

특집논문-08-13-2-03

공간적 유사성과 심볼단위 오류정정 채널 코드를 이용한 경량화 비디오 부호화 방법

고 봉 혁^{a)}, 심 혁 재^{a)}, 전 병 우^{a)†}

Lightweight video coding using spatial correlation and symbol-level error-correction channel code

Bonghyuck Ko^{a)}, Hiuk Jae Shim^{a)}, Byeungwoo Jeon^{a)†}

요 약

기존의 부호화 기술은 부호화기의 복잡도가 복호화기에 비해 매우 높은 구조로 이루어져 있다. 하지만 최근에 부호화기 복잡도의 대부분을 차지했던 움직임 예측/보상과정을 없애는 경량화 부호화 구조에 대한 연구가 중요해졌다. Wyner-Ziv 부호화 기술은 이의 대표적인 기술로서 부호화기는 단순히 현재 프레임에 대한 패리티 정보만을 생성하며 프레임 간 유사성을 이용하는 어떠한 처리절차도 행하지 않기 때문에 종래의 기술에 비해 매우 간단한 구조를 갖는다. 하지만 Wyner-Ziv 부호화 구조에서는 잡음이 많은 보조영상을 복호화에 이용 할 경우 채널 코드의 복호화 오류가 발생한다. 이러한 복호화 오류는 특히 영상 간 유사성이 적어 보조정보를 잘 만들 수 없는 경우 더 많이 발생하며 복원된 영상에 마치 Salt & Pepper와 같은 형태의 잡음으로 나타난다. 이러한 잡음은 비록 그 발생빈도가 적더라도 복원된 영상의 주관적인 화질을 상당히 떨어뜨리는 요소로 작용하므로 이전에는 공간적 유사성을 이용하여 이러한 오류를 정정하는 선택적 미디언 필터를 사용한 경량화 부호화 방법을 제안하였었다. 하지만 이전 방법에서는 텍스처가 복잡한 영상의 경우, 필터적용에 따른 텍스처의 손실이 오류정정으로 얻는 이득보다 더 큰 경우가 발생하는 문제점이 있었다. 따라서 본 논문에서는 선택적 미디언 필터에 복원영상과 보조정보 내 잡음에 관한 정보를 제공함으로써 필터링에 따른 텍스처의 손실을 최소화하는 향상된 경량화 부호화 방법을 제안한다. 실험결과 이는 이전 방법에 비해 최대 0.84dB에 이르는 성능향상을 보였다.

Abstract

In conventional video coding, encoder complexity is much higher than that of decoder. However, investigations for lightweight encoder to eliminate motion prediction/compensation claiming most complexity in encoder have recently become an important issue. The Wyner-Ziv coding is one of the representative schemes for the problem and, in this scheme, since encoder generates only parity bits of a current frame without performing any type of processes extracting correlation information between frames, it has an extremely simple structure compared to conventional coding techniques. However, in Wyner-Ziv coding, channel decoding errors occur when noisy side information is used in channel decoding process. These channel decoding errors appear more frequently, especially, when there is not enough correlation between frames to generate accurate side information and, as a result, those errors look like Salt & Pepper type noise in the reconstructed frame. Since this noise severely deteriorates subjective video quality even though such noise rarely occurs, previously we proposed a computationally extremely light encoding method based on selective median filter that corrects such noise using spatial correlation of a frame. However, in the previous method, there is a problem that loss of texture from filtering may exceed gain from error correction by the filter for video sequences having complex texture. Therefore, in this paper, we propose an improved lightweight encoding method that minimizes loss of texture detail from filtering by allowing information of texture and that of noise in side information to be utilized by the selective median filter. Our experiments have verified average PSNR gain of up to 0.84dB compared to the previous method.

Keywords : DSC, DVC, Wyner-Ziv coding, Turbo decoding error, Selective median filter

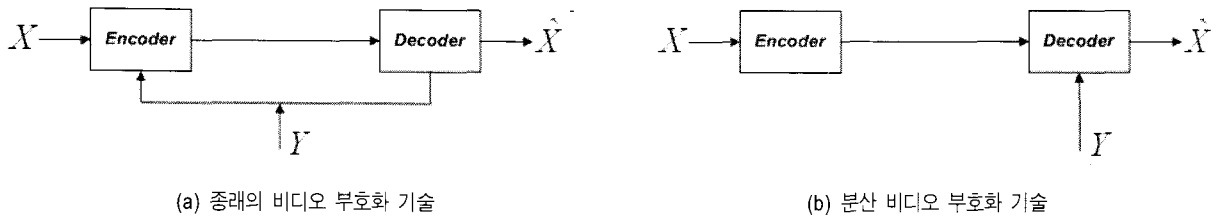


그림 1. 종래의 부호화 기술과 분산 부호화 기술의 비교
 Fig. 1. Comparison of conventional and distributed video coding structures

1. 서론

최근에 정보이론의 중요 응용 연구로 관심을 받아온 분산 소스 부호화 기술(DSC : Distributed Source Coding)은 Slepian-Wolf이론과 Wyner-Ziv이론에 기반하여, 소스 데이터간의 중복성(redundancy)을 제거하는 일련의 처리 없이 분산된 여러 소스들을 독립적으로 부호화하는 문제를 다루고 있다^{[1][2]}. 이들 이론에 따르면 그림 1 (a)와 같이, 부호화하는 소스 X와 이와 유사한 보조정보 Y가 부호화기와 복호화기 모두에 주어진 경우, 복호화기에서 X와 Y를 모두 복원하기 위해 필요한 최소한의 정보량은 이론적으로 $H(X, Y) = H(Y) + H(X|Y)$ 이며, 이 중 X에 대한 정보량은 $H(X|Y)$ 로 주어진다. Slepian-Wolf 이론은 Y가 그림 1(b)와 같이 복호화기에만 주어지는 경우에도 X의 무손실 복호화에 필요한 최소 정보량은 $H(X|Y)$ 가 될 수 있다는 것을 수학적으로 증명한 것이다. Wyner-Ziv이론은 Slepian-Wolf 이론을 손실압축의 경우로 확장한 것이다. 이 이론은 복호화기에만 보조정보 Y에 대한 정보가 유효하다면 부호화기에 Y에 대한 정보가 유효하든 안 하든 소스 X에 대하여 동일한 비트율-왜곡성능을 얻을 수 있다는 것을 증명하였다.

