

논문 2010-47SP-6-8

적응적 경판정 출력을 이용한 고속 분산 비디오 복호화 기술

(Adaptive Hard Decision Aided Fast Decoding Method in Distributed Video Coding)

오양근*, 심혁재*, 전병우**

(Ryanggeun Oh, Hiuk Jae Shim, and Byeungwoo Jeon)

요약

최근 부호화기의 성능 및 전력이 제한된 환경을 위한 비디오 부호화 기술로 분산 비디오 부호화 기술(DVC : Distributed Video Coding)이 각광받고 있으며, Wyner-Ziv (WZ) 부호화 기술은 이의 대표적인 기술이다. WZ 부호화기는 기존 인트라 부호화 기술과 채널 부호를 사용하여 각각 키(key)프레임과 WZ 프레임을 독립적으로 부호화한다. WZ 부호화기는 프레임 간 시간적 유사도를 기반으로, 복호화 된 키 프레임으로부터 보조 정보(Side Information)를 생성한다. 보조 정보는 가상의 채널 잡음이 존재하는 WZ 프레임으로 간주되고, 가상의 채널 잡음은 채널 부호 복호화 과정을 통해 제거된다. 따라서 WZ 부호화 기술의 성능은 채널 부호의 성능에 크게 좌우된다. 현존하는 채널 부호 중 LPDC 채널 부호와 Turbo 채널 부호는 강력한 에러 정정 능력을 가지고 있으며, 확률적인 계산을 기반으로 반복적인 복호화 알고리즘을 수행하는 것이 특징이다. 하지만 반복적인 복호화 과정은 상당히 소모적인 과정으로 WZ 부호화기의 복잡도를 증가시킨다. 실제 WZ 부호화 기술에 LDPCA 채널 부호를 사용한 경우, WZ 부호화기 전체 복잡도에서 채널 부호화 과정이 차지하는 비율은 평균 60%에 이른다. 채널 부호화 과정 복잡도의 감소를 위해 채널 부호 분야에서 제안되었던 HDA(Hard Decision Aided) 방법을 LDPCA 채널 부호에 적용할 경우, 채널 부호화 과정의 복잡도는 상당히 줄어든다. 하지만 HDA 방법 적용을 위해 설정할 경계치에 따라 올 왜곡 측면에서 상당한 성능 저하가 있을 수 있으며, 적정 경계치는 영상마다 각각 다르다. 이에 본 논문에서는 영상의 특성에 따라 경계치가 설정되는 적응적 HDA 방법을 제안한다. 제안 방법은 적정 올 왜곡 성능을 유지하며, 채널 부호화 과정 및 WZ 부호화 과정에서 각각 약 62%, 32%의 시간 절감 성능을 보인다.

Abstract

Recently distributed video coding (DVC) is spotlighted for the environment which has restriction in computing resource at encoder. Wyner-Ziv (WZ) coding is a representative scheme of DVC. The WZ encoder independently encodes key frame and WZ frame respectively by conventional intra coding and channel code. WZ decoder generates side information from reconstructed two key frames ($t-1$, $t+1$) based on temporal correlation. The side information is regarded as a noisy version of original WZ frame. Virtual channel noise can be removed by channel decoding process. So the performance of WZ coding greatly depends on the performance of channel code. Among existing channel codes, Turbo code and LDPC code have the most powerful error correction capability. These channel codes use stochastically iterative decoding process. However the iterative decoding process is quite time-consuming, so complexity of WZ decoder is considerably increased. Analysis of the complexity of LPDCA with real video data shows that the portion of complexity of LDPCA decoding is higher than 60% in total WZ decoding complexity. Using the HDA (Hard Decision Aided) method proposed in channel code area, channel decoding complexity can be much reduced. But considerable RD performance loss is possible according to different thresholds and its proper value is different for each sequence. In this paper, we propose an adaptive HDA method which sets up a proper threshold according to sequence. The proposed method shows about 62% and 32% of time saving, respectively in LDPCA and WZ decoding process, while RD performance is not that decreased.

Keywords : DVC, Wyner-Ziv, Fast decoding, HDA method

* 학생회원, ** 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부

(School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업 연구임 (No. 20100008030)

접수일자: 2010년5월17일, 수정완료일: 2010년8월24일

I. 서 론

기존의 비디오 부호화 기술 (MPEG2/4, H.26x)은 움직임 예측 및 보상(ME/MC) 등 연산 양이 많은 과정을 부호화기가 담당하기 때문에 부호화기의 복잡도가 복호화기에 비해 상대적으로 매우 높다. 따라서 기존의 비디오 부호화 기술은 부호화기에 허용된 자원은 풍부하지만 상대적으로 복호화기에 허용된 자원은 제한되는 특징을 가지는 환경에 적합하며, 전통적인 단방향 방송 환경이 이에 대한 대표적이라 할 수 있다. 하지만 최근에는 기존의 단방향의 방송 환경 이외에도 분산형 방송-통신 융합 환경, 혹은 개인 단말을 이용한 방송 환경과 같은 양방향성을 요하는 응용이 늘어나고 있는 추세이며, 이러한 양방향성 환경에서는 종래의 비디오 부호화 기술은 적합하지 않다.

