

V-PCC 기반 고밀도 동적 메쉬 데이터 압축 방법

*변주형, **박한제, *심동규

*광운대학교, *LG 전자

*jhbyeon@kw.ac.kr, **hanje.park@lge.com, *dgsim@kw.ac.kr

Dynamic dense mesh data compression method based on V-PCC

*Joohyung Byeon, **Hanje Park, *Donggyu Sim

*Kwangwoon University, **LG Electronics

요 약

본 논문에서는 동적 포인트 클라우드 압축 표준인 V-PCC 을 기반으로 고밀도 동적 메쉬 데이터를 압축하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 정점마다 색상 값을 갖는 고밀도 동적 메쉬 데이터 압축 구조로 정점마다 갖는 위치 정보와 색상정보는 V-PCC 를 통해 압축을 수행하고 정점들의 연결정보는 TFAN 기술을 통해 압축을 수행한다. 이때 V-PCC 를 통해 복원된 정점의 순서와 TFAN 을 통해 복원된 연결정보의 정점 인덱스 정보는 복원 후 변경되어 둘 사이를 매핑 해주기 위한 방법이 필요하다. 본 논문에서는 부호화기에서 3D morton 코드 기반으로 원본 정점과 V-PCC 를 통해 복원된 정점을 효과적으로 매핑하는 방법을 제안한다. 제안하는 메쉬 압축 방법은 기존 MPEG-4 의 정적 메쉬 데이터 압축 표준인 SC3DMC 와의 비교를 통해 V-PCC 기반 동적 메쉬 데이터 압축의 효율성을 보인다.

1. 서론

최근 3 차원 취득 센서, 모델링 및 렌더링 기술의 발전으로 다양한 3D 데이터의 생성 및 활용이 증가되고 있다. 3 차원 데이터는 관심이 급증하고 있는 AR/VR 기술 및 메타버스 기술에서 객체의 실감 있는 표현하기 위해 필요한 핵심 요소로써 앞으로 다양한 분야에서 사용될 것으로 예상된다. 3 차원 데이터 중 메쉬 데이터는 체적 데이터의 표면을 다각형으로 근사화 한 데이터로 3 차원 공간상의 정점과 다각형을 표현하기 위한 연결정보로 구성된다. 메쉬 데이터는 정점마다 3 차원 공간상의 위치정보와 색상, 노멀 등의 속성 값을 갖을 수 있으며 메쉬 평면의 색상정보를 매개변수화 하여 2 차원 평면상의 이미지로 구성한 텍스처 맵을 갖는 메쉬 데이터의 경우 정점마다 텍스처 맵에서의 좌표 값에 해당하는 텍스처 좌표를 포함할 수 있다.

3 차원 데이터의 경우 2 차원의 이미지 또는 비디오 데이터 대비 많은 데이터양을 갖기 때문에 저장, 전송 및 렌더링을 위해서는 효과적인 압축 방법의 적용이 필수적이다. 이에 따라 국제 표준화 기구 ISO/IEC JTC1 SC29 WG11(현 WG7) MPEG(Moving Picture Experts Group)의 3DGC(3D Graphics Compression) 서브그룹에서는 3 차원 그래픽스 콘텐츠의 압축 및 처리 표준인 MPEG-4 파트 16 AFX(Animation Framework eXtension)을 개발했다 [1]. AFX 표준은 2004 년에 1 차버전을 발표하였으며 가장 최근에 완성된 표준은 4 차버전으로 SC3DMC(Scalable Complexity 3D Mesh Coding) [2]을 포함한다. SC3DMC 는 단순 양자화 기반의 QBCR(Quantization Based Compact Representation)과 SVA(Shared Vertex Analysis) [3], TFAN(Triangle-Fan) [4] 기술을 포함하고 있으며 세 기술 중 사용자의 선택에 의해 하나의 기술로 메쉬 데이터를 압축하는 표준이다. 이 중 TFAN 기술은 세 기술 중 가장 복잡도가 높지만 압축성능이 우수하다. 하지만 SC3DMC 는 정적인 메쉬 데이터를

압축하는 표준으로 시간에 따라 변화하는 동적 메쉬 데이터 압축에 효과적이지 않다. 동적 메쉬 데이터의 효율적인 압축을 위해 MPEG 3DGC 그룹은 2021 년 10 월 CfP(Call for Proposals)를 시작으로 2024 년 표준안료를 목표로 동적 메쉬 압축 표준화가 진행될 예정이다.