비디오 압축기술의 구현 관점에서 이 이론들은 프레임 간 중복성을 줄이기 위해 부호화기에서 행하였던 모든 신호처리절차를 부호화 이득에 별다른 손실 없이 복호화기

쪽으로 옮길 수 있음을 뜻한다. 기존의 비디오 압축 기술은 프레임 간 중복성을 줄이기 위한 모든 처리절차를 부호화기에서 행하였으므로, 부호화기의 복잡도가 복호화기의 복잡도보다 상당히 높은 구조로 이루어져 있다. 따라서 센서 네트워크에서와 같이 부호화기가 사용할 수 있는 컴퓨팅 자원이 한정된 환경에는 적합하지 않은 문제점이 있었다. 이에 분산 비디오 부호화 기술(DVC : Distributed Video Coding)은 각 소스들을 서로 독립적으로 부호화하며 기존 기술과 같은 복잡한 처리절차를 부호화기에서 행하지 않기 때문에 경량화 부호화기 문제의 해결방안으로 각광받고 있다.

현재 활발하게 연구가 진행중인 DVC 기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 멀티레벨 코셋코딩(Multi level coset coding) 기술에 기반한 버클리대학의 PRISM 기술이며 다른 하나는 채널코딩(Channel coding) 기술에 기반한 스탠포드대학의 Wyner-Ziv 부호화 기술이다^{[3][4]}. 이 중 현재 가장 활발한 연구를 보이고 있는 기술은 Wyner-Ziv 부호화 기술이다^[3]. 분산 비디오 기술에서는 부호화기에 보조정보 Y에 대한 정보가 주어지지 않는다. 따라서 소스 X와 Y간의 차이를 알 수 없기 때문에 소스 X와 보조정보 Y간의 차이를 일종의 잡음으로 간주한다. 이 잡음은 전송채널에서 발생하는 것이 아니라 복호화기에서 현재 부호화되는 소스 X에 유사한 보조정보 Y를 만들 때 그 정교성이 떨어져 발생하는 것이므로 이를 ‘가상의 채널 잡음(Virtual Channel Noise)’이라 한다. Wyner-Ziv 부호화 기술에서는 이 가상의 채널 잡음을 제거하기 위해 부호화기가 종래의 잘 알려진 채널 코딩 기법을 이용하여 소스를 부호화하며 생성된 패리티 정보를 복호화기에 전송한다. 복호화기에서

a) 성균관대학교 정보통신공학부
 School of Information & Communication Eng., Sungkyunkwan University
 † 교신저자 : 전병우(bjeon@skku.edu)
 ※ 이 논문은 과학기술부의 재원으로 한국과학재단 국가직정 연구실사업으로 수행된 연구임(No. M10600000286-06J0000-28610)

는 부호화기로부터 전송받은 패리티를 이용하여 보조정보에 있는 잡음을 제거하여 영상을 복원 한다. 따라서 이 기술은 보조정보가 정교할수록 그리고 채널 코드의 오류정정 능력이 좋고 부호화기에서 전송해주는 패리티의 양이 충분할수록 더 나은 복호화 성능을 보인다. 하지만 반대로 보조정보를 잘못 만들거나 채널 코드의 오류정정 능력에 비해 패리티의 양이 충분하지 않을 경우에는 채널 코드의 복호화 오류가 발생한다. 이전 방법에서는 이러한 채널 코드의 복호화 오류를 해결하기 위한 방안으로 공간적 유사성을 기반으로 하는 선택적 미디언 필터를 제안하였었다⁵⁾. 하지만 이전 방법은 텍스처가 복잡한 영상의 경우 선택적으로 미디언 필터를 적용함에 있어 이에 따른 텍스처의 손실을 효과적으로 줄일 수가 없었다.

따라서 본 논문은 이전 방법과 동일하게 화소영역 Wyner-Ziv 부호화 기술을 사용하되, 기존 방법의 문제점인 미디언 필터 적용 시 발생하는 텍스처 손실을 최소화하기 위하여, 주변 정합을 사용한 보간오류 판별 정보와 영상 텍스처의 통계적인 특성 정보를 이용하여 발생하는 복호화 오류에만 좀 더 정교하게 미디언 필터를 적용하는 개선된 부호화 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 II장에서는 화소영

역 Wyner-Ziv (PDWZ) 부호화 기술에 기반한 제안하는 경량화 비디오 부호화의 전반적인 구조 및 복호화 과정에 관하여 설명한다. III장에서는 실험 및 그 결과에 대해서 논의한다. 마지막으로 IV장에서는 결론과 향후 연구과제에 대해서 논의한다.

II. 제안하는 경량화 비디오 부호화 방법

1. 부호화기의 구조

그림 2는 본 논문에서 사용하는 Wyner-Ziv 이론 기반의 경량화 비디오 부호화 구조를 나타낸다. Wyner-Ziv 부호화 기술에서는 프레임을 크게 키 프레임과 Wyner-Ziv 프레임으로 나눈다. 이 중 키 프레임은 기존의 인트라 코덱으로 부호화되어 복호화기로 전송된다. 본 논문에서는 매 홀수 번째 프레임이 이에 해당하며 부호화에는 H.264/AVC 인트라 코덱이 사용되었다. 키프레임이 인트라 부호화되어 복호화기로 전송되고 나면 부호화기는 Wyner-Ziv 프레임을 양자화 한다. 그림 2의 Wyner-Ziv 부호화에 사용되는 M비트 양자화기는 균일 스칼라 양자화기로 화소의 상위 M비트를 추출 하는 것과 동일한 기능을 한다.