최근 이러한 요구에 맞추어 분산 비디오 부호화 기술 (DVC : Distributed Video Coding)에 대한 연구가 진행되고 있다. 분산 비디오 부호화 기술은 1970년대에 발표된 Slepian-Wolf 이론과 Wyner-Ziv 이론을 기반으로 하고 있다^[1-2]. Slepian-Wolf 이론은 기존의 비디오 부호화 기법에서 예측 영상 (Predictor, Y)에 대한 정보를 부호화기와 복호화기가 공유하였던 것과는 달리, 예측 영상이 복호화기에만 주어지더라도 원본영상 (X)의 무손실 복원이 가능한 최소의 정보량은 $H(X|Y)$ 임을 수학적으로 증명한 것이다^[1]. Slepian-Wolf 이론은 무손실 압축의 경우인데 반해, Wyner-Ziv 이론은 손실 압축의 경우에도 예측 부호화 방법과 동일한 율 왜곡 성능을 얻을 수 있다는 것을 보였다^[2]. 따라서 부호화기의 경량화를 위해 각 영상들을 독립적으로 부호화하더라도 영상들의 상호 유사성을 이용해 복호화 한다면 기존의 부호화 기술과 동일한 성능을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있으며, 이는 부호화기가 수행했던 영상 간 유사도 기반 신호처리 과정(움직임 예측 및 보상 방법 등)을 복호화기가 수행함으로써 부호화기의 경량화가 가능하다는 것을 의미한다.

현재 분산 비디오 부호화 기술은 Stanford Univ의 Wyner-Ziv (WZ)부호화 구조^[3]와 U.C. Berkeley의 PRISM 구조^[4]가 대표적이며, 그 중 Wyner-Ziv 부호화 구조를 기반으로 한 연구가 더 활발하다고 할 수 있다. WZ 부호화 기술은 각 프레임은 키 (Key)프레임과 WZ 프레임으로 나누어 부호화하는데, 키 프레임의 경우에는 기존 H.26x 인트라 부호화기를 사용하며, WZ 프

임의 경우에는 LDPC (Low Density Parity Check) 부호^[5]나 Turbo 부호^[6] 등의 채널 부호를 사용하여 부호화한다. 즉, 키 프레임과 WZ 프레임은 각각 독립적으로 부호화된다. 특징적으로 WZ 프레임의 경우에는 채널 부호화 과정을 통해 패리티 비트를 생성하여 버퍼에 저장하고, 복호화기의 요청에 따라 점진적으로 전송한다. 복호화는 (t-1)과 (t+1)시간대의 키 프레임을 먼저 전송받아 복호화한 후, 복호화된 프레임 간의 시간적 유사도에 기반한 보간법 (MCTI : Motion Compensated Temporal Interpolation)을 사용하여 (t) 시간프레임에 대한 보조 정보 (Side Information)를 만든다^[7-8].

이렇게 생성된 보조정보와 (t) 시간대의 원본 WZ 프레임 간에는 차이가 생기는데, WZ 프레임을 입력으로 가상의 채널을 통과시켜 그 출력인 보조 정보를 얻은 것으로 생각할 수 있기 때문에, 이 둘 사이의 차를 가상 채널 잡음 (Virtual Channel Noise)이라고 부른다. 따라서 WZ 복호화기는 보조 정보에 내재하는 채널 잡음의 양을 추정하고^[9-10], 추정된 잡음 정보와 전송받은 패리티 비트를 기반으로 채널 부호화 과정을 실행함으로써 가상 채널 잡음을 제거한다. 따라서 WZ 부호화 기술의 부호화 성능은 사용하는 채널 부호의 성능에 크게 좌우된다. 현존하는 채널 부호 중 LDPC 부호와 Turbo 부호는 에러 정정 능력이 Shannon의 한계에 근접하고 있으며, 확률 값을 이용한 연관정 입력 (soft input)을 기반으로 수십 회의 반복적 부호화 과정을 거쳐 연관정 출력 (soft output)값을 계산하는 것이 특징이다. 하지만 반복적 부호화 알고리즘은 상당히 소모적인 과정이며, 따라서 LDPC나 Turbo 부호를 탑재한 WZ 복호화기의 경우도 복잡도가 상당히 증가된다는 것을 예상할 수 있다. 현재 LDPC 부호의 경우 패리티 비트의 전송량을 적응적으로 조절할 수 있게 설계한 LDPCA (Low Density Parity Check Accumulate)부호^[11]를 사용하고 있는데, Stanford Univ.에서 개발한 LDPCA 채널 부호의 복잡도를 분석해보면, WZ 복호화기 전체 복잡도에서 채널 부호 복호화 과정이 차지하는 비중은 평균 60%에 이른다. 따라서 복호화기의 율 왜곡 성능을 저하시키지 않는 범위 내에서 채널 부호 복호화 과정의 복잡도를 최소화하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 실제 채널 부호 분야에서는 채널 부호 복호화 과정의 복잡도를 줄이는 방법의 하나로 HDA 방법(Hard Decision Aided), 즉, 경관정 출력을 이용한 고속화 방법이 제안되었다^[14]. HDA 방법에는 복호화 과정의 복

잡도를 조절하는 하나의 파라미터가 존재한다. 따라서 BSC (Binary Symmetric Channel) 또는 가우시안 채널 모델처럼 채널 내에 존재하는 잡음의 양을 정확히 알고 있는 환경에는 최적의 성능을 보장하는 파라미터 값을 예측, 적용할 수 있다. 하지만 실제 비디오 영상처럼 채널 내에 존재하는 잡음의 양을 정확히 알 수 없는 환경에서는 최적의 파라미터 선택이 용이하지 않다. 잘못된 파라미터를 선택하는 경우 오히려 성능의 저하를 불러올 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 HDA 방법을 소개한 후, 실험을 통해 얻어진 파라미터를 적용한 최적의 HDA 방법과 비교하여 성능 (오히려 및 시간 절감률)에서 큰 저하가 없는 영상 특성에 적응적인 새로운 HDA 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 분산 비디오 기술에서 사용하는 LDPCA 채널 부호에 대하여, III장에서는 LDPCA 채널 고속 복호화 알고리즘에 대하여 설명한다. IV장에서는 실험 및 결과를 분석하고, 마지막 V장에서 결론 및 향후 연구 과제에 대해 논의한다.

