

논문 2011-48SP-2-6

블록 기반의 분산 비디오 코딩을 위한 채널 예측 기법

(Channel Estimation for Block-Based Distributed Video Coding)

민 경 연*, 박 시 내*, 유 성 은*, 심 동 규*, 전 병 우**

(Kyungyeon Min, Seanae Park, Sungeun Yoo, Donggyu Sim, and Byeungwoo Jeon)

요 약

본 논문은 분산 비디오 코딩을 위하여, 수신된 움직임 벡터 기반으로 보조정보의 채널의 상태를 예측하는 기법을 제안한다. 제안한 복호기는 보조정보의 움직임 벡터를 측정하여 부호기로 전송한다. 부호기는 수신된 움직임 벡터를 기반으로 복호기의 보조정보와 동일한 예측 보조정보를 생성함으로써, 복호기의 보조정보의 성능을 측정하고, 이를 복호기로 전송한다. 또한 복호기는 수신된 오류 정보를 통하여 정확한 교차확률을 적용적으로 적용한다. 제안하는 방법은 정확한 신뢰도를 전파함으로써, 채널 복호기의 복잡도를 감소시킬 수 있으며, 적은 패리티 비트로 높은 오류정정 성능을 나타낼 수 있다. 실험 결과, 제안한 방법이 기존의 방법들과 대비하여, 비트-왜곡 성능이 증가하고 복잡도가 감소한 것을 확인 할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a channel estimation of side information method based received motion vectors for distributed video coding. The proposed decoder estimates motion vectors of side information and transmits it to the encoder. As the proposed encoder generates side information which is the same to one in the decoder with received motion vectors, accuracy of side information of the decoder is assessed and it is transmitted to decoder. The proposed decoder can also estimate accurate crossover probability with received error information. As the proposed method conducts correct belief propagation, computational complexity of the channel decoder decreases and error correction capability is significantly improved with the smaller amount of parity bits. Experimental results show that the proposed algorithm is better in rate-distortion performance and it is faster than several conventional distributed video coding methods.

Keywords : Distributed video coding, channel estimation, belief propagation, side information, block based coding

I. 서 론

최근 프로세서, 저장장치 및 전송기술이 급격하게 발달함에 따라, 멀티미디어 처리 기능을 가진 휴대 기기의 생산 및 보급이 활발하게 이루어졌다. 사용자는 휴대기기를 이용하여 멀티미디어 데이터를 취득하고, 컨

텐츠를 제작 및 전송, 보급할 수 있게 된 것이다. 따라서, 제한된 연산 처리 능력 및 배터리 성능을 가진 환경에서의 사용을 위해, 짧은 부호화 시간과 낮은 전원소비가 가능한 부호기가 필요하게 되었다. 하지만, 기존의 표준 부호화 방법인 ISO/IEC MPEG-x 나 ITU-T H.26x 방법은 방송 서비스를 위해 연구, 개발된 기술로 하나의 서버에서 부호화한 데이터를 다수의 사용자에게 송신하는 스트리밍 방식에 최적화되어 설계되었다. 이에 따라, 복호기의 복잡도는 낮고 부호기의 복잡도가 높아, 부호화를 수행하는 동안에는 낮은 배터리 소비와 짧은 부호화 시간이 소요되지만, 부호화를 수행하는 동안 높은 배터리 소비와 긴 부호화 시간이 소요된다. 이러한 부호화 방법은 개개인의 콘텐츠 제작에서 이용되는 무선 센서 네트워크 장치에는 부적합하다^[1].

* 정회원, 광운대학교 컴퓨터공학과
(Computer Engineering, Kwangwoon University)

** 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부
(School of Information & Communication
Engineering, Sungkyukwan University)

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

접수일자: 2010년11월17일, 수정완료일: 2011년2월16일

분산 비디오 부호화 방법은 Slepian-Wolf와 Wyner-Ziv의 정보이론을 기반으로 제안된 새로운 부호화 방법으로써, 부호기의 복잡도를 복호기로 분산시켜 부호기의 복잡도를 낮추는 방법이다. 따라서, 이 분산 비디오 부호기는 적은 배터리 소비와 적은 부호화 시간이 소요되어, 이동식 비디오 장치에 적합하다.

분산 비디오 부호화 방법은 입력 영상을 키 프레임과 WZ (Wyner-Ziv) 프레임으로 분리한 후, 키 프레임은 H.264/AVC 등 기존의 인트라 부호화 방식으로, WZ 프레임은 Wyner-Ziv 방식으로 부호화한다. Wyner-Ziv 부호화는 입력영상을 DCT (Discrete Cosine Transform) 변환과 양자화 한 후, Turbo 코드나 LDPCA (Low-Density Parity-Check Accumulate) 코드 등으로 채널 부호화를 수행한다. 키 프레임은 기존의 인트라 부호화 방식으로 복원하고, 복원된 영상을 이용하여 보조정보를 생성한다. 이 보조정보와 전송 받은 패리티 비트를 채널 복호화를 수행하여 WZ 프레임을 복원한다^[1~11]. 부호기는 복호기에서 오류 정정을 위하여 요구되는 패리티 비트 양을 정확하게 측정할 수 없기 때문에, 일정한 양을 피드백 요청이 있을 때마다 지속적으로 보내게 된다. 따라서 분산 비디오 복호기는 높은 지연이 발생하게 된다. 또한 보조정보를 생성하는 것과 채널 복호화를 수행하는 것은 높은 복잡도를 필요함으로, 분산 비디오 복호기의 복잡도 감소가 요구된다.

채널 복호기는 교차확률에 따라 오류를 정정하기 때문에, 채널 복호화의 복잡도를 감소시키고 성능을 향상시키기 위해서는, 오류를 정정하기 위한 패리티 비트의 양과 정확한 교차확률을 알아야 한다. 하지만, 분산 비디오 부호기에서는 보조정보 영상의 접근이 가능하지 않고, 분산 비디오 복호기에서는 원본 영상의 접근이 불가능하기 때문에, 요구되는 패리티 비트의 양과 정확한 교차확률을 측정하는 것은 쉽지 않다. 따라서 채널 부호화 및 복호화의 성능향상을 위하여, 복호기에서 원본 영상을 예측하거나, 부호기에서 보조정보를 예측하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 하지만, 기존의 복호기에서 원본 영상을 예측하는 방법은, 정확한 원본 영상의 예측이 어렵고, 필요한 패리티 비트의 양을 부호기에서 알 수 없다는 단점을 가지고 있고, 기존의 부호기에서 보조정보를 측정하는 방법은 복잡도 증가량과 보조정보 프레임의 예측 정도가 상반 관계를 이루고 있다는 단점이 있다^[3~6].

