

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제26권 제2호, 2021년 3월 (JBE Vol. 26, No. 2, March 2021)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2021.26.2.208>

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

## Multilayer VVC와 SHVC의 성능 평가

홍명오<sup>a)</sup>, 이종석<sup>a)</sup>, 심동규<sup>a)†</sup>

## The Performance Evaluation of Multilayer VVC and SHVC

Myungoh Hong<sup>a)</sup>, Jongseok Lee<sup>a)</sup>, and Donggyu Sim<sup>a)†</sup>

### 요약

본 논문은 multilayer VVC와 SHVC의 성능을 평가한다. Multilayer VVC는 다-계층 부호화 방식을 지원하며, SHVC와 비교하여 많은 기술이 추가 및 확장되었다. 이러한 이유로 VVC의 다-계층 부호화 성능과 계층 간 참조(Inter-layer reference) 예측에 대한 부호화 성능 평가가 필요하다. Multilayer VVC는 SHVC 대비 AI, RA, LDB, LDP 환경에서 각각 평균 24.4%, 29.4%, 29.4%, 32.6%의 BD-rate가 감소하는 실증 결과를 보였으며, 더 효율적으로 scalability를 제공할 수 있다는 것을 보인다. 반면 부호화 시간 복잡도는 평균 14배, 복호화 시간 복잡도는 평균 1.8배 증가하여 시간 복잡도를 줄이는 노력이 필요하다.

### Abstract

This paper evaluates the performance of multilayer VVC and SHVC. Multilayer VVC supports a multi-layer coding and many coding technologies have been added and extended compared to SHVC. For this reason, it is necessary to evaluate the multi-layer coding performance of VVC and the coding performance for inter-layer reference prediction. Multilayer VVC provides significant BD-rate improvement of AI 24.4%, RA 29.4%, LDB 29.4%, LDP 32.6% on average when compared to SHVC, so that it is shown that VVC can provide scalability more efficiently. On the other hand, the complexity of the encoding time increases by an average of 14 times and decoding time by an average of 1.8 times, which requires efforts to reduce the complexity.

Keyword : VVC, multilayer VVC, SHVC, scalability

a) 광운대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Kwangwoon University)

† Corresponding Author : 심동규(Donggyu Sim)

E-mail: dgsim@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5470

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2794-9932>

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2021-2016-0-00288).

※ This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2021-2016-0-00288) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Planning & Evaluation).

· Manuscript received February 4, 2021; Revised March 9, 2021, Accepted March 9, 2021.

## I. 서 론

기술의 발전 및 다양한 멀티미디어 콘텐츠 등장으로 고화질 영상 서비스에 대한 사용자의 요구와 기대는 지속적으로 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. 이에 따라 멀티미디어 서비스는 FHD(Full High Definition)에 이어 UHD(Ultra High Definition) 고품질 서비스로 발전해오고 있으며, 기존 FHD(1920×1080)의 4배 화소를 갖는 4K UHD(3840×2160)와 16배 화소를 갖는 8K UHD(7680×4320)은 더욱 선명한 고품질의 영상을 제공할 수 있다. 이에 대응하기 위한 비디오 부호화 방식이 요구됨에 따라 ITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector)의 VCEG(Video Coding Experts Group)과 ISO/IEC(International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission Joint Technical Committee)의 MPEG(Moving Picture Experts Group)은 JCT-VC(Joint Collaborative Team on Video Coding)를 조직하고 8K 영상까지 지원하는 압축 표준인 HEVC(High Efficiency Video Coding)<sup>[2]</sup>를 제정하였다. 한편, 현재 멀티미디어 서비스 환경에는 TV, 노트북, 스마트폰, 태블릿 등으로 다양하며, 그 성능의 편차도 매우 넓다. 하지만 HEVC는 scalability 지원을 하지 않는 단일계층 부호화(single-layer coding) 방식이며 네트워크 특성, 단말의 다양한 성능 등의 조건들에 모두 적합하도록 미리 부호화하거나 변환부호화(transcoding)를 하는 것에 많은 연산량이 필요하다는 문제가 있으며, 특히 UHD급 해상도의 효과적인 제공은 더더욱 어려울 것으로 예상된다<sup>[3]</sup>. 이에 대한 해결책 중 하나로 시간, 공간, 화질 등 다양한 scalability을 제공하기 위한 비디오 부호화 방식에 대한 연구가 진행되어 왔다<sup>[4]</sup>. 이와 관련하여 scalability를 제공하는 H.264/AVC(Advanced Video Coding) 기반 SVC(Scalable Video Coding)<sup>[5]</sup> 표준이 2007년에 완료되었지만, H.264/AVC 표준화시 scalability를 고려하지 않았다. 그래서 H.264/AVC를 확장하여 SVC 표준화를 진행할 때, scalability 지원을 위한 구조설계가 복잡하다는 단점이 있었으며, SVC는 시장에서 전반적으로 많이 사용되지 못했다. 이후 기존의 표준에 대한 단점을 극복하고자 JCT-VC는 시간, 공간, 화질적 scalability 지원을 하는 HEVC 확장 표준인 SHVC(Scalable HEVC)<sup>[6]</sup>를 2014년에

제정하였다. SHVC 표준은 H.264/AVC 기반 SVC 표준의 단점인 설계 복잡도를 줄였으며, 최상위 계층의 영상이 참조하는 모든 하위 계층의 영상을 복호화하는 다중 루프 복호화 방식을 사용하여 부호화 효율을 높였다.

최근에는 UHD의 고화질 영상, 높은 프레임률뿐만 아니라 360도 비디오 및 HDR(High Dynamic Range) 비디오 서비스 등 다양한 서비스가 요구됨에 따라 HEVC를 넘어선 차세대 비디오 코딩 기술을 연구하기 위해 MPEG과 VCEG(Video Coding Experts Groups)은 JVET(Joint Video Exploration Team)을 구성하고, 표준화 미팅을 통해 차세대 비디오 코딩 기술 연구를 진행하였다. 이후 2018년에 JVET(Joint Video Expert Team)으로 이름을 변경하면서 차세대 비디오 압축 표준인 VVC(Versatile Video Coding)<sup>[7]</sup>의 표준화를 시작하였고, 2020년 10월 표준화가 완료되었다. 이는 다양한 서비스 요구를 충족할 뿐만 아니라, 객관적 화질 평가로 HEVC 대비 RA(Random Access) 환경에서 약 35%의 BD-rate가 감소하는 결과를 보였다<sup>[9]</sup>. 또한 VVC는 실시간 비디오 원격 통신 및 회의 상황에서 네트워크 상태 악화 대비, 회의 상황에서 발언자에 따른 적응적 비디오 해상도, 빠른 스트리밍 시작 등을 이유<sup>[10]</sup>로 적응적 해상도 변경에 대한 논의가 진행되었고, 현재 영상과 다른 해상도를 가지는 영상을 참조할 수 있는 RPR (Reference Picture Resampling) 기술이 채택되었다<sup>[11]</sup>. 이후 기존 코덱 기술인 RPS(Reference Picture Selection)와 RPR 기술을 조합하여 공간 해상도 및 화질 scalability을 제공할 수 있다는 제안이 2019년 7월 JVET 15차 회의에서 채택되며<sup>[12]</sup>, 공간, 화질에 대한 scalability 지원을 하게 되었다. Scalability를 지원하는 multilayer VVC는 SHVC 대비 AI, RA, LDB, LDP 환경에서 각각 평균 24.4%, 29.4%, 29.4%, 32.6%의 BD-rate를 감소하는 결과를 보였다.

본 논문에서는 multilayer VVC가 SHVC 대비 많은 비트율을 절약하면서 더 효율적으로 scalability를 제공할 수 있다는 것을 보이고자 multilayer VVC와 SHVC의 성능을 평가한다. 2장에서는 SHVC 대비 multilayer VVC의 차별화된 기술에 대해 간략한 소개를 하며, 3장에서는 실험 환경, 평가 방법 및 실험 결과를 보여준다. 마지막으로 4장에서 결론을 낸다.