II. LDPCA 채널 부호

1. LDPCA 채널 부호화 과정

WZ 부호화기에 입력된 WZ 프레임은 4×4 블록 단위로 나누어지고, 각 블록은 4×4 정수 DCT 변환을 통해 주파수 영역 값으로 변환된다. 변환된 16개의 계수들은 각각 다른 주파수 성분을 가지고 있으며, 한 프레임 내에서 동일한 주파수 성분을 가진 계수들을 모아 주파수 밴드를 구성한다. 생성된 16개의 주파수 밴드는 주파수 성분별 따라 각각 다른 레벨의 양자화기로 양자화 되고^[12], MSB부터 LSB까지 동일 위치의 비트플레인끼리 모아 주파수 밴드 순서 (지그재그 스캔 순서)에 따라 LDPC 부호화기에 차례대로 입력된다. LDPC 부호화기에 입력된 비트플레인의 비트들은 각각 LDPC 부호화기의 메시지 노드 (Message Node) 값이 되고, LDPC 부호화기는 메시지 노드 값을 기반으로 부호화 알고리즘을 통해 신드롬 (Syndrome) 비트를 생성한다. LDPCA 부호화기는 LDPC 부호화기에서 생성된 각각의 신드롬 비트를 누적 (Accumulation)하여 부분적으로 전송 가능한 패리티 비트를 생성한다. QCIF 영상의 경우 4×4 블록이 1584 ($176 \times 144 / 16$)개 생성되며, 4×4 블록의 각 주파수 성분별로 LDPC 부호화기에 입력되기 때문에 비

트플레인 당 생성되는 패리티 비트의 개수는 1584개가 된다. 최종적으로 패리티 비트들은 버퍼에 저장된 후, 복호화기의 요청에 따라 점진적으로 전송된다^[13].

2. LDPCA 채널 복호화 과정

WZ 복호화기는 먼저 WZ 부호화기에서 전송된 키 프레임을 H.264 인트라 복호화기를 통해서 복호화한다. 이후 보조정보 생성기 (Side Information Generator)에서 복호화 된 두 장의 키 프레임에 MCTI 방법을 적용하여 원본 WZ 프레임에 상응하는 보조정보를 생성하며, 이때 보조정보는 채널 잡음이 포함된 WZ 프레임으로 간주된다. WZ 복호화 과정은 주파수 영역에서 이루어지며 동일 주파수 밴드별 처리를 위해 4×4 정수 DCT 변환을 거친다. 따라서 프레임 내 동일 주파수 계수들로 이루어진 주파수 밴드별 데이터가 최종적인 LDPCA 복호화기의 입력 값이 된다. LDPCA 복호화를 위해서는 원본 프레임과 보조 정보 간의 채널 잡음 모델이 필요한데^[9], 이 잡음 모델은 LDPCA 복호화 과정의 복호화 성능에 직접적인 영향을 미친다. 분산 비디오 부호화 기술에서는 채널 잡음 모델로 라플라시안 확률 분포를 사용한다. LDPCA 복호화기는 생성된 보조정보와 채널 잡음 모델을 통해 계산한 라플라시안 분포의 분산 값, 그리고 WZ 부호화기로부터 전송받은 패리티 비트를 이용하여 복호화 과정을 시작한다.

LDPCA 복호화기는 보조정보와 라플라시안 분포로부터 연관정 입력 (Soft Input)을 계산하고, WZ 부호화기로부터 전송받은 패리티 비트를 입력 값으로 하여 LDPCA 복호화 과정을 거쳐 최종적으로 연관정 출력 (Soft Output)을 계산한다. 연관정 입력과 출력은 LLR (Log Likelihood Ratio)의 형태로 표현된다. LLR은 보조정보가 주어졌을 때 복호화 되는 값이 0일 확률과 1일 확률의 비율이며 식 (1) 과 같다.

$$LLR = \log \left[\frac{P(X=0|Y)}{P(X=1|Y)} \right] \quad (1)$$

식 (1)에서 $P(X=0|Y)$ 는 보조정보 Y가 주어졌을 때 채널 복호화 되는 X가 0이 되는 조건부 확률 값이다. 최종적인 연관정 출력 값은 경관정 (Hard Decision) 과정을 거쳐 비트 값으로 복원된다. [13]에서 제안된 방법을 사용하여, 복원된 비트플레인에서 BER (Bit Error Rate)을 계산하고, 계산된 BER이 목표 BER (예, 10^{-4})을 만족하는 경우, 복호화 성공으로 결정하여 복

호화 과정을 종료한다. 하지만 복원된 비트플레인이 목표 BER을 만족시키지 못할 경우, LDPCA 복호화기는 산출된 연관정 출력을 기반으로 LDPCA 복호화 과정 (Belief Propagation의 과정)을 반복한다^[11]. LDPCA 복호화 과정은 미리 정해놓은 횟수만큼 진행되는데 반복 (Iteration) 횟수는 보통 50~100회로 정한다.