제안하는 방법은 복호기에서 움직임 벡터를 부호기에 전송해 줌으로써, 큰 복잡도의 증가 없이, 복호기에서 생성된 보조정보와 똑같은 예측 프레임을 생성할 수 있다. 원본 영상과 예측 보조정보를 기반으로, 제안한 방법은 각 블록의 오류의 양을 측정하고, 각 블록의 측정된 양을 나타내는 오류맵을 생성하여 복호기에 전송함으로써, 전송된 오류맵을 기반으로 채널 상태에 따라 교차확률을 각각의 변수노드에 적응적으로 적용할 수 있고, 보조정보의 오류를 수정하기 위하여 요구되는 패리티 비트의 양이 감소될 수 있다. 또한, 정확한 신뢰전파 (Belief propagation) 의 영향이 증가되어 채널 복호화가 수행됨으로, 채널 복호기의 복잡도가 감소될 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 연구에 대하여 살펴보고, III장에서는 제안하는 알고리즘에 대하여 자세히 소개한다. IV장에서는 제안하는 알고리즘에 대한 실험 방법과 실험 결과 및 그 결과에 대한 분석을 기술하고, 마지막으로 V장에서는 이 논문의 결론 및 향후 연구계획에 대해 논한다.

II. 기존 분산 비디오 코딩 방법

1. 정보 이론

분산 비디오 부호화 방법은 Slepian-Wolf와 Wyner-Ziv의 정보이론을 기반으로 제안된 새로운 부호화 방법

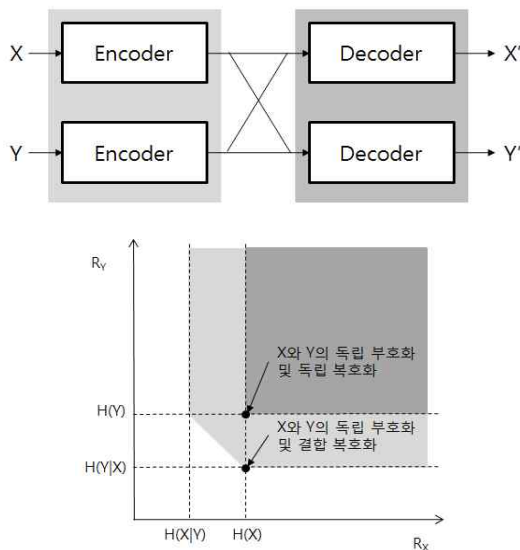


그림 1. 독립 부호화 및 결합 복호화 수행 시 압축가능 비트율 영역

Fig. 1. Region of achievable bitrates when encoding are separately and decoding are jointly performed.

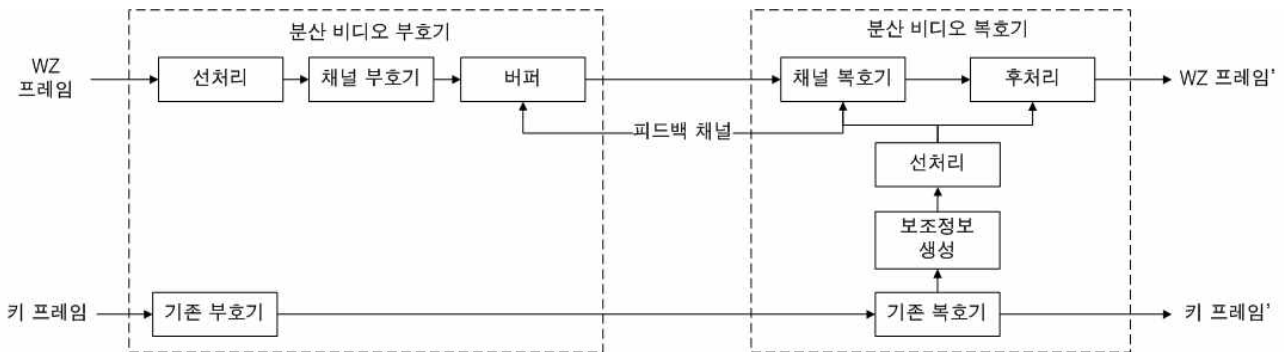


그림 2. 기존 분산 비디오 코더의 블록도

Fig. 2. The block diagram of the conventional distributed video coder.

이다. Slepian-Wolf 이론은 서로 독립적이고 동등한 분포 (independently and identically distributed)의 관계를 가진 두 개의 신호 X 와 Y 를 독립적으로 부호화하여도, 두 상관된 신호를 결합 복호화 한다면 두 신호 X 와 Y 를 결합 부호화하는 경우와 동일한 부호화 효율을 얻을 수 있다는 것을 아래의 식 (1)-(3)과 같이 증명하였다.

$$R_X \geq H(X|Y) \quad (1)$$

$$R_Y \geq H(Y|X) \quad (2)$$

$$R_X + R_Y \geq H(X, Y) \quad (3)$$

R_X 과 R_Y 는 X 신호와 Y 신호를 각각 부호화한 비트율을 나타낸다. $H(X|Y)$ 는 신호 Y 가 주어졌을 때의 신호 X 의 엔트로피, $H(Y|X)$ 는 신호 X 가 주어졌을 때의 신호 Y 의 엔트로피이고, $H(X, Y)$ 는 X 와 Y 의 조건부 엔트로피를 나타낸다. 그림 1은 독립 부호화 및 결합 복호화를 수행 시 압축가능 비트율 영역을 나타낸다.

Slepian-Wolf의 이론은 무손실 이론이며 Wyner-Ziv 이론은 이를 손실압축의 경우로 확장할 경우에도 유사한 결과가 나타남을 증명하였다. 즉, X 와 Y 가 결합 가우시안이면 손실 압축의 경우 ($d = 0$) 에, Slepian-Wolf의 이론을 만족할 수 있음을 증명하였다.

$$R_{WZ}(0) = R_{X|Y}(0) \quad (4)$$

$$\therefore R_{WZ}(d) \geq R_{X|Y}(d), \quad d \geq 0 \quad (5)$$

$R_{WZ}(d)$ 는 보조정보 신호 Y 가 복호기에만 알려져 있을 경우의 율-왜곡 함수이며, $R_{X|Y}(d)$ 는 보조정보 Y 가 부호화기와 복호화기에 동시에 알려져 있을 경우의 율-왜곡 함수를 의미한다. 이러한 정보이론 관점에서의 수학적 결과를 기반으로 하여, 분산 비디오 부호화 방법

이 제안되고 발전되었다.

