

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제24권 제2호, 2019년 3월 (JBE Vol. 24, No. 2, March 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.2.306>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

HEVC 기반 초해상화를 이용한 비디오 부호화 효율 성능 분석

기 세 환^{a)}, 김 대 은^{a)}, 전 기 남^{b)}, 백 승 호^{b)}, 최 증 원^{c)}, 김 동 현^{a)}, 김 문 철^{a)†}

Performance Analysis of Super-Resolution based Video Coding for HEVC

Sehwan Ki^{a)}, Dae-Eun Kim^{a)}, Ki Nam Jun^{b)}, Seung Ho Baek^{b)}, Jeung Won Choi^{c)}, Dong Hyun Kim^{c)}, and Munchurl Kim^{a)†}

요 약

영상의 해상도가 빠른 속도로 증가하기 때문에 계속된 전송 대역폭의 증가에도 불구하고 여전히 효과적인 영상 압축 방법에 대한 연구의 요구가 계속 되고 있다. 이와 같은 요구를 충족하기 위해서 영상의 해상도를 줄인 뒤 압축하여 전송한 뒤에 복원 시에 초해상화 기법을 사용하여 원 해상도로 복원하는 방법에 대한 연구가 제안되었다. 이 방법은 입력 영상의 해상도를 낮추기 때문에 동일한 크기로 압축한다고 할 때, 픽셀 당 비트의 수가 증가되어 영상 압축에서 발생하는 손실을 줄여 복원 영상을 화질을 높일 수 있다. 하지만, 이러한 초해상화를 이용한 비디오 압축 방법의 경우 모든 목표 전송 대역에서 효과적인 것이 아니다. 영상 해상도를 줄이면서 발생하는 손실의 크기와 압축에서 발생하는 손실의 크기를 비교해서 영상 압축에서 발생하는 왜곡이 더 큰 경우에만 기존 압축 성능보다 향상된 결과를 얻을 수 있다. 특히, HEVC의 경우 이전의 표준 압축에 비해 상당히 높은 압축 성능을 가지고 있기 때문에 압축 왜곡이 더 커지는 경우가 상당히 저 대역폭 전송에서만 생기는 것을 실험적으로 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 다양한 영상에서 HEVC 기반 초해상화를 이용한 비디오 코딩을 적용해보고 효과적으로 적용될 수 있는 목표 대역폭을 측정해보았다.

Abstract

Since the resolutions of videos increase rapidly, there are continuing needs for effective video compression methods despite an increase in the transmission bandwidth. In order to satisfy such a demand, a reconstructive video coding (RVC) method by using a super resolution has been proposed. Since RVC reduces the resolution of the input video, when frames are compressed to the same size, the number of bits per pixel increases, thereby reducing coding artifacts caused by video coding. However, RVC method using super resolution is not effective in all target bitrates. Comparing the size of the loss generated while downsizing the resolution and the size of the loss caused by the video compression, only when the size of loss generated in the video compression is larger, RVC method can perform the improved compression performance compared to direct video coding. In particular, since HEVC has considerably higher compression performance than the previous standard video codec, it can be experimentally confirmed that the compression distortions become larger than the distortions of downsizing the resolution only in the very low-bitrate conditions. In this paper, we applied RVC based HEVC in various video types and measured the target bitrates that RVC method can be effectively applied.

Keyword : Super-Resolution, Scalable Video Coding, High Efficiency Video Coding

Copyright © 2019 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

I. 서론

비디오 신호는 정보의 양이 많기 때문에 비디오 코덱의 성능이 매우 중요하다. 더욱이 고화질 비디오의 수요가 계속해서 증가하고 있기 때문에 그 중요성은 더욱 커지고 있다. 이러한 중요성으로 인해 ISO/IEC의 Moving Picture Experts Group (MPEG)과 ITU-T의 Video Coding Experts Group (VCEG)이 공동으로 구성하여 만든 Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC)가 High Efficiency Video Coding^[1] 표준을 2013년 1월에 완료하였고, 그에 이어서 최근에는 새로운 비디오 부호화 표준인 Versatile Video Coding (VVC)의 표준안이 MPEG과 VCEG이 공동으로 구성하여 만든 Joint Video Exploration Team (JVET)에 의해 만들어지고 있다^[2]. 한편, 근래에 다양한 분야에서 심층신경망 기반의 기술이 우수한 성능을 보이고 있고, 비디오 코덱 분야에도 심층 신경망 기술을 적용하여 코덱의 부호화 효율을 개선하려는 다양한 연구가 진행되고 있다^[3-9]. 이중 일부는 기존의 일반적인 하이브리드 코덱의 구조를 유지하면서 일부의 모듈만을 심층신경망 구조로 대체하였고^[3-6], 그 외의 방법들은 전체 부호화 구조를 완전히 새롭게 구성하여 심층신경망 기술을 적용하는 부호화 방법을 제안하기도 하였다^[7-9]. 특히, 심층신경망을 이용한 초해상화 기술이 획기적인 성능을 보이면서 복원 비디오 부호화 프레임워크 구조 [10-14]에 심층신경망 기반 초해상화 기술을 적용한 방법도 제안이 되었다. 하지만, 입력 영상의 해상도를 줄이는 과정에서 발생하는 손실과 고 해상도 영상을 압축할 때 발생하는 압축 왜곡을 비교해서 영상 인지 왜곡에 어떤 부분이 더 큰 영향을 주는 지에 따라서 복원 비디오 부호화 프레임워크를 실효성을 체크해볼 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 최신 표준 비디오 압축 방법인