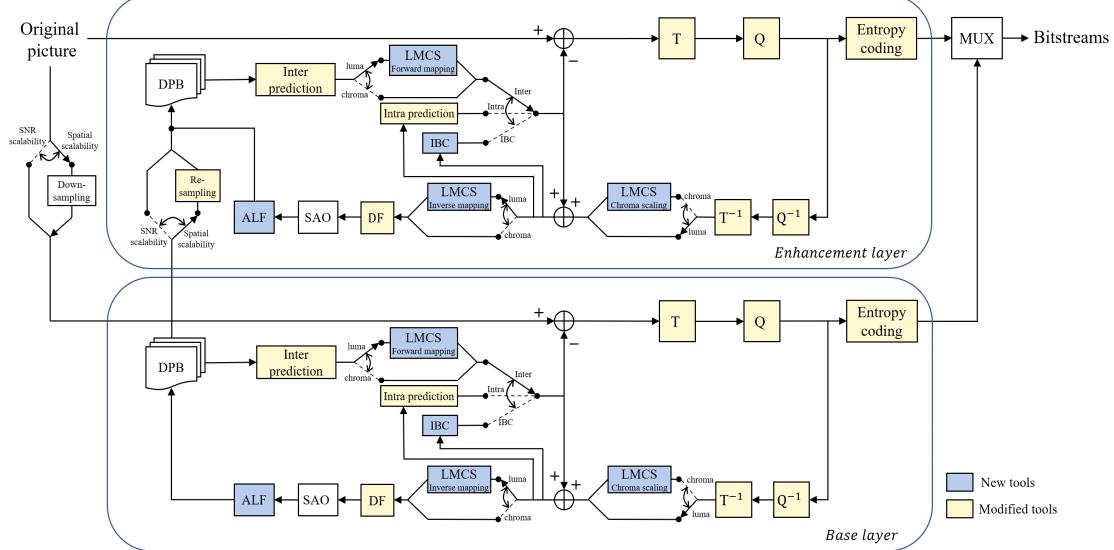


그림 1. 2-layers VVC 부호화기 블록도

Fig. 1. Block diagram of 2-layers VVC encoder

## II. Multilayer VVC

그림 1은 2-layers 구조의 multilayer VVC 부호화기 블록도이다. RPR과 RPS기술을 이용하여 다계층 부호화가 가능하며, 공간 해상도 및 화질 scalability 제공이 가능하다. 또한 SHVC 부호화기 구조와 비교하여 ALF(Adaptive Loop Filter)<sup>[13]</sup>, LMCS(Luma Mapping with Chroma Scaling)<sup>[14]</sup>,

IBC(Intra Block Copy)<sup>[15]</sup> 기술이 새로 추가되었다. 그리고 화면 내 예측, 화면 간 예측, 변환 및 양자화, 인루프 필터, 엔트로피 코딩 기술 안에 많은 기술이 추가되고, 내부적으로 많은 변화가 있었다. 표 1은 multilayer VVC가 SHVC 대비 어떻게 바뀌었는지를 비교한 것이다. 이후 절에서는 표 1을 바탕으로 블록 분할, 화면 내 예측, 화면 간 예측, 인루프 필터, 변환 및 양자화, 엔트로피 코딩 순서로 변화한

표 1. SHVC와 multilayer VVC의 툴 비교

Table 1. Comparison of SHVC and VVC tools

		SHVC		Multilayer VVC
Block partitioning	CTU size	• Maximum 64×64		• Maximum 128×128
	Tree structure	CU	CTU → Quad tree CU	• Partitioning into quad tree(CU) from CTU
		PU	CU → 8 modes PU	• Partitioning into multi-type (binary/ternary) tree(CU) from CTU
Intra prediction		• DC, Planar, 33 directional mode, 3-MPM		• DC, Planar, 65 directional modes, 20 directional wide-angle mode, 6-MPM, MRL, PDPC, ISP, MIP, CCLM 3 modes
Inter prediction	AMVP mode	• AMVP		• AMVP, SMVD, AMVR
	Merge mode	• MERGE/SKIP		• Affine MERGE, SbTMVP, CIIP, HMVP, MMVD, GPM, regular MERGE
	Sample refinement	-		• BDOF, PROF
	Mv refinement	-		• DMVR
In-loop filter		• SAO, DF		• SAO, DF, ALF, LMCS
Transform		• DCT2, DST7		• DCT2, DST7, DST 8, DCT7 and DCT8 with MTS • LFNST, SBT
Quantization		• Unary quantizer		• Two quantizers with dependent quantization
Entropy coding		• Use pre-trained LUT		• Multi-hypothesis probability update model • Selection of probability model

툴에 대해 설명을 한다.

### 1. 블록 분할

CTU(Coding tree Unit) 크기는 SHVC에서 최대  $64 \times 64$ 의 크기를 가질 수 있었지만, multilayer VVC에서는 최대  $128 \times 128$  크기로 확장되었다. 또한, SHVC에서는 화면 내 예측일 경우 CTU가 QT(Quad Tree) 구조로 분할되어 CU(Coding Unit)가 되고, 화면 간 예측일 경우 CU가 8가지의 PU(Prediction Unit)로 분할된다. 그리고 하나의 CU에 대해 변환 블록의 크기를 QT로 분할을 할 수 있다. 하지만 multilayer VVC의 블록 분할 구조에서는 각 CTU는 QT와 MTT(Multi-Type Tree)로 재귀적으로 분할되어 CU가 된다. MTT는 BT(Binary Tree)와 TT(Ternary Tree)로 구성된다. 이러한 변화로 SHVC의 분할 방법보다 더 유연한 분할을 할 수 있게 되었다.

### 2. 화면 내 예측

Multilayer VVC는 화면 내 예측의 방향성 모드가 33개에서 65개로 확장되었다. 추가로 20개의 방향성에 대한 wide-angle<sup>[16]</sup> 모드를 지원한다. Wide-angle 모드는 직사각형 모양의 블록에 대한 효율적인 방향성 예측을 위해 추가된 모드이다. 또한 방향성 모드가 확장됨에 따라 MPM(Most Probable Mode)<sup>[1]</sup> 3가지에서 6가지 모드를 가지고도 확장되었다. 이 외에도 MRL(Multi Reference Line)<sup>[17]</sup>, CCLM(Cross-Component Linear Model)<sup>[18]</sup>, PDPC(Position Dependent intra Prediction Combination)<sup>[19]</sup>, ISP(Intra Subblock Partitioning)<sup>[20]</sup>, MIP(Matrix-based Intra Prediction)<sup>[21]</sup>가 추가되었다.

### 3. 화면 간 예측

SHVC의 화면 간 예측은 MVP(Motion Vector Predictor)를 생성하기 위해 AMVP(Advanced Motion Vector Predictor) 모드와 MERGE/SKIP 모드를 사용하였지만, multilayer VVC는 sub-CU 기반으로 예측을 하는 Affine 모드, ATMVP(Advanced Temporal Motion Vector Predictor)<sup>[22]</sup>, SbTMVP(Sub-block TMVP)<sup>[23]</sup> 모드가 추가되었고, CU 기반으로 예측을 하는 MMVD(Merge with Motion Vector

Difference)<sup>[24]</sup>, GPM(Geometric Partitioning Mode)<sup>[25]</sup><sup>[o]</sup> 추가되었다. 그리고 각 모드의 성능 향상을 위해 HMVP (History based MVP)<sup>[26]</sup>, PAMVP(Pairwise Average MVP)<sup>[27]</sup>, CIIP(Combined Intra/Inter Prediction)<sup>[28]</sup>, AMVR(Adaptive Motion Vector Resolution)<sup>[29]</sup>, BDOF(Bi-Directional Optical-Flow)<sup>[30]</sup>, BCW(Bi-prediction with CU-level Weights)<sup>[31]</sup><sup>[o]</sup> 추가되었다.

### 4. 변환/양자화

SHVC는 화면 내 예측을 통해 생성된  $4 \times 4$  흑도 잔차 블록에 대하여 DST(Discrete Sine Transform) 기반, 나머지 잔차 블록은 DCT(Discrete Cosine Transform) 기반 변환 기저를 사용하여 변환을 수행했다. 이와 달리 multilayer VVC에서는 여러 변환 기저를 선택적으로 사용하여 변환을 수행하는 MTS(Multiple Transform Selection) 기술, 서브 블록 단위로 변환하는 SBT(Sub-block Transform)<sup>[32]</sup> 기술, 그리고 주파수 영역으로 변환된 잔차 신호를 추가 변환하는 LFNST(Low Frequency Non-Separable Transform)<sup>[33]</sup> 기술이 추가되었다. 양자화는 하나의 양자화기를 사용하는 것이 아닌 두 개의 양자화기를 사용하는 DQ(Dependent Quantization)<sup>[34]</sup> 기술이 추가되었다.