2. 분산 비디오 코더

분산 비디오 코더는 부호기의 복잡도를 복호기로 분산시켜 부호기의 복잡도를 낮추는 방식으로 설계되었다. 그림 2는 분산 비디오 코더의 블록도이다. 그림 2처럼, 입력 영상을 키 프레임과 WZ (Wyner-Ziv) 프레임으로 나눈 후, 키 프레임은 H.264/AVC 등 기존의 인트라 부호화 방식으로, WZ 프레임은 Wyner-Ziv 방식으로 부호화한다. Wyner-Ziv 부호화는 입력영상을 DCT (Discrete Cosine Transform) 변환과 양자화 등의 선처리를 수행한 후, Turbo 코드나 LDPCA (Low-Density Parity-Check Accumulate) 코드 등으로 채널 부호화를 수행한다. 키 프레임은 기존의 인트라 복호화 방식으로 복원하고, 복원된 영상을 이용하여 보조정보를 생성한다. 이 보조정보를 부호기에서 수행한 선처리를 동일하게 수행한 후, 전송 받은 패리티 비트와 채널 복호화를 수행하여 WZ 프레임을 복원한다^[1-6].

분산 비디오 코더에서는 키 프레임을 기반으로 생성된 보조정보와 WZ 프레임의 차이를 채널에서 발생하는 오류로 가정하여, 채널 코더를 이용하여 정정한다. 그림 3처럼 WZ 프레임을 채널 부호화를 수행하면 WZ 프레임과 그에 해당하는 패리티 비트가 생성된다. 이때, 패리티 비트는 입력 영상인 WZ 프레임과 동일한 양의 패리티가 생성된다. 분산 비디오 부호기에서는 WZ 프레임에 관한 정보는 전송하지 않고, 패리티 비트만 전송하여 보조정보를 정정하여 양자화된 WZ 프레임의 복원한다. 패리티 비트를 전송할 시, 분산 비디오 부호기는 전체의 패리티 비트를 전송하는 것이 아니라, 복호기의 보조정보 프레임의 오류를 정정할 수 있는 양만 전송하여 부호화 효율을 높인다. 하지만, 부호기는

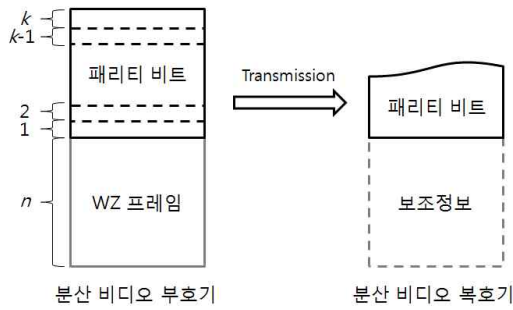


그림 3. 채널 코딩 방법

Fig. 3. Channel coding scheme.

복호기에서 필요한 패리티 비트 양을 모르기 때문에, 일정한 양의 패리티 비트를 피드백 요청이 있을 때마다 지속적으로 보내게 된다. Varodayan 등에 의해서 제안된 LDPCA 코드는 66회로 분리해서 일부분씩 전송하도록 되어 있으며, 복호기에서 복호화가 이루어질 때까지 피드백 채널을 이용하여 부호기에 패리티 비트 전송을 요청한다^[8].

또한, LDPCA 채널 복호기는 교차확률에 근거한 신뢰전파를 통한 방법으로 수행된다. 보조정보의 성능은 한 프레임 안에서도 영역마다 다르다. 즉, 움직임이 없는 영역에서는 보조정보의 성능이 높고, 움직임이 발생하는 영역에서는 보조정보의 성능이 상대적으로 떨어진다. 하지만 복호기는 보조정보의 성능을 알 수 없기 때문에, 동일한 위치의 변환 계수와 비트 평면은 동일한 교차확률을 기반으로 신뢰전파를 갖게 된다. 따라서, 정확하지 않은 신뢰도가 전파되어 채널 복호기의 성능을 감소시킨다. 분산 비디오 복호기는 높은 복잡도 및 지연이 발생하게 된다. 피드백 채널의 지연과 분산 비디오 복호기의 복잡도를 감소시키기 위해서는, 원본 영상과 보조정보 영상의 차, 즉 교차확률을 측정하는 것이 필요하다.

3. 보조정보의 채널 예측

피드백 채널의 지연과 분산 비디오 복호기의 복잡도를 감소시키기 위해서는, 보조정보의 채널 상태를 측정하여 정확한 교차확률을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 채널을 측정하는 위치에 따라 크게 두 가지로 구분할 수 있다.

첫 번째로, 채널을 측정하기 위하여 복호기에서 측정하는 방법과 부호기에서 측정하는 방법이 있다. 복호기에서 측정하는 방법은 이전 보조정보 프레임과 보조정보 프레임과의 차의 형태를 이용한 방법으로써, 부호기

의 복잡도의 증가가 전혀 없다는 것이 장점이다. 이전 보조정보 프레임과 보조정보 프레임의 동일한 위치의 비트는 유사한 오류를 가질 것이라는 가정에 의하여 수행된다. 하지만 움직임이 빠르거나, 카메라 패닝 등이 있는 비디오일 경우, 이전 보조정보 프레임과 현재 보조정보 프레임의 차가 크기 때문에, 부정확한 채널을 예측하게 된다.

복호기에서 채널의 측정 효율을 높이기 위하여, 이전 보조정보 프레임과 현재 보조정보 프레임의 상위 비트 평면을 동시에 적용하여 채널을 예측하는 방법도 제안되었다. 이 방법들은 부호기의 복잡도의 증가가 전혀 없다는 장점을 가지고 있지만, 복호기에서 측정된 채널 상태임으로 부호기에 피드백으로 복호화가 수행이 완료될 때까지 패리티 비트를 요구해야 하기 때문에, 피드백 채널에 의한 지연이 이전 분산 비디오 코딩 방법과 동일하며, 움직임이 크고 많은 영상에서는 연속되는 프레임들 사이에도 많은 차이가 생겨 측정된 값이 정확하지 않다는 단점을 가지고 있다^[4].

두 번째로, 부호기에서 측정하는 방법은 원본 프레임과 보조정보 프레임간의 차를 측정하여 필요한 만큼의 패리티 비트를 전송하여 피드백 채널 없이 동작하도록 하는 장점을 가진다. 부호기에 존재하지 않은 보조정보 프레임을 $t-1$ 키 프레임과 $t+1$ 키 프레임의 선형 보간법을 이용하여 복원하는 것이다. 보조정보 프레임의 예측의 성능을 향상시키기 위하여, 약간의 복잡도의 향상을 감소하고 보조정보 프레임을 복호기에서 생성한 보조정보 프레임과 더욱 유사하게 생성하기 위하여 간단한 움직임 추정을 수행한다^[6].

이러한 방법은 피드백 채널이 필요 없기 때문에 피드백 채널에서 발생하는 지연을 막을 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 객체의 움직임이 빠르거나, 카메라의 패닝 등이 나타나는 영상에서는 복호기의 보조정보와 많은 차이가 발생하게 되어, 비트의 낭비가 나타날 수 있으며, 교차확률이 많은 차이를 나타내게 되어 복호화를 실패할 확률이 높아진다는 단점이 있다.