HEVC를 사용하였을 때, 기존 비디오 부호화 방법의 주관적/객관적 화질과 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 프레임워크의 주관적/객관적 화질을 다양한 타겟 대역폭에서 복원 비디오 부호화 프레임워크의 실효성을 비교 분석하여 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 복원 비디오 부호화 프레임워크에 대해 설명한다. 3장에서는 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 프레임워크의 한계점에 대해 설명한다. 4장에서는 실효성 검증 실험 환경을 기술하고 실험 결과를 제시한다. 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 복원 비디오 부호화 프레임워크

복원 비디오 부호화 프레임워크^[10-14]는 비디오의 정보를 그대로 부호화하지 않고, 비디오의 데이터를 줄인 후 부호화하여 전송하고, 전송되어 복호화된 비디오의 데이터를 다시 복원하는 프레임워크를 의미한다. 그림 1은 일반적인 복원 비디오 부호화의 블록도를 나타낸다. 비디오의 데이터를 줄이는 과정은 영상의 해상도를 줄이거나 영상의 프레임율을 줄이거나 비트 깊이를 줄이는 등의 과정을 포함할 수 있다. 예를 들어 비디오의 해상도를 가로 세로 각각 1/2로 줄인다면, 비디오의 데이터 양은 1/4로 줄어든다. 비디오의 데이터 양이 줄어들었기 때문에, 비디오의 데이터를 줄이지 않은 채 그대로 부호화 하는 경우와 비교했을 때, 동일한 비트율으로 부호화 하더라도 비디오의 데이터를 줄여서 부호화 하는 경우가 상대적으로 고화질로 부호화 된다. 복호화된 비디오는 다시 복원작업을 거친다. 비디오의 해상도가 가로 세로 각각 1/2로 줄어든 경우라면, 복원 과정에서 가로 세로 해상도를 각각 2배씩 확장하는 초해상화를 적용한다. 프레임율을 절반으로 줄여서 부호화하는 경우라면, 복원 과정에서는 프레임율 향상 (frame rate up-conversion) 기술을 적용한다. 비트 깊이가 10비트인 영상을 8비트로 줄여서 부호화 한다면 복원 과정에서 비트 깊이 향상 (bit-depth enhancement)를 수행하여 비트 깊이를 10비트로 복원한다. 이 같은 과정에서 복원 영상의 화질은 복원 과정의 성능에 크게 좌우된다.

a) 한국과학기술원 전기및전자공학부(The School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

b) LIG 넥스원(LIG Nex1)

c) 국방과학연구소(Agency for Defense Development)

‡ Corresponding Author : 김문철(Munchurl Kim)

E-mail: mkimee@kaist.ac.kr

Tel: +82-42-350-7519

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0146-5419>

※ 본 연구는 국방과학연구소가 지원하는 "초협대역 고효율 영상압축 기술 개발" 사업의 일환으로 수행하였음(UC170016ED).

· Manuscript received December 21, 2018; Revised February 28, 2019; Accepted February 28, 2019.

