2t+1} 과 WZ 영상과 유사하게 예측된 보조정보 Y 사이의 상관성을 계산한 것으로써 복호화기에서 원본 X_{2t+1} 를 이용할 수 있다고 가정하는 경우 상관성을 계산하는 방식이다. 반면 현실적인 비디오 부호화를 위해서 앞서 MCTI를 수행하면서 생성한 X_f 와 X_b 사이의 상관성이 X_{2t+1} 와 Y 사이의 상관성과 유사할 것으로 가정하여 이를 이용하는 방식이 추측한 채널 잡음 모델링 (Estimated channel noise modeling)이다^[17].

실험에서 비트배정을 하지 않는 경우에는 기존의 8개의 양자화 행렬을 영상 전체에 적용하여 각각 부호화 하였으며, 본 논문의 제안 방법인 비트배정 기술을 실험하기 위해서는 앞서 알고리즘에서 기술한 목표 비트량 R 을 10에서 62까지 변화시키면서 실험을 수행했다. 최종적으로 복원한 영상의 왜곡의 정도는 식 5와 같이 객관적 화질 평가 방법인 PSNR (Peak signal to noise ratio)을 사용하였다.

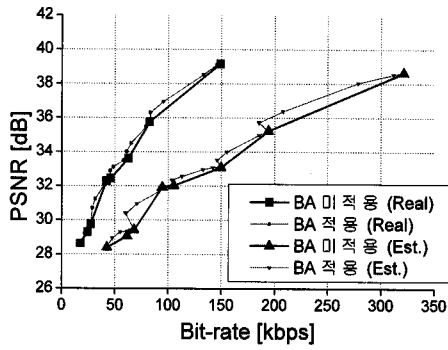
$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right)$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \| I(i,j) - \tilde{I}(i,j) \|^2 \quad (5)$$

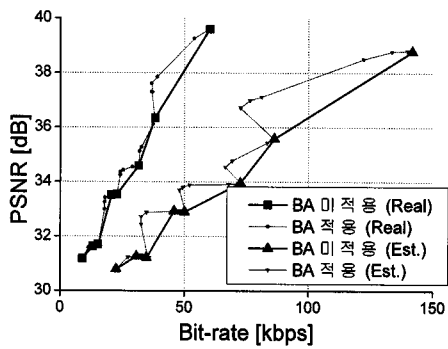
식 5는 픽셀당 8비트 영상인 경우를 가정하며 m 과 n 은 각각 영상의 행과 열의 크기이고 $I(i,j)$ 는 원본 영상 $\tilde{I}(i,j)$ 는 최종 복원 영상을 의미한다.

그림 11은 제안 방법의 비트율-왜곡 성능 그래프이다. 제안하는 알고리즘이 주어진 양자화 행렬 Q_i 에 대해서 Q_i 와 Q_{i-1} 행렬만을 적응적으로 선택할 수 있게 하는 제약을 두었음에도 실험에 사용한 모든 영상에 대해서 제안 방법은 비트율-왜곡 성능이 기존의 방법보다 같거나 좋아졌음을 확인할 수 있다. 그리고 이러한 성능 이득은 이상적인 실제 채널 잡음 모델링 결과에 비해 현실적인 Wyner-Ziv 부호화를 위해 사용하는 추정된 잡음 모델링을 사용하는 실험에서 크게 나타났으며 Soccer와 같은 동적인 영상보다는 Hall monitor와 같은 정적인 영상에서 상대적으로 좋은 성능을 보였다. 그리고 기존에는 8개의 양자화 행렬이 존재하였기 때문에 8가지 비트율에 대해서만 부호화가 가능하였으나 제안 방법을 통해 보다 많은 비트율에 대해서도 부호화가 가능하게 되었다.