### 5. 인루프 필터

Multilayer VVC의 인루프 필터에는 ALF(Adaptive Loop Filter), LMCS(Luma Mapping with Chroma Scaling)가 추가되었다. ALF는 부/복호화 과정에서 가장 마지막에 수행되며, 부호화 손실을 보상해주는 기술이다. LMCS는 흑도 신호가 가지는 특징에 따라 코드 워드를 적게 할당하거나 많이 할당하여 효율적인 부호화를 할 수 있도록 코드 워드를 재분배하고 색차 신호를 스케일링(Scaling)하여, 부호화 성능 및 화질을 향상하기 위한 기술이다. 또한, SHVC에서 사용했던 DF(Deblocking Filter)가 strong filter와 weak filter 이외에 더 큰 필터 탭(Tap)을 사용하여 블록 경계의 필터링을 수행하는 long filter가 추가되었다.

### 6. 엔트로피 코딩

Multilayer VVC의 CABAC(Context-based adaptive bi-

nary arithmetic coding)은 SHVC와 동일한 알고리즘을 사용하지만, SHVC보다 100배 이상 커진 LUT(Look-Up Table) 크기를 줄이고자 테이블 화를 업데이트 방식에서 간단한 선형 상태 표현 수식으로 LUT 연산 없이 수행할 수 있게 되었으며, 더 정확한 화를 추정을 하기 위해, multi-hypothesis 확률 업데이트 모델<sup>[35]</sup>을 채택하였다. 또한 변환 블록의 마지막 계수가 탐색이 된 현재 위치에 대해서 이웃한 위치의 non-zero 레벨의 수, 첫 번째 패스 부호화 후 이

온한 위치의 절대 레벨(absolute level)들의 합, 그리고 현재 탐색 위치의 수평 및 수평 좌표의 합을 이용하여 컨텍스트 확률 모델을 선택적으로 사용한다.

## 7. 계층 간 참조 영상(Inter-layer reference picture)

Scalability 환경에서 비디오 압축의 단순 시나리오는 그림 2와 같다. 상위계층에서 하위계층의 영상을 참조하여 부

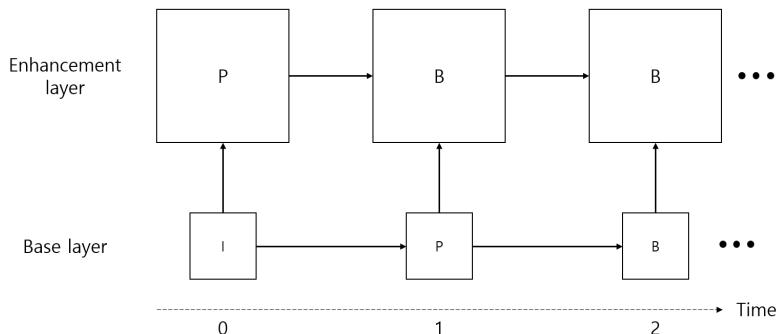


그림 2. 2-layers scalability 시나리오  
Fig. 2. Scenario of 2-layers scalability

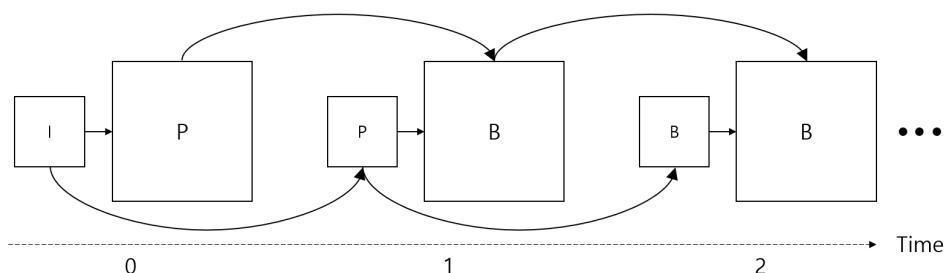


그림 3. RPS+RPR 기반 scalability 구조  
Fig. 3. Scalability structure based on RPS+RPR

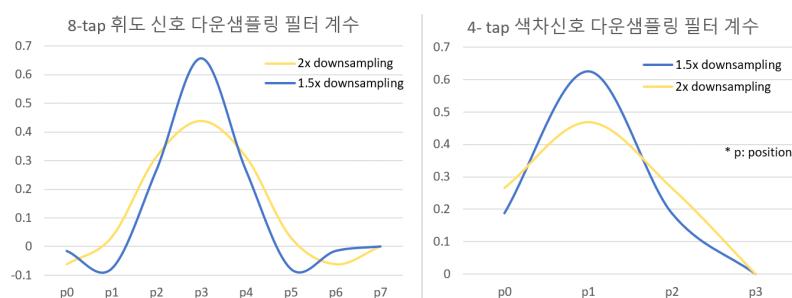


그림 4. 다운샘플링 필터 계수  
Fig. 4. Downsampling filter coefficient

호화를 할 수 있으며, 영상을 참조하기 위해서는 하위계층의 영상 해상도를 상위계층의 영상 해상도에 맞도록 업-샘플링(Up-sampling)해야 한다. 이러한 시나리오를 multilayer VVC는 그림 3과 같이 RPS와 RPR 기술을 조합한 구조를 통해 scalability를 제공할 수 있는 방식을 채택하였다. RPR은 현재 영상과 다른 해상도를 가지는 영상을 참조할 수 있는 기술이며, 해상도를 같게 하기 위해서 업-샘플링 또는 다운-샘플링(Down-sampling) 방법이 사용된다. RPS는 복원된 영상을 참조 영상으로 선택하는 것에 관한 기술이다.

한편, multilayer VVC에서 사용하는 업-샘플링 필터는 SHVC에서 사용하는 DCT-IF(Discrete Cosine Transform-based Interpolation Filter)와 같으며, 휘도 신호 필터는 8-탭, 색차 신호 필터는 4-탭이 사용된다. 단, multilayer VVC에서 색차 신호 필터는 기존의 16-위상 필터 계수에서 32-위상 필터 계수로 확장되었다. 또한, RPR 기술을 위해 사용되는 다운-샘플링 필터가 multilayer VVC 표준에 채택되었으며, 다운-샘플링 필터<sup>[36]</sup>는 그림 4와 같다. 휘도 신호 필터는 8-탭이고 16-위상 필터 계수를 사용하며, 색차 신호 필터는 4-탭이며 32-위상 필터 계수를 사용한다.

표 2. VTM-10.0의 2-layers 부/복호화 방법  
 Table 2. 2-layers encoding/decoding method of VTM-10.0

	Command
Encoder	EncoderApp -c [encoding configuration file] -c cfg/multi-layer/two_layers.cfg -l0 -c cfg/l0 sequence configuration file] -l1 -c cfg/l1 sequence configuration file] -q [qp] -l0 -InputFile=[input file1] -l1 -InputFile=[input file2] -b [bin file]
Decoder	DecoderApp -b [bin file]

표 3. 공동 실험 조건에 정의된 실험 영상  
 Table 3. Test sequences defined in common test condition

Class	Sequence	Resolution		AI	RA	LDP or B
		BL	EL			
A	Traffic	1280×800	2560×1600	Spatial 2×	Spatial 2×	Spatial 2×
	PeopleOnStreet	2560×1600	2560×1600		SNR	SNR
B	Kimono	960×540 1280×720 1920×1980	1920×1980 1920×1980 1920×1980	Spatial 2× Spatial 1.5× SNR	Spatial 2× Spatial 1.5× SNR	Spatial 2× Spatial 1.5× SNR
	ParkScene					
	Cactus					
	BasketballDrive					
	BQTerrace					

### III. 성능 평가 방법 및 실험 결과

본 논문에서 multilayer VVC와 SHVC의 성능을 비교하기 위하여 Intel® i7-10세대 10700K 3.8Hz 프로세서, 64G RAM으로 구성된 클러스터 환경과 SHVC 참조 소프트웨어인 SHM(SHVC Test Model)-12.4<sup>[37]</sup> 및 multilayer VVC 참조 소프트웨어인 VTM(VVC Test Model)-10.0<sup>[38]</sup>을 이용하였다. 그리고 multilayer VVC는 시간, 공간, 화질 scalability를 실현할 수 있는 공동 실험 조건(CTC: Common Test Condition) 환경이 갖춰져 있지 않아 JCT-VC에서 정의한 SHVC의 CTC<sup>[39]</sup>를 이용하였고, QP는 22, 27, 32, 37에 따라 표 2와 같은 방법으로 2-layer 구조(기본계층과 향상계층)의 부/복호화를 진행하였다. 표 3은 SHVC의 CTC에 정의된 실험 영상이며, AI(All-Intra), RA(Random Access), LDB(Low-Delay B) 그리고 LDP(Low-Delay P) 환경에서 Spatial 1.5×/2×, SNR에 대한 실험을 진행하였다. SHVC와 multilayer VVC의 공정한 비교를 위해 GOP(Group of Pictures) 크기를 동일하게 하였고, BL(Base layer)과 EL(Enhancement layer)의 프레임별 양자화 파라미터를 같은 구성하여 동일한 QP로 부/복호화가 되도록 실