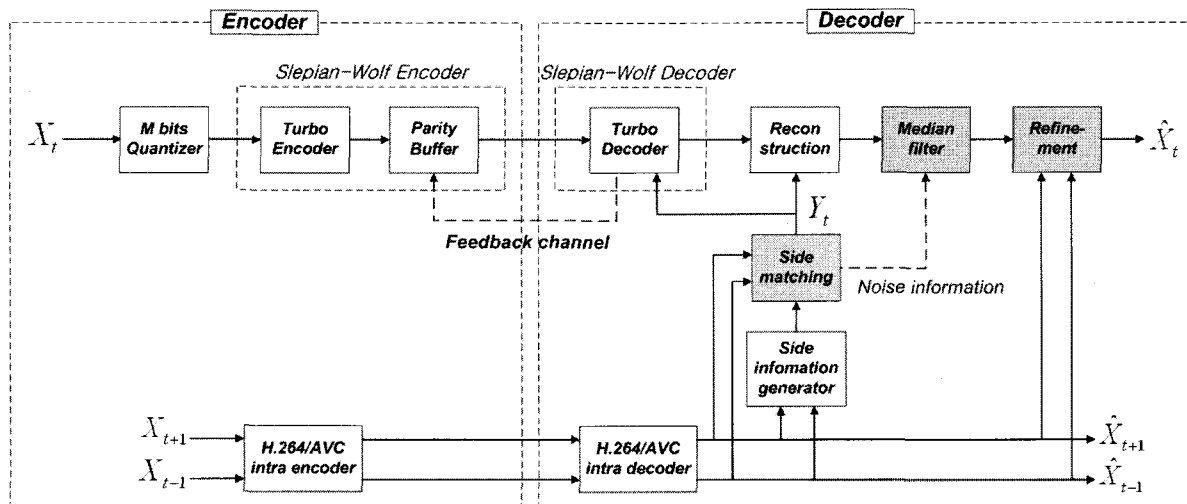


그림 2. 제안하는 경량 비디오 부호화 구조
Fig. 2. Proposed light-weight video coding structure

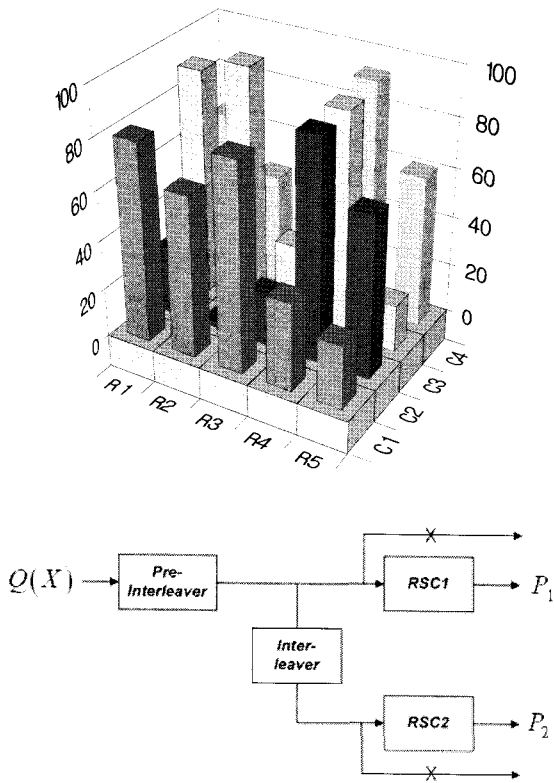


그림 3. 터보 부호화기의 구조
Fig. 3. Turbo encoder structure

그림 3은 본 논문에서 사용하는 터보 부호화기의 구조를 나타낸다. 터보 부호화기는 두 개의 인터리버와 RSC (Recursive Systematic Convolutional Code) 그리고 각각의 RSC로부터 생성된 패리티를 저장하는 패리티 버퍼로 구성된다. 양자화 된 심볼 스트림은 터보 부호화기에 입력되기 전에 몇 개의 하위블록으로 나뉘며 이 후 인터리버를 거치게 된다. 그리고 첫 번째 RSC에는 그대로, 그리고 두 번째 RSC에는 또 다른 인터리버를 거쳐서 입력된다. 복호화기에서 보조정보는 원본 프레임에 가상의 채널 잡음이 인가된 것으로 간주되기 때문에 각각의 RSC에서 생성되는 systematic 정보는 복호화기로 전송되지 않는다. 또한 Wyner-Ziv 코딩에 쓰이는 터보 코드는 RCPT(Rate Compatible Punctured Turbo Code)로, 생성된 패리티를 버퍼에 저장하며 복호기의 요청에 따라 그 중 일부를 평처리하여 전

송한다.

2. 복호화기의 구조

2.1 보조정보 생성기

일반적으로 보조정보는 전후 프레임 간 선형 움직임을 가정한 보간법을 사용하여 보조정보 생성기에 의해 만들어진다. 복호화기는 부호화기로부터 키 프레임을 전송받는데로 이를 복원하며 이 후 X_{t+1} 에서 X_{t-1} 방향으로 움직임 예측을 수행한다. 그리고 움직임 벡터 중 프레임 X_t 의 임의의 블록 위치에서 해당 블록을 가장 가까이 통과하는 벡터를 그 블록의 위치에 맞게 보정한다. 이후에는 키 프레임의 소정의 탐색영역에서 움직임벡터를 대칭으로 이동시키며 선택되어지는 후보 블록들 간 정합오류가 최소가 되는 쌍을 보간하여 보조정보를 만든다^[6]. 그림 4는 이에 대한 예로써 생성된 foreman영상의 보조정보를 보여준다. 보조정보를 만들 때 프레임 간에 움직임이 많지 않은 경우에는 그림 4(a)와 같이 정상적으로 보조정보가 생성된다. 하지만 이와는 달리 프레임 간 움직임이 심한 경우 또는 occlusion이 존재할 경우에는 그림 4(b)와 같이 잘못된 블록을 보조정보로 생성하게 되어 보조정보 내에 많은 오류가 발생하게 된다.



(a) 20번째 프레임 (b) 156번째 프레임

그림 4. 생성된 보조정보(QP = 28, foreman영상, 지멘스 로고 있는 것)
Fig. 4. Generated side information (QP = 28, Foreman sequence with Siemens logo)

2.2 주변 정합기

근본적으로 Wyner-Ziv 부호화 기술은 보조정보를 잘 만들수록, 즉 제거되어야 할 잡음이 적게 생성될수록 전체

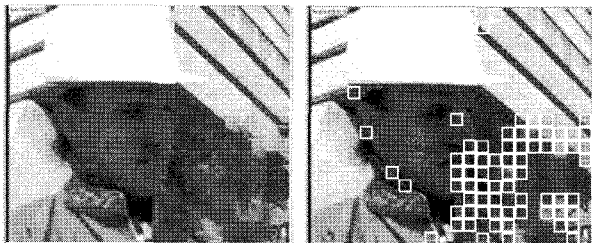
적인 시스템의 부호화 효율이 좋아진다. 따라서 보조정보를 얼마나 잘 만드는가는 전체 시스템의 성능과 직결된 요소라 할 수 있다.