하지만 제안하는 방법은 적은 복잡도로 복호기의 보조정보와 동일한 보조정보를 예측할 수 있으므로써, 부호기에서 보조정보의 오류의 양과 위치를 알 수 있다. 따라서 필요한 양의 패리티 비트를 한 번에 복호기에 전송하여 지연을 감소시킬 수 있으며, 정확하게 측정된 오류맵을 전송해줌으로써, 피드백 지연이 감소한다.

III. 제안하는 분산 비디오 코딩 방법

기존 분산 비디오 부호화 방법은 부호기는 복호기의 보조정보 프레임에 대한 접근이 불가능하고 복호기는 원본 영상에 대한 정보가 없기 때문에, 보조정보의 오류를 정확히 측정할 수 없다. 따라서 비트를 효율적으로 사용하지 못하며, 복호기의 복잡도 및 지연이 발생한다. 이러한 분산 비디오 코딩의 문제점을 해결하기 위하여, 제안하는 방법은 복호기에서 보조정보를 생성하면서 측정된 움직임 벡터를 부호기로 전송하고, 이 움직임 벡터를 이용하여 부호기에서는 복호기에서 사용된 보조정보와 완벽하게 동일한 예측 보조정보를 복원한다. 제안한 부호기는 예측 보조정보를 이용하여 보조정보의 오류의 양 및 위치를 파악하고, 이를 기반으로 오류맵을 생성하여 복호기로 전송한다. 제안한 복호기는 이 오류맵을 기반으로 교차확률을 적층적으로 적용하여 채널 부호화를 수행함으로써, 복잡도 및 요구되는 패리티 비트의 양이 감소시킨다.

그림 4는 제안하는 방법의 블록도이며, 그림 5는 WZ 프레임의 부호화 및 복호화를 수행하는 흐름도를 나타낸다. 우선, 복호기에서 $t-1$ 키 프레임과 $t+1$ 키 프레임을 이용하여 기초 보조정보 프레임을 생성하고, $t-1$ 키 프레임과 $t+1$ 키 프레임을 참조 프레임으로 하여, 기초 보조정보 프레임의 움직임 추정을 수행하여 움직임 벡터를 측정하고, 움직임 복원을 수행하여 보조정보를 생성한다. 움직임 추정 시 측정된 움직임 벡터는 피드백 채널을 통하여 부호기로 전송하며, 부호기는 수신된 움직임 벡터와 $t-1$ 키 프레임과 $t+1$ 키 프레임을 참조하여 예측 보조정보 프레임을 복원한다. 이렇게 복원된 예측 보조정보 프레임과 원본 프레임을 DCT 변환 및

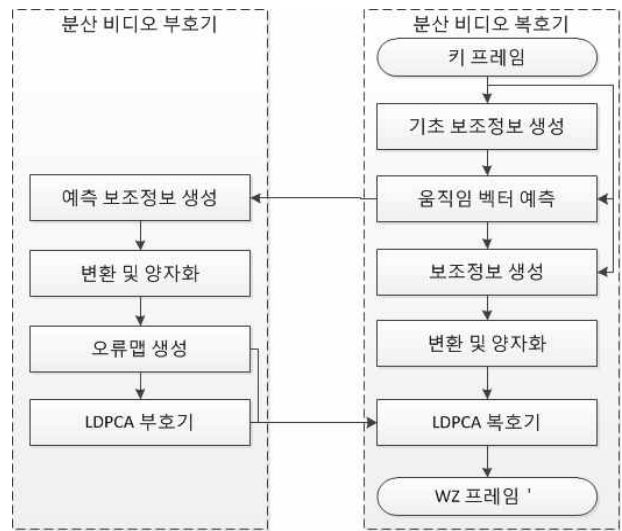


그림 5. 제안한 방법의 흐름도
Fig. 5. The flowchart of the proposed method.

양자화를 수행한 후 오류를 측정하고, 측정된 오류를 바탕으로, 오류맵을 생성하고 복호기에 전송한다. DCT 변환 및 양자화된 보조정보와 수신된 패리티 비트를 입력으로 하여, 채널 복호기는 보조정보의 오류를 정정하게 된다. 이때, 수신된 오류맵을 이용하여 교차확률을 적층적으로 적용하여 채널 복호화를 수행한다.

3.1 복호기에서의 보조정보 생성

제안하는 방법에서는 보조정보를 두 단계로 생성한다. 기초 보조정보 프레임을 생성한 후, $t-1$ 시간의 키 프레임과 $t+1$ 시간의 키 프레임을 참조영상으로 이용해서 t 시간의 보조정보 프레임을 기준으로, 재 움직임 추정 및 복원을 이용하여 보조정보를 생성한다. 보조정보 생성 방법은 활발히 제안되었으며 현재도 다양하게 제안되고 있다. 하지만, 시퀀스의 특징에 따라, 가장 효과

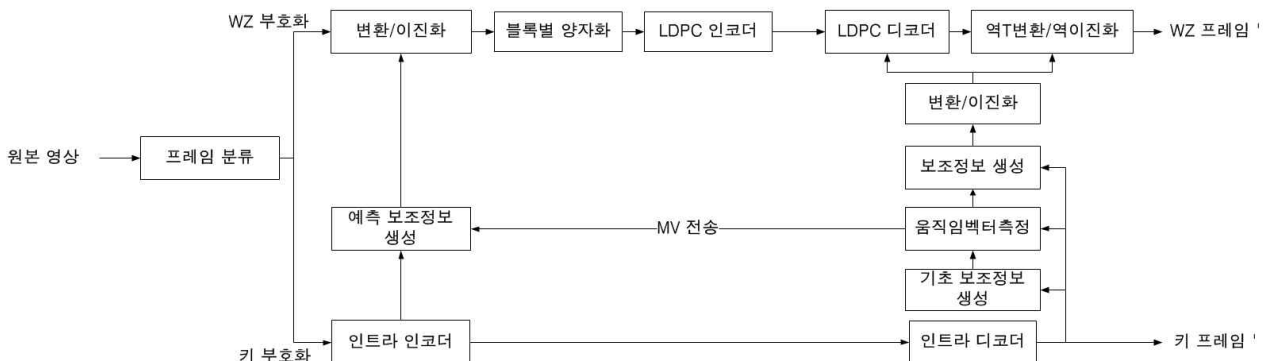


그림 4. 제안한 방법의 블록도
Fig. 4. The block diagram of the proposed method.

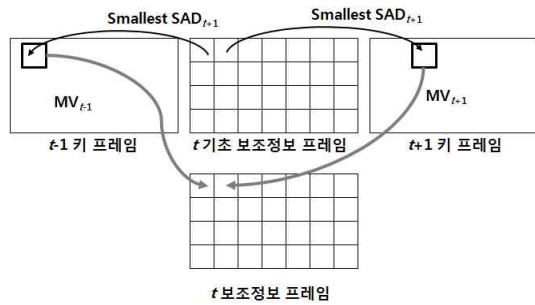


그림 6. 움직임 재추정 방법
Fig. 6. Motion re-estimation.