험 환경을 구성하였다. 또한 SHM과 VTM의 참조 영상 구조가 다르므로 VTM의 RPL(Reference Picture List)를 SHM과 동일하게 구성하였고, 정확한 시간 측정을 위해 SIMD 기능을 끄고, 단일 스레드로 실험을 진행하였다. 그리고 부호화 성능은 BD-BR(Bjøntegaard-Delta Bitrate)<sup>[40]</sup>을 사용하여 평가 및 비교하였다. 표 4와 표 5는 AI, RA, LDB, LDP 환경에서 SHM 대비 VTM의 기본계층과 향상

계층에 대한 성능을 비교한 결과이며, BD-rate가 21~38% 감소하였다. 그중에서도 SNR 환경에서 부호화 효율이 많이 향상되는 결과를 보였다. 반면에 1.5×/2× 공간 해상도 환경에서 BD-rate가 떨어지는 경향을 보인다. 특히 Park-Scene 영상 같은 경우 RA-2× 환경에서 부호화 효율이 많이 떨어지는 결과를 보였다. 표 6과 표 7은 각각 SHM 대비 VTM의 기본계층과 향상계층에 대한 부호화 시간 복잡도

표 4. AI, RA에서 SHM 12.4(BL + EL) 대비 VTM 10.0(BL + EL)의 BD-rate 비교

Table 4. Comparison of BD-rate of SHM 12.4(BL + EL) and VTM 10.0(BL + EL) for AI, RA

Class	Sequence	All-intra(AI) (%)												Random Access(RA) (%)												
		Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR									
		Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	
A	Traffic	-24.19	-14.09	-23.99							-19.67	-15.18	-27.70								-32.76	-40.70	-49.83			
	PeopleOnStreet	-24.14	-24.84	-18.12							-23.42	-31.67	-26.74								-31.34	-47.50	-45.62			
B	Kimono	-22.86	-16.79	-36.30	-25.62	-27.54	-47.36	-22.26	-22.69	-39.44	-16.77	-10.20	-32.23	-23.78	-28.20	-47.03	-27.16	-38.78	-50.19							
	ParkScene	-17.76	-3.63	-37.29	-20.30	-19.14	-51.80	-19.66	-21.17	-46.19	-7.14	3.16	-33.48	-16.57	-16.39	-49.59	-28.12	-38.75	-56.70							
	Cactus	-21.59	-10.27	-10.97	-23.86	-22.60	-23.80	-22.63	-19.17	-26.74	-27.48	-26.94	-17.54	-32.31	-36.73	-29.56	-38.94	-48.03	-43.57							
	BasketballDrive	-24.81	-20.99	-18.74	-27.83	-31.97	-29.68	-23.86	-28.10	-28.11	-26.57	-23.64	-19.00	-30.25	-32.78	-26.15	-37.14	-45.54	-41.56							
	BQTerrace	-18.43	-16.47	-31.89	-20.49	-30.34	-46.12	-18.87	-33.83	-44.12	-20.80	-31.03	-38.26	-23.66	-44.16	-53.55	-34.20	-63.61	-71.02							
	Average	-21.97	-15.30	-25.33	-23.62	-26.32	-39.68	-22.31	-25.75	-34.90	-20.27	-17.73	-27.78	-25.31	-31.65	-41.18	-32.81	-46.13	-51.21							

표 5. LDB, LDP에서 SHM 12.4(BL + EL) 대비 VTM 10.0(BL + EL)의 BD-rate 비교

Table 5. Comparison of BD-rate of SHM 12.4(BL + EL) and VTM 10.0(BL + EL) for LDB and LDP

Class	Sequence	Low-delay B(LDB) (%)												Low-delay P(LDP) (%)											
		Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR								
		Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V
A	Traffic	-29.06	-30.36	-41.36				-35.84	-38.60	-49.26	-30.92	-33.19	-44.23							-40.31	-43.99	-53.54			
	PeopleOnStreet	-24.43	-30.90	-25.48				-27.21	-32.49	-26.64	-23.46	-30.90	-25.95							-28.33	-33.13	-27.67			
B	Kimono	-20.17	-19.75	-35.26	-20.56	-19.23	-35.64	-22.83	-24.71	-37.82	-23.23	-23.69	-36.94	-23.35	-21.52	-36.64	-27.59	-28.96	-40.03						
	ParkScene	-21.01	-17.24	-42.29	-22.64	-18.73	-44.89	-27.10	-24.03	-49.63	-21.64	-18.82	-43.51	-23.26	-20.02	-44.77	-29.71	-27.32	-51.15						
	Cactus	-31.02	-32.08	-28.24	-32.19	-33.85	-29.58	-32.82	-36.42	-30.58	-31.71	-33.44	-28.31	-32.66	-34.68	-29.97	-37.00	-41.70	-34.84						
	BasketballDrive	-27.52	-29.40	-25.16	-27.62	-29.35	-24.18	-30.45	-33.97	-31.59	-31.44	-34.44	-29.65	-31.44	-33.61	-27.88	-35.03	-37.87	-34.89						
	BQTerrace	-26.16	-43.78	-49.34	-27.29	-44.11	-47.85	-31.45	-46.97	-48.84	-35.69	-48.61	-53.64	-36.25	-50.01	-55.33	-40.47	-52.60	-57.69						
	Average	-25.62	-29.07	-35.30	-26.06	-29.06	-36.43	-29.67	-33.88	-39.20	-28.30	-31.87	-37.40	-29.39	-31.97	-38.92	-34.06	-37.94	-42.83						

표 6. SHM 12.4(BL + EL) 대비 VTM 10.0(BL + EL)의 부호화 시간 복잡도 비교

Table 6. Comparison of the encoding time complexity of SHM 12.4(BL + EL) and VTM 10.0(BL + EL)

Class	Sequence	AI			RA			LDB			LDP		
		2×	1.5×	SNR	2×	1.5×	SNR	2×	1.5×	SNR	2×	1.5×	SNR
A	Traffic	5730%			1049%			807%	744%		529%	921%	
	PeopleOnStreet	5357%			1632%			1334%	990%		732%	1282%	
B	Kimono	3868%	1757%	1322%	1397%	1136%	950%	963%	854%	656%	1231%	1052%	784%
	ParkScene	6088%	3406%	1903%	1248%	1097%	882%	817%	767%	593%	1025%	962%	696%
	Cactus	5540%	3308%	1841%	1360%	1171%	978%	896%	825%	636%	1176%	1055%	767%
	BasketballDrive	5928%	3678%	1614%	1573%	1341%	1092%	1022%	920%	713%	1280%	1140%	835%
	BQTerrace	5529%	3754%	1638%	1049%	980%	813%	680%	658%	544%	905%	867%	666%
	Average	5168%	2837%	1629%	1281%	1106%	913%	857%	790%	616%	1085%	987%	730%

표 7. SHM 12.4(BL + EL) 대비 VTM 10.0(BL + EL)의 복호화 시간 복잡도 비교

Table 7. Comparison of the decoding time complexity of SHM 12.4(BL + EL) and VTM 10.0(BL + EL)

Class	Sequence	AI			RA			LDB			LDP		
		2×	1.5×	SNR									
A	Traffic	198%			128%			141%	188%		241%	185%	
	PeopleOnStreet	194%			136%			151%	221%		265%	215%	
B	Kimono	231%	192%	245%	128%	124%	140%	207%	206%	241%	204%	205%	232%
	ParkScene	197%	189%	210%	130%	128%	128%	192%	191%	200%	182%	182%	186%
	Cactus	195%	189%	213%	136%	135%	144%	180%	180%	194%	183%	184%	194%
	BasketballDrive	200%	199%	212%	159%	161%	168%	209%	214%	249%	211%	218%	245%
	BQTerrace	196%	195%	217%	166%	162%	168%	188%	190%	222%	185%	187%	209%
Average		201%	192%	225%	139%	141%	147%	219%	197%	196%	147%	194%	194%