일반적으로 Wyner-Ziv 부호화 기술에서는 보조정보를 만드는데 프레임 간 선형적인 움직임을 가정한 프레임 보간법을 사용한다. 하지만 그림 4에서 보았듯이 프레임 간 움직임이 복잡하거나 occlusion이 있을 시에는 잘못된 블록을 보간하여 보조정보 내에 많은 잡음이 발생하게 되며, 잘못 생성된 블록(보간오류)은 영상 내 국소영역에 밀집하여 발생하여 복원된 영상의 주관적 그리고 객관적인 화질을 심히 저하시킨다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위하여, 대응하는 블록 주변의 유사성에 기반한 보간오류 판별 및 보정방법을 사용한다^[7].

발생한 보간오류를 판별하기 위하여 복호화기는 생성된 보조정보의 각 블록위치에서 블록 주변간의 정합도를 다음과 같이 계산한다.

$$\xi = MAD\left\{S_t, \frac{S_{t-1} + S_{t+1}}{2}\right\} \quad (1)$$

식 (1)에서 MAD는 절대 차이값의 평균(Mean Absolute Difference)을 의미하며, S_t 는 t번째 프레임상에 있는 해당 블록주변값을 나타낸다. 복호화기는 계산된 정합도 ξ 가 사전에 정의한 임계값보다 큰 경우 해당블록에 잘못된 보간으로 인한 보간오류가 발생하였다고 판별한다. 그림 5(a)는 이에 대한 예로서 foreman 영상의 156번째 프레임을 보여준다. 이 부분의 영상에서는 영상 간 움직임이 복잡하기



(a) 원본 보조정보 (b) 보간오류 판별

그림 5. 주변정합을 이용한 보간오류 판별(156번째 프레임, QP=28)
Fig. 5. Interpolation error detection based on side matching (156th frame, QP=28)

때문에 보조정보 내에 많은 보간오류가 발생한다. 그림 5(b)는 판별된 보간오류를 복호화기가 영상에 표시한 것으로 대부분의 보간오류를 복호화기가 판별할 수 있음을 보여준다.

이어서 식 (1)을 통하여 블록에 보간오류가 있다고 판단되는 블록에 대해서는 이를 보정하기위해 다음과 같은 보정방법이 사용되었다^[6].

$$B_i \leftarrow B_i, \quad \text{where } i = \arg \min \{\xi_1, \xi_2, \xi_3\}$$

$$\xi_1 = MAD\{S_t, S'_{t-1}\}$$

$$\xi_2 = MAD\{S_t, S'_{t+1}\} \quad (2)$$

$$\xi_3 = MAD\left\{S_t, \frac{(S'_{t-1} + S'_{t+1})}{2}\right\}$$

식 (2)에서 B_i 는 주어진 블록 주변인 S_t 가 둘러싼 블록을 표시하며, S'_t 는 탐색영역 내 임의의 블록주변이다. 복호화기는 전방향, 역방향, 그리고 양방향 탐색영역 내에서 식 (2)와 같이 정합도가 최소가 되는 세 개의 후보 블록주변을 찾는다. 그리고 각 방향에서 찾아낸 세 개의 후보 블록주변 중 정합도가 최소가 되는 블록주변이 둘러싼 블록을 새로운 보조정보로 대체한다. 그림 6은 이의 예로서 그림 6(a)는 원본 보조정보이며 그림 6(b)는 보간오류를 보정한 보조정보를 보여준다. 이 그림을 통하여 주변정합을 기반으로 한 보간오류 판별 및 보정방법으로 잘못된 블록을 정정함으로써 보조정보의 화질이 현저히 개선되었음을 볼 수 있다.



(a) 원본 보조정보 (b) 향상된 보조정보

그림 6. 주변정합을 이용한 보간오류 보정(156번째 프레임, QP=28)
Fig. 6. Interpolation error correction based on side matching(156th frame, QP=28)

표 1에는 여러 영상들과 양자화 계수에 따른 주변정합 기법의 보간오류 판별방법 및 보정방법의 성능을 나타내었다.

표 1. 보간오류 판별 및 보조정보에 대한 보정방법의 성능
Table 1. Performance of side matching (PSNR [dB])

Sequence	QP	원본 보조정보	보정된 보조정보	$\Delta PSNR$ [dB]
Coastguard	40	27.54	27.79	0.25
	20	36.63	36.81	0.18
Mobile & calendar	40	24.90	25.12	0.22
	20	31.15	31.54	0.39
Foreman	40	27.75	28.11	0.36
	20	35.43	35.79	0.36
Stefan	40	23.08	23.31	0.23
	20	25.32	25.50	0.18

* $\Delta PSNR = PSNR(\text{보정후}) - PSNR(\text{보정전})$

2.3 터보 복호화기

본 논문의 터보 복호화기는 MAP(Maximum A Posteriori) 알고리즘을 사용하였으며 기존의 비트플레인 기반의 터보 코드와는 달리 심볼레벨에서 작동하는 Hyper-Trellis 터보 코드를 사용함으로써 채널 코드의 정정능력을 향상시켰다 [8][9]. 터보 복호화기는 보조정보와 부호화기로부터 전송되어지는 패리티정보를 이용하여 log-likelihood를 계산한다.

$$L(X_k) = \log [P(X_k = q | Y)] \quad (3)$$

이 식에서 X_k 는 양자화된 심볼 스트림의 k번째 심볼을 나타내며, q 는 X_k 가 갖을 수 있는 심볼값을 표시하며, 그 범위는 $q = [0, 2^M]$ 이다. 그리고 그 결과로부터 에러율을 산출하며 이 값이 임계값 이하로 내려갈 경우 복호화를 끝마치고 그렇지 못할 경우 피드백 채널을 통하여 부호화기에 추가적인 패리티 요청을 한다.

2.4 영상복원기

터보 복호화가 끝나면 복호화기에서는 원본 프레임의 양자화된 심볼 스트림을 복원하게 된다. 영상복원기는 이 심볼 스트림에 양자화 과정에서 버려진 나머지 하위 비트들을 식 (4)와 같은 영상복원 규칙을 적용하여 보상한다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_t(i,j) &= 2^{8-M} \times q(i,j), \quad q(i,j) > Q(Y_t(i,j)) \\ \hat{X}_t(i,j) &= Y_t(i,j), \quad q(i,j) = Q(Y_t(i,j)) \\ \hat{X}_t(i,j) &= 2^{8-M} \times [q(i,j)+1], \quad q(i,j) < Q(Y_t(i,j)) \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 $\hat{X}_t(i,j)$ 는 t번째 프레임 (i,j)위치의 복원된 화소값이며, $q(i,j)$ 는 터보 코드로부터 복원된 양자화된 화소값, 그리고 $Y_t(i,j)$ 는 t번째 프레임 (i,j)위치의 보조정보 화소값이며, $Q(Y_t(i,j))$ 는 $Y_t(i,j)$ 의 양자화된 화소값을 나타낸다.