LDPCA 복호화 된 비트플레인이 미리 정해놓은 반복 과정동안 목표 BER을 만족시키지 못했을 경우에는 복호화 실패로 결정하여, LDPCA 복호화기는 LDPCA 부호화기에 추가 패리티 비트를 요청한다. LDPCA 부호화기는 요청에 따라 버퍼에 저장되어 있는 1584개의 패리티 비트 중 1/66의 길이에 해당하는 24개의 패리티 비트를 LDPCA 복호화기에 추가적으로 전송한다. LDPCA 복호화기는 이전에 전송받았던 패리티와 추가로 전송받은 패리티를 이용해 연관정 입력을 계산하고 LDPCA 복호화 과정을 반복한다.

현재 구현된 SKKU-TDWZ (Transform Domain Wyner-Ziv) 경우, LDPCA 부호화기에서 생성되는 패리티 비트의 개수는 1584개이다. LDPCA 부호화기는 매 요청마다 LDPCA 복호화기에 24개, 총 패리티 비트의 1/66 가량을 전송하므로 최대 66번의 패리티 비트의 전송이 가능하다. 따라서 하나의 비트플레인이 최종 복호화 되기까지 반복되는 LDPCA 복호화 과정의 최대 반복 횟수는 3300번에 이른다. (패리티 비트 66회 전송 및 50회 반복 가정) 따라서 한 프레임이 최종 복호화 되기까지 반복되는 LDPCA 복호화 과정은 상당히 소모적인 과정이며, 이로 인해 WZ 복호화기 전체의 복잡도가 증가된다.

III. 고속 복호화 기술

1. 경판정 출력을 이용한 고속 복호화 기술

채널 부호 분야에서는 채널 복호화 과정의 복잡도를 줄이기 위해 여러 방법들이 제안되었는데, 그 중에서 HDA 방법 (경판정 출력을 이용한 고속 복호화)은 반복적인 계산으로 채널 복호화 복잡도가 증가하는 점을 개선하기 위해 제안되었다^[14]. LDPCA 채널부호는 확률적인 계산을 기반으로 반복적인 복호화 알고리즘을 수행하기 때문에 HDA 방법 적용이 용이하다. HDA 방법은 복원된 비트플레인의 변화에 따라, 정해진 최대 반복 횟수가 되기 전에 미리 채널 복호화의 실패를 결정하는 방법이다.

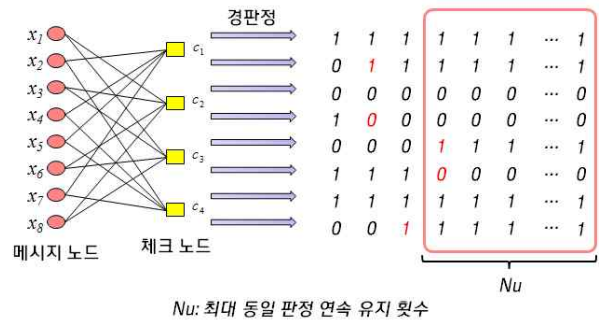
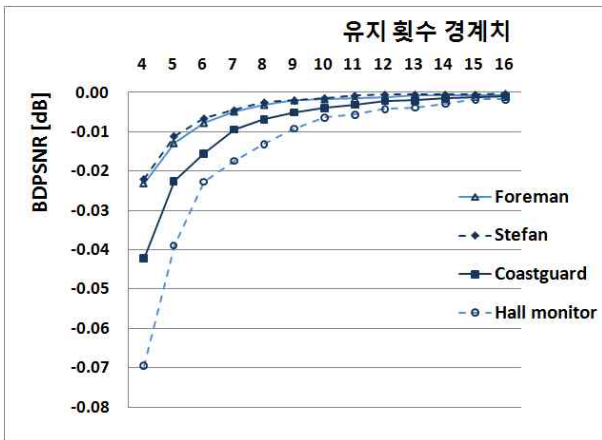


그림 1. LDPCA 복호화 과정
Fig. 1. LDPCA decoding process.

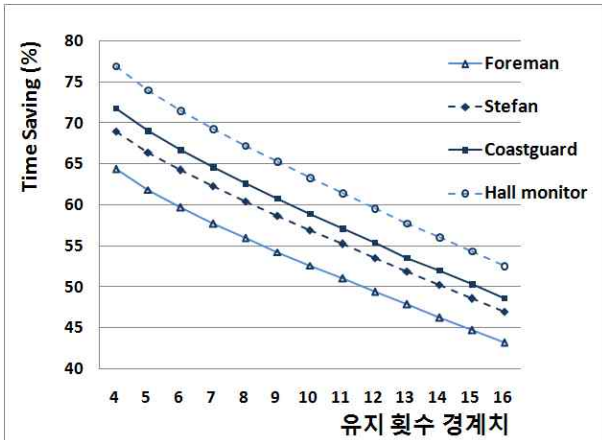
그림 1은 LDPCA 복호화 과정으로 좌측은 LDPCA 복호화 (Iteration)과정을, 우측의 각 열은 매회 복원된 비트플레인의 경판정 결과를 나타낸다. HDA 방법은 매회 산출된 경판정 값이 목표 BER을 만족하지 못하고 연속적으로 일정 횟수 (예, 10회) 동안 동일할 경우, 현재까지 전송된 패리티 비트만으로는 LDPCA 복호화 과정이 성공할 수 없다고 미리 판단하는 방법이다. 이렇게 연속적으로 동일한 경판정 값을 유지하는 반복 (iteration) 횟수를 최대 동일판정 연속 유지 횟수 (Number of iterations having successively unchanged decoding results, 이하 유지 횟수)라 한다. 유지 횟수 (Nu)가 외부에서 정한 특정 경계치(THD) 보다 커질 경우 (이하 HDA 조건) 반복 (iteration) 복호 과정을 중단하고 추가 패리티 비트를 전송받는다. 반면에 유지 횟수가 특정 경계치보다 작은 경우에는 반복 (iteration) 복호 과정을 유지한다(최대 50회). HDA 방법은 복호화 과정의 실패 유무를 조기에 결정하여 복호화 과정의 반복 (Iteration) 횟수를 줄임으로써 시간 절감의 효과를 얻을 수 있다.

