

PU 기반 On-the-fly 업샘플링을 이용한 SHVC 복호화기 고속화 방법

*김승휘 *이동규 *채찬엽 **심동규 ***강정원 *오승준

*광운대학교 전자공학과 **광운대학교 컴퓨터공학과 ***한국전자통신연구원

*k2090535@media.kw.ac.kr

Fast SHVC Decoder using PU-based On-the-fly Up-Sampling

*Kim, Seung-Hwi *Lee, Dongkyu *Chae, Chan-Yup **Sim, Donggyu

***Kang, Jung-Won *Oh, Seoung-Jun

*Department of Electronic Engineering at Kwangwoon University

**Department of Computer Engineering at Kwangwoon University

***Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

SHVC(Scalable High efficiency Video Coding)는 다양한 멀티미디어 서비스 환경에서 높은 코딩 효율을 위해 공간적, 시간적, 화질적 스케일러빌리티를 이용한 표준 기술이다. SHVC는 멀티-계층 부/복호화를 수행하기 때문에 싱글-계층인 HEVC(High Efficiency Video Coding) 보다 추가적인 복잡도를 요구한다. 본 논문에서는 SHVC 복호화기의 복잡도를 분석하고 SHVC 복호화기에서 높은 복잡도를 차지하는 프레임 기반 업샘플링을 PU 기반 On-the-fly 업샘플링(On-the-fly Up-sampling) 방법과 SIMD 연산을 통해 고속화 한다. 제안하는 알고리즘이 적용된 SHVC 복호화기는 기존 SHVC 복호화기의 복호화 시간보다 평균 1.23배 고속화 성능을 보이며 업샘플링의 복잡도가 24.7%에서 1.9%로 감소하였다. On-the-fly 업샘플링 과정은 기존 프레임 레벨 업샘플링 과정 대비 평균 90.3% 수행시간 감소율을 보인다.

1. 서론

SHVC(Scalable High efficiency Video Coding) 표준은 HEVC(High Efficiency Video Coding)의 스케일러블 확장 표준이다.[1] SHVC 부/복호화기 구조는 멀티-계층으로 구성되어 있으며 다양한 해상도, fps(frame per second), 화질을 조정할 수 있다. SHVC에서 지원하는 스케일러빌리티는 공간적 스케일러빌리티(Spatial Scalability), 시간적 스케일러빌리티(Temporal Scalability), 화질적 스케일러빌리티(SNR Scalability) 등이 있다.[2] 공간적 스케일러빌리티는 다양한 해상도의 영상을 멀티-계층으로 분리하여 부/복호화를 하여 하나의 비트스트림으로 다양한 해상도의 영상을 제공한다. 하위 계층(BL : Base Layer)은 HEVC 기술을 이용하여 부호화를 하고, 상위 계층(EL : Enhancement Layer)은 하위 계층의 정보를 이용하여 부호화를 진행한다. 계층간 텍스처 예측(inter-layer texture prediction)시 참조계층의 영상을 업샘플링을 통해 해상도 차이를 보정한 다음 상위 계층에서 예측 신호로 사용한다. 시간적 스케일러빌리티는 hierarchical B 구조를 사용하여 하나의 비트스트림으로 같은 해상도의 영상의 fps를 조절할 수 있는 기능이다. 마지막으로 화질적 스케일러빌리티는 같은 해상도를 가지는 영상을 서로 다른 화질의 영상으로 만드는 기능을 지원한다. 이러한 기능을 통해 영상을 제공받는 환경에 따라 화질을 다르게 하여 상황에 맞게 서비스를 제공받을 수 있게

한다.