본 논문은 MPEG 의 포인트 클라우드 데이터 압축 표준인 V-PCC(Video-based Point Cloud Compression) [5]를 기반으로 정점마다 색상정보를 갖는 고밀도의 동적 메쉬 데이터를 압축하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 동적 메쉬 데이터의 3 차원 공간상의 정점 위치 정보와 색상정보를 V-PCC 의 정사영 및 패킹을 통해 2D 비디오로 구성하여 기존 2D 비디오 코덱을 통해 압축하고, 메쉬 데이터의 연결정보를 TFAN 기술을 통해 압축을 수행한다. 이때 손실 부호화 후 복원된 정점들은 위치정보가 양자화 에러에 의해 변경되므로 원본 정점의 인덱스를 통해 표현된 연결정보와 복원 정점을 매핑하기 위해 복원 정점과 원본 정점의 매핑 관계를 알아야 한다. 본 논문에서는 3D Morton 코드 기반의 방법을 통해 복원 정점과 원본 정점과의 매핑 관계를 효율적으로 계산하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 제안하는 동적 메쉬 데이터 압축 방법에 대해 설명하고, 3 절에서는 제안하는 메쉬 압축 방법의 성능을 기존 정적 메쉬 데이터 압축 표준인 SC3DMC 표준과의 성능을 비교하여 제안하는 방법의 효율성을 확인한다. 마지막으로 4 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다

2. V-PCC 기반 동적 메쉬 압축 방법

제안하는 동적 메쉬 압축 방법은 정점마다 색상값을 갖는 고밀도 메쉬 데이터에 대한 압축구조로 부호화기 구조도는 그림 1 과 같다. 입력 메쉬 데이터에서 정점마다 존재하는 위치정보와

색상정보는 V-PCC 부호화기를 통해 부호화되며 정점 간의 연결관계를 표현하는 연결정보는 TFAN 알고리즘을 통해 부호화가 수행된다. 이때 입력 메쉬 데이터의 위치정보와 색상정보는 float 형이기 때문에 V-PCC 부호화기에 들어가기 전에 각각 10-bit 과 8-bit 정밀도를 갖는 정수로 양자화를 수행해 주었다.

메쉬 데이터의 부/복호화 과정에서 연결정보는 원본 정점들의 인덱스로 구성되는 반면 V-PCC 를 통해 부호화된 정점들은 복원 과정에서 순서가 변경된다. 따라서 정점의 순서와 연결정보의 정점 인덱스를 매핑시키기 위해 연결정보의 인덱스를 복원 정점의 순서로 변경해주거나 또는 복원 정점의 순서를 원본 정점의 순서로 변경하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 전자의 방식을 통해 매핑을 수행해주었으며 해당 매핑 수행을 위해 원본 정점이 복원 후 어떤 점으로 변경되었는지 복원 정점 매핑 테이블을 계산 과정을 부호화기에 추가하였다. 복원 정점 매핑 테이블 계산과정은 원본 정점의 위치정보와 복원 정점의 위치정보 비교를 통해 두 위치의 거리가 가장 작은 점을 계산하여 구할 수 있다. 하지만 이와 같은 방법은 원본 정점의 개수를 N , 복원 정점의 개수를 M 이라고 했을 때 $O(N \times M)$ 의 복잡도를 갖기 때문에 정점의 개수가 많은 고밀도 메쉬 데이터의 경우 부호화 복잡도가 높아지게 된다.

