

양방향 패치 패킹을 활용한 LOD 제어 테이블 기반의 효율적인 포인트 클라우드 밀도 확장성 방안

김준식, 임지현, 김규현

경희대학교

junsik@khu.ac.kr, dlawlgjs1780@khu.ac.kr, kyuheonkim@khu.ac.kr

Efficient Point Cloud Density Scalability by using Bidirectional Patch Packing Method based on LOD Control Table

Junsik Kim, Jiheon Im, Kyuheon Kim

KyungHee University

요 약

포인트 클라우드는 수십만 또는 수백만개의 포인트로 객체 또는 장면을 나타내며, 그 데이터의 양은 엄청 나기 때문에, 다양한 대역폭 또는 장치에서 효과적인 서비스를 위해 확장성 기능을 갖춘 압축 체계 개발이 필요하다. 이에 따라, 단방향 패치 패킹을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성(LoD control table based Density scalability by using Unidirectional Patch packing, LDUP) 방법을 이용한 확장성에 대한 연구가 이루어졌다. 그러나, LDUP 방법은 2D 그리드의 크기를 조작하는데 한계가 있어, 패치 사이의 거리가 드물게 패킹되고, 이는 압축 효율을 떨어뜨린다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 양방향 패치 패킹을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성(LoD control table based Density scalability by using Bidirectional Patch packing, LDBP) 방식을 제안한다. 제안된 LDBP 방법은 패치가 패킹된 영상에서 빈 공간을 효과적으로 감소시켰으며, 압축 효율 측면에서 LDUP 방법에 비해 더 높은 BD-Rate 이점을 얻었다. 제안된 LDBP 방법은 3D 포인트 클라우드 압축 시 포인트 클라우드 밀도 확장성을 기존의 LDUP 보다 효과적으로 달성하였다.

1. 서론

포인트 클라우드는 3 차원 공간에 위치한 포인트를 사용하여 객체 또는 장면을 표현하는 데이터 형식이다. 포인트 클라우드의 각 점은 3D 공간에서의 위치 정보와 색상 및 반사율과 같은 다양한 속성 정보를 가지고 있다. 3 차원으로 다양한 속성 정보를 표현할 수 있는 포인트 클라우드의 특성으로 인해 포인트 클라우드는 로봇 공학, 건축 및 의료와 같은 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히, Virtual Reality(VR) 과 Augmented Reality(AR) 분야에서는 2D 비디오의 한계를 극복하고 사용자에게 몰입형 경험을 제공하기 위해서 포인트 클라우드를

활용하기 시작했다. 하지만, 포인트 클라우드는 수십만 또는 수백만 개의 포인트로 객체 또는 장면을 나타내므로 데이터 양이 엄청나며, 이는 포인트 클라우드 활용도를 높이는 데 장애물이 된다. 따라서 포인트 클라우드의 효율적인 압축은 전송 및 저장을 위한 필수 연구 분야로 자리매김 하고 있다.

Moving Picture Expert Group(MPEG)이라고 하는 국제 표준화 기구 ISO / IEC JTC1 SC29 WG11 은 현재 Geometry-based Point Cloud Compression(G-PCC) [1] 및 Video-based Point Cloud Compression(V-PCC) [2] 기술을 표준화하고 있다. G-PCC 는 Octree 를 사용하여 3D 포인트의 위치 정보를 압축하고, Region-based Adaptive Hierarchical