표 8. AI, RA에서 SHM 12.4(BL) 대비 VTM 10.0(BL)의 BD-rate 비교

Table 8. Comparison of BD-rate of SHM 12.4(BL) and VTM 10.0(BL) for AI, RA

Class	Sequence	All-intra(AI) (%)									Random Access(RA) (%)								
		960×540			1280×720			1920×1080			960×540			1280×720			1920×1080		
		Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V
A	Traffic	-22.24	-28.31	-30.16							-22.63	-33.97	-37.21				-29.82	-37.65	-46.74
	PeopleOnStreet	-22.72	-33.84	-32.59							-27.30	-41.43	-41.38				-29.70	-43.30	-41.53
B	Kimono	-19.49	-28.08	-42.91	-20.86	-26.88	-42.82	-22.24	-23.08	-37.01	-24.51	-42.45	-52.71	-24.49	-39.94	-51.20	-25.21	-35.53	-46.81
	ParkScene	-17.65	-23.34	-42.34	-18.47	-22.15	-44.88	-19.64	-21.72	-42.19	-23.75	-36.01	-51.58	-24.31	-35.44	-54.26	-25.51	-35.17	-53.60
	Cactus	-21.94	-20.45	-16.23	-22.62	-20.40	-18.60	-22.72	-18.62	-26.77	-34.04	-37.81	-31.44	-35.78	-39.38	-33.75	-37.52	-46.38	-40.37
	BasketballDrive	-24.48	-25.75	-22.16	-25.44	-27.74	-24.90	-23.67	-31.06	-30.28	-31.70	-34.95	-28.81	-33.45	-36.85	-31.99	-35.64	-41.68	-38.19
	BQTerrace	-23.69	-27.24	-25.86	-23.96	-28.33	-38.10	-18.43	-33.62	-46.82	-32.95	-42.66	-51.11	-32.04	-45.69	-54.06	-33.04	-59.38	-67.67
Average		-21.74	-26.72	-31.75	-22.27	-25.10	-33.86	-22.17	-26.17	-34.75	-28.13	-38.47	-42.04	-30.01	-39.46	-45.05	-30.92	-42.73	-47.84

표 9. LDB, LDP에서 SHM 12.4(BL) 대비 VTM 10.0(BL)의 BD-rate 비교

Table 9. Comparison of BD-bitrate of SHM 12.4(BL) and VTM 10.0(BL) for LDB and LDP

Class	Sequence	Low-delay B(LDB) (%)									Low-delay P(LDP) (%)								
		960×540			1280×720			1920×1080			960×540			1280×720			1920×1080		
		Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V
A	Traffic	-36.92	-43.08	-46.83				-35.86	-38.24	-49.02	-40.54	-47.46	-50.90				-40.10	-43.47	-53.04
	PeopleOnStreet	-24.15	-25.29	-24.65				-27.20	-31.61	-25.81	-23.06	-24.85	-24.52				-28.41	-32.07	-26.62
B	Kimono	-21.36	-24.28	-36.75	-21.75	-25.13	-38.53	-23.10	-24.62	-37.26	-23.84	-25.89	-38.21	-25.04	-27.02	-39.60	-27.81	-28.80	-39.40
	ParkScene	-26.20	-23.63	-36.94	-26.65	-25.00	-44.30	-27.46	-23.90	-48.58	-28.18	-26.37	-38.86	-28.83	-27.38	-45.77	-30.09	-27.15	-49.98
	Cactus	-31.44	-26.86	-19.79	-32.76	-29.59	-23.63	-33.17	-36.52	-30.34	-33.76	-30.55	-23.23	-35.81	-33.89	-27.82	-37.27	-41.55	-34.28
	BasketballDrive	-26.92	-25.29	-22.40	-28.61	-27.43	-25.31	-30.38	-33.92	-31.33	-29.74	-26.95	-23.41	-32.23	-30.42	-27.47	-35.11	-37.85	-34.68
	BQTerrace	-35.28	-33.42	-36.38	-34.43	-37.04	-38.15	-31.66	-46.05	-48.42	-42.94	-42.35	-48.46	-43.50	-45.13	-50.24	-40.97	-51.83	-57.63
Average		-28.90	-28.94	-31.96	-34.43	-28.84	-33.98	-29.83	-33.55	-38.68	-31.80	-32.06	-35.37	-33.08	-32.77	-38.18	-34.25	-37.53	-42.23

표 10. AI, RA에서 SHM 12.4(EL) 대비 SHM 12.4(BL+EL)의 BD-rate 비교

Table 10. Comparison of BD-rate of SHM 12.4(EL) and SHM 12.4(BL+EL) for AI, RA

Class	Sequence	All-intra(AI) (%)									Random Access(RA) (%)								
		Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR		
		Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V
A	Traffic	11.78	12.35	12.32							20.70	25.59	27.29				5.11	5.71	6.72
	PeopleOnStreet	10.94	15.56	12.81							21.17	62.66	55.63				2.21	7.70	7.43
B	Kimono	6.09	11.08	8.45	5.20	7.74	5.09	0.32	-0.24	-0.3	15.07	29.48	33.91	14.67	29.85	34.44	3.76	7.06	7.59
	ParkScene	8.62	10.82	8.82	7.47	9.65	6.17	0.21	-0.80	-1.48	16.98	24.16	23.36	18.71	30.83	29.97	4.68	6.91	6.87
	Cactus	13.72	14.28	19.35	10.73	11.86	16.38	0.17	-0.39	-0.98	21.84	27.31	35.05	22.07	28.35	39.28	3.63	3.65	6.04
	BasketballDrive	17.57	22.58	23.40	15.77	18.42	20.32	0.83	-4.12	-3.29	18.47	36.01	34.66	17.44	36.68	36.83	3.43	8.00	6.39
	BQTerrace	15.89	18.23	20.14	14.78	17.70	19.00	0.19	-3.64	-7.17	15.19	28.93	32.27	15.95	45.48	48.79	2.07	13.08	12.92
Average		12.38	15.40	16.03	10.79	13.08	13.39	0.35	-1.84	-3.01	18.49	33.45	34.60	17.77	34.24	37.86	3.56	7.74	7.71

표 11. LDB, LDP에서 SHM 12.4(EL) 대비 SHM 12.4(BL+EL)의 BD-rate 비교

Table 11. Comparison of BD-rate of SHM 12.4(EL) and SHM 12.4(BL+EL) for LDB and LDP

Class	Sequence	Low-delay B(LDB) (%)												Low-delay P(LDP) (%)														
		Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Y			U			V		
		Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V			
A	Traffic	19.81	25.26	26.83				1.25	0.90	0.89	15.12	18.95	21.02											1.51	1.10	1.30		
	PeopleOnStreet	25.30	61.28	54.67				0.20	-0.09	-0.28	22.57	57.48	51.19											0.06	-0.09	-0.30		
B	Kimono	21.08	27.19	31.32	20.51	25.73	29.36	0.77	0.56	0.54	19.23	26.08	30.31	17.65	23.19	26.95	0.69	0.58	0.52									
	ParkScene	17.16	22.65	23.36	23.85	32.42	32.80	0.94	0.81	0.73	14.21	19.08	20.28	20.85	27.70	29.15	0.95	0.83	0.70									
	Cactus	25.28	33.30	41.01	28.63	36.58	46.53	0.75	0.48	0.62	19.67	25.51	32.43	22.67	28.83	38.94	0.74	0.64	0.75									
	BasketballDrive	22.09	35.96	34.36	21.32	34.44	35.39	1.02	0.82	0.87	20.28	35.97	34.55	19.33	35.16	35.85	0.71	0.66	0.66									
	BQTerrace	12.10	28.74	44.06	18.14	41.78	55.63	1.68	1.83	1.82	9.67	21.07	27.73	15.49	36.39	44.66	0.96	1.30	1.30									
Average		20.40	33.48	36.51	22.49	34.19	39.94	0.94	0.76	0.74	17.25	29.16	31.07	19.20	30.25	35.11	0.80	0.72	0.70									