SHVC는 멀티-계층으로 이루어져있기 때문에 실시간으로 부/복호화 수행하기에는 높은 복잡도를 가지고 있다. 특히 공간적 스케일러빌리티에서 기존 SHVC 복호화기의 업샘플링은 프레임-레벨로 업샘플링을 수행하고 있기 때문에 복잡도가 증가한다. 이런 상황임에도 불구하고 현재 SHVC 복호화기만을 위한 고속화 방법의 연구는 활발히 진행되지 않은 상태이다. 지금까지 제안된 SHVC 복호화기 고속화 알고리즘으로는 병렬 복호화를 위한 병렬 알고리즘이 있다.[3-4] 제안된 병렬 알고리즘은 프레임 기반 병렬화로 공간적/시간적 프레임들을 복호화 하였고 동시에 WPP(Wavefront Parallelism Processing)을 적용하였다. 그러나 병렬 알고리즘으로 SHVC의 복호화 시간은 많이 줄었지만 프레임-레벨 업샘플링을 그대로 사용하고 있어 업샘플링을 요구하지 않는 경우에도 불필요한 업샘플링 연산을 수행하고 있다. 본 논문에서는 SHVC 복호화기의 복잡도를 분석하고 현재 PU(Prediction Unit)가 계층간 텍스처 예측 PU인 경우에 현재 PU 크기만큼 하위 계층의 영상을 업샘플링하는 On-the-fly 업샘플링을 제안한다. 추가적인 고속화를 위해 On-the-fly 업샘플링에 SIMD(Single Instruction Multiple Data) 연산을 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 SHVC 복호화기의 복잡도를 분석하고 On-the-fly 업샘플링 알고리즘을 설명하고 3장에서

는 실험 결과를 통하여 제안하는 알고리즘의 성능을 평가한다. 마지막으로 4장에서 결론 맺는다.

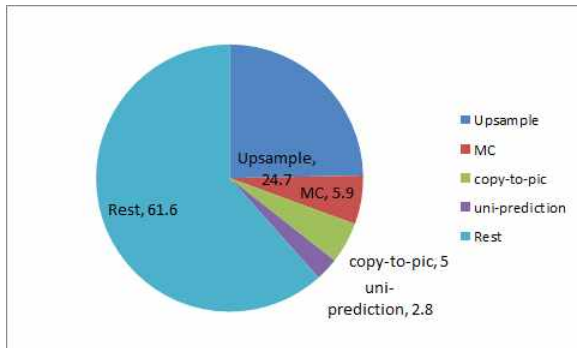


그림 1. SHVC 복호화기 복잡도

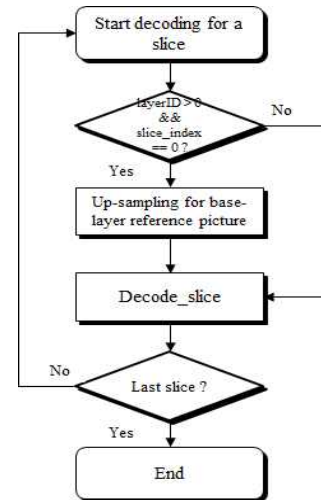


그림 2. 기존 SHVC 업샘플링 흐름도

2. PU 기반 On-the-fly 업샘플링 방법

본 장에서는 제안하는 On-the-fly 업샘플링 알고리즘을 기술하기 전에 SHVC 복호화기의 복잡도를 분석한다. 복잡도 분석을 위해 CTC(Common Test Condition)로 임의-접근 환경을 사용하였고, 테스트 영상으로는 Class B 영상을 사용하였다. 또한 하위 계층과 상위 계층의 해상도 비율이 2배인 공간적 스케일러빌리티 환경으로 동일한 실험을 하였다. SHVC 복호화기의 모듈별 복잡도는 그림 1과 같다. 24.7%의 가장 많은 복잡도를 차지하는 모듈은 업샘플링이고 다음은 움직임 보상(MC : Motion Compensation), 데이터 복사(copy-to-pic) 순이다. 가장 큰 복잡도를 보이는 업샘플링은 계층간 텍스처 예측에서 활용된다. 계층간 텍스처 예측이란 시간적으로 동일한 위치에 있는 하위 계층의 복호화된 영상의 텍스처 정보를 업샘플링하여 상위 계층의 움직임 보상에 사용하는 방법이다. 다시 말해, 상위 계층을 부호화/복호화 할 때 참조 영상 리스트에는 상위 계층의 참조 영상뿐만 아니라 업샘플링된 하위 계층의 참조 영상도 포함된다. 업샘플링 과정은 기존 HEVC 복호화기 구조에 추가된 과정이기 때문에 SHVC의 복호화기의 시간 및 계산량에 상당히 큰 영향을 끼친다.