2.5 제안하는 선택적 미디언 필터

그림 7은 생성된 보조정보를 이용하여 기존의 Wyner-Ziv 부호화기술로 복원한 영상을 나타낸다. 그림 7을 통해 알 수 있듯이 움직임이 많아 보조정보에 잡음이 많은 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 복원된 영상의 화질이 상당히 떨어지는 것을 알 수 있다. 터보 복호화기는 주어진 패리티와 보조정보를 이용하여 트렐리스 상의 처음 상태에서 마지막 상태에 이르는 가장 적합한 천이과정을 추정한다. 하지만 위와 같이 패리티 정보가 영상 내 잡음의 양에 비해 충분하지 못할 경우에는 잘못된 천이과정을 가장 적합한 것으로 판단한다. 문제는 이렇게 잘못 판단된 천이는 특히 잡음이 많이 섞여 있는 화소와 그에 이웃해 있는 화소 주위에서 종종 해당위치의 화소 값과는 판이하게 다른 값으로 복호화 된다는 것이었다. 영상을 보면 이는 마치 Salt & Pepper같은 잡음으로 보이며 특히 보조정보 내 잘못된 보간으로 만들어진 블록 영역에 이런 오류가 밀집해서 나타



(a) 20번째 프레임 (b) 156번째 프레임

그림 7. 복원된 영상(M=4, QP=21)
Fig. 7. Reconstructed frame(M=4, QP=21)

나게 된다. 그리고 영상에 이와 같은 잡음이 있게 되면 비록 그 발생 빈도수가 작더라도 주관적인 화질을 심각하게 저하 시킨다. 이전 방법에서는 이를 위해 선택적인 미디어 필터를 사용하였다^[5]. 하지만 영상의 텍스처가 복잡한 경우 필터를 적용시켰을 때 잡음을 제거해서 얻는 이득보다 영상의 텍스처에 생기는 손실이 더 커 이득을 얻지 못하는 경우가 발생하는 문제가 있었다.

본 논문에서는 이를 개선하기 위해 좀 더 정교한 복호화 오류 판별 방법을 제안한다. 우선 복호화기는 주변정합기로부터 보간오류, 즉 터보 복호화기가 제거해야 할 잡음의 주요 발생 위치에 대한 정보를 알 수 있다. 그리고 보간오류가 발생하였던 블록은 복호화 오류가 발생할 여지가 그렇지 않은 위치에 비해 더 높다고 볼 수 있다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 보간오류가 발생하였던 블록 내의 모든 위치를 추가적으로 선택적 미디어 필터의 적용대상에 포함하도록 한다.

더불어 기존 방법에서는 미디어 필터에 주어지는 임계값을 많은 실험을 통하여 얻어낸 최적의 값으로 고정하였었다. 하지만 이는 영상 텍스처의 특성을 고려하지 않은 방법으로 이 때문에 복잡한 텍스처를 갖는 영상의 경우 이전 방법^[5]으로는 객관적인 성능 향상을 볼 수가 없었다. 이를 위해 본 논문에서는 복호화 오류가 발생하였다고 추정되는 화소위치에 한하여 소정의 영역에 위치하는 주변 화소들의 표준편차를 구하였다. 그리고 이 표준편차는 주위화소들의 평균적인 값 차이에 대한 지표로 간주할 수 있으므로 이를 각 화소위치에 미디어 필터의 임계값으로 사용하였다.

2.6 Refinement

그림 2의 refinement 모듈은 우선 모든 블록에 대해서 블록 내 상위 M비트 값이 보조정보의 값과 다른 화소가 존재하는지의 여부와 해당위치에 복호화 오류가 발생하였는지의 여부를 파악한다. 만약 블록 내에 해당하는 화소가 있을 경우에는 양쪽에 있는 키 프레임으로부터 움직임 예측/보상 과정을 통하여 이를 보정한다. 이때 본 논문에서는 해당 블록에 미디어 필터가 적용된 화소가 있을 경우, 이는 계산의 정확도를 위해 정합도 계산에서 제외

한다. 여기에 움직임 보상 시 기존의 방법^[10] 해당 블록에 터보 코드 복호화 오류가 거의 없다는 것을 가정하여 상위 M비트가 같은 화소의 경우에만 움직임 보상을 하였는데 이는 상위 M비트가 다를 경우, 키 프레임에서 찾아낸 후보 블록의 동일 위치에 잡음이 있다고 판단하기 때문이었다. 하지만 터보 코드 복호화 오류가 있을 때, 특히 주변 화소들과 판이하게 다른 값을 갖는 화소의 경우, 키 프레임에서 현재 블록에 거의 흡사한 블록을 찾는다 해도 오류가 있는 화소의 경우 상위 M비트 값이 달라 움직임 보상의 대상에서 제외되는 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 상위 M비트 값이 다르더라도 미디어 필터가 적용된 화소의 경우에 한해서는 후보 블록에서 움직임 보상을 수행한다.

III. 실험 및 결과

1. 실험 방법

본 논문에서 제안하는 개선된 터보 복호화 오류 판별 방법을 사용한 경량화 부호화 방법의 성능을 평가하기 위하여 움직임의 많고 적음과 영상 텍스처의 복잡도에 따라 Coastguard, Mobile & calendar, Foreman(Siemens 로고 있는 것), Stefan 영상들에 대하여 실험을 하였다. 실험은 다음 세 가지 경량화 부호화 방법의 비교로 이루어졌다.

- Previous1 : Hyper-trellis 기반 터보 코드와 주변 정합기를 사용한 이전의 PDWZ 구조 경량화 부호화기^[7]
- Previous2 : Hyper-trellis 기반 PDWZ와 주변 정합기, 그리고 이전의 선택적 미디어 필터를 적용한 경량화 부호화기^{[5][7]}
- Proposed : Hyper-trellis 기반 PDWZ와 주변 정합기, 그리고 향상된 선택적 미디어 필터를 사용한 제안 경량화 부호화기

구체적 실험 조건은 다음과 같다.