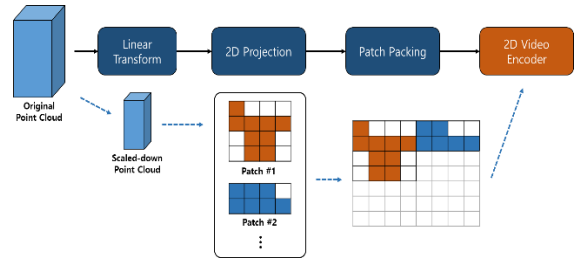
Transform(RAHT) 또는 Lifting Transform 과 같은 변환 알고리즘을 사용하여 속성 정보를 압축한다. 포인트 클라우드의 3 차원 특성을 활용하는 G-PCC 와는 달리, V-PCC 는 3D 포인트를 2D 그리드로 투영하고 H.264 / Advanced Video Coding(AVC) 및 High Efficiency Video Coding(HEVC)와 같은 기존의 2D 비디오 코덱을 사용하여 압축한다. 따라서, V-PCC 는 2D 비디오 코덱에서 사용되는 Quantization Parameter(QP)를 이용하여 부호화된 포인트 클라우드의 비트 전송률을 다양하게 변경할 수 있다. 그러나 QP 는 3D 포인트 클라우드가 2D 로 사영된 비디오의 품질만을 변경하므로, QP 에 따라 포인트 클라우드의 밀도는 변경되지 않는다. 이에, V-PCC 구조 내에서 밀도 확장성을 달성하기 위해서, 3 차원 공간에서 포인트 클라우드의 크기를 감소시키고, V-PCC 를 사용하여 감소된 포인트 클라우드를 압축하는 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안이 제안되었다. 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안은 V-PCC 의 아키텍처를 변경하지 않고도 밀도 확장성을 구현할 수 있다는 이점이 있다. 그러나 포인트 클라우드의 크기가 감소함에 따라 패치의 개수가 기하급수적으로 증가하여 2D 패치 패킹 영상에서 고주파 성분이 증가하였으며, 이로 인해 2D 비디오 코덱에서의 압축 효율이 감소하는 현상이 발생했다.

이러한 약점을 극복하기 위해 임지현 외 다수 [3]는 패치에 LoD (Level of Detail) 제어 테이블을 적용하여 밀도 확장성을 달성하는 방안을 제안하였다. 이는 이전 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안에 비해 더 높은 압축 효율을 나타냈다. 그러나, LoD 제어 테이블을 활용한 밀도 확장성 방안은 패치 패킹 시 2D 그리드의 높이만을 변경하기 때문에, 패치 패킹 영상에서 단방향으로만 효과가 나타난다. 이러한 효과는 패치가 드물게 배치되도록 만들어, 압축 효율에 한계가 존재한다. 따라서 본 논문에서는 V-PCC 에서 보다 효율적인 밀도 확장성을 지원하기 위해, LoD 제어 테이블에서 생성된 패치의 양방향 패킹 방법을 제안하며, 이는 LoD 제어 테이블의 효과를 극대화하는데 도움이 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안과 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성 방안을 검토하고 비교한다. 3 장에서는 보다 효율적인 압축을 위해 LoD 제어 테이블에서 생성된 패치의 양방향 패킹 방법을 제안하고, 4 장에서는 제안된 기술의 결과를 설명한다. 5 장에서는 제안 기술에 대한 결론 및 후속 연구에 대해 논의한다.

2. 관련 연구

2.1. 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성



<그림 1> 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안의 구조

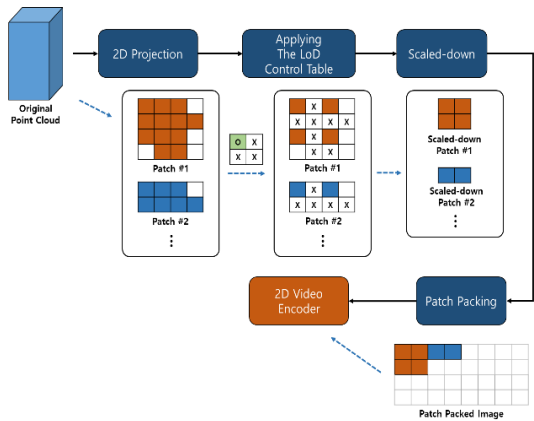
<그림 1>에서 볼 수 있듯이, 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안은 3 차원 포인트 클라우드에서 점 사이의 거리를 선형으로 줄이는 프로세스를 사용했다. 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안은 포인트 클라우드의 투영 전에 적용되므로 V-PCC 의 구조를 크게 변경하지 않는다는 이점이 있지만, 수많은 작은 패치 조각을 생성하여 고주파 성분을 생성하여 압축 효율을 떨어뜨린다. <그림 2>는 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안을 통해 생성된 Texture 영상의 예시를 나타낸다.