SHVC 복호화기 고속화를 위해 기존 SHVC 복호화기 업샘플링 과정이 아닌 새로운 업샘플링 알고리즘이 필요하다. 기존 SHVC 복호화기의 업샘플링 과정의 흐름도는 그림 2와 같다. 기존 업샘플링 방법을 살펴보면 슬라이스 단위로 복호화를 진행할 때 해당 슬라이스의 계층 번호가 0보다 크고(하위 계층이 아닐 때) 현재 픽처에서 첫 번째 슬라이스인 경우 하위 계층의 참조 영상을 업샘플링하여 참조 영상 리스트에 추가한다. 그러나 현재 복호화하는 PU가 계층간 텍스처 예측이 아닐 수 있다. 즉, 해당 PU는 업샘플링 과정을 요구하지 않음에도 불구하고 프레임-레벨 기반 업샘플링으로 인해 하위 계층 영상의 불필요한 부분이 업샘플링 된다. 계층간 텍스처 예측 PU가 많을수록 불필요한 업샘플링 연산이 수행되어 실제 복호화를 위한 복잡도 보다 높은 복잡도를 요구하게 된다.

표 1은 프레임 먼저 대비 계층간 텍스처 예측 PU의 면적을 나타낸다. 표 1에서 볼 수 있듯이 계층간 텍스처 예측 PU는 전체 프레임에서 평균 45.71%를 차지하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 나머지 54.29%의 PU들에 대해 불필요한 업샘플링 과정이 수행된다.

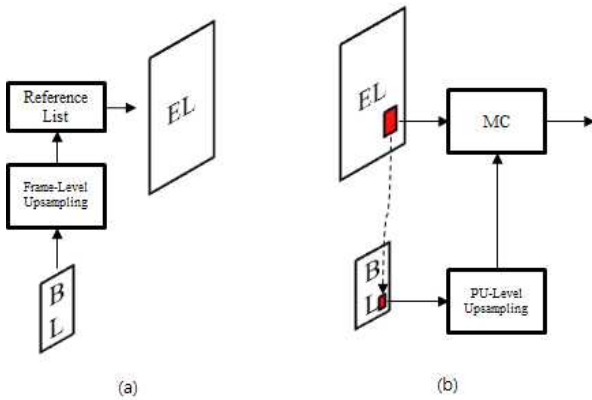
제안하는 On-the-fly 업샘플링 알고리즘은 PU-레벨 업샘플링을 기반으로 한다. 그림 3에서는 기존 SHVC 복호화기의 업샘플링 방법과 On-the-fly 업샘플링 방법을 나타낸다. 기존 SHVC 복호화기의 업샘플링은 프레임-레벨 업샘플링인 반면 On-the-fly 업샘플링은 PU-레벨 업샘플링이다. 그림 4는 On-the-fly 업샘플링의 흐름도이다. On-the-fly 알고리즘은 현재 PU가 계층간 텍스처 예측 PU일 경우에만 해당 PU 크기에 맞게 하위 계층의 참조 블록을 업샘플링 하고 움직임 보상을 수행하여 기존 SHVC의 불필요한 업샘플링 과정을 줄인다.

On-the-fly 업샘플링의 추가적인 고속화를 위해 업샘플링을 SIMD 연산을 적용한다. SIMD는 128비트 레지스터를 활용하여 여러 데이터에 동일한 연산을 동시에 병렬 수행한다. 화소당 16비트를 할당하기 때문에 한 레지스터에 8개의 데이터가 저장 및 처리 될 수 있다.