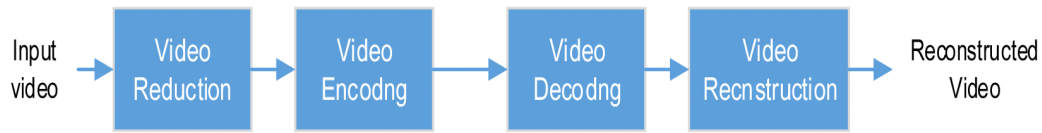


그림 1. 복원 비디오 부호화의 블록도
Fig 1. A block diagram of a reconstructive video coding

III. 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 프레임워크의 한계점

본 논문에서는 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 프레임워크에 대해서 분석한다. 즉, 비디오의 해상도를 줄이는 과정을 거친 후 영상을 압축하고 복원 과정에서 초해상화 기법을 사용하여 해상도를 원래 입력 해상도로 확대하는 방법에 대해서 실효성 분석을 하였다. 이 초해상화 기반의 복원 비디오 부호화 프레임워크의 장점은 영상의 해상도를 줄여서 동일한 타겟 대역폭으로 영상을 압축하여 전송할 때, 원래 해상도를 바로 압축하는 것보다 픽셀당 할당된 비트 수가 증가되어 압축 왜곡이 줄어든다는 것이다. 하지만, 해상도를 줄이는 과정에서 영상의 고 주파수 성분이 많이 제거된다. 제거된 고 주파수 성분이 초해상화 기법으로 완전히 복원될 수 없기 때문에 해상도를 줄여서 발생하는 손실의 크기와 픽셀당 할당된 비트 수가 증가되어서 얻는 압축 왜곡의 감소 이 두가지를 서로 비교해서 만약 특정 영상을 특정 타겟 대역폭으로 압축할 때 해상도 손실의 크기가

더 크다면 복원 비디오 부호화 프레임워크가 실효성이 없다. 일반적인 영상을 고려할 때, 해상도 축소 비율에 따라 복원 비디오 부호화 프레임워크의 성능을 그림 2와 같이 표현할 수 있다.

그림 2의 (a)에서 해상도 축소 비율이 1인 경우, 즉, 파란색 그래프는 원본 영상 크기를 그대로 압축한 경우를 나타낸다. 빨간색 그래프는 축소 비율이 2인 경우인 복원 비디오 부호화 프레임워크의 성능을 나타내고 있다. 만약 충분히 높은 대역폭으로 영상을 압축한다면 영상 압축의 왜곡은 발생하지 않고 단순히 영상 해상도 축소로 인한 손실만 존재하기 때문에 복원 비디오 부호화 방법은 그대로 압축하는 방법에 비해서 비효율적이다. 아무리 좋은 초해상화 기법을 사용하더라도 축소하면서 잃어 버린 정보를 완전히 복원할 수는 없기 때문이다. 하지만, 상당히 낮은 대역폭으로 영상을 압축한다고 했을 때는 복원 비디오 부호화 방법이 효과적일 수 있다. 압축에서 발생하는 왜곡이 상당히 크기 때문에 해상도를 축소함으로써 압축 왜곡을 줄이는 것이 해상도 축소로 인한 손실을 감안하더라도 더 효율적이

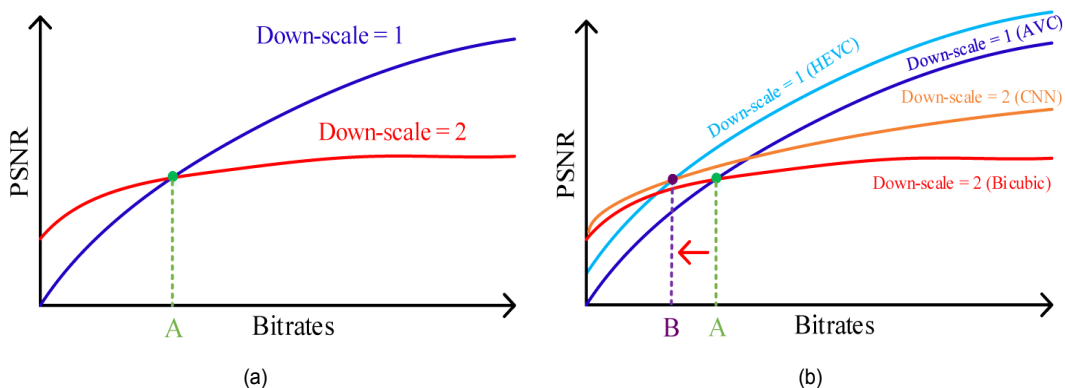


그림 2. 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 프레임워크의 성능 그래프
Fig 2. The performance graph of super-resolution based reconstructed video coding framework

기 때문이다. 따라서, 타겟 대역폭의 크기에 따라서 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 방법의 효율성이 크게 달라진다.