적으로 보조정보를 생성하는 방법은 다르기 때문에, 제안한 방법은 움직임 재추정에 따른 복잡도가 증가하지만, 시퀀스의 특징에 따른 최적의 알고리즘을 사용할 수 있도록 한다. 즉, 보조정보 프레임을 생성하는 알고리즘에 관계없이 시스템이 안정적으로 동작하도록 하기 위하여, 제안하는 방법은 재 움직임 추정을 수행한다.

그림 6은 제안하는 2 단계의 보조정보 생성하는 방법을 도식화한 것이다. 우선, 기초 보조정보 프레임을 시퀀스 특징에 최적인 알고리즘을 이용하여 생성하고, 기초 보조정보 프레임을 블록 별로 나눈 후, $t-1$ 키 프레임과 $t+1$ 키 프레임에서도 가장 유사한 블록을 찾는다. 각 프레임에서 가장 유사한 블록이 찾아지면, 그 중 더 유사한 블록을 선택하여 하나의 블록 당 하나의 움직임 벡터를 가지도록 한다. 유사한 블록을 선택하는 기준은 블록의 SAD (Sum of Absolute Differences)를 이용한다. 이렇게 추정된 움직임 벡터와 어느 프레임을 참조했는지를 알려주는 가르침 비트를 피드백 채널을 통하여 부호기에 전달한다.

3.2 부호기에서의 보조정보 생성

분산 비디오 코딩은 원본 프레임과 보조정보 프레임의 차를 채널 오류로 가정하고, 오류를 채널 복호기를 이용하여 수정한다. 이때, 채널 복호기는 입력된 패리티 비트와 교차확률에 따라 오류를 정정한다. 기존 분산 비디오 코딩에서는 부호화에서는 보조정보 프레임에 대한 접근이 불가능하고, 복호기에서는 원본 프레임의 정보가 존재하지 않는다. 따라서, 오류정정을 위해 필요한 패리티 비트의 양과 교차확률의 측정이 정확히 이루어지지 않아서 채널 복호기의 성능이 저하하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존 연구에서는, 복호기에서 원본 영상을 예측하거나 부호기에서 보조정보를 예측하는 과정을 수행한다. 하지만, 기존 방법은 복호기



그림 7. 수신된 움직임 벡터를 이용한 예측 보조정보 프레임 복원
Fig. 7. Compensation of predicted side information based on received motion vectors.

에서 예측하기 때문에 부호기에서 예측된 정보를 이용할 수 없거나, 복잡도 증가량과 보조정보 프레임의 예측 정도는 상반 관계로 이루어져 있기 때문에, 부호기의 복잡도에 대한 요구와 예측에 대한 요구를 모두 수용하지는 못한다. 하지만 제안하는 방법은 부호기에서 예측한 정보를 이용할 수 있을 뿐만 아니라 상반 관계에 있는 두 가지 요구를 모두 최적으로 이룰 수 있다.

제안하는 방법에서는 복호기에서 $t-1$ 키 프레임과 $t+1$ 키 프레임을 참조 영상으로 이용하여 움직임 벡터를 측정하여 부호기로 전송한다. 그림 7은 예측 보조정보를 생성하는 것을 도식화 한 것으로, 그림 7처럼 수신된 움직임 벡터와 부호기에 존재하는 $t-1$ 키 프레임과 $t+1$ 키 프레임을 이용하여, 복호기에서 생성한 보조정보 프레임과 완벽하게 동일한 보조정보 프레임을 적은 복잡도로 복원할 수 있다.

3.3 이등변 삼각기둥 양자화기

기존의 분산 비디오 부호화 방법에서 사용되는 양자화 매트릭스는 그림 8과 같이, 4×4 DCT 변화에 맞추어 설계되었으며, 이 양자화 매트릭스는 사면체 형태이다. 이와 같은 양자화 모양은, 사람의 눈이 잘 인식하지 못하는 고주파 성분을 제거함으로써, 주관적 화질의 저하 없이 효율적으로 비디오를 압축한다.

일반적으로 AC 계수가 DC 계수보다 오류의 확률이

7	6	5	4
6	5	4	3
5	4	3	2
4	3	2	0

그림 8. 양자화 매트릭스 ($\overline{M^8}$)
Fig. 8. Quantization Matrix ($\overline{M^8}$).

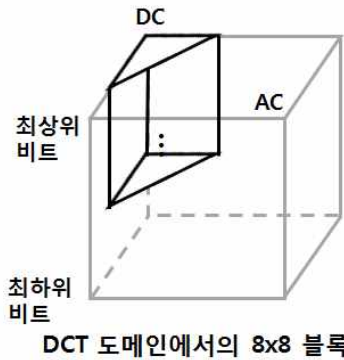


그림 9. 이등변삼각기둥 모양의 양자화
Fig. 9. Quantization of the isosceles triangular prism.

높기 때문에, 이러한 방식으로 양자화를 수행하면, DC 계수 비트 쪽은 교차확률이 낮아 복호화가 성공률이 높지만, AC 계수 쪽으로 갈수록 오류가 많이 발생하여 교차확률이 높아져서 복호화를 실패할 확률이 높다. 따라서 제안하는 양자화기는 그림 9와 같이 이등변삼각기둥 모양으로 수행된다. 제안한 방법은 블록 기반의 채널 부호화를 수행하기 때문에, 이등변 삼각기둥의 양자화기를 이용함으로써, 블록의 교차확률을 감소시킨다. 즉, 오류가 적은 DC 계수 쪽의 비트들과 오류가 많은 AC 계수 쪽의 비트들을 이용하여 전체 교차확률을 감소시킨다^[12]. 그림 9의 이등변 삼각형에서 삼각형의 변의 길이를 양자화 너비라고 하며, 삼각기둥의 높이를 양자화 높이라고 한다.

3.4 오류맵 생성

기존 분산 부호화 방법에서는 정확한 채널의 상태를 예측할 수 없기 때문에, 동일한 계수 및 위치의 비트들을 동일한 교차확률을 이용하여 채널 복호화를 수행한다. 하지만 채널의 상태는 보조정보의 위치에 따라 다르다. 그림 10은 원본 영상과 보조정보의 오류를 나타낸 그림이다. 검은 부분은 오류가 없는 부분이며, 흰 부분은 오류가 있는 부분이다. 그림 10에서 볼 수 있듯이, 배경부분에는 거의 오류가 발생하지 않으나, 객체의 가장 자리는 오류가 밀집되어 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 픽셀 값의 변화가 거의 없는 배경이나 움직임이 똑같은 방향으로 이동 혹은 정지되는 객체의 영역은 보조정보 프레임에서 오류가 발생할 확률이 낮다. 하지만 $t-1$ 키 프레임에는 존재하지 않다가, $t+1$ 키 프레임에는 객체가 존재하거나, 존재하던 객체가 사라지거나 혹은 객체의 회전 등이 발생하여, $t-1$ 키 프레임과 $t+1$



(a) 원본 영상



(b) 보조정보



(c) 차분치 영상

그림 10. 원본 영상과 보조정보 영상과의 차
Fig. 10. Difference between original frame and side information.