2. 제안하는 적응적 경판정 출력을 이용한 고속 복호화 기술

HDA 방법은 LDPCA 복호화 반복 (Iteration) 과정의 횟수를 줄여 복호화기의 복잡도를 낮추는 방법으로 이에 따른 단점이 존재한다. 즉, 미리 정해진 반복 횟수만큼 LDPCA 복호화 반복 과정을 충분히 실행한다면 복호화에 성공할 수 있음에도 불구하고 정해진 반복 횟수 이전에 HDA 조건이 만족되면, LDPCA 복호화는 실패로 결정된다. 복호화 실패의 경우에는 추가적으로 패리티 비트를 전송받기 때문에 전송 비트율이 증가되며 궁극적으로 WZ 부호화의 유효 왜곡 성능이 저하된다.



(a)



(b)

그림 2. (a) HDA 방법 사용 시 유지 횟수 경계치에 따른 울 왜곡 성능
(b) HDA 방법 사용 시 유지 횟수 경계치에 따른 LDPCA 복호화 과정 시간 절감률

Fig. 2. (a) RD performance of HDA method according to THD
(b) Time saving of HDA method in LDPCA decoding process according to THD

그림 2는 Foreman, Stefan, Coastguard, Hall monitor 영상을 HDA 방법을 사용하여 복호화 한 결과이다. 그림 2(a)는 유지 횟수 경계치 (X축)에 따른 BDPSNR (Y축)의 그래프, 그림 2(b)는 유지 횟수 경계치 (X축)에 따른 LDPCA 복호화 과정의 시간 절감률 (Y축) 그래프이다. 그림 2를 통해 유지 횟수 경계치가 작아질수록 LDPCA 복호화 과정의 시간 절감률은 증가하지만 울 왜곡 성능이 저하되는 점을 알 수 있다. 특히 유지 횟수 경계치가 상당히 작아지면 LDPCA 복호화 과정에서 얻는 시간 절감 이득의 경우는 선형적으로 증가하는 반면 울 왜곡 성능은 지수적으로 저하되는 것을

표 1. 영상별 울 왜곡 성능 대비 시간 절감률
Table 1. Time saving according to RD performance.

Sequence	THD	BDPSNR[dB]	TS _{LDPCA} (%)	TS _{total} (%)
Foreman	6	-0.0077	59.69	38.45
Stefan	5	-0.0111	66.44	45.41
Coastguard	7	-0.0094	64.61	35.23
Hall monitor	9	-0.0091	65.29	26.25

볼 수 있다. 표 1은 영상마다 적정 울 왜곡 성능 (예, BDPSNR -0.01dB)에 근접하는 결과를 보여주는 최적의 유지 횟수 경계치와 그 값을 사용했을 경우의 시간 절감률이다. TS_{LDPCA}, TS_{Total}은 각각 LDPCA 복호화 과정 및 WZ 전체 복호화 과정의 시간 절감률을 나타낸다. 표 1을 통해 적정 울 왜곡 성능을 만족시키는 최적의 유지 횟수 경계치가 영상마다 다르다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 유지 횟수 경계치를 잘못 설정할 경우 시간 절감 면에서 이득이 크지 않거나, 울 왜곡 성능이 저하될 가능성이 크다. 또 영상마다 유지 횟수 경계치에 따른 HDA 적용 결과가 각기 다르기 때문에 영상에 공통적인 특정 유지 횟수 경계치를 사용할 수 없다. 따라서 주어진 영상 특성에 따라 최적의 유지 횟수 경계치를 설정할 경우의 기존 HDA 방법과 비교하여 비슷한 울 왜곡 성능을 유지할 수 있는 적응적 유지 횟수 경계치 설정 알고리즘이 필요하다.

제안하는 적응적 경관정 출력을 이용한 고속 복호화 방법 (적응적 HDA 방법)은 영상 프레임간의 높은 시간적인 상관관계(Temporal Correlation)를 기반으로, 첫 번째 프레임의 복호화 (고속화 방법이 아닌 일반적인 복호화 방법) 결과를 이용하는 방법이다. 즉, 첫 번째 프레임을 복호화 하는 과정에서 각 비트플레인에 적용될 수 있는 유지 횟수를 설정하고, 이후 프레임 복호화 시 이렇게 설정된 유지 횟수를 경계치로 이용해 HDA 방법을 적용하는 방법이다. 그림 3은 Foreman 영상의 첫 번째 프레임을 복호화 했을 때, 패리티 비트 전송에 따른 최대 동일관정 연속 유지 횟수를 DC 계수의 비트 플레인 별로 나타낸 것이다. 최대 동일관정 연속 유지 횟수는 LDPCA 복호화 과정 후 경관정 결과가 연속적으로 동일하게 유지되는 가장 긴 반복 (iteration) 횟수를 의미한다. 그림 3에서 그래프가 종료되는 시점은 해