표 12. AI, RA에서 VTM 10.0(EL) 대비 VTM 10.0(BL+EL)의 BD-rate 비교

Table 12. Comparison of BD-rate of VTM 10.0(EL) and VTM 10.0(BL+EL) for AI, RA

Class	Sequence	All-intra(AI) (%)												Random Access(RA) (%)														
		Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Y			U			V		
		Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V			
A	Traffic	15.11	22.38	21.09										39.98	70.33	71.68								0.67	0.41	0.51		
	PeopleOnStreet	11.74	35.02	38.28										33.56	89.14	92.65								-0.26	-0.21	0.08		
B	Kimono	5.89	20.93	9.90	1.71	2.31	-12.15	0.24	0.22	-3.83	28.86	77.71	68.00	18.45	44.67	31.43	0.88	1.18	0.53									
	ParkScene	11.88	37.66	21.41	7.75	15.83	-8.82	0.14	-0.02	-7.14	46.79	94.29	74.45	34.63	67.77	39.90	0.94	1.03	-0.12									
	Cactus	17.80	32.84	44.53	12.25	11.56	20.89	0.11	-1.06	-0.63	42.78	70.34	82.32	35.04	48.29	59.82	1.13	0.98	0.85									
	BasketballDrive	20.51	39.43	40.84	15.02	16.11	19.31	0.19	-0.02	-0.21	36.28	71.79	71.27	29.13	52.33	58.71	0.68	1.09	0.96									
	BQTerrace	21.28	53.81	57.80	17.94	27.84	23.54	-0.49	-3.96	-2.26	37.43	112.61	135.90	35.01	90.96	99.50	1.33	1.62	2.33									
Average		15.47	34.58	33.41	10.93	14.73	8.56	-0.01	-0.97	-2.87	38.43	83.74	85.18	30.45	60.80	57.87	0.77	0.87	0.73									

표 13. LDB, LDP에서 VTM 10.0(EL) 대비 VTM 10.0(BL+EL)의 BD-rate 비교

Table 13. Comparison of BD-rate of VTM 10.0(EL) and VTM 10.0(BL+EL) for LDB and LDP

Class	Sequence	Low-delay B(LDB) (%)												Low-delay P(LDP) (%)														
		Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Spatial 2×			Spatial 1.5×			SNR			Y			U			V		
		Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V			
A	Traffic	32.68	40.63	43.71				1.27	0.47	0.65	32.91	40.13	42.25											1.14	0.25	0.42		
	PeopleOnStreet	30.54	56.75	53.43				0.14	-1.26	-1.33	31.26	54.42	51.09											0.12	-1.53	-1.68		
B	Kimono	25.79	34.42	32.89	24.59	33.38	29.41	1.09	0.64	-0.14	26.88	34.03	33.09	24.97	34.37	29.75	0.96	0.46	-0.34									
	ParkScene	27.57	32.69	36.51	32.07	40.01	40.76	1.46	0.85	-1.08	27.97	32.33	34.70	32.61	39.28	41.47	1.51	0.79	-1.41									
	Cactus	29.81	40.70	42.48	31.41	40.15	44.82	1.22	0.94	0.59	30.60	41.70	42.70	32.48	42.34	45.64	1.14	0.65	0.18									
	BasketballDrive	27.37	43.28	44.97	26.94	41.07	47.16	0.80	0.73	0.49	27.16	41.72	43.44	26.81	41.80	47.23	0.70	0.60	0.33									
	BQTerrace	22.01	32.24	38.41	27.16	44.71	54.93	2.08	0.62	1.38	20.24	28.38	37.62	26.27	41.41	53.37	1.77	0.06	1.00									
Average		27.97	40.40	41.77	28.43	39.86	43.42	1.15	0.43	0.25	28.15	38.96	40.70	28.63	39.84	43.49	1.05	0.18	-0.21									

표 14. VTM 10.0(EL) 대비 VTM 10.0(BL + EL)의 부호화 시간 복잡도 비교

Table 14. Comparison of the encoding time complexity of VTM 10.0(EL) and VTM 10.0(BL + EL)

Class	Sequence	AI			RA			LDB			LDP		
		2×	1.5×	SNR	2×	1.5×	SNR	2×	1.5×	SNR	2×	1.5×	SNR
A	Traffic	728%			507%			141%	580%		135%	559%	
	PeopleOnStreet	734%			514%			122%	582%		121%	534%	
B	Kimono	691%	223%	120%	508%	284%	132%	513%	300%	125%	493%	295%	125%
	ParkScene	850%	311%	110%	562%	328%	138%	563%	352%	134%	549%	337%	134%
	Cactus	851%	332%	111%	530%	306%	133%	559%	332%	127%	536%	325%	126%
	BasketballDrive	1059%	435%	116%	532%	301%	128%	560%	324%	124%	551%	317%	123%
	BQTerrace	917%	399%	113%	666%	401%	146%	654%	407%	143%	647%	401%	147%
Average		824%	326%	114%	541%	321%	134%	571%	341%	129%	550%	333%	130%

표 15. VTM 10.0(EL) 대비 VTM 10.0(BL + EL)의 복호화 시간 복잡도 비교

Table 15. Comparison of the decoding time complexity of VTM 10.0(EL) and VTM 10.0(BL + EL)

Class	Sequence	AI			RA			LDB			LDP		
		2×	1.5×	SNR									
A	Traffic	335%			418%			138%	544%		160%	543%	
	PeopleOnStreet	316%			388%			139%	424%		147%	412%	
B	Kimono	446%	245%	141%	459%	285%	139%	498%	323%	150%	485%	310%	148%
	ParkScene	375%	233%	116%	463%	296%	122%	548%	346%	132%	538%	339%	132%
	Cactus	379%	241%	124%	485%	309%	137%	550%	356%	140%	530%	343%	138%
	BasketballDrive	419%	266%	122%	464%	299%	136%	510%	331%	147%	503%	325%	149%

(=VTM부호화 시간/SHM 부호화 시간)와 복호화 시간 복잡도(=VTM복호화 시간/SHM 복호화 시간)를 비교한 결과이다. 부호화 시간 복잡도는 AI 환경에서 평균 50배까지 증가함을 보였고, RA에서 8~12배, LDB와 LDP 환경에서 6~10배 증가하였다. 그리고 복호화 시간 복잡도는 전체적으로 1.5~2.2배 정도 증가하였다. 표 8과 표 9는 AI, RA, LDB, LDP 환경에서 SHM 대비 VTM의 기본계층에 대한 부호화 성능(BD-rate)을 비교한 결과이며, AI, RA, LDB, LDP 환경에서 각각 BD-rate가 평균 24.6%, 33.9%, 34.1%, 31.5% 감소하였다. 향상계층의 계층 간 참조 예측으로 BD-rate 감소가 더 많이 될 것이라 예상했지만, 표 4와 표 5의 결과를 보면 단일계층 부호화 결과(표 8, 표 9)보다 더 많은 부호화 효율을 가져오지 못했다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유를 분석하기 위해, 계층 간 참조 예측의 부호화 성능을 표 10-13으로 정리하였다. 표 10과 표 11은 AI, RA, LDB, LDP 환경에서 SHM(EL) 대비 SHM(BL+EL)에 대한 부호화 성능(BD-rate)을 비교한 결과이다. 향상계층만을 부호화하는 것 대비 단일계층과 향상계층 부호화를 수행하는 경우 얼마나 BD-rate에 차이가 생기는지 보기 위함이며, 공간 해상도 2×/1.5× 환경에서 전체적으로 BD-rate가 11~27% 증가함을 보인다. 반면 표 12와 표 13은 AI, RA, LDB, LDP 환경에서 VTM 향상계층 대비 VTM의 계층적 부호화를 한 결과이며, BD-rate가 21~53% 증가함을 보인다. 이는 multilayer VVC의 부호화 기술들이 SHVC와 비교하여 많이 추가되고, 부호화 효율이 향상되면서 계층 간 참조 예측의 부호화 효율이 상대적으로 떨어지는 것으로 분석된다. 표 14와 표 15는 VVC의 단일 계층 부/복호화 시간 대비 multilayer VVC의 부/복호화 시간을 보기 위한 실험 결과이며, VTM(EL) 대비 VTM(BL+EL)의 부호화 시간 복잡도(=VTM(BL+EL) 부호화 시간/VTM(EL) 부호화 시간)와 복

호화 시간 복잡도(=VTM(BL+EL) 복호화 시간/VTM(EL) 복호화 시간)의 결과다. 부호화 시간은 AI-2× 환경에서 평균 8배까지 증가함을 보였고, RA-2×, LDB-2×, LDP-2× 환경에서 평균 5.4배까지 증가함을 보였다. 복호화 시간은 AI-2×, RA-2×, LDB-2×, LDP-2× 환경에서 각각 평균 3.8배, 4.5배, 5.2배, 5.2배까지 증가함을 보였고, 부/복호화 기 모두 SNR환경에서는 1.1~1.5배의 복잡도만 증가하는 결과를 보였다. 그림 5-7은 각각 전체 영상(Class A와 Class B, 전체 7개)에 대해 AI(2×, 1.5×, SNR scalability), RA(2×, 1.5×, SNR scalability), LDB(2×, 1.5×, SNR scalability), LDP(2×, 1.5×, SNR scalability) 환경에서 VTM과 SHM의 부호화 성능을 보여주는 윤-왜곡 곡선이다. 그림 8-11은 Traffic, PeopleOnStreet 영상(Class A, 2560×1600)에 대해 각각 AI-2×, RA-2×, LDB-2×, LDP-2×, 환경에서 VTM과 SHM의 부호화 성능을 보여주는 윤-왜곡 곡선이다. Multilayer VVC가 SHVC보다 같은 PSNR 대비 적은 비트를 사용한다는 것을 알 수 있다.