키 프레임에서 서로 대응되는 부분이 없을 영역(hole 혹은 occlusion)에서는 보조정보 프레임에 오류가 발생할 확률이 높다. 이렇게 대응되지 않는 부분은 일반적으로 밀집되어 있기 때문에 오류 역시 밀집된다.

표 1은 두 프레임 사이에서 대응되는 부분이 없는 영역(hole)이 전체 프레임에 끼치는 영향을 측정하는 표이다. 표에서 (A) 부분은 대응되는 블록이 없어도 다양한 방법을 이용하여 보간한 후, 원본 프레임과 PSNR을 측정하는 것이고, (B) 부분은 서로 대응되는 블록이 존재할 경우에만 보간하고, 이렇게 보간된 부분에서만 원본 프

표 1. 원본 영상과 보조정보의 PSNR
Table 1. PSNR of original frame and side information.

시퀀스	Hole된 영역을 포함 (A)	Hole된 영역을 제외 (B)	A-B
Exit	37.23	37.47	0.24
Rena	36.18	36.30	0.12
평균			0.18

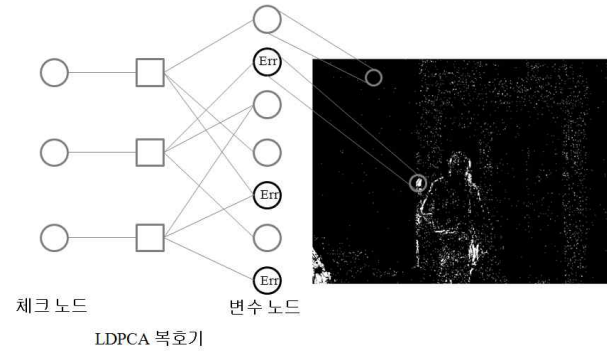


그림 11. LDPCA 복호기
Fig. 11. LDPCA decoder.

레이프와 PSNR을 측정하는 것이다. 대응되는 블록이 없을 경우가 보조정보의 성능 저하를 발생시키는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 기존 분산 비디오 복호기는 보조정보의 오류의 양 및 위치를 모르기 때문에, 동일한 교차확률을 LDPCA 복호기의 변수 노드에 할당한다. 그림 11은 잘못된 교차확률이 적용되는 것을 도식화한 것으로, 그림 11의 체크 노드는 패리티 비트를 입력받아 값이 결정되며, 변수 노드는 보조정보의 값과 교차확률에 따라 결정된다. 이 때, 보조정보의 오류가 없는 비트를 가진 검은 색의 변수 노드와 보조정보의 오류 비트를 가진 회색의 변수 노드는 동일한 교차확률을 가지게 된다. 따라서 옳은 신뢰도가 전파되지 못하기 때문에, 채널 복호기의 효율성이 감소하게 된다.

제안하는 방법은 수신된 오류맵에 따라서, 오류가 없는 블록의 변수 노드의 교차확률을 무한대 (∞) 로 설정하여 변경될 확률을 0 에 가깝게 설정하고, 오류가 있는 블록의 변수 노드들은 수정될 확률을 높게 설정하여 빠르게 수정될 수 있도록 한다. 제안하는 방법은 블록 별 오류맵을 생성하여, 복호기로 전송한다. 블록의 오류의 양에 따라 오류맵을 아래 식과 같이 생성하여 복호기에 전송하면, 복호기는 신뢰도를 오류맵을 기반으로 계산하여 채널 복호화를 수행한다.

$$MAP_{Error}[i] = \begin{cases} 0 & \text{if } error < Threshold0 \\ 1 & \text{if } error < Threshold1 \\ \vdots & \vdots \\ k & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

error는 블록의 오류의 양을 나타내며, i는 블록 인덱스를 나타낸다. 복호기에서는 이 오류맵을 이용하여 신뢰도를 계산하게 되고, 정확한 신뢰 전파를 이용한 채널 복호화를 통하여, 채널 복호기의 복잡도 감소 및 오류 정정을 위하여 요구되는 패리티 비트의 양도 감소하게 된다.

3.5 블록 기반 채널 부호화

기존 분산 비디오 부호화 방법은 복호기에서 보조정보의 교차확률을 알지 못하기 때문에, 동일한 계수와 위치는 유사한 교차확률을 가질 것이라는 가정 하에, 비트 층 기반 채널 부호화를 수행한다. 하지만 이러한 방식으로 비트 층 별로 부호화를 수행할 경우, 비트 층이 높은 최상위 비트 쪽은 교차확률이 낮아 복호화가 성공률이 높지만, 최하위 쪽으로 갈수록 오류가 많이 발생하여 교차확률이 높아져서 복호화를 실패할 확률이 높다. 그림 12는 비트 층마다의 교차확률을 나타낸다.

따라서, 제안하는 방법은 블록 기반 채널 부호화 방

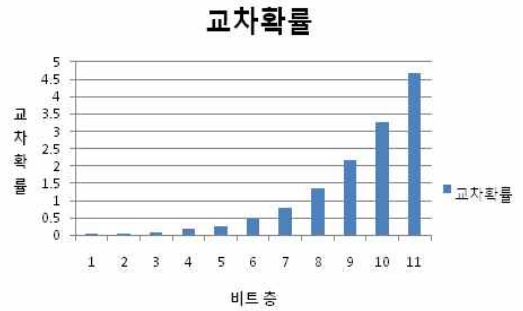


그림 12. 비트 층 별 교차확률 (%)
Fig. 12. Crossover probability per bitplane.

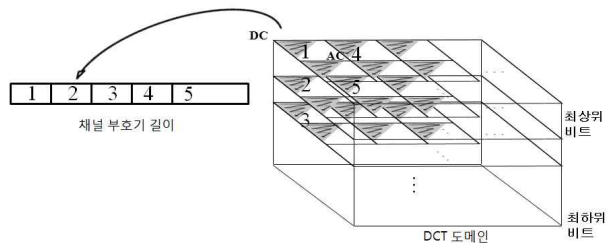


그림 13. 블록 기반 채널 부호기
Fig. 13. Block based channel coding.