<그림 2> 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안의 Texture 영상. 노란색 박스는 수많은 작은 패치 조각을 나타낸다

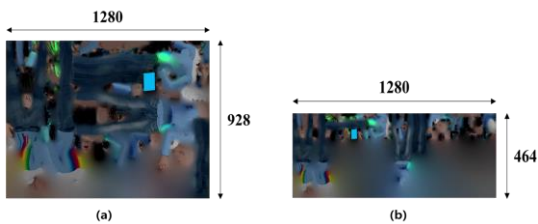
2.2. 단방향 패치 패킹을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성

2.1 절에 설명된 문제를 극복하기 위해, 임지현 외 다수 [3]는 단방향 패치 패킹을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성(LoD control table based Density scalability by using Unidirectional Patch packing, LDUP) 방법을 제안했다. <그림 3>에 도시된 바와 같이, LDUP 방법은 패치 투영 후 투영된 패치들에 LoD 제어 테이블을 적용한다. LoD 제어 테이블은 패치 내에서 생존 포인트들을 선택하고 나머지 포인트를 삭제하여 포인트 클라우드 내 점의 수를 줄인다. 이후 각 패치는 <그림 3>의 예시와 같이, Scaled-down 모듈에서 크기가 축소된다. 이러한 축소된 패치들은 V-PCC 의 패치 패킹 과정에 의해 2D 영상으로 변환되고, 패치 패킹 영상은 기존의 2D 비디오 코덱에 의해 압축된다 [2].



<그림 3> 단방향 패치 패키징을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성 방안의 구조

LDUP 방식은 포인트 클라우드가 패치로 투영된 후에 밀도를 변경하기 때문에, 3D 기반 크기 축소를 활용한 밀도 확장성 방안의 고주파 성분으로 인한 압축 효율 저하를 효율적으로 극복하는 것이 확인되었다. 그러나, <그림 4>에 도시된 바와 같이, LDUP 방법은 생성된 패치 패키징 영상이 단방향 효과만을 갖는다는 한계가 존재한다. 이는 LDUP 방식이 2D 그리드의 크기를 조작하지 않기 때문이며, 이에 따라 패치가 드물게 배치되는 문제가 발생한다. 패치가 드물게 배치된 패치 영상은 영상 내의 빈 공간이 커서 필요한 것보다 많은 정보를 사용하므로 압축 효율성이 제한된다.



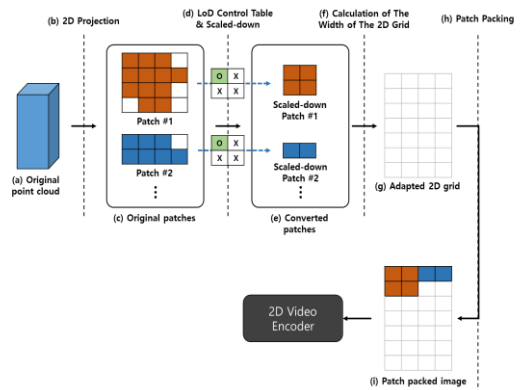
<그림 4> 단방향 영향을 받은 Texture 영상의 예시, (a)는 V-PCC에 의해 생성된 결과이며, (b)는 LDUP 방식에 의해 생성된 결과이다

3. 양방향 패치 패키징을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성

본 논문에서는 2.2 절에 제시된 LDUP 방법의 한계를 극복하기 위해 양방향 패치 패키징을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성(LoD control table based Density scalability by using Bidirectional Patch packing, LDBP) 방법을 제안한다.