- M비트 양자화기 : 기존에 제안되었던 방법들과 동일하게 $M=\{1, 2, 3, 4\}$ 에 대해서 실험.
- 터보 부호화기 : $G = \begin{bmatrix} 1+D+D^3+D^4 \\ 1+D^3+D^4 \end{bmatrix}$ 를 생성함수로 사용하였으며 프레임 당 하위블록은 12개, 펄스링 주기는 32 사용.
- 보조정보 생성기 : 블록 크기는 8x8이며 움직임 예측을 위한 탐색영역은 16x16.
- Refinement : 전방향과 역방향 탐색영역은 보조 정보를 생성할 때의 크기와 동일하며 양방향 반복 탐색영역의 크기는 8x8.

전송률은 기존의 방법과 마찬가지로 Wyner-Ziv 프레임에 대한 값을 계산하였으며, PSNR은 원본 영상과 복원된 영상 간에 측정되었다.

2. 실험 결과

표 2는 이전 방법과 제안 방법에서의 터보 코드 복호화 오류의 통계적 발생 특성을 나타내고 있다.

- Ee : 복원된 영상의 화소와 그에 상응하는 원본 영상 화소의 상위 M 비트가 다른 사건 (즉, 터보 코드 복호화 오류가 발생한 경우로 실제 실험에서는 원본영상과 복원된 영상의 상위 비트를 직접 비교하여 구하였다.)
- Ed1 : 1차적으로 복호화 오류가 발생하였다고 판별되

는 사건으로 이전 방법^[5]에서는 복원된 영상 화소와 그에 상응하는 보조 영상화소의 상위 M비트가 서로 다른 사건이며 제안 방법에서는 복원된 영상 화소와 그에 상응하는 보조 영상화소의 상위 M비트가 서로 다르거나 또는 주변 정합기에 의해 보간오류가 발생하였다고 판별되는 사건

- Ed2 : 2차적으로 복호화 오류가 발생하였다고 판별되는 사건으로 선택적 미디어 필터를 적용한 사건

표 2에서 P(Ee)는 발생하는 복호화 오류의 실제 어려움을 나타낸다. 한편 P(Ed1|Ee)는 발생한 복호화 오류 중 첫 번째 판별조건에 해당할 확률로 실험 결과는 4개의 영상에 대하여 평균 77%의 결과를 보여주고 있다. 이는 이전 방법의 70%에 비해 보간오류의 발생위치 정보를 함께 이용하는 제안 방법이 좀 더 많은 복호화 오류를 판별할 수 있음을 뜻한다.

P(Ee|Ed2)는 두 번째 판별조건에 해당하는 화소, 즉 미디어 필터가 가해지는 화소가 실제 복호화 오류가 발생한 화소일 확률을 나타낸다. 따라서 다음의 1-P(Ee|Ed2)값은 미디어 필터가 취해지는 화소 중 실제 복호화 오류가 발생하지 않은 화소의 확률로 즉, 필터를 적용하였을 때 복호화 오류가 아닌 텍스처에 필터가 가해질 확률을 나타낸다. 실험 결과는 제안 방법이 이전 방법에 비해 평균 67%에서 34%로 필터를 사용하는 것에 따른 텍스처의 손실이 일어날 확률이 상당량 적어진 것을 보여준다. P(Eec,Ed2)는 전체 화소에 대하여 복호화 오류가 발생하지 않은 화소에 미

표 2. 복호화 오류의 통계적 특성(M=4, QP=21)
Table 2. Statistical property of channel decoding error(M=4, QP=21)

Sequence	P(Ee)	Previous2				Proposed			
		P(Ed1 Ee)	P(Ee Ed2)	1-P(Ee Ed2)	P(Eec,Ed2)	P(Ed1 Ee)	P(Ee Ed2)	1-P(Ee Ed2)	P(Eec,Ed2)
Coastguard	7.09×10^{-4}	0.64	0.21	0.79	3.54×10^{-4}	0.65	0.57	0.43	0.58×10^{-4}
Mobile & calendar	1.68×10^{-3}	0.66	0.06	0.94	4.31×10^{-3}	0.70	0.18	0.82	6.55×10^{-4}
Foreman	1.85×10^{-3}	0.75	0.69	0.31	2.30×10^{-4}	0.83	0.98	0.02	0.05×10^{-4}
Stefan	7.11×10^{-3}	0.75	0.38	0.62	2.85×10^{-3}	0.89	0.85	0.15	2.12×10^{-4}
Average	2.84×10^{-3}	0.70	0.33	0.67	1.81×10^{-3}	0.77	0.66	0.34	2.32×10^{-4}

* 실험에 사용한 영상 시퀀스의 크기는 QCIF이다.

디언 필터가 취해질 확률을 나타낸다. 마찬가지로 제안 방법을 사용하였을 때가 이전 방법에 비해 필터적용에 따른 텍스처의 손실이 일어날 확률이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그리고 텍스처가 복잡한 Mobile & calendar와 Stefan 영상이 Foreman이나 Coastguard 영상에 비해 상대적으로 미디언 필터가 취해지는 빈도수가 많이 발생하기 때문에 이 값이 큰 것을 알 수 있다.

그림 8은 실험에 사용한 영상들에 대한 비트율-왜곡 성능을 나타낸다. 우선 움직임이 적은 Coastguard의 경우 발생하는 복호화 오류의 빈도수 자체도 적고 또한 미디언 필터가 적용되는 빈도수도 적기 때문에 미디언 필터를 사용하는 previous2 방법과 제안방법의 사용에 따른 평균적인 PSNR 이득이 previous1 방법에 비해 거의 없는 것을 볼 수 있다.

한편 Foreman 영상의 경우에는 우선 움직임이 많기 때문에 발생하는 복호화 오류의 빈도수가 높다. 따라서 제안 방법과 미디언 필터를 사용하는 previous2 방법 모두 previous1 방법에 비해 복호화 오류 정정에 따른 성능향상을 보인다. 하지만 이 영상의 경우 제안하는 방법으로 미디언 필터를 적용하였을 때 복호화 오류가 발생한 화소가 아닌 텍스처에 필터가 취해질 확률이 현저히 줄어들기는 하지만 그 빈도수 자체가 많지 않기 때문에 previous2 방법과 비교하였을 때 평균적인 PSNR 측면에서의 이득은 보이지 않는다. 이는 Foreman 영상이 움직임은 많기는 하나 텍스처가 크게 복잡하지는 않은 영상이기 때문이다.