모든 대역폭에서 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 방법을 쓰는 것은 비효율적이기 때문에 실효성을 가지기 시작하는 지점 즉, 그림 2의 (a) 그래프에서 보면 A 지점을 찾는 것이 중요하다. 특정 영상에 대해서 A 지점을 예측 할 수 있다면 현재 타겟 대역폭과 비교하여 복원 비디오 부호화 방법을 쓸지 말지를 결정할 수 있기 때문이다. 동일한 영상에 대해서 A의 위치는 사용하는 초해상화 기법의 성능과 비디오 부호화 성능에 따라서 달라진다. 만약 비디오 부호화 성능이 굉장히 좋다면 압축 왜곡보다 해상도 축소로 인한 손실이 더 중요해지기 때문에 A의 위치가 더 왼쪽으로 이동한다. 즉, AVC/H.264를 쓸 때보다 HEVC/H.265를 사용하면 A의 위치가 더 왼쪽으로 이동하여 복원 비디오 부호화 방법이 효율적인 대역폭이 줄어든다. 그와 반대로 초해상화 기법의 성능이 향상 되면 A의 위치가 오른쪽으로 이동한다. 단순한 Bicubic 보간법을 사용하는 것보다 심층 신경망 기반 초해상화를 사용하게 되면 해상도 저하로 인한 손실된 정보를 더 효과적으로 복원 할 수 있기 때문에 복원 비디오 부호화 방법이 효율적인 대역폭이 넓어진다.

그리고 초해상화 방법이 성능을 크게 발휘하는 단순하고 일관적인 영상의 경우 영상 압축 왜곡도 적게 발생된다. 또한, 영상 압축의 왜곡이 많이 발생하는 경우에는 복원 구간에서 영상 압축 왜곡을 제거하면서 해상도까지 키워야 하는 두 가지 문제를 풀어야하기 때문에 심층신경망 기반 초해상화 방법이라도 성능이 크게 높지 않다. 따라서 그림 2의 (b)에서 주황색 그래프로 보여주듯이, 심층 신경망 기반 초해상화 기법을 사용했을 경우 고 대역폭에서는 성능이 많이 향상되지만 저 대역폭에서는 향상이 미미하다고 예측해볼 수 있다. 또한, 영상 압축의 성능이 상당히 많이 향상되었기 때문에 실효성을 기대할 수 있는 대역폭이 A에서 B로 더 좁아질 것으로 예상할 수 있다. 따라서, 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 프레임워크는 전투무선통신망과 같은 굉장히 좁은 대역폭과 같은 특수한 상황에서 기존 비디오 부호화 방법에 비해서 효율적일 것이다.

IV. 실험 환경 및 실험 결과

초해상화 기반 복원 비디오 부호화 방법의 실효성 구간을 다양한 실험 영상에 대해서 측정해보는 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 가장 최신의 표준 비디오 부호화 방법인 HEVC/H.265를 사용하고 복원 비디오 부호화 방법에 사용된 초해상화 기법은 일반적으로 많이 사용되는 Bicubic 보간법과 10개의 컨볼루션 계층을 가지는 심층신경망 기반 초해상화 방법을 사용하여 비교하였다. 사용된 심층신경망 기반 초해상화 방법 구조는 그림 3에서 표현되어 있다. 사용된 심층신경망은 10개의 합성곱 계층으로 구성되어 있고, Leaky ReLU를 활성화 함수로 이용하였다. 잔차 학습(residual learning) 기법을 이용하여, 영상의 고주파 성분을 잘 학습하게 함은 물론, skip 연결을 이용하여 학습을 용이하도록 하였다. 마지막으로 서브픽셀 서플 계층^[12]을 구성하여 계산 양을 줄이는 구조를 이용하였다.

1. 심층신경망 기반의 초해상화 네트워크 학습

심층 컨볼루션 신경망 기반 초해상화 네트워크는 학습 기반의 알고리즘으로, 실제로 적용되는 상황을 가정하여 적절한 데이터 세트를 구성하여 학습해야 한다. 본 실험은 그림 2의 A 지점을 찾고자 하는 실험이기 때문에 해상도를 bicubic 보간법으로 1/2로 축소한 뒤 저 대역폭을 중심으로 압축하고 복원한 영상을 학습 영상으로 사용하였다. 즉, 심층 신경망의 입력 영상은 해상도가 가로세로 각각 1/2로 축소되고 영상 압축 후 복원된 영상이고, 학습 라벨(정답) 영상은 원본 해상도의 압축하지 않은 원본 영상이다. 비디오 부호화는 고정 율 방식이 아닌 고정 QP (Quantization Parameter) 방식으로 압축을 하여 율 제어 문제가 발생되지 않도록 하였다. 실험에 사용된 QP 값은 40, 43, 46, 49, 51 이렇게 5개의 QP 값에 대해서 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 QP를 두 그룹으로 나눠서 학습을 진행하였다. 즉, QP 40, 43을 하나의 네트워크로 학습하고 QP 46, 49, 51의 영상들을 또 다른 하나의 네트워크로 학습하였다. 학습에 사용된 실험 영상 해상도는 CIF(352×288)으로 영상 압축 성능 평가에 자주 사용되는 영상을 사용하였다. 손실 함수는 L1 손실 함수를 사용하였고, 아담 최적화기