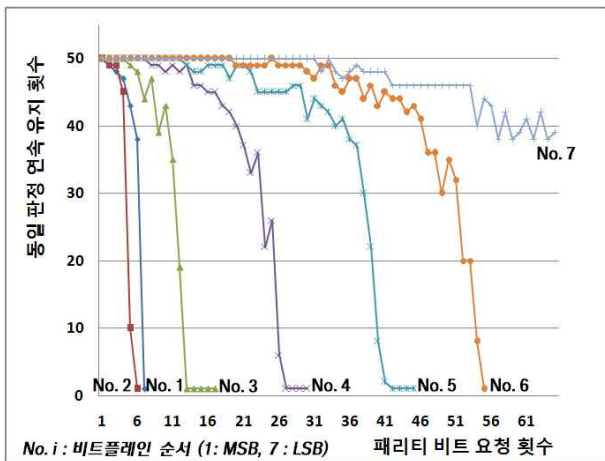


그림 3. 비트플레인 별 패리티 비트 요청에 따른 최대 동일 판정 연속 유지 횟수 (Foreman, 1번 프레임, DC 계수)

Fig. 3. The number of successively unchanged decoding results per bitplane.

당 비트플레인의 복호화가 종료되었음을 나타낸다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 패리티 비트를 추가적으로 전송 받을수록 유지 횟수가 줄어들어, 복호화가 종료될 시점에는 그 횟수가 급격히 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 제안 방법은 급격히 떨어진 유지 횟수를 해당 비트플레인의 유지 횟수 경계치로 적용하는 방법이다. 추가적으로 적응을 왜곡 성능 유지 및 최대 시간 절감 효과를 얻기 위해 후보 경계치 집합 설정 (Candidate THD Set)이 요구되는데, 본 논문에서는 약간의 왜곡 성능 저하가 발생하더라도 더 큰 시간 절감 효과를 얻을 수 있도록 그림 2 (a)의 BDPSNR -0.01dB 지점에 해당하는 4~8로 설정한다.

그림 4는 제안하는 적응적 경관정 출력을 이용한 고속 복호화 방법의 순서도이다. 첫 번째 프레임을 복호한 결과로 산출된 유지 횟수 (Nu)가 후보 경계치 집합 내에 존재한다면 유지 횟수를 해당 비트플레인의 유지 횟수 경계치로 설정한다. 만일 유지 횟수가 허용 경계치 범위 내에 존재하지 않는다면, 해당 비트플레인이 복호화 되기까지 요청했던 패리티 비트 요청 횟수에 따라 유지 횟수 경계치를 설정한다. 최종 패리티 비트 요청 횟수가 최대 패리티 비트 전송 가능 횟수의 1/2 (예, $66/2 = 33$ 회)보다 클 경우 후보 경계치 집합의 최소값 (예, 4)을 해당 비트플레인의 유지 횟수 경계치로 설정한다. 반면에 최종 패리티 비트 요청 횟수가 최대 패리티 비트 전송 가능 횟수의 1/2 이하일 경우 후보 경계치 집합의 최대값 (예, 8)을 유지 횟수 경계치로 설정한다.

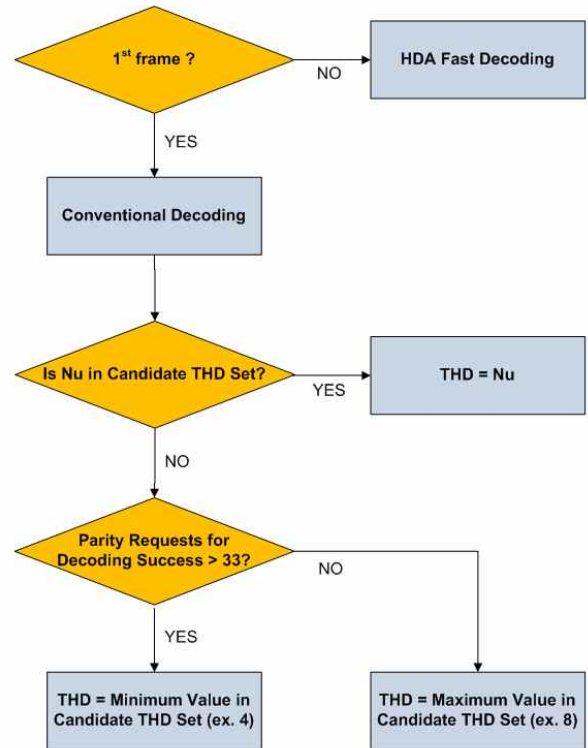


그림 4. 제안하는 적응적 경관정 출력을 이용한 고속 복호화 순서도

Fig. 4. Proposed adaptive hard decision aided fast decoding method.

다. 이는 패리티 비트의 전송량이 적은 비트플레인에 낮은 유지 횟수 경계치를 설정할 경우 왜곡 측면에서 손실이 큰 반면, 패리티 비트의 전송량이 많은 비트플레인에 낮은 유지 횟수 경계치를 설정한 경우에는 왜곡 측면에서 손실이 작기 때문이다. 따라서 패리티 비트의 양이 많이 요구 되는 비트플레인에 작은 유지 횟수 경계치를 설정하게 되어 결과적으로 시간 절감 측면에서 이득을 얻을 수 있다. 따라서 첫 번째 프레임 복호화 과정에서 얻은 유지 횟수 경계치를 기반으로 두 번째 프레임부터 HDA 방법을 적용한다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험 방법

본 논문에서는 제안하는 적응적 경관정 출력을 이용한 WZ 고속 복호화 기술의 성능을 평가하기 위하여 Foreman, Stefan, Coastguard, Hall monitor 영상을 사용하여 실험을 실시하였다. Hall monitor 영상이 165 프레임인 것을 제외하고 나머지 영상들은 모두 각각 150

프레임이며, 크기는 QCIF, 프레임 율은 15Hz이다. 구체적인 실험 조건은 다음과 같다.