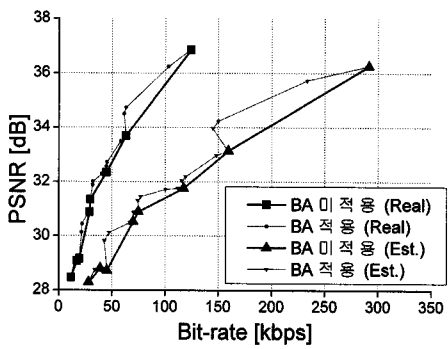
그러나 목표 비트량 파라미터 R 이 선형적으로 변하



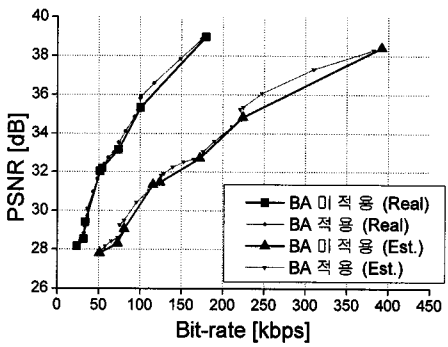
(a) Foreman



(b) Hall Monitor



(c) Coastguard



(d) Soccer

그림 11. 제안 방법의 비트율-왜곡 성능

Fig. 11. Rate-distortion performance of proposed method.

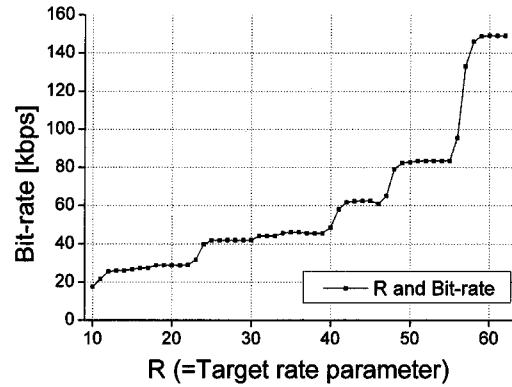


그림 12. 목표 비트량 파라미터 R 과 실제 비트율 사이의 관계

Fig. 12. Relation between target rate parameter R and actual bit-rate

라도 실제로 발생하는 비트량은 선형적이 아님을 알 수 있는데 이는 그림 12와 같이 목표 비트량 파라미터 R 과 실제 발생 비트율 사이에 그래프를 통해 확인할 수 있다. 그림 12는 Foreman WZ영상의 첫 번째 영상을 이상적인 실제 채널 잡음 모델링을 수행하여 획득하였다. 이는 비트율 조절 관점에서는 부정적인 결과로 생각할 수 있으나 본 논문에서는 영상 전체에 주어진 양자화 행렬 Q_i 에 대해서 Q_i 와 Q_{i-1} 만이 영상에 적응적으로 선택되도록 하고 있기 때문에 양자화 행렬을 적응적으로 선택하는 범위를 늘이도록 알고리즘을 수정한다면 더욱 세밀한 조절 형태가 나타날 것을 예상할 수 있다. 그리고 목표 비트량 파라미터 R 이 실제 발생 비트량과 비례할 것이라는 가정이 있었으나 이는 영상의 특성에 영향을 받아 변화될 수 있는 것이므로 추가적인 연구를 통해 보다 정확한 통계적 모델을 찾는 노력이 필요하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Wyner-Ziv 비디오 부호화를 위해 적응양자화 방법을 이용한 비트배정 방법을 제안하였다. Wyner-Ziv 비디오 부호화기의 원리적인 특징으로 인해 기존의 비트율-왜곡 최적화 방법을 그대로 적용할 수 없기 때문에 본 논문에서는 TDWZ구조에서 기 복원한 KEY영상들을 이용하여 왜곡을 예측하고 양자화 행렬에 할당되는 비트를 발생 비트율로 가정하여 영상의 영역마다 서로 다른 양자화 행렬을 선택하는 알고리