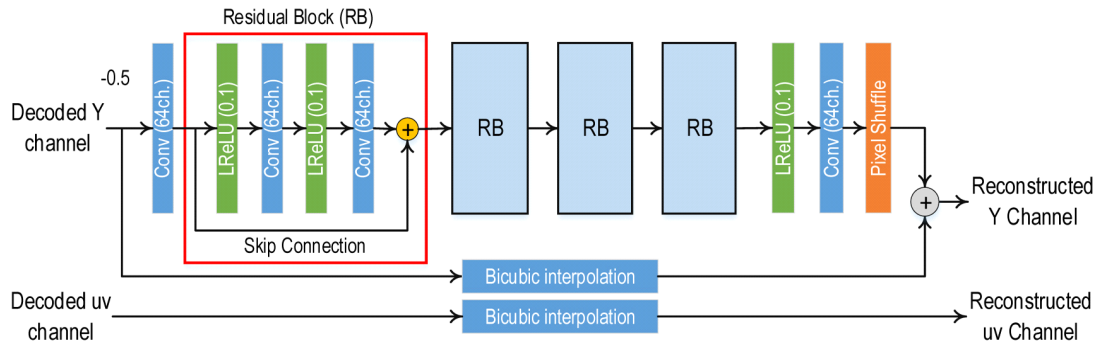


그림 3. 심층신경망 기반 업스케일링 네트워크 구조
 Fig 3. Structure of up-sampling network based on a convolutional neural network

(Adam optimizer)^[14]로 최소화 하도록 학습하였다. 학습을 위해 입력 영상에서 60×60 크기의 패치, 정답 영상에서 120×120 크기의 패치를 사용하였다.

2. 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 방법의 실효성 평가

초해상화 기반 복원 비디오 부호화 방법의 실효성을 평가하기 위해서 영상의 해상도를 축소하지 않고 원 해상도로 HEVC 로 압축한 영상을 기준으로, 영상의 해상도를 가로 세로 각각 1/2 배 축소한 영상을 HEVC 로 압축한 영상을 bicubic 보간법으로 해상도를 확대한 영상과 심층 신경망 기반 초해상화 기법으로 해상도를 확대한 영상을 화질 비교하였다. 고정 QP를 사용하여 압축을 진행하였고, 유사한 비트 량을 사용할 때 객관적 화질 지표인 PSNR를 사용하여 성능 비교를 하였다. 실험 영상은 그림 4에서 볼 수 있듯이 416×240의 해상도를 갖는 BQSquare, Basketball Pass, BlowingBubbles, RaceHorses 영상을 사용하였다. I-픽처 주기는 32이고 GOP의 크기는 8이다. 최신 참조 HEVC

소프트웨어인 HM16.17을 이용하였다.

표 1은 4 개의 실험 영상에 대해서 표준 비디오 부호화 방법, 보간법을 이용한 복원 비디오 부호화 방법, 심층 신경망 초해상화 기반 복원 비디오 부호화 방법의 각각의 비트율과 PSNR 성능을 보여주고 있다. 영상의 해상도를 줄여서 압축을 했기 때문에 대략적으로 표준 비디오 부호화 방법에 비해 QP 값이 6만큼 더 작을 때 비슷한 비트율을 가지는 것을 볼 수 있다. 유사한 비트율을 가질 때의 PSNR 값을 비교함으로써 복원 비디오 부호화 방법이 더 효과적인 구간을 찾아 볼 수 있다. 이를 효과적으로 비교하기 위해서 그림 5의 그래프에서 실효성 구간을 확인 해볼 수 있다.

그림 5의 파란색 그래프는 영상의 해상도를 축소하지 않은 경우를 나타내고, 주황색 그래프는 영상이 가로세로를 1/2씩 축소 하고 압축 한 뒤 Bicubic 보간법으로 확대한 경우를 보여준다. 그리고 빨간색 그래프는 심층신경망 기반 초해상화 방법을 적용하여 확대한 경우를 나타낸다.