본 논문에서는 효율적인 복원 정점 매핑 테이블 계산을 위해 3D Morton 코드 기반의 매핑 테이블 계산 방법을 적용하였다. 3 차원 좌표값 (x,y,z) 를 3D Morton 코드로 변환 시 하나의 스칼라 값으로 표현되며 이를 Morton 코드의 크기를 기준으로 정렬 시 이는 3차원 공간에서의 Z-스캔 순서를 나타낸다. 따라서 Morton 코드를 정렬했을 때 주변의 비슷한 Morton 코드를 갖는 정점은 3 차원 공간상의 위치도 유사하다. 이런 특성을 활용하여 원본 정점과 복원 정점을 Morton 코드로 변환 후 정렬한 뒤, 원본 정점의 Morton 코드보다 복원 정점의 코드가 커지는 위치를 기준으로 k 개의 주변 정점에 대해 L1 거리를 측정하여

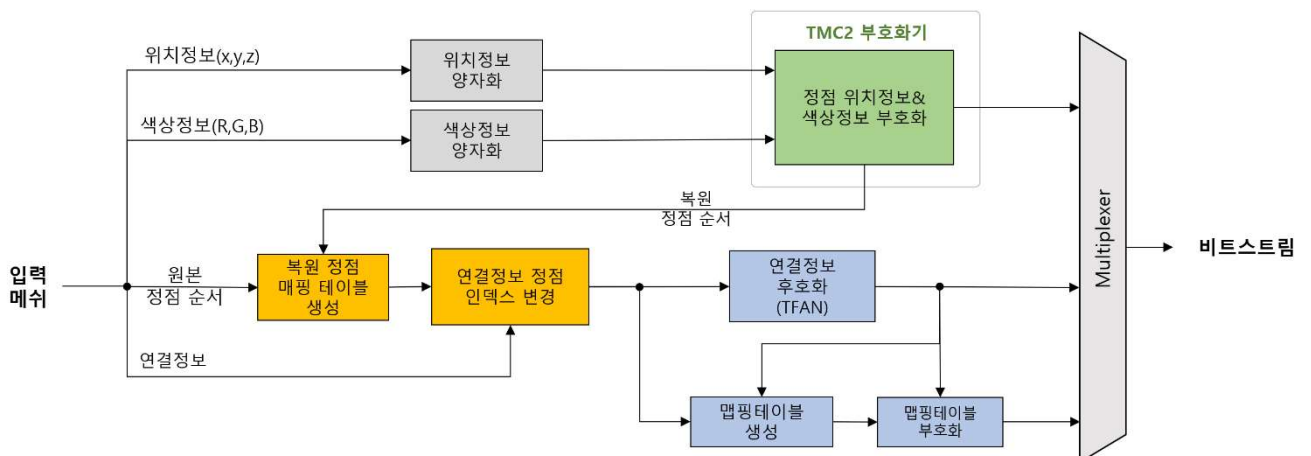


그림 1. 제안하는 V-PCC 기반 메쉬 데이터 압축 부호화기 구조도

거리가 가장 작은 정점을 현재 원본 정점과 매핑되는 복원정점으로 결정하였다. 제안하는 Morton 코드 기반의 매핑 방법 적용 시 $O(N \times k)$ 의 시간 복잡도로 매핑 관계를 계산할 수 있으며 고밀도 메시 데이터의 경우 k 가 M 보다 매우 작기 때문에 모든 정점을 비교하는 알고리즘 대비 크게 계산 복잡도를 감소시킬 수 있다.

계산된 복원 매핑 테이블을 통해 원본 정점 인덱스로 구성된 연결정보를 복원 정점 인덱스로 변경해 준 뒤 TFAN 알고리즘을 통해 연결정보를 부호화 한다. 이때 TFAN 알고리즘의 경우 부호화 과정에서 연결정보의 정점 인덱스가 변경된다. 제안하는 방법의 경우 정점정보와 연결정보의 부호화 순서가 상이하기 때문에 복원 연결정보의 인덱스를 원본 정점 인덱스로 변경해 주기 위한 매핑 테이블 전송이 필요하다.

제안하는 방법의 구현은 V-PCC 의 참조 소프트웨어인 tmc2v15.0 [6]을 기반으로 구현하였으며 연결정보와 매핑 테이블 비트스트림은 V-PCC 의 reserved V3C 유닛 타입 중 하나를 연결정보 타입으로 정의하여 전송하였다.