- M_k 비트 양자화기 : [12]의 방법에서 제안한 WZ 프레임에 대한 양자화 행렬 중 1, 5, 7, 8번 행렬에 대하여 실험하였다. 이에 상응하는 키 프레임의 QP값으로 Foreman, Stefan 영상은 40, 34, 29, 25, Coastguard 영상은 38, 33, 30, 26, 그리고 Hall monitor 영상은 37, 33, 29, 24를 설정하여 실험하였다.

- LDPC 부/복호화기 : [11]의 방법에서 사용한 LDPCA 부호를 사용하였다.

성능비교는 WZ 프레임에 한하여 이루어졌다.

2. 실험 결과

표 2는 고정된 유지 횟수 경계치를 사용하는 HDA 방법과 적응적으로 설정된 유지 횟수 경계치를 사용하는 적응적 HDA 방법을 각각 사용했을 경우의 시간 절감률 (TS : Time Saving)과 율 왜곡 성능을 보여준다. 표2에서 Prev는 고속 복호 방법이 적용되지 않은 기존 복호화 방법과 HDA방법을 비교한 것을 의미하며, Prop은 기존 복호화 방법과 제안방법을 비교한 것을 의미한다. 표 2의 결과 값들은 양자화 행렬 1, 5, 7, 8번을 이용해 실험한 결과 값들을 각각 평균한 것이다. 시간 절감 계산은 다음과 같다.

$$TS = \frac{Time_{org} - Time_{fast}}{Time_{org}} \times 100 \quad (2)$$

여기서 $Time_{org}$ 과 $Time_{fast}$ 는 각각 일반적인 복호화 방법과 고속화 방법 (HDA 방법 또는 적응적 HDA 방법)을 사용한 경우 복호화 과정이 완료될 때까지 걸린 시간을 나타낸다. 실험결과 적응적 HDA 방법은 대체적으로 적정 율 왜곡 성능을 만족하는 것을 알 수 있다. 또 HDA 방법에 비해 LDPCA 복호화 과정에서 평균 1.07%, 전체 WZ 복호화 과정에서 평균 4.78% 정도 시간 절감률 측면에서 하락을 보였음을 알 수 있다.

각 영상들의 결과를 자세히 살펴보면 Foreman, Stefan 영상의 경우 적응적 HDA 방법이 HDA 방법보다 율 왜곡 성능 측면에서 향상되었지만, Coastguard, Hall monitor 영상은 율 왜곡 성능 측면에서 저하되었음을 알 수 있다. 이는 Foreman, Stefan 영상의 경우 비트플레인 당 적응적으로 선택된 유지 횟수 경계치로 HDA 방법에서 사용되었던 고정 유지 횟수 경계치보다 대체적으로 더 큰 값이 선택되었기 때문이다. 그에 따

표 2. HDA 방법 및 적응적 HDA 방법의 결과

Table 2. Results of HDA method and adaptive HDA method.

Foreman

THD		BDPSNR [dB]		TS _{LDPCA} (%)		TS _{total} (%)	
Prev	Prop	Prev	Prop	Prev	Prop	Prev	Prop
6	4~8	-0.0077	-0.0055	59.69	56.43	38.45	34.00

Stefan

THD		BDPSNR [dB]		TS _{LDPCA} (%)		TS _{total} (%)	
Prev	Prop	Prev	Prop	Prev	Prop	Prev	Prop
5	4~8	-0.0111	-0.0073	66.44	63.58	45.41	41.42

Coastguard

THD		BDPSNR [dB]		TS _{LDPCA} (%)		TS _{total} (%)	
Prev	Prop	Prev	Prop	Prev	Prop	Prev	Prop
7	4~8	-0.0094	-0.0078	64.64	62.15	35.23	30.31

Hall monitor

THD		BDPSNR [dB]		TS _{LDPCA} (%)		TS _{total} (%)	
Prev	Prop	Prev	Prop	Prev	Prop	Prev	Prop
9	4~8	-0.0091	-0.0139	62.29	66.61	26.25	20.51

라 LDPCA 복호화 과정의 시간 절감률은 HDA 방법에 비해 낮아진 것을 확인할 수 있다. 반면 Coastguard, Hall monitor 영상의 경우 적응적 유지 횟수 경계치로 대부분 고정 유지 횟수 경계치보다 작은 값이 선택되었기 때문에 율 왜곡 성능이 약간 저하되었다. 이 경우 LDPCA 과정의 시간 절감률은 HDA 방법과 비슷하거나 높아졌음을 확인할 수 있다.