법을 수행한다. 제안한 채널 부호기에 그림 13처럼, 입력할 슬라이스를 만드는 방법은 블록의 최상위 비트부터 양자화된 하위 비트까지 스캔하고 그 후, 그 다음의 블록의 비트들을 스캔한다. 따라서 제안한 방법은 이등변 삼각기둥 양자화기로 블록별 교차확률을 감소시키고, 블록 기반으로 슬라이스를 생성하면서 채널 부호기에 입력되는 슬라이스의 교차확률을 감소시킨다.

III. 실험 결과

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 기존 방법과 비트의 사용율과 PSNR을 측정하였다. 실험은 640×480 크기의 VGA급 영상, “Exit”와 “Rena”를 이용하였으며, 각각 3 개씩의 QP 값을 이용하였다. 또한, 보조정보 프레임임을 생성하는 방법은 참조 논문 [7]방법을 이용하였다. 블록의 크기는 8×8 로 하여 수행하였으며, 기존 방법은 그림 5의 양자화기를 이용하여 고정 양자화를 이용하였다. LDPCA는 66단계로 나뉘어 복호기로 전송되도록 설계되어 있는 스탠포드에서 제공하는 채널 코더를 사용하였다^[8]. 제안하는 방법에서 이등변 삼각기둥의 너비와 높이는 각각 2와 3으로 설정하였다. 또한 움직임 벡터를 기존 CAVLC 엔트로피 코딩 방법으로 부호화를 수행하였다^[13~14].

제안하는 방법에서는 오류맵은 2단계로 설정하여 ($k = 2$), 오류가 있을 때는 1, 오류가 없을 때는 0으로 8×8 블록마다 1 비트씩 가르침 비트를 이용하였다. 피드백 채널에 전송되는 사용된 참조영상과 움직임 벡터는 엔트로피 코딩 방법을 이용하여 압축하여 전송했다.

그림 14는 복호기의 보조 정보 영상, 움직임 벡터를 바탕으로 예측한 보조정보와 선형 보간법으로 예측한 보조정보 영상으로 두 가지의 방법으로 예측한 보조정보 영상이다. 선형보간법을 이용하여 예측된 보조정보 영상은 복호기의 보조정보 영상과 비교하여 픽셀값의 변화가 없는 배경 부분을 제외한 나머지 영역에서 많은 오류가 있는 것을 확인할 수 있다. 특히, 오류가 많은 객체의 경계 부분에서의 교차확률의 정확성이 급격히 떨어진다. 따라서 선형보간법을 이용한 예측 보조정보 영상의 교차확률을 기반으로 채널 복호화 성능은 움직임이 없거나 느린 영상에서는 효과적으로 적용될 수 있지만, 움직임이 빠른 비디오에서는 효율성이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안한 움직임 벡터를 이용하여 예측된 보조정보 프레임은 움직임이 있는 부분



(a) 복호기에서 생성한 보조정보 프레임



(b) 부호기에서 움직임 벡터를 이용하여 복원한 보조정보 프레임



(c) 부호기에서 선형보간을 이용하여 복원한 보조정보 프레임

그림 14. 보조정보 프레임
Fig. 14. Side information frame.

에서도 복호기의 보조정보와 동일한 것을 확인 할 수 있었다.

움직임 벡터를 바탕으로 복원한 보조정보 영상과 선형 보간법을 이용한 보조정보 영상의 성능을 측정하였다. 선형 보간을 이용하여 예측된 보조정보 영상의 평균 PSNR은 18.31dB로 차이가 있으나, 제안한 방법으로 보조정보를 예측된 영상의 평균 PSNR은 무한대로 완벽하게 동일하다. 부호기에서 예측된 보조정보를 바탕으로 교차확률 및 필요한 패리티 비트의 양을 예측하게 되는데, 부호기에서 예측한 보조정보와 복호기에서 생

표 2. 제안한 복호기 복잡도 감소율

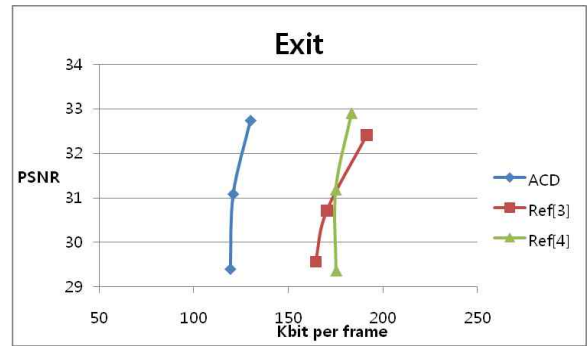
Table 2. Computational complexity reduction ratio of the proposed decoder.

채널 복호기의 복잡도 감소율	분산 비디오 복호기의 복잡도 감소율
99.03%	24.50%

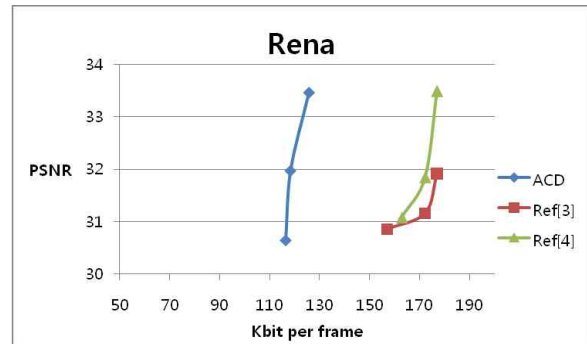
성한 보조정보 프레임의 유사도가 18.31dB 정도 밖에 안 되기 때문에, 예측한 교차확률 및 필요한 패리티 비트의 양이 실제 교차확률과 필요한 패리티 비트와 상당히 차이가 날 수 있으며, 이는 채널 복호기의 성능 저하를 초래한다. 하지만 제안하는 방법은, 움직임 벡터의 수신을 위한 지연이 발생하지만, 정확한 예측을 바탕으로 오류 정정을 위한 패리티 비트를 한번에 전송해주기 때문에, 피드백의 지연을 감소시킬 수 있다. 또한, 부호화의 효율 및 비트 사용의 효율성을 높일 수 있다.

기존 방법은 정확한 교차확률을 측정하는 것이 불가능하므로, 교차확률이 유사한 특성을 보이는 동일한 계수의 동일한 비트 층별로 채널 부호화 및 복호화를 수행한다. 하지만 교차확률이 높은 계수의 비트 층은 채널 복호 실패가 발생할 확률이 높다. 이는 피드백 채널의 요구 횟수를 증가시킴으로, 많은 지연과 높은 비트율을 요구함으로써, 전체적인 부호화 효율을 감소시킨다. 하지만 제안한 방법은 이등변 삼각기둥 양자화를 수행함으로써, 한 블록의 교차확률을 낮추고, 블록 기반 채널 부호화를 수행함으로써, 슬라이스의 교차확률을 낮춤으로써, 채널 복호화의 실패 확률을 감소시켰다.