표 1. 프레임 대비 계층간 텍스처 예측 PU 비율(%)

Sequence	QP 22	QP 27	QP 32	QP 37
B.B.D.	73.43	58.28	48.92	42.08
BQT.	66.75	22.72	15.2	10.93
Cactus	42.67	36.53	38.84	38.27
Kimono	80	70.77	61.41	52.71
P.S.	50.53	40.33	34.71	29.3
Average	62.68	45.73	39.78	34.66

*B.B.D.=BasketballDrive, BQT.=BQTerrace, P.S.=ParkScene



(a)프레임 기반 업샘플링, (b)PU 기반 업샘플링

그림 3. 기존 SHVC의 업샘플링과 On-the-fly 업샘플링 비교

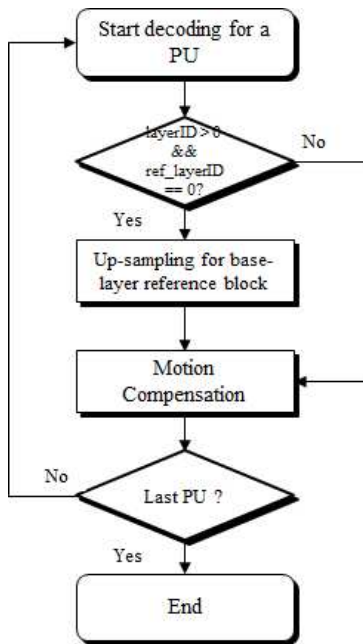


그림 4. On-the-fly 업샘플링 흐름도

PU의 가로 크기가 8의 배수인 경우에는 SIMD의 최대 성능을 기대할 수 있지만 8보다 작은 경우에는 다소 성능이 떨어질 수 있다. 예를 들어, 4x8 PU를 업샘플링 할 경우 한번에 4개의 화소를 처리할 수 있으므로 8개의 SIMD 연산이 요구되지만 같은 면적의 8x4 PU인 경우에는 8개의 화소를 한번에 처리하므로 4개의 SIMD 연산이 요구된다.

3. 실험 및 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 3.4GHz 클럭을 갖는 Intel i7-4770 프로세서에서 실험을 진행하였고, SHVC 참조 소프트웨어 SHM 8.0을 C 환경으로 수정한 복호화기를 사용하였다. 부호화 방식은 CTC의 임의-접근 환경이고 테스트 영상은 Class B에 포함된 영상이며 QP는 22, 27, 32, 37로 실험하였다. 두 계층간 해상도 비율이 2배인 공간적 스케일러빌리티 환경으로 동일하게 진행하였다.

표 2. 기존 복호화기 대비 On-the-fly 업샘플링 기반 복호화기의 고속화 성능

Sequence	QP 22	QP 27	QP 32	QP 37
B.B.D.	1.15	1.2	1.24	1.29
BQT.	1.13	1.25	1.33	1.36
Cactus	1.2	1.28	1.33	1.36
Kimono	1.22	1.18	1.21	1.27
P.S.	1.19	1.23	1.24	1.32
Average	1.14	1.2	1.26	1.31

*B.B.D.=BasketballDrive, BQT.=BQTerrace, P.S.=ParkScene

표 2는 기존 SHVC 복호화기 대비 On-the-fly 업샘플링과 SIMD가 적용된 SHVC 복호화기의 고속화 성능(기존 방법 수행시간 / On-the-fly 수행시간)을 나타낸다. 기존 복호화기에 비해 On-the-fly 업샘플링이 적용된 복호화기는 평균 1.23배의 고속화 성능을 보인다. QP가 높아질수록 고속화 성능이 높아지는데, 이는 표 1과 같이 계층간 텍스처 예측 PU의 비율이 작아지기 때문이란 것을 알 수 있다. 계층간 텍스처 예측 PU의 비율이 작을수록 기존 복호화기에서는 불필요한 업샘플링을 수행한다. 표 3은 QP에 따라 전체 복호화기에서 기존 업샘플링(Ref)과 SIMD가 적용된 On-the-fly 업샘플링(Pro)이 차지하는 복잡도를 각각 보여준다. 업샘플링의 복잡도가 평균 24.7%에서 1.9%로 감소하였다.