전체적으로 적응적 HDA 방법을 통해 얻은 LDPCA 복호화 과정의 시간 절감률은 HDA 방법을 통해 얻은 LDPCA 복호화 과정의 시간 절감률과 비교해서 큰 차이가 없음을 알 수 있는 반면, 전체 WZ 복호화 과정의 시간 절감률의 차이는 상당히 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 LDPCA 복호화 과정 시간 절감률의 산출에는 순수 LDPCA 복호화 반복 (Iteration)과정만이 고려되었지만, 전체 WZ 복호화 과정의 시간 절감률은 움직임 예측 및 보상(ME/MC) 등 연산 양이 많은 과정 및 첫 번째 프레임의 일반적인 채널 복호화 과정에 따른 오버 헤드가 포함된 채 산출되었기 때문이다. 특히 실험 영상들 중 Hall monitor 영상의 경우 적응적 HDA 방법을 통해 얻은 LDPCA 복호화 과정의 시간 절감률

이 HDA 방법을 통해 얻은 시간 절감률보다 더 높았음에도 불구하고, 전체 복호화 과정의 시간 절감률에서는 반대 결과를 얻었다. 이는 전체 복호화 과정 중 LDPCA 복호화 과정이 차지하는 비율이 다른 영상들보다 Hall monitor 영상이 상당히 적기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 분산 비디오 부호화 기술의 고속 복호화를 위하여 채널 부호 분야에서 사용하는 HDA 방법을 소개하고, 영상 특성에 적응적이며 율 왜곡 성능을 유지 할 수 있는 적응적 HDA 방법을 제안하였다. 제안 방법은 최적의 유지 율수 경계치를 사용한 HDA 방법과 비교하여 율 왜곡 및 시간 절감률에서 크게 저하되지 않은 성능을 보여주었다. 고속화 방법을 적용했음에도 불구하고 전체 복잡도 중에서 LDPCA 복호화 과정이 차지하는 비율은 여전히 높다. 따라서 율 왜곡 성능 및 복호화 과정 시간 절감에 직접적으로 영향을 미치는 유지 율수 경계치를 각 영상 프레임의 특성에 따라 적응적으로 변경할 수 있는 저 복잡 고속화 알고리즘에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

참 고 문 헌

[1] D. Slepian and J. K. Wolf, "Noiseless Coding of Correlated Information Source," IEEE Transactions on Information Theory, vol. IT-19, no. 4, pp. 471-480, July 1973.

[2] A. Wyner and J. Ziv, "The Rate-distortion Function for Source Coding with Side Information at The Decoder," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 22, pp. 1-10, July 1976.

[3] A. Aaron, R. Zhang, and B. Girod, "Wyner-Ziv Coding of Motion Video," Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp. 240-244, Pacific Grove, CA, USA, November 2002.

[4] R. Puri and K. Ramchandran, "PRISM: A New Robust Video Coding Architecture Based on Distributed Compression Principles," 40th Allerton Conference on Communication, Control and Computing, pp. 1-10, Allerton, USA, October 2002.

[5] D. J. C. Mackay, "Good error-correcting codes based on very sparse matrices," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 45, pp. 399-431, Mar. 1999.

[6] C. Berrou and A. Glavieux "Near Shannon limit

error correcting coding and decoding: Turbo-codes," Communications, 1993. ICC 93. Geneva. Technical Program, Conference Record, IEEE International Conference on, vol.2, pp1064-1070, May 1993.

[7] 고봉혁, 심혁재, 전병우, "센서네트워크상의 응용을 위한 터보 복호화 오류정정기법을 이용한 경량화 비디오 부호화 방법," 전자공학회논문지, 제 45권 SP편, 제1호, 11-21쪽, 2008년 1월.

[8] B. Ko, J. Sim, and B. Jeon, "Wyner-Ziv Video Coding with Side Matching for Improved Side Information," Pacific-rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT). vol.4872, pp.816-825, Dec. 2007.

[9] 박천호, 심혁재, 전병우, "잡음 모델 선택을 이용한 Wyner-Ziv 비디오 압축," 전자공학회논문지, 제 46권 SP편, 제4호, 58-66쪽, 2009년 7월.

[10] C. Brites and F. Pereira, "Correlation noise modeling for efficient pixel and transform domain Wyner-Ziv video coding," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech., Vol. 18, no. 9, pp. 1177-1190, September 2008.

[11] D. Varodayan, A. Aaron, and B. Girod, "Rate-adaptive codes for distributed source coding," EURASIP Signal Processing Journal, Special Section on Distributed Source Coding, Vol. 86, no. 11, pp. 3123-3130, November 2006.

[12] C. Brites, J. Ascenso, and F. Pereira, "Improving transform domain Wyner-Ziv coding performance," IEEE International Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 525-528, Toulouse, France, May 2006.

[13] D. Kubasov, K. Lajnef, and C. Guillemot, "A hybrid encoder/decoder rate control for a Wyner-Ziv video codec with a feedback channel," Proc. IEEE Multimedia Signal Processing Workshop, MMSP, Chania, Crete, Greece, October 2007.

[14] R. Y. Shao, S. Lin and M. P. C. Fossorier, "Two simple stopping criteria for turbo decoding," IEEE Trans. Comm, vol. 47, pp. 1117-1120, Aug. 1999.

저 자 소 개



오 양 근(학생회원)
 2009년 성균관대학교 정보통신
 공학부 졸업 (학사).
 2009년~현재 성균관대학교 정보
 통신공학부 석사과정
 <주관심분야 : 멀티미디어 영상압
 축, 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
 수석연구원
 1997년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수
 <주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 영상인식,
 신호처리>



심 혁 재(학생회원)
 2000년 성균관대학교 전자공학과
 졸업 (학사).
 2002년 성균관대학교 정보통신
 공학부 졸업 (석사).
 2002년~현재 성균관대학교 정보
 통신공학부 박사과정
 <주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 신호처리>