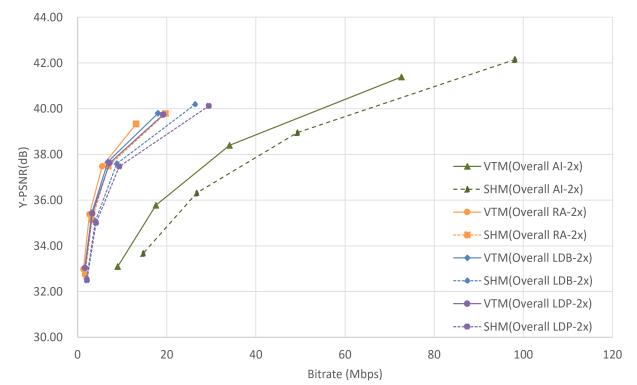


그림 5. 전체 영상에 대한 2× 공간해상도 scalability 환경에서의 윤-왜곡 곡선  
 Fig. 5. Rate-distortion curve in 2× spatial resolution scalability environment for the overall sequences

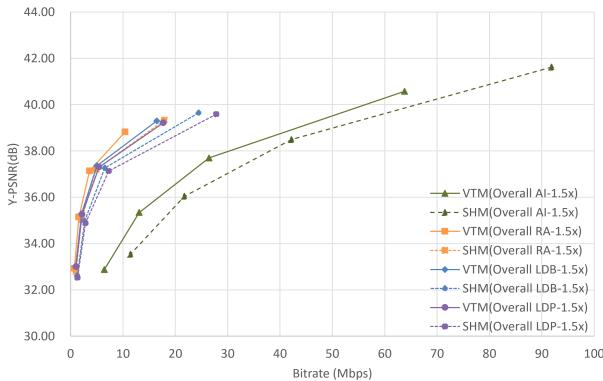


그림 6. 전체 영상에 대한  $1.5\times$  공간해상도 scalability 환경에서의 율-왜곡 곡선

Fig. 6. Rate-distortion curve in  $1.5\times$  spatial resolution scalability environment for the overall sequences

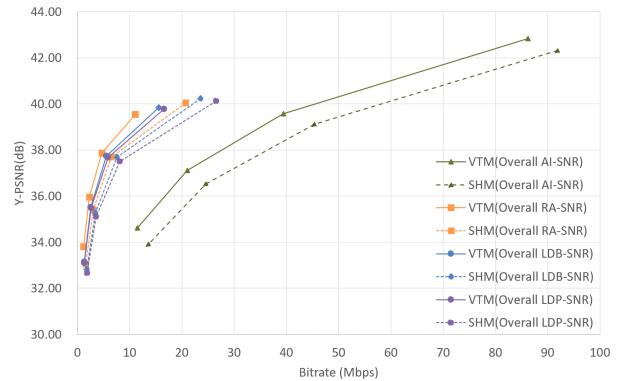


그림 7. 전체 영상에 대한 SNR scalability 환경에서의 율-왜곡 곡선  
Fig. 7. Rate-distortion curve in SNR scalability environment for the overall sequences

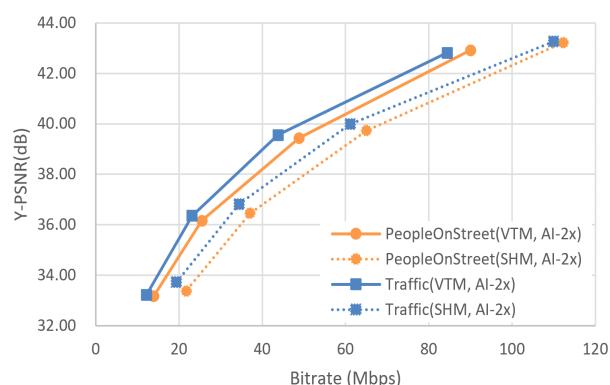


그림 8. AI-2 $\times$  환경에서의 율-왜곡 곡선

Fig. 8. Rate-distortion curves on AI-2 $\times$

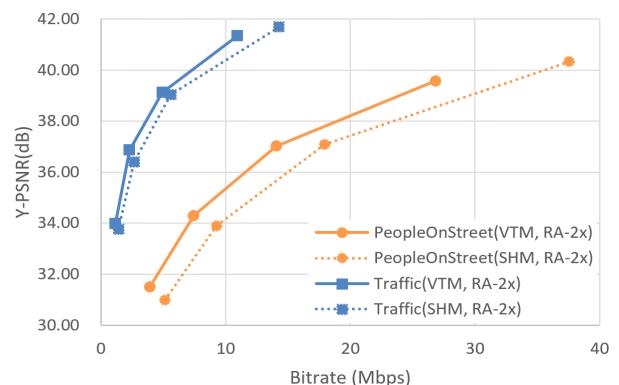


그림 9. RA-2 $\times$  환경에서의 율-왜곡 곡선

Fig. 9. Rate-distortion curves on RA-2 $\times$

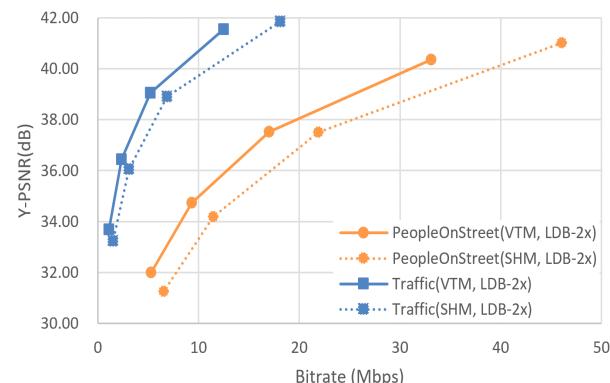


그림 10. LDB-2 $\times$  환경에서의 율-왜곡 곡선

Fig. 10. Rate-distortion curves on LDB-2 $\times$

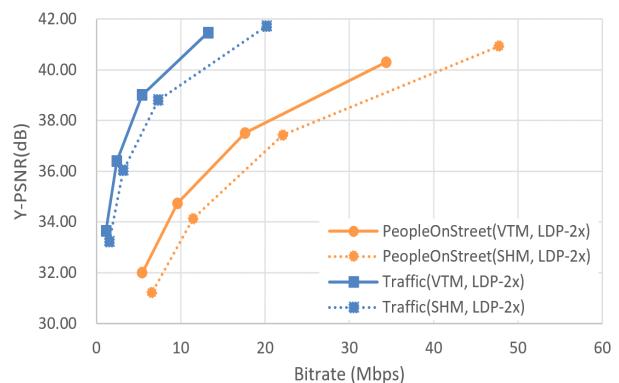


그림 11. LDP-2 $\times$  환경에서의 율-왜곡 곡선

Fig. 11. Rate-distortion curves on LDP-2 $\times$

## IV. 결 론

본 논문에서는 차세대 코덱 multilayer VVC의 차별화된 기술을 소개하고, multilayer VVC 및 SHVC에 대한 성능 평가 및 분석을 하였다. SHM-12.4(BL+EL) 대비 VTM-10.0(BL+EL)은 AI, RA, LDB, LDP 환경에서 BD-rate가 각각 평균 24.4%, 29.4%, 32.6%, 29.4% 감소하는 결과를 보였다. 반면 multilayer VVC에 새롭게 채택된 복잡한 기술들로 증가된 시간 복잡도에 대해서는 지속적으로 개선할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌 (References)

- [1] S. Park and D. Sim, “Prospects for the development of ultra-high efficiency video coding technology”, The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.34, No.7, pp.3-9, June 2017.
- [2] G. Sullivan, J. Ohm, W. Han, and T. Wiegand, “Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.22, No.12, pp.1649-1668, December 2012.
- [3] G. Kim, H. Jo, D. Sim, and Y. Jang, “Scalable HEVC standard technology trend”, The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.30, No.9, pp.49-57, August 2013.
- [4] H. Choi, K. Lee, J. Kang, S. Bae, and J. Yoo, “Overview and Performance Analysis of the Emerging Scalable Video Coding”, Journal of Broadcast Engineering, Vol.12, No.6, pp.542-554, November 2007.
- [5] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, “Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.17, No.9, pp.1103-1120, September 2007.
- [6] J. M. Boyce, Y. Ye, J. Chen, and A. K. Ramasubramonian, “Overview of SHVC: Scalable Extensions of the High Efficiency Video Coding Standard”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.26, No.1, pp.20-34, July 2016.
- [7] J. Lee, J. Park, H. Choi, J. Byeon, and D. Sim, “Overview of VVC”, Broadcasting and Media Magazine, Vol.24, No.4, pp.10-25, October 2019.
- [8] B. Bross, J. Chen, S. Liu, and Y.-K. Wang, JVET-S2001, “Versatile Video Coding (Draft 10)”, Jul. 2020.
- [9] C. Helmrich, B. Bross, J. Pfaff, H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, JVET-T0103, “Information on and analysis of the VVC encoders in the SDR UHD verification test”, Oct. 2020.
- [10] Hendry, Y.-K. Wang, J. Chen, T. Davies, A. Fuldseth, Y. C. Chang, and J. Lou, JVET-M0135, “On adaptive resolution change (ARC) for VVC”, Jan. 2019.
- [11] B. Choi, S. Wenger, and S. Liu, JVET-O0332, “AHG8: Signaling and Filtering for Reference Picture Resampling”, Jul. 2019.
- [12] S. Wenger, B. Choi, S.-C. Han, X. Li, and S. Liu, JVET-O0045, “AHG8: Spatial Scalability using Reference Picture Resampling”, Jul. 2019.
- [13] M. Karczewicz, L. Zhang, W.-J. Chien, and X. Li, JVET-B0060, “Improvements on adaptive loop filter”, Feb. 2016.
- [14] F. Pu, S. McCarthy, T. Lu, P. Yin, W. Husak, and T. Chen, JVET-O0432, “AHG10: LMCS encoder improvement”, Jul. 2019.
- [15] X. Xu, X. Li, and S. Liu, JVET-M0407, “CE8: CPR reference memory reuse without increasing memory requirement (CE8.1.2a and CE8.1.2d)”, Jan. 2019.
- [16] F. Racapé, G. Rath, F. Urban, L. Zhao, S. Liu, X. Zhao, and X. Li, JVET-K0500, “CE3-related: Wide-angle intra prediction for non-square blocks”, Jul. 2018.
- [17] P.-H. Lin, P. Sung, C.-C. Lin, and C.-L. Lin, JVET-J0070, “Multiple reference line intra prediction based on JEM7.0”, Apr. 2018.
- [18] G. Laroche, J. Taquet, C. Gisquet, and P. Onno, JVET-K0204, “Non-CE3: On cross-component linear model simplification”, Jul. 2018.
- [19] X. Zhao, V. Seregin, A. Said, and M. Karczewicz, JVET-H0057, “EE1 related: Simplification and extension of PDPC”, Oct. 2017.
- [20] S. De-Luxán-Hernández, V. George, J. Ma, T. Nguyen, H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, JVET-M0102, “CE3: Intra Sub-Partitions Coding Mode (Tests 1.1.1 and 1.1.2)”, Jul. 2019.
- [21] J. Pfaff, T. Hinz, P. Helle, P. Merkle, B. Stallenberger, M. Schäfer, H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, JVET-O0084, “8-bit implementation and simplification of MIP”, Jul. 2019.
- [22] H. Jang, J. Nam, S.-H. Kim, and J. Lim, JVET-K0079, “[CE4-2.6] Simplified ATMVP”, Jul. 2018.
- [23] L. Zhang, K. Zhang, H. Liu, J. Xu, Y. Wang, P. Zhao, and D. Hong, JVET-M0273, “CE2-related: Early awareness of accessing temporal blocks in sub-block merge list construction”, Jan. 2019.
- [24] S. Jeong, M. W. Park, Y. Piao, M. Park, and K. Choi, JVET-L0054, “Proposed WD for CE4 Ultimate motion vector expression (Test 4.5.4)”, Oct. 2018.
- [25] S. Esenlik, H. Gao, A. Filippov, V. Rufitskiy, A. M. Kotra, B. Wang, Z. Zhao, E. Alshina, M. Bläser, and J. Sauer, JVET-O0489, “Non-CE4: Geometrical partitioning for inter blocks”, Jul. 2019.
- [26] N. Park, H. Jang, J. Nam, J. Lee, J. Lim, and S. H. Kim, JVET-L0158, “CE4-related: History-based Motion Vector Prediction”, Oct. 2018.
- [27] Y.-L. Hsiao, T.-D. Chuang, C.-Y. Chen, C.-W. Hsu, Y.-W. Huang, and S.-M. Lei, JVET-L0090, “CE4.4.12: Pairwise average candidates”, Oct. 2018.
- [28] M.-S. Chiang, C.-W. Hsu, Y.-W. Huang, and S.-M. Lei, JVET-L0100, “CE10.1.1: Multi-hypothesis prediction for improving AMVP mode, skip or merge mode, and intra mode”, Oct. 2018.
- [29] Y. Zhang, Y. Han, C.-C. Chen, C.-H. Hung, W.-J. Chien, and M. Karczewicz, JVET-K0357, “CE4.3.3: Locally adaptive motion vector resolution and MVD coding”, Jul. 2018.
- [30] X. Xiu, Y. He, and Y. Ye, JVET-L0256, “CE9-related: Complexity reduction and bit-width control for bi-directional optical flow (BIO)”, Oct. 2018.

- [31] Y.-C. Su, C.-Y. Chen, Y.-W. Huang, and S.-M. Lei, JVET-L0646, “CE4-related: Generalized bi-prediction improvements combined from JVET-L0197 and JVET-L0296”, Oct. 2018.
- [32] Y. Zhao, H. Gao, H. Yang, and J. Chen, JVET-M0140, “CE6: Sub-block transform for inter blocks (CE6.4.1)”, Jan. 2019.
- [33] M. Koo and J. Lim, JVET-N0193, “CE6: Reduced Secondary Transform (RST) (CE6-3.1)”, Mar. 2019.
- [34] H. Schwarz, T. Nguyen, D. Marpe, and T. Wiegand, JVET-K0072, “Non-CE7: Alternative entropy coding for dependent quantization”, Jul. 2018.
- [35] F. Bossen, JVET-M0453, “CE5 on arithmetic coding: experiments 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4, 5.1.5, 5.1.6, 5.1.7, 5.1.8, 5.1.10, 5.1.11, 5.1.12, 5.1.13, 5.2, and more”, Jan. 2019.
- [36] J. Samuelsson, S. Deshpande, and A. Segall, JVET-P0088, “CE1-1: RPR downsampling filter”, Oct. 2019.
- [37] G. Barroux, J. Chen, J. Boyce, Y. Ye, and M. M. Hannuksela, JCTVC-V1007, “SHVC Test Model 11 (SHM 11) Introduction and Encoder Description”, Feb. 2015.
- [38] J. Chen, Y. Ye, and S. H. Kim, JVET-S2002, “Algorithm description for Versatile Video Coding and Test Model 10 (VTM 10)”, Jul. 2020.
- [39] V. Seregin and Y. He, JCTVC-Q1009, “Common SHM test conditions and software reference configurations”, Apr. 2014.
- [40] G. Bjøntegaard, VCEG-AI11, “Improvements of the BD-PSNR model”, Jul. 2008.

---

## 저자소개

---

### 홍명오



- 2020년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2020년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-2710-7874>
- 주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터비전

### 이종석



- 2016년 2월 : 광운대학교 전자공학과 학사
- 2018년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사
- 2020년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정 수료
- 2020년 2월 ~ 현재 : 디지털인사이트 선임연구원 재직 중
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-8045-0244>
- 주관심분야 : 영상압축, 스파이킹 신경망, 컴퓨터비전, 고해상도 위성영상 처리

### 심동규



- 1993년 2월 : 서강대학교 전자공학과 공학사
- 1995년 2월 : 서강대학교 전자공학과 공학석사
- 1999년 2월 : 서강대학교 전자공학과 공학박사
- 1999년 3월 ~ 2000년 8월 : 현대전자 선임연구원
- 2000년 9월 ~ 2002년 3월 : 바로비전 선임연구원
- 2002년 4월 ~ 2005년 2월 : University of Washington Senior research engineer
- 2005년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-2794-9932>
- 주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터비전