한편 Mobile & calendar 영상의 경우에는 발생하는 복호화 오류의 빈도수는 Foreman 영상과 비슷하나 텍스처가 복잡하여 미디언 필터를 적용하였을 때 복호화 오류가 아닌

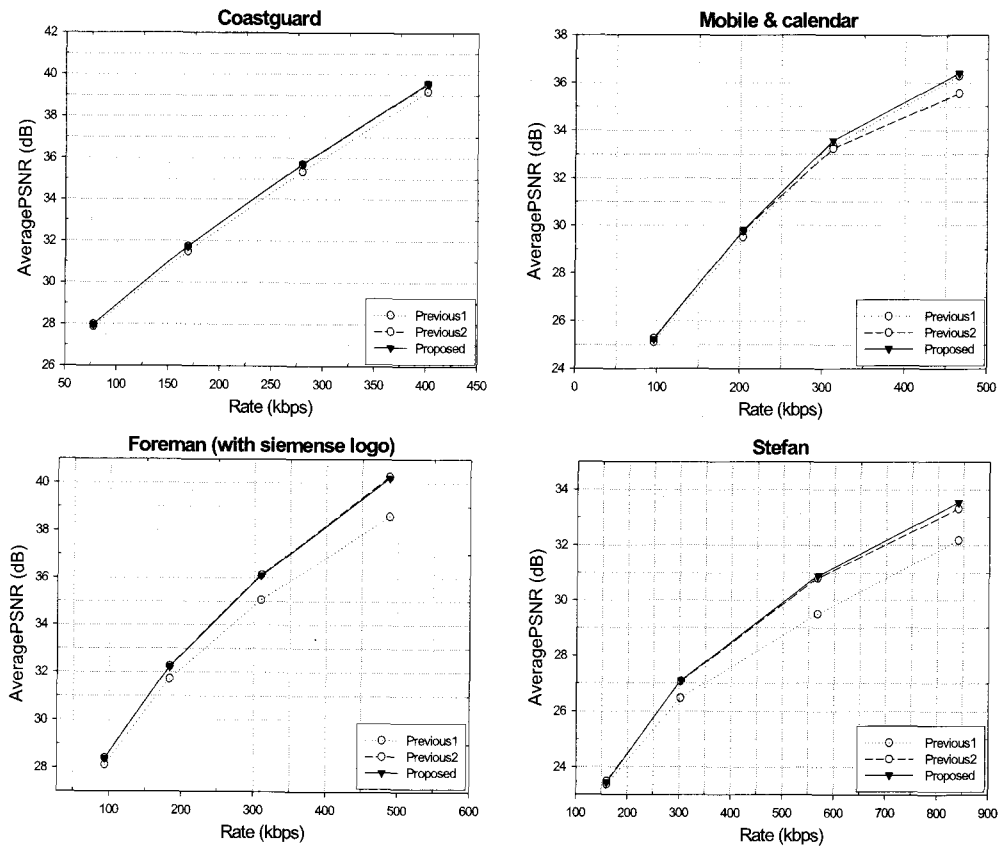


그림 8. 비트율-왜곡 성능 비교
Fig. 8. R-D performance comparison

텍스처에 필터가 가해질 확률이 굉장히 높다는 것을 표 2를 통하여 확인할 수 있다. 여기에 미디언 필터가 적용되는 빈도수 자체도 높기 때문에 previous2 방법의 경우 오히려 평균 PSNR이 M값이 커짐에 따라 previous1 방법에 비해 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 바로 잡음제거에 따른 성능향상보다 필터적용에 따른 텍스처의 손실이 더 커 평균적인 PSNR이 떨어지는 것으로 이전 previous2 방법의 문제점을 보여주는 단적인 예라 할 수 있다. 본 논문에서는 영상 텍스처의 통계적인 특성과 보조정보 내의 잡음에 대한 정보를 선택적 미디언 필터가 사용함으로써 텍스처에 필터가 가해지는 확률을 상당히 감소시켰으며 결과 M 값이 4인 경우 0.84dB에 이르는 PSNR 이득을 얻을 수 있었다.

Stefan 영상의 경우에는 움직임이 많아 발생하는 복호화 오류의 빈도수가 높기 때문에 Mobile & calendar 영상과 비교하였을 때 비록 텍스처가 복잡한 편임에도 필터가 가해져 잃는 손실보다 발생한 복호화 오류를 제거해서 얻는 이

득이 더 큰 경우에 해당한다. 이 영상은 Mobile & calendar 와 같이 텍스처에 필터가 가해지는 빈도수가 상대적으로 높기 때문에 제안 방법을 사용하였을 때 이전 방법에 비해 0.23dB(M=4)에 해당하는 성능향상을 볼 수 있었다.

그림 9는 복원된 영상의 주관적인 화질을 비교한 것이다. 본 논문에서 제안한 선택적 미디언 필터를 사용함으로써 복원영상에 발생하는 터보 코드의 복호화 오류로 인한 주관적 화질열화가 현저히 개선되었음을 볼 수 있다. 그림 9의 (a)~(c)는 Foreman의 156번째 프레임에 대한 각각의 복원 영상으로 이전 방법과 제안 방법에서처럼 미디언 필터를 적용함으로써 터보 코드 복호화 오류로 인한 주관적 화질열화가 많이 개선되었음을 보여준다. 그림 9의 (d)~(f)의 Stefan에서도 역시 이전 방법과 제안하는 방법을 이용함으로써 주관적 화질이 좋아졌음을 확인할 수 있다.