더

음을 제안하였다. 또한 적응양자화의 수행 유무를 결정할 수 있도록 새로운 부호화 모드를 추가하였으며 이에 따라 추가로 소요되는 비트를 줄이기 위한 방법도 제시하였다. 실험결과는 Wyner-Ziv 비디오 부호화의 비트율 조절뿐만 아니라 비트율-왜곡 성능에서도 좋은 성능이 있음을 보여주었다. 특히 Hall monitor와 같은 움직임이 적은 영상에서는 비트율-왜곡 성능 향상이 상대적으로 크게 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] B. Girod, A. Aaron, S. Rane and D. Rebollo-Monedero, "Distributed Video Coding", Proceedings of the IEEE, pp. 71~83, 2005.
- [2] A. Aaron, S. Rane, E. Setton, and B. Girod, "Transform domain Wyner-Ziv codec for video," Proc. Visual Communications and Image Processing, VCIP2004, Jan. 2004.
- [3] C. Brites, J. Ascenso, F. Pereira, "Improving transform domain Wyner-Ziv video coding performance," IEEE International Conference on Acoustics, pp. 525-528, May 2006.
- [4] X. Artigas, J. Ascenso, M. Dalai, S. Klomp, D. Kubasov, M. Oualet, "The discover codec: architecture, techniques and evaluation," Picture Coding Symposium, 2007.
- [5] 박종빈, 심혁재, 전병우, "블록 적응 양자화를 이용한 Wyner-Ziv 비디오 코딩", 2008 신호처리 합동 학술대회, 제21권 제 1호, pp.37, 2008.
- [6] J. Park, B. Jeon, D. Wang, and A. Vincent, "Wyner-Ziv Video Coding with Region Adaptive Quantization and Progressive Channel Noise Modeling", IEEE Broadband Multimedia Systems and Broadcasting 2009, pp. 1-6, May 2009.
- [7] D. Varodayan, A. Aaron, and B. Girod, "Rate-Adaptive Codes for Distributed Source Coding", EURASIP Signal Processing Journal Special Issue on Distributed Source Coding 86(11), pp. 3123-3130, 2006.
- [8] P. Blanchfield, D. Wang, A. Vincent, F. Speranza, R. Renaud, "Advanced Frame Rate Conversion and Performance Evaluation," SMPTE Motion Imaging Journal, pp. 153-159, April 2006.
- [9] B. Ko, H. Shim, B. Jeon, "Wyner-Ziv Coding with Spatio-Temporal Refinement Based on Successive Turbo Decoding," IEEE International Conference on Multimedia & Expo, pp. 785-788, 2008.
- [10] 고봉혁, 심혁재, 전병우, "공간적 유사성과 심볼단위 오류정정 채널 코드를 이용한 경량화 비디오 부호화 방법", 방송공학회 논문지 113권 2호, pp. 188-199, 2008년 3월.
- [11] 고봉혁, 심혁재, 전병우, "센서네트워크상의 응용을 위한 터보 복호화 오류정정 기법을 이용한 경량화 비디오 부호화 방법", 대한전자공학회 논문지 제 45 권 SP 편 제 1 호, pp. 11-21, 2008년 1월.
- [12] D. Kubasov, J. Nayak, C. Guillemot, "Optimal Reconstruction in Wyner-Ziv Video Coding with Multiple Side Information", IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, Crete, Greece, pp. 183-186, October 2007.
- [13] A. Ortega, K. Ramchandran, M. Vetterli, "Optimal trellis-based buffered compression and fast approximations", IEEE Transactions on Image Processing, pp. 26-40, Jan. 1994.
- [14] A. Ortega, K. Ramchandran, "Forward-adaptive quantization with optimal overhead cost for image and video coding with applications to MPEG video coders", In SPIE Digital Video Compression, Feb. 1995.
- [15] W. Lee, J. Ra, "Fast algorithm for optimal bit allocation in a rate-distortion sense", Electronics Letters, pp. 1871-1873, Sep 1996.
- [16] Khalid Sayood, "Introduction to data compression", Morgan Kaufmann, pp.389-390, 2000.
- [17] C. Brites, and F. Pereira, "Correlation noise modeling for efficient pixel and transform domain Wyner-Ziv video coding", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, in press.

저 자 소 개



박 종 빈(학생회원)

2004년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사).

2006년 성균관대학교 전자전기공학과 졸업(석사).

2006년 ~ 현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정.

<주관심분야 : 분산비디오부호화, 다시점비디오부호화, 영상인식, 신호처리>



전 병 우(정회원)

1985년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사).

1987년 서울대학교 전자공학과 졸업(석사).

1992년 Purdue Univ, School of Elec. 졸업(공학박사).

1993년 ~ 1997년 삼성전자 신호처리연구소 선임/수석연구원

1997년 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

<주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 영상인식, 신호처리>