그림 5-(a)의 경우 모든 대역폭에서 복원 비디오 부호화의 방법이 줄이지 않은 것보다 비효율적인 것을 볼 수 있다. 심층신경망 기반 초해상화를 사용하여 Bicubic 보간법에



그림 4. 복원 비디오 부호화 성능 테스트에 사용된 실험 영상
 Fig 4. Test sequences for performance test of reconstructed video coding framework

표 1. 초해상화 기반 복원 비디오 부호화의 부호화 성능

Table 1. Coding performance of the conventional HEVC and the reconstructed video coding framework

Sequences	QP	Downscale = 1		Downscale = 2 (Bicubic)		Downscale = 2 (CNN)	
		kbitrate	PSNR(dB)	kbitrate	PSNR(dB)	kbitrate	PSNR(dB)
BQSquare	40	123.42	27.55	37.54	21.89	37.54	22.45
	43	82.39	25.75	26.56	21.19	26.56	21.57
	46	52.86	23.95	18.41	20.35	18.41	20.47
	49	33.59	22.32	13.11	19.45	13.11	19.54
	51	24.59	21.30	10.57	18.79	10.57	18.87
BasketballPass	40	133.96	29.26	49.02	26.14	49.02	26.22
	43	89.25	27.83	32.78	25.09	32.78	25.13
	46	56.56	26.45	20.84	23.99	20.84	24.01
	49	35.27	25.14	13.56	22.98	13.56	23.02
	51	26.26	24.37	10.60	22.39	10.60	22.43
BlowingBubbles	40	113.15	27.17	31.75	23.74	31.75	23.86
	43	68.50	25.66	20.59	22.95	20.59	23.03
	46	38.80	24.26	13.23	22.12	13.23	22.09
	49	22.21	23.08	9.26	21.40	9.26	21.39
	51	16.22	22.47	7.63	20.91	7.63	20.91
RaceHorses	40	93.22	28.12	33.59	25.32	33.59	25.49
	43	61.53	26.83	22.73	24.32	22.73	24.42
	46	39.01	25.60	14.80	23.28	14.80	23.34
	49	24.63	24.41	9.72	22.22	9.72	22.29
	51	18.43	23.66	7.51	21.58	7.51	21.63

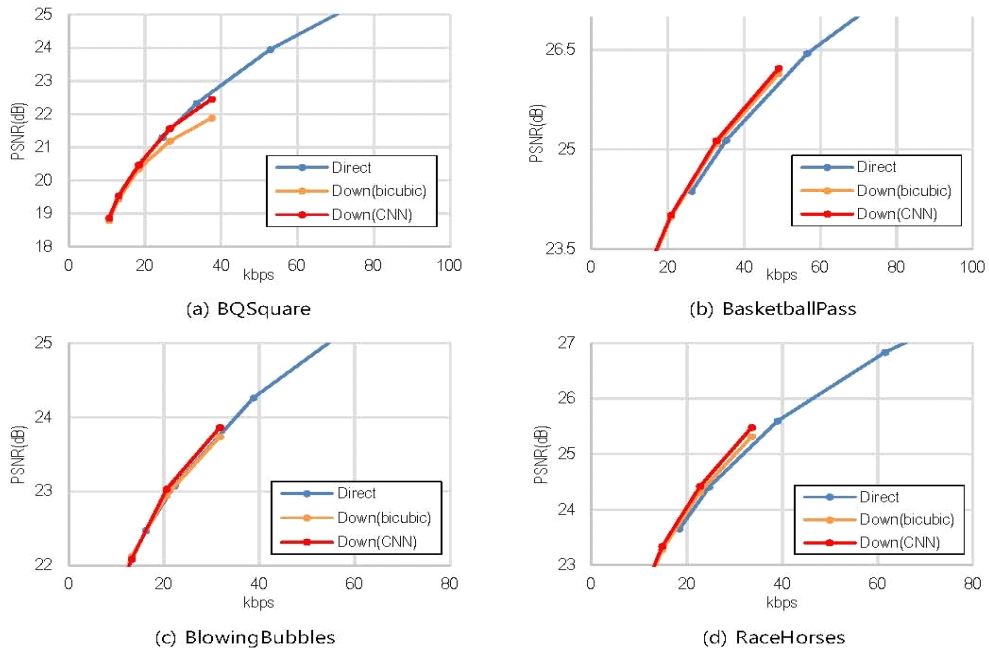


그림 5. 각 실험 영상에 대한 복원 비디오 부호화 성능 그래프

Fig 5. The performance graph of reconstructed video coding framework for each test sequence