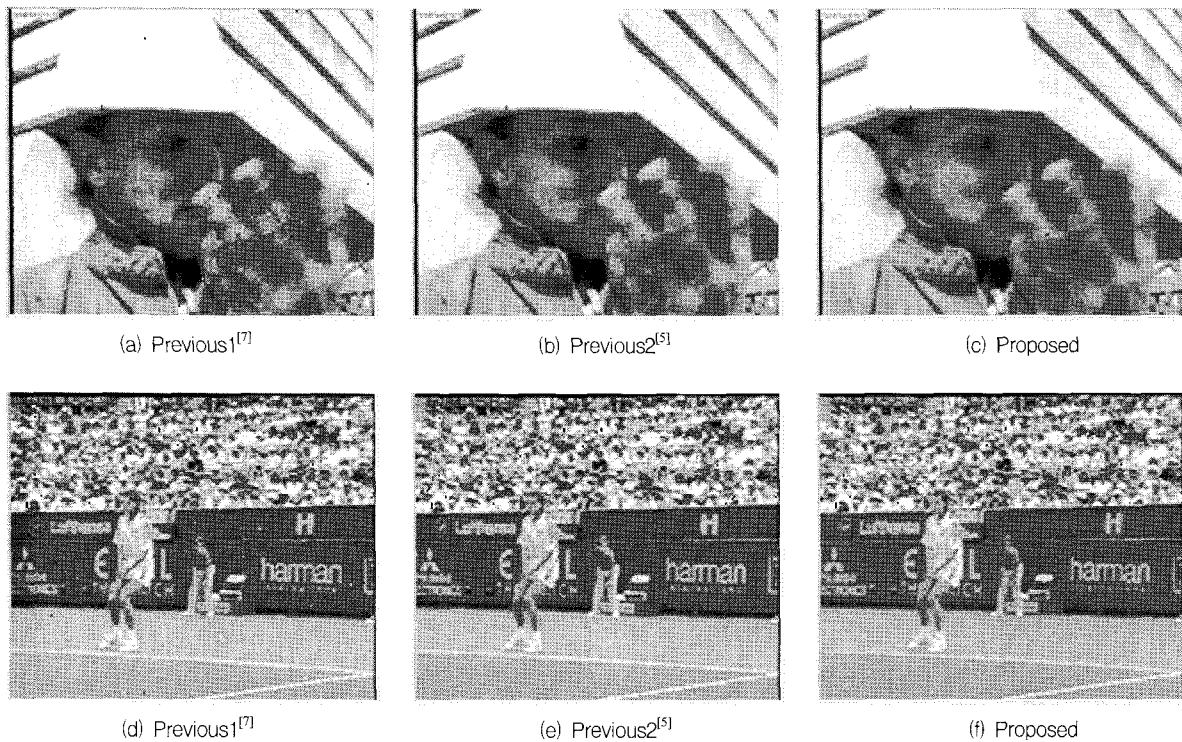


그림 9. 복원된 영상의 주관적 화질 비교 ((a)~(c) Foreman 영상의 156번째 프레임, (d)~(f) Stefan 영상의 58번째 프레임)
 Fig. 9. Comparison of subjective quality ((a)~(c) Foreman sequence 156th frame, (d)~(f) Stefan sequence 58th frame)

IV. 결 론

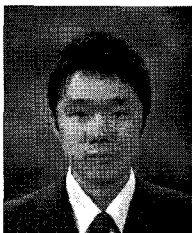
본 논문에서는 영상에 존재하는 텍스처의 통계적인 특성과 발생한 보간오류의 위치정보를 선택적 미디언 필터에서 이용함으로써 기존 PDWZ의 문제점이었던 선택적 미디언 필터를 적용할 경우 발생하는 텍스처의 손실을 줄이는 경량화 부호화 방법을 제안하였다. 움직임이 많고 적응과 텍스처의 복잡도에 따른 실험 영상의 모의실험에서는 보간오류의 위치정보를 이용함으로써 실제 복호화 오류를 판별할 수 있을 확률이 평균적으로 70%에서 77%로 증가하였다. 그리고 선택적 미디언 필터의 임계값을 텍스처의 표준편차로 사용함으로써 필터적용에 따른 텍스처의 손실이 일어날 확률이 평균적으로 67%에서 34%로 감소하는 것을 볼 수 있었다. 그리고 그 결과 제안방법을 통한 복원영상의 평균 PSNR이 텍스처가 복잡한 영상의 경우에 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 예로 Mobile & calendar 영상의 경우 이전방법에서는 M값이 증가함에 따라 필터적용에 따른 이득보다는 텍스처의 손실에 의한 PSNR감소가 컸었다. 하지만 제안하는 방법은 텍스처를 보존하며 복호화 오류를 정정하므로 영상의 주관적 화질이 좋아지는 동시에 객관적 화질 측면에서도 최고 0.84dB에 이르는 성능이득을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J. D. Slepian and J. K. Wolf, "Noiseless coding of correlated information sources," IEEE Transactions on Information Theory, vol. IT-19, 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 Trans. Information Theory, vol. 22, pp. 1-10, July 1976.
- [3] R. Puri and K. Ramchandran, "PRISM: A new robust video coding architecture based on distributed compression principles," Proc. Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton, IL, October, 2002.
- [4] A. Aaron, S. Rane, R. Zhang, and B. Girod, "Wyner-Ziv coding for video: Applications to compression and error resilience," Proc. of IEEE Data Compression Conference, DCC-2003, Snowbird, UT, March 2003.
- [5] 고봉혁, 심혁재, 전병우, "센서네트워크상의 응용을 위한 오류정정 기법을 이용한 경량화 부호화 방법," 전자공학회논문지 제45권 제1호, pp. 11-21, 2008년 1월.
- [6] J. Ascenso, C. Brites, and F. Pereira, "Improving frame interpolation with spatial motion smoothing for pixel domain distributed video coding," 5th EURASIP Conference on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services, Slovak Republic, July 2005.
- [7] B. Ko, H. J. Shim, and B. Jeon, "Wyner-Ziv Video Coding With Side Matching For Improved Side Information," IEEE Pacific Rim Symposium on Image Video and Technology, Santiago, Chile, pp. 816-825, December 2007.
- [8] L. R. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, and J. Raviv, "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate," IEEE Trans. Information Theory, pp. 284-287, March 1974.
- [9] A. Avudainayagam, J. M. Shea, and D. Wu, "Hyper-tellis decoding of pixel-domain Wyner-Ziv video coding," Globecom '2005, St.Louis, USA, November 2005.
- [10] J. Ascenso, C. Brites, and F. Pereira, "Motion compensated refinement for low complexity pixel based distributed video coding," Proc. of IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, Como, Italy, September 2005.

[1] J. D. Slepian and J. K. Wolf, "Noiseless coding of correlated in-

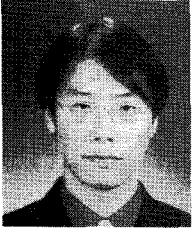
저 자 소 개



고 봉 혁

- 2006년 : 아주대학교 전자공학부 졸업(학사).
- 2007년 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
- 주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 신호처리

저 자 소 개



심 혁 재

- 2000년 : 성균관대학교 전자공학과 졸업(학사).
- 2002년 : 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(석사).
- 2002년 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정
- 주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 신호처리



전 병 우

- 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