표 3. 전체 복호화기에서의 업샘플링 복잡도(%)

Sequence	QP 22		QP 27		QP 32		QP 37	
	Ref	Pro	Ref	Pro	Ref	Pro	Ref	Pro
B.B.D.	17.3	2.7	21.9	2.4	24.7	2.4	27.5	2.5
BQT.	14.8	2.1	23.7	0.7	28.5	0.8	30.9	0.6
Cactus	19.1	2.4	25.3	1.8	29.2	2.7	31	1.6
Kimono	19.6	3.8	24.3	2.4	26.5	1.7	28.5	1.2
P.S.	19.3	1.1	24.6	2.1	27.3	1.7	29.7	0.9
Average	18	2.4	24	1.9	27.2	1.9	29.5	1.4

*B.B.D.=BasketballDrive, BQT.=BQTerrace, P.S.=ParkScene

표 4는 QP에 따른 기존 SHVC 복호화기 업샘플링 대비 SIMD 적용 전 On-the-fly 업샘플링(On)과 SIMD 적용 후 On-the-fly 업샘플링(Pro)의 수행 시간 감소율을 각각 비교하였다. SIMD 적용 전 On-the-fly 업샘플링은 기존 업샘플링보다 평균 87.4% 감소율을 보이고, SIMD 적용 후 On-the-fly 업샘플링은 평균 93.2% 감소율을 보여준다.

표 4. 기존 SHVC 업샘플링 대비 수행시간 감소율(%)

Sequenc e	QP 22		QP 27		QP 32		QP 37	
	On	Pro	On	Pro	On	Pro	On	Pro
B.B.D.	77.4	86.4	83.9	90.8	84.3	92.3	88.6	92.9
BQT.	77.7	87.3	95.5	97.8	97.2	97.9	97.5	98.7
Cactus	80	89.2	91.4	94.5	88.7	93	92.2	96.2
Kimono	76.1	84	81.2	91.8	82.9	94.6	88.5	96.6
P.S.	88.3	95.1	92.1	92.8	89.9	95.2	94	97.9
Average	79.9	88.4	88.8	93.5	88.6	94.6	92.2	96.5

*B.B.D.=BasketballDrive, BQT.=BQTerrace, P.S.=ParkScene

[4] Wassim Hamidouche, Mickael Raulet and Olivier Deforges, "Parallel SHVC Decoder: Implementation and Analysis" *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 2014

4. 결론

본 논문에서는 SHVC 복호화기에서 높은 복잡도를 차지하는 프레임-레벨 업샘플링 과정을 On-the-fly 업샘플링 알고리즘을 이용한 PU-레벨 업샘플링 방법을 제안하여 고속화 하였다. On-the-fly 업샘플링 방법은 복호화 하는 PU가 계층간 텍스처 예측인 경우에만 업샘플링을 수행하여 기존 SHVC 복호화기 업샘플링에 존재하는 불필요한 연산을 효과적으로 제거한다. 또한, SIMD 연산을 적용하여 업샘플링 과정을 추가적으로 고속화 하였다. On-the-fly 업샘플링 방법은 계층간 텍스처 예측 PU가 적을수록 높은 고속화 성능을 보인다. On-the-fly 업샘플링이 적용된 복호화기의 수행시간은 기존 복호화기 대비 평균 1.23배의 고속화 성능을 보이며 전체 복호화기 복잡도에서 차지하는 비율이 평균 24.7%에서 1.9%로 감소하였다. On-the-fly 업샘플링 과정은 기존 프레임-레벨 업샘플링 과정 대비 평균 90.3% 수행시간 감소율을 보인다.

감 사 의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.B0101-15-295,초고품질 콘텐츠 지원 UHD 실감방송/디지털시네마/사이니지 융합서비스 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] G. J. Sullivan, J. R. Ohm, W. J. Han, and T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding(HEVC) standard," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, pp. 1648-1667, Decemboer 2012
- [2] 강정원, 이진호, 이하현, "HEVC Scalable Extension(SHVC) 표준 기술 소개" 전자공학회지(The Magazine of the IEEK) 제 41권 10호 통권 제 365호, pp. 911-918, 2014년 10월
- [3] Wassim Hamidouche, Mickael Raulet and Olivier Deforges, "Real Time SHVC Decoder: Implementation and Complexity Analysis" *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 2125-2129, Oct. 2014