비해 화질이 향상되었지만 표준 비디오 부호화 방법에 비해 낮은 PSNR 값을 가진다. BQSquare 실험 영상의 경우 얇은 경계를 가지는 부분들이 많이 존재하기 때문에 영상의 해상도를 축소하면서 사라지는 정보가 굉장히 많았다. 그래서 영상 압축에서 발생하는 왜곡에 비해 영상 해상도 축소로 인한 손실이 너무 커서 복원과정에서 심층신경망 기반 초해상화를 사용하더라도 원래대로 복구할 수가 없었다. 그림 5-(b), (c), (d)의 경우는 복원 비디오 부호화 방법이 PSNR 관점에서 더 좋은 성능을 보여주는 대역폭이 존재하였다. 그림 5-(b)의 경우에는 50kbps 이하의 대역폭인 경우에 보간법을 사용한 경우와 심층신경망 기반 초해상화 방법을 사용한 경우 모두 더 좋은 성능을 보였다. QP 로 보면 46 이상으로 상당히 압축 왜곡이 많이 생기는 경우이기 때문에 해상도 축소로 인한 왜곡보다 압축 왜곡이 더 큰 영향을 주었기 때문이다. 또 여기서 볼 수 있는 점은 심층 신경망 기반 초해상화 방법이 단순한 보간법에 비해 성능이 크게 향상되지 못했다는 것이다. QP 값이 40일 때 0.08 dB 밖에 향상되지 않았다. 이는 고해상도의 영상을 초해상화 하는 것이 아닌 압축 왜곡이 존재하는 즉, 영상의 정보가 크게 손실된 영상에서 초해상화를 하니 성능을 충분히 발휘하지 못한 것이다. 따라서, 복원 비디오 부호화 방법에 사용되는 심층 신경망 기반 초해상화 방법은 압축 왜곡을 제거하면서 초해상화 해야하므로 Bicubic 보간법에 비해서 PSNR 성능 향상이 크지 않았다. 특히, 복원 비디오 부호화 방법이 실효성을 가지는 저 대역폭의 경우 압축 왜곡이 굉장히 크기 때문에 성능이 더 차이가 나지 않았다. 그림 5-(c)의 경우, 보간법을 사용할 경우 30kbps 에서 표준 압축 방법에 비해 낮은 성능이었지만 심층 신경망 기반 초해상화를 적용한 경우 더 높은 성능을 보인다. 그림 5-(d)에서는 보간법과 심층신경망 기반 초해상화 기반 둘 다 35kbps에서 더 높은 PSNR 값을 가진다. 이처럼 영상마다 복원 비디오 부호화 방법이 실효성을 가지는 대역폭이 모두 다른 것을 확인할 수 있었다. 하지만 통일적으로 QP 값이 46 이상의 굉장히 저 대역폭일 때라는 것이고, 영상이 굉장히 복잡하고 얇은 경계 부분이 많이 존재하는 경우에는 실효성이 존재하는 구간이 존재하지 않을 수도 있는 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 초해상화를 이용한 복원 비디오 부호화 방법이 모든 목표 전송 대역에서 효과적이지 않다는 문제점을 제시하고 이에 대한 원인을 분석하였다. 그 이유는 영상 해상도를 줄이면서 발생하는 손실의 크기와 압축에서 발생하는 손실의 크기를 비교해서 영상 압축에서 발생하는 왜곡이 더 큰 경우에만 기존 압축 성능보다 향상된 결과를 얻을 수 있다. 특히, HEVC의 경우 이전의 표준 압축에 비해 상당히 높은 압축 성능을 가지고 있기 때문에 압축 왜곡이 더 커지는 경우가 상당히 저 대역폭 전송에서만 생기는 것을 실험적으로 확인할 수 있었다. 따라서 복원 비디오 부호화 방법을 효과적으로 적용하기 위해서는 입력 영상의 특성을 분석하여 실효성이 있는 대역폭을 예측할 필요성이 있다. 이를 통해 기존 압축 방법과 비교하여 선택적으로 동작하도록 하여야 모든 대역폭에서 효과적인 비디오 부호화가 가능할 것이다.

참고 문헌 (References)

- [1] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 22, pp. 1648-1667, Dec. 2012.
- [2] B. Bross, Working Draft 1 of Versatile Video Coding, document JVET-J1001, Joint Video Experts Team (JVET) of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, Apr. 2018.
- [3] W.-S. Park, M. Kim, "CNN-based In-loop Filtering for Coding Efficiency Improvement," *Proceeding of IEEE Image Video and Multidimensional Signal Processing (IVMSP) workshop*, Bordeaux, France, pp. 1-5, 2016.
- [4] N. Yan, D. Liu, H. Li, F. Wu, "A convolutional neural network approach for half-pel interpolation in video coding," *Proceeding of International Symposium on Circuits and Systems*, Baltimore, Maryland, pp. 1-4, 2017.
- [5] D. Liu, H. Ma, Z. Xiong, F. Wu, "CNN-based DCT-like transform for image compression," *Proceeding of International Conference on Multimedia Modeling*, Bangkok, Thailand, pp. 61-72, 2018.
- [6] Z. Liu, X. Yu, Y. Gao, S. Chen, X. Ji, D. Wang, "CU partition mode decision for HEVC hardwired intra encoder using convolution neural network," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 25, no. 11, pp. 5088-5103, Nov. 2016.
- [7] E. Agustsson, F. Mentzer, M. Tschanen, L. Cavigelli, R. Timofte, L. Benini, L. V. Gool, "Soft-to-hard vector quantization for end-to-end learning compressible representations," *Proceeding of Advances in Neural Information Processing Systems*, Long beach, California, pp.