3. 실험 결과

제안하는 고밀도 동적 메시 데이터 압축 구조에 대한 효율성을 보이기 위해 기존 MPEG-4 정적 메시 압축 표준인 SC3DMC 와의 비교를 수행하였다. 실험에 사용한 데이터 셋은 MPEG 의 동적 메시 데이터셋[7] 중 정점당 색상값을 갖는 카테고리 2 데이터인 longdress_vox10, soldier_vox10, loot_vox10, redandblack_vox10 에 대해 각각 65 장 실험을 수행하였다. 제안하는 방법은 V-PCC CTC(Common Test Condition)[8]와 동일한 조건에서 실험을 수행하였으며 GoF(Group of Frames) 크기는 32, 복원 정점 매핑 계산 시 $k=1000$ 으로 설정했다. SC3DMC 의 경우 TFAN 알고리즘을 통해 위치정보와 색상정보에 대해 양자화 비트 수를 7 부터 10 까지 변경하면서 실험을 수행하였다. 복원 메시 데이터의 PSNR 의 경우 메시 데이터의 표면을 샘플링하여 기존 포인트 클라우드 metric 인 pc_error[9]와 PCQM[10] 방법을 통해 측정하였다[11].

그림 2는 제안하는 방법과 SC3DMC 의 PCQM PSNR 과 압축 비트스트림의 입력 정점당 비트수 (BPiF)에 대한 그래피이며 그림 3은 pcc_error를 통해 구한 위치정보에 대한 PSNR 인 D1, D2 PSNR 과 YCbCr PSNR 을 BPiF 를 비교한 결과이다. 이때 YCbCr PSNR 의 계산은 다음 식을 통해 수행하였다.

$$YCbCr PSNR = \frac{(Y PSNR + Cb PSNR + Cr PSNR)}{8} \quad (1)$$

실험 결과를 보면 제안하는 방법은 SC3DMC 대비 동일 PSNR 에서 2 배이상의 비트율이 감소됨을 확인할 수 있다. 이는 V-PCC 기반의 정점 부호화를 통해 2D 비디오 코덱에서 정점정보의 시간적 중복성이 제거되어 공간적인 중복성만이 제거되는 SC3DMC 에 비해 더 높은 압축률을 보이는 것으로 분석된다.