LDUP 방법에서 제안된 LoD 제어 테이블은 양방향으로 패치의 크기를 줄이지만 현재 V-PCC의 패치 패키징 방법으로

인해 단방향 효과만 나타난다. 패치 패키징은 2D 그리드에 패치를 배치하는 기술로, 2D 그리드의 너비와 높이는 입력 포인트 클라우드의 크기에 따라 결정된다. 패치는 레스터 스캔 순서에 따라 순차적으로 패키징되며, 2D 그리드에 사용 가능한 빈 공간이 없는 경우 그리드의 높이 값은 처음에 두 배가 되고 나머지 패치는 같은 방식으로 패키징된다 [2]. 따라서, 2D 그리드의 너비는 초기에 정의된 그대로 유지되지만, 패치 패키징 후에 2D 그리드의 높이는 변경 될 수 있다. 이 패치 패키징 방법은 그림 4의 (b)와 같이, LoD 제어 테이블이 적용된 패치 패키징 영상이 단방향성을 갖도록 하며, 패치들이 드물게 패키징 되도록 만들어 2D 비디오 코덱의 압축 효율을 저하시킨다. 압축 효율을 향상시키기 위해서는 LoD 제어 테이블을 사용할 때 2D 그리드의 적절한 너비를 계산해야한다.

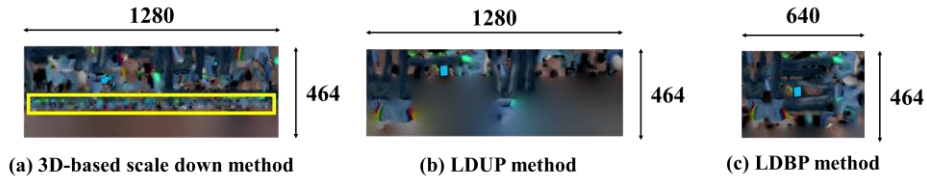


<그림 5> 양방향 패치 패키징을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성 방안의 부호화 과정

<그림 5>는 본 논문에서 제안하는 LDBP 방법의 인코딩 과정을 나타내고 있다. 입력 포인트 클라우드는 (c)와 같이 여러 패치로 투영되며, 생성된 패치들은 (d)의 LoD 제어 테이블을 적용하여 크기를 조정한다. 이후, 축소된 패치가 드물게 패키징되는 것을 방지하기 위해 2D 그리드의 너비는 (f)에서 수식 (1)과 같이 계산된다.

$$W_{adp} = \left\lceil W_{ori} * \frac{\sum_{i=1}^{N_p} S_i}{\sum_{i=1}^{N_p} P_i} \right\rceil \quad (1)$$

수식 (1)의 P_i 는 i 번째 패치의 최대 너비이며, S_i 는 축소된 i 번째 패치의 최대 너비이고, N_p 는 패치의 개수이다. 2D 그리드의 너비인 W_{ori} 는 수식 (1)을 통해 2D 그리드의 적응형 너비 W_{adp} 로 변환할 수 있다. 이때 2D 그리드의 적응형 너비는 정수 값을 가져야 하므로, 수식 (1)에서 얻은 값을 올림하여 계산된 값보다 크거나 같은 정수 값으로 변환한다.



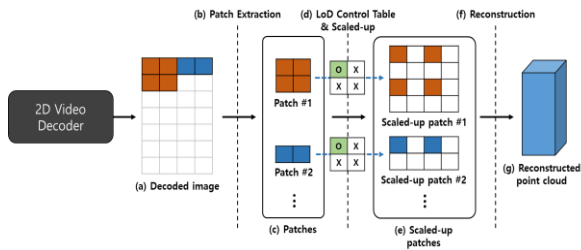
<그림 8> 3D 기반 크기 축소 방안과 LDUP 및 제안 기술(LDBP)의 Texture 영상 결과

본 논문에서 제안한 2D 그리드의 적응형 너비를 활용하면, 패치 패킹 영상의 크기를 양방향으로 줄일 수 있으며, LoD 제어 테이블을 활용해 크기가 축소된 패치들은 압축 효율을 극대화하도록 패킹될 수 있다. <그림 5>에 도시된 바와 같이, 패치 패킹 영상 시퀀스는 기존의 2D 비디오 부호기를 통해 압축되고, LoD 제어 테이블의 정보는 비트스트림에 기록되어 복호기로 전달된다.