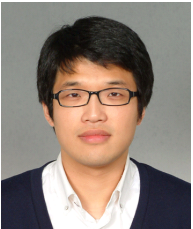
- 1141-1151, 2017.
- [8] J. Ballé, V. Laparra, E. P. Simoncelli, "End-to-end optimized image compression," *Proceeding of International Conference on Learning Representations*, Toulon, France, 2017.
- [9] C.-Y. Wu, N. Singhal, P. Krähenbühl, "Video compression through image interpolation," *Proceeding of European Conference on Computer Vision*, Munich, Germany, 2018.
- [10] D. Barreto, L. D. Alvarez, R. Molina, A. K. Katsaggelos, and G. M. Callicó, "Region-based super-resolution for compression," *Multidimensional Systems and Signal Processing*, vol. 18, no. 2-3, pp. 59-81, Sept. 2007.
- [11] V.-A. Nguyen, Y.-P. Tan, and W. Lin, "Adaptive Downsampling/ Upsampling for Better Video Compression at Low Bit Rate," *Proceeding of IEEE ISCS*, Seattle, WA, USA, pp. 1624-1627, 2008.
- [12] M. Shen, P. Xue, and C. Wang "Down-sampling Based Video Coding Using Super-Resolution Technique," *IEEE Trans. CSVT*, vol. 21, no. 6, pp. 755-765, June 2011.
- [13] Y. Dar, and A. M. Bruckstein, (Apr. 2014). "Improving low bit-rate video coding using spatio-temporal down-scaling," [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1404.4026>
- [14] H. Chen, X. He, M. Ma, L. Qing, and Q. Teng, "Low bit rates image compression via adaptive block downsampling and super resolution," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 25, no. 1, pp. 013004:1-10, Jan. 2016.

저 자 소 개



기 세 환

- 2015년 2월 : 경북대학교 전기전자공학부 학사
- 2017년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학부 박사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3809-7886>
- 주관심분야 : 주관적 영상 압축 처리, 딥러닝 기반 영상 화질 개선



김 대 은

- 2011년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
- 2014년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 2014년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학부 박사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-0948-7049>
- 주관심분야 : HDR 영상 처리, 비디오 부호화



전 기 남

- 2005년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부 학사
- 2007년 2월 : 한양대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2007년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 수석연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-1414-5297>
- 주관심분야 : 센서 네트워크, 신호처리, 정보융합, 영상처리, 영상압축

저 자 소 개



백 승 호

- 2002년 2월 : 한국외국어대학교 정보통신공학부 학사
- 2004년 2월 : 한국외국어대학교 컴퓨터정보통신공학부 석사
- 2004년 3월 ~ 2009년 2월 : 한국전자통신연구원 연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : LIG 넥스원 수석연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-6506-8861>
- 주관심분야 : 센서 네트워크, 무인 지상감시센서, 영상압축, 무선통신



최 증 원

- 1989년 2월 : 충남대학교 계산통계학과 학사
- 1993년 8월 : 충남대학교 계산통계학과(전산학) 석사
- 1997년 8월 : 충남대학교 전산학과 박사
- 1997년 7월 ~ 현재 : 국방과학연구소 수석연구원
- 2013년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 부교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-3642-2323>
- 주관심분야 : 전술통신, 위성통신, 인지무선통신, 바이오통신, 정보융합 등



김 동 현

- 2009년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2011년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 석사
- 2011년 6월 ~ 현재 : 국방과학연구소 제2기술연구본부
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-2136-5944>
- 주관심분야 : 전술통신, 영상전송시스템, 데이터링크



김 문 철

- 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1992년 12월 : University of Florida, Dept. of Electrical and Computer Engineering, 석사
- 1996년 8월 : University of Florida, Dept. of Electrical and Computer Engineering, 박사
- 1997년 1월 ~ 2001년 1월 : 한국전자통신연구원 방송비디어 연구부, 선임연구원
- 2001년 2월 ~ 2009년 2월 : 한국정보통신대학교 공학부 조교수/부교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학부 부교수/정교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-0146-5419>
- 주관심분야 : Perceptual Video Coding, SDR/HDR Image/Video Quality Assessment and Modeling, Super-Resolution, Image/Video Analysis and Understanding, Pattern Recognition, Machine Learning