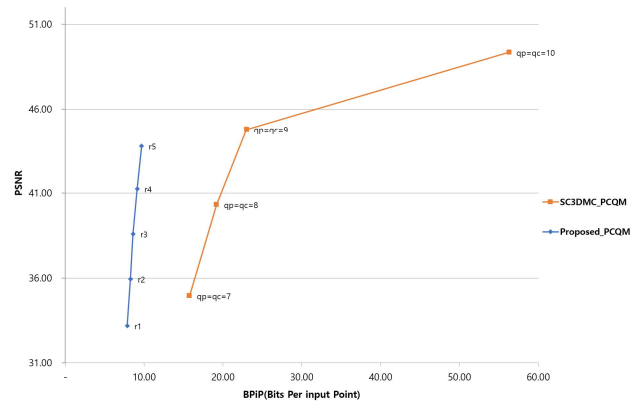


그림 2. 제안하는 방법과 SC3DMC 의 PCQM 성능비교

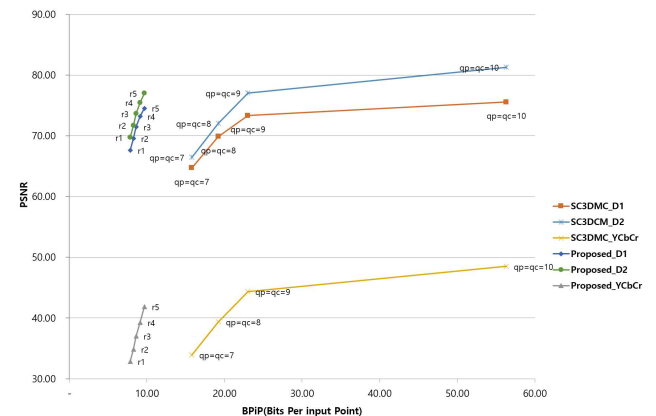


그림 3. 제안하는 방법과 SC3DMC 의 pc_error 성능 비교

제안하는 방법의 실험결과를 보면 rate 별로 BPiF 의 차이가 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 연결정보와 맵핑 테이블의 경우 양자화가 수행되지 않아 rate 별로 동일한 수준의 비트가 발생되며 시간적인 중복성 제거 알고리즘이 적용되지 않아 전체 비트율에서 연결정보와 맵핑 테이블이 차지하는 비율이 높아 나타나는 현상으로 분석된다.

4. 결론

본 논문은 MPEG 의 포인트 클라우드 압축 표준인 V-PCC 표준을 기반으로 정점마다 색상정보를 갖는 고밀도 동적 메시 데이터 압축 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 V-PCC 를 통해

정점정보를 부호화 한 후 연결정보를 TFAN 알고리즘을 통해 부호화 하며, 이때 부호화기에서 복원 정점정보와 연결정보의 정점 인덱스를 매핑하기 위해 복원 정점정보가 어느 원본 정점인지 매핑이 필요해지기 위해 3D morton 코드 기반의 탐색 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 기존 MPEG 의 정적 메쉬 압축 표준 SC3DMC 대비 동일 화질에서 더 적은 비트율이 발생함을 확인함으로써 V-PCC 기반의 고밀도 동적 메쉬 압축의 효율성을 보였다. 하지만 현재 구조는 연결정보와 매핑 테이블의 공간적인 중복성 만을 제거하는 구조로 추후 시간적인 중복성 제거에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

“본 연구는 LG 전자의 실시간 XR 및 자율 주행 서비스를 위한 Point Cloud Mesh 코딩 기술 개발 사업 연구 결과로 수행되었음”

참조문헌

- [1] Bourges-Sevenier, Mikael, and Euee S. Jang. "An introduction to the MPEG-4 animation framework extension." *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 14.7 (2004): 928-936.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, ISO/IEC 14496-16 AMD 4 Scalable Complexity 3D Mesh Coding, MPEG Doc. N10018, Moving Picture Experts Group (MPEG), Hannover, Germany, July 2008.
- [3] Euee Seon Jang, Seungwook Lee, Bonki Koo, Daiyong Kim, Kyoungsoo Son, "Fast 3D Mesh Compression Using Shared Vertex Analysis", *ETRI Journal*, vol. 32, No.1, February 2010.
- [4] Khaled Mamou, Titus Zaharia, Francoise Preteux, "TFAN: A low complexity 3D mesh compression algorithm", *Computer Animation and Virtual Worlds*, vol. 20, Issue 2-3, pages 343-354, June 2009.
- [5] D. Graziosi, O. Nakagami, S. Kuma, A. Zaghetto, T. Suzuki, and A. Tabatabai, "An overview of ongoing point cloud compression standardization activities: video-based (V-PCC) and geometry-based (G-PCC)," *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, vol. 9, 2020.
- [6] V-PCC Test Model v15.0, ISO/IEC JTC1/SC29 WG7 Doc. N00147, Online, July 2021.
- [7] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 7, MPEG 3D Graphics Coding, Draft CfP for Dynamic Mesh Coding, 135th meeting, N00168,

Online, July. 2021.

- [8] Common Test Conditions for V-PCC, ISO/IEC JTC1/SC29 WG7 Doc. N00038, Online, October 2020.
- [9] J.-E. Marvie, Mesh metric software v0.1.11 updates and review, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 7 Doc. m57390, Online, July 2021".
- [10] G. Meynet, Y. Nehmé, J. Digne and G. Lavoué, "PCQM - A Full-Reference Quality Metric for Colored 3D Point Clouds," in *Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, 2020.
- [11] J.-E. Marvie, "[V-Mesh][EE4.1] On mesh metrics - summary report ISO/JCT SC29 WG7 Online," 2021.