활용 중인 테스트 시퀀스들을 기반으로 성능 검증을 실시한다.



<그림 7> 양방향 패치 패킹을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성 방안의 복호화 과정



<그림 6> 양방향 패치 패킹을 활용한 LoD 제어 테이블 기반 밀도 확장성 방안의 복호화 과정

<그림 6>은 LDBP 방법의 복호화 과정을 나타내고 있다. <그림 6>의 (a)에 나타나는 복호화된 영상 시퀀스는 기존의 2D 비디오 복호기를 통해 얻어진다. 복호화된 영상은 (b)와 같이, V-PCC의 과정과 동일하게 패치 추출 과정을 거친다. 추출된 패치들은 LoD 제어 테이블을 활용하여 (c)에서 (g)까지의 단계들을 거쳐 3D 포인트 클라우드로 재구성 된다. LoD 제어 테이블이 비트스트림에 기록되어 부호기로부터 전달되므로, 패치의 정보들은 올바른 위치로 복원된다.

위에서 설명된 바와 같이, 본 논문에서 제안한 LDBP 방법은 V-PCC 구조에 친화적이며, 패치가 드물게 패킹되는 현상을 억제하므로 압축 효율을 향상시킨다. 다음 장에서는 LDBP 방법의 효과를 검증하기 위한 성능 평가를 실시 한다.

4. 실험 결과

4.1. 실험 환경

본 논문의 제안 기술은 V-PCC의 reference software TMC2v5.0 [4] 및 HEVC의 HEVC의 reference software HM16.18-SCM8.7 [5]를 기반으로 개발되었으며, V-PCC에서

<그림 7>은 본 논문의 제안 기술의 검증에 사용되는 실험 시퀀스들을 나타내고 있으며, 상기 테스트 시퀀스들은 MPEG의 공통 테스트 조건(Common Test Condition, CTC)의 테스트 시퀀스이다 [6]. <표 1>은 다양한 비트 전송률로 복호화하기 위한 2D 비디오 코덱의 QP 값을 보여준다.

또한 비트 전송률에 따른 Peak Signal-to-Noise Ratio(PSNR) 성능을 보여주기 위해 실험 결과는 Bjontegaard-Delta-rate (BD-rate) [7]를 사용한다. 3D 포인트 클라우드는 색상 및 3D 위치 값으로 구성되어 있으므로, 제안 기술의 성능은 색상 및 위치 정보의 PSNR 측면에서 검증된다. 특히, 위치 정보의 PSNR은 점과 점 사이의 거리와 점과 평면 사이의 거리를 모두 사용하여 획득된다. 여기서 점과 점 사이의 거리는 기준 점과 가장 가까운 점 사이의 유클리드 거리를 계산하여 획득할 수 있으며, 점과 평면 사이의 거리는 기준점과 법선 방향을 따라 투영된 점 사이의 거리를 계산하여 결정된다 [6]. 본 논문에서 점과 점 사이의 거리는 D1으로, 점과 평면 사이의 거리는 D2로 표시한다. 색상 정보의 PSNR은 Luma, Cb 및 Cr로 표시한다. 추가적으로, <그림 5> 및 <그림 6>의 (d)에 도시된 2x2 LoD 제어 테이블이 LDBP 방법의 검증을 위해 사용된다.

<표 1> 각 Point density에 따른 Anchor 대비 포인트 개수

	R1	R2	R3	R4	R5
Geometry QP	32	28	24	20	16
Texture QP	42	37	32	27	22

4.2. 성능 평가

이 절에서는 제안 기술인 LDBP 방법과 3D 기반 크기 축소

방안 및 LDUP 방안의 비교 결과를 나타낸다. 제안된 LDBP 방법은 3D 기반 크기 축소 방안 대비 D1, D2, Luma, Cb 및 Cr 측면에서 각각 평균 -31.3 %, -32 %, -43.8 %, -26.7 % 및 -33.5 %의 성능 향상을 확인할 수 있었다.