또한, 그림 10에서 볼 수 있듯이, 보조정보의 성능에 따라 오류가 없는 부분과 오류가 많은 부분이 존재한다. 하지만 기존의 방법들은 정확한 교차확률을 측정하는 것이 불가능하여, 채널 부호화 및 복호화를 수행하는 단위인, 슬라이스에 해당하는 비트들은 동일한 교차확률을 가진다. 따라서 LDPCA 채널 복호기에서 정확하지 않은 신뢰도가 전파되면서 채널복호기의 복잡도의 상승 및 성능이 저하가 발생한다. 하지만 제안한 방법은 수신된 오류맵을 기반으로 블록별로 다른 교차확률을 설정함으로써, 정확한 신뢰도를 전파함으로써, 채널 복호기의 수렴 속도를 향상시킬 수 있었다. 식 (7)에 의하여, 기존의 채널 복호기^[3]의 수렴 속도 대비 제안한 방법의 복호기 수렴속도가 99.03% 감소하였고 분산 비디오 복호기의 복잡도는 24.50%가 감소하였다.



(a)



(b)

그림 15. 기존 방법들과 제안한 방법의 비트율-왜곡 그래프

Fig. 15. RD graphs of the conventional and proposed methods.

$$\frac{C_{Conventional} - C_{Proposed}}{C_{Conventional}} \quad (7)$$

$C_{Conventional}$ 은 기존 알고리즘의 복잡도를 의미하며, $C_{Proposed}$ 는 제안한 알고리즘의 복잡도를 의미한다.

IV. 결론

본 논문에서는 수신된 움직임 벡터에 따른 채널 예측을 수행한 분산 비디오 부호화 방법을 제안한다. 본 논문에서는 수신된 움직임 벡터에 따른 채널 상태를 예측하고 이에 따라 적응적인 교차확률을 적용한 분산 비디오 부호화 방법을 제안한다. 제안한 부호기는 수신된 움직임 벡터와 키 프레임을 이용하여 예측 보조정보를 복원함으로써, 저복잡도로 예측 보조정보를 복호기의 보조정보와 완벽하게 동일하도록 복원하였다. 또한 이를 기반으로 오류맵을 생성하여 적응적으로 교차확률을 적용함으로써, 보조정보를 보다 효과적으로 수정할 수 있었으며 복잡도 및 지연을 감소시킬 수 있었다. 하지

만, 움직임 벡터에 대한 비트와, 부호화 방법을 복호기에 알려주기 위한 비트가 주기적으로 들어간다는 단점이 있으며, 부호기에서는 복호기에서 정보를 전송해 주기 전에는 부호화를 수행할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 추후 분산 비디오 부호화 방법에 관련하여, 제안한 방법에서 움직임 벡터를 전송하기 위해 필요한 비트를 감소시킬 수 있는 방법과 부호화 방법을 복호기에 알려주기 위한 비트를 효율적으로 사용할 수 있는 방법, 그리고 피드백 채널을 이용하지 않고 분산 비디오 부호화를 수행하는 방법들을 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 심혁재, 전병우, “분산 비디오 압축 기술,” 전자공학회지, 제 36권 4호, 91-105쪽, 2009년 4월.
- [2] 박시내, 심동규, 전병우, “조명보상 기반 분산 다시점 비디오 코딩,” 전자공학회논문지, 제 45권, SP 편, 제 6호, 17-26쪽, 2008년 11월.
- [3] W.J. Chien, L.J. Karam, and G.P. Abousleman, “Rate-distortion based selective decoding for pixel-domain distributed video coding,” *Conf on ICIP 2008*, pp. 1132-1135, Oct. 2008.
- [4] J.L. Martinez, C.Holder, G.E. Fernandez, H. Kalva, and F. Quiles, “DVC using a half-feedback based approach,” *Conf on Multimedia and Expo*, pp. 1125-1128, April 2008.
- [5] Q. Linbo, H. Xiaohai, L. Rui, and D. Xiewei, “Application of punctured turbo codes in distributed video coding,” *Conf on ICIG 2007*, pp. 241-245, Aug. 2007.
- [6] C. Brites and F. Pereira, “Encoder rate control for transform domain wyner-ziv video coding,” *Conf on ICIP 2007*, vol. 2, pp. 5-8, Oct. 2007.
- [7] K.Y. Min, S.N. Park, and D.G. Sim, “Side information generation using adaptive search range for distributed video coding,” *Conf on RacRim 2009*, pp 854-857, Aug. 2009.
- [8] 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, Nov. 2006.
- [9] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjntegaard, and A. Luthra, “Overview of the H.264/AVC video coding standard,” *Trans. on IEEE CSVT*, vol. 13, no. 7, pp. 560-576, July, 2003.
- [10] E., Pexioto, R.L. Queiroz, and D. Mukherjee, “A Wyner-Ziv video transcoder,” *Trans. on CSVT*, vol. 20, pp. 189-200, Feb. 2010.
- [11] J. L. Martinez, H. Kalva, W.A.C. Fernando, P. Cuenca, and F.J. Quiles, “Efficient WZ-to-H.264 transcoding using motion vector information sharing,” *Conf on ICME 2009*, pp. 1394-1397, June, 2009.
- [12] 민경연, 박시내, 남정학, 심동규, 김상호, “수신된 움직임 벡터를 이용한 적응적 블록 양자화 기반 분산 비디오 코딩 방법,” 한국통신학회논문지, pp. 172-181, 2010년 2월.
- [13] Draft ITU-T Recommendation and Final Draft international Standards of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264/ISO/IEC 14496-10 AVC) Joint Video Team (JVT), Doc. JVT-G050, Mar. 2003.
- [14] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjntegaard, and A. Luthra, “Overview of the H.264/AVC video coding standard,” *Trans. on IEEE CSVT*, vol. 13, no. 7, pp. 560-576, July, 2003.

— 저 자 소 개 —



민 경 연(정회원)
2009년 광운대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2009년 광운대학교 컴퓨터공학과
석사 과정.
<주관심분야 : 분산 비디오 코딩,
영상 처리>



박 시 내(정회원)
2004년 광운대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2006년 광운대학교 컴퓨터공학과
석사 졸업.
2008년 광운대학교 박사 과정

<주관심분야 : 영상압축, 영상 처리>



유 성 은(정회원)
2009년 광운대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2009년 광운대학교 컴퓨터공학과
석사 과정.
<주관심분야 : 분산 비디오 코딩,
영상 처리>



심 동 규(정회원)-교신저자
1999년 서강대학교 전자공학과
공학박사 졸업.
2000년 (주) 현대전자
2002년 (주) 바로비전
2005년 광운대학교 컴퓨터공학과
(부교수)

<주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터비
전>



전 병 우(정회원)
1985년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업.
1987년 서울대학교 전자공학과
석사 졸업.
1992년 Purdue Univ. School of
Elec. 박사 졸업.

1997년 성균관대학교 정보통신공학부 교수
<주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 영상인식,
신호처리>