<표 2> 3D 기반 크기 축소 방안과 제안 기술(LDBP)의 비교 결과

Test Sequence	D1 (%)	D2 (%)	Luma (%)	Cb (%)	Cr (%)
Longdress	-16.7	-28.1	-37.9	-16.9	-20.2
Red & black	-22.3	-23.6	-30.0	-10.8	-23.1
Loot	-29.2	-27.4	-30.1	-8.0	-10.8
Soldier	-21.4	-17.4	-35.3	-12.9	-13.1
Queen	-65.7	-63.3	-85.6	-84.7	-100
Average	-31.3	-32.0	-43.8	-26.7	-33.5

또한 <표 3>을 통해 제안된 LDBP 방안이 LDUP 기술에 비해 D1, D2, Luma, Cb, Cr 측면에서 평균 -2.1 %, -2.4 %, -2.4 %, -1.5 % 및 -2 %의 성능 향상을 얻을 수 있다.

<표 3> LDUP 방안과 제안 기술(LDBP)의 비교 결과

Test Sequence	D1 (%)	D2 (%)	Luma (%)	Cb (%)	Cr (%)
Longdress	-0.1	-2.1	-1.1	-1.1	-1.1
Red & black	-1.6	-2.5	-3.2	-2.1	-3.0
Loot	-3.1	-3.0	-2.9	-1.2	-0.1
Soldier	-1.6	-1.2	-0.8	-0.1	-2.1
Queen	-3.8	-3.2	-4.0	-2.7	-3.6
Average	-2.1	-2.4	-2.4	-1.5	-2.0

상기 실험 결과로부터, 제안된 LDBP 방법은 3D 기반 크기 축소 방법 및 LDUP 방법보다 압축 효율 측면에서 더 높은 이득을 갖는 것으로 관찰된다.

5. 결론

V-PCC 구조에서 밀도 확장성을 달성하기 위한 기존 연구에는 3D 기반 크기 축소 방법 및 LDUP 방법이 존재한다. LDUP 방법은 3D 기반 크기 축소 방법보다 더 높은 압축 효율을 생성하는 것으로 확인되었지만, 2D 그리드의 크기를 조작하지 않으므로 패치를 드물게 패키징하고 압축 효율이 저하된다는 한계가 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 양방향 패치 패키징을 활용한 LOD 제어 테이블 기반의 밀도 확장성 방안을 제안했으며, 4 장에서 확인할 수 있는 바와 같이, 높은 압축 효율을 획득할 수 있음을 확인했다. 또한 <그림 8>과 같이 패치 패키징 영상이 효과적으로 줄어들어 확인되었다. 하지만, 현재 V-PCC 기술은 지속적으로 발전하고 있으며, 이에 따라 V-PCC 구조 내에서 제안 기술의 성능이 유지 될 수 있도록 지속적인 후속 연구가 필요하다.

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2020-0-00452, Development of Adaptive Viewer-centric Point cloud AR/VR(AVPA) Streaming Platform)

참고 문헌 (References)

- [1] "V-PCC Codec Description," ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11 MPEG2019/N18892, Geneva, Oct. 2019.
- [2] "G-PCC Codec Description," ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11 MPEG2019/N18891, Geneva, Oct. 2019.
- [3] Jiheon Im, Junsik Kim, Sungryeul Rhyu, Kyuheon Kim, "A method of level of details control table for 3D point density scalability in video based point cloud compression," Proc. SPIE 11137, Applications of Digital Image Processing XLII, 111371A, Sep. 2019.
- [4] "V-PCC Test Model v5," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2019/N18176, Marrakech, Jan. 2019.
- [5] High Efficiency Video Coding test model, HM-16.18+SCM8.7. [Online]. Available: https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/
- [6] "Common Test Conditions for PCC," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2019/N18175, Marrakech, Jan. 2019.
- [7] G. Bjontegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves," Document VCEG-M33, Austin, Texas, USA, Apr. 2001.