

# JPEG Pleno 표준 기술 동향

□ 오관정, 임용준, 추현곤 / 한국전자통신연구원

## 요약

정지 영상 압축 표준을 만드는 국제 표준화 기구인 ISO/IEC JTC1/SC 29/WG 1 (JPEG)에서는 라이트 필드, 포인트 클라우드, 홀로그래피와 같이 플렌옵틱(plenoptic) 기술에 기반을 둔 3차원 이미지에 관한 처리 및 압축을 위해 JPEG Pleno라는 이름으로 표준화를 진행하고 있다. 본 원고에서는 JPEG Pleno의 현재 표준화 동향 및 향후 표준화 전망에 대해 소개한다.

## I. 서론

플렌옵틱(Plenoptic)이란 단어는 ‘완전한’이라는 의미의 ‘Plenus’와 광학을 의미하는 ‘Optic’이라는 단어의 합성어로, 일반적으로 빛의 세기 정보만을 기록하는 2차원 영상 기술과 달리 빛 정보를 보다 고차원적으로 획득, 처리, 재현하는 3차원 입체 영상 기술을 일컫는다. 라이트 필드(Light Field)는 대표적인 플렌옵틱 기술로 빛의 세기뿐만 아니라 방향 정보까지 기록하여 보다 자연스러운 3차원 영상 서비스를 가능하게 한다. JPEG Pleno 표준에서는

라이트 필드뿐만 아니라 포인트 클라우드(Point Cloud)와 홀로그래피(Holography) 기술도 플렌옵틱 기술로 이해하고 있다. 포인트 클라우드의 경우 3차원 공간상에서 빛의 세기와 위치 정보를 표현할 수 있고, 홀로그래피 기술은 빛을 파동으로 해석하여 빛의 세기뿐만 아니라 위상 정보까지 기록 및 재현할 수 있는 기술이기 때문이다[1]. 플렌옵틱 기술은 광의적인 해석에 따라 그 범주가 더 확장될 여지가 있으나, 본 원고에서는 JPEG Pleno 표준에서 다루고 있는 핵심 기술 분야인 라이트 필드, 포인트 클라우드, 홀로그래피 기술에 한정하여 다루고자 한다.

## II. JPEG Pleno 표준 현황

JPEG(Joint Photographic Experts Group)은 국제 표준화 기구(ISO)와 국제 전기 기술 위원회(IEC)의 합동 기술 위원회인 JTC1 산하의 오디오, 그림, 멀티미디어 및 하이퍼미디어 정보 코딩에 관한 국제 표준화를 위한 소위원회 SC29의 하위 그룹으로 정지 영상 압축에 관한 표준을 담당하고 있다. 1992년 JPEG 표준 시작으로 JPEG 2000, JPEG XR 등 다양한 2차원 이미지 압축 표준을 제정했다. 2014년부터는 플렌옵틱 이미지 기술에서 착안하여 JPEG Pleno라는 이름으로 플렌옵틱 이미징 압축 기술에 대한 표준화를 시작했고, 현재 라이트 필드, 포인트 클라우드, 홀로그래피 기술에 기반한 플렌옵틱 이미징 압축 및 화질 평가에 관한 표준화를 진행 중이다[2]. JPEG Pleno 표준(ISO/IEC 21794)의 주요 파트와 일정은 <표 1>과 같다.

파트 1은 프레임워크에 대한 표준으로 JPEG Pleno 표준을 위한 파일 포맷(JPL, Jpeg Pleno)을 정의한다. JPL은 박스 기반 미디어 파일 포맷으로 다양한 플렌옵틱 이미징을 지원하고, 향후 확장성 측면에서도 유연성을 가지고 있다. JPL 파일의 하위 박스에는 각각 라이트 필드, 포인트 클라우드, 홀로그램에 대한 정보를 모두 함께 담을 수도 있고, 특정 플렌옵틱 이미징 기술에 대한 정보만 담는 것도 가능하다. 예를 들어, JPEG Pleno Light Field box에는 라이트 필드 관련 압축 파일 및 관련 메타데이터 정보가 담기게 된다. 파트 3은 JPEG Pleno 표준의 기능, 품질,

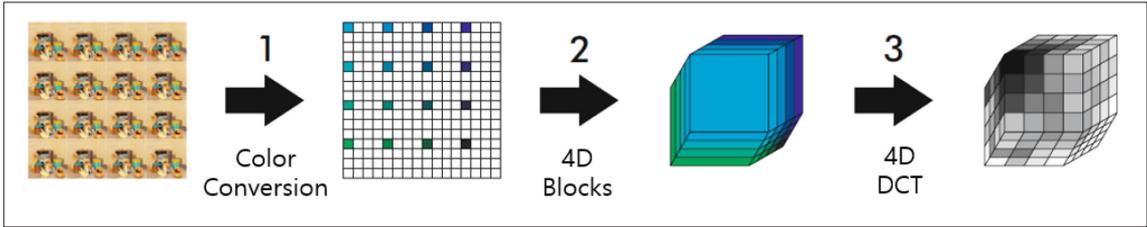
속도 등과 같은 적합성 테스트를 위한 표준이고, 파트 4는 JPEG Pleno 인코더 및 디코더 구현을 테스트하고 유지 관리하기 위한 참조 소프트웨어(JPLM, Jpeg Pleno Model) 표준으로, JPLM은 BSD-3 라이선스를 사용한다. 파트 2, 5, 6은 각각 라이트 필드, 홀로그래피, 포인트 클라우드 압축 기술에 관한 표준으로, 해당 표준들에 대해서는 조금 더 상세하게 살펴본다.

### 1. JPEG Pleno Part 2: Light Field Coding

JPEG Pleno Light Field Coding 표준은 하나의 카메라에 마이크로렌즈 어레이(array)를 붙여 획득한 렌즈릿(lenslet) 이미지와 여러 대의 카메라를 통해 획득된 다시점 이미지에 대한 압축을 지원한다. JPEG Pleno Light Field Coding 표준은 앞서 소개한 두 가지 타입의 라이트 필드 이미지의 특성에 맞춰 현재 4DTM(4D Transform Mode)과 4DPM(4D Prediction Mode)의 두 가지 독립적인 압축 모드를 지원하고 있다[2]. 먼저 4DTM 모드는 렌즈릿 이미지와 같이 시역이 좁은 대신에 인접 시점 간의 상관도가 매우 높은 라이트 필드 데이터 압축에 적합하다. 4D 라이트 필드 데이터를 4D 블록으로 재구성하고, 여기에 기존의 2D DCT를 확장한 4D DCT를 적용한다. 이를 통해 이미지 내의 공간적 상관도뿐만 아니라 인접한 영상 간의 상관도를 효과적으로 이용할 수 있다. 압축 성능 최적화를 위해 4D 블록의 재구성시에 분할이 허

<표 1> JPEG Pleno 표준 일정

Part	Title	WD	CD	DIS	FDIS	IS
1	JPEG Pleno: Framework	18/01	19/03	19/07	20/01	20/10
2	JPEG Pleno: Light Field Coding	18/04	19/01	19/07	20/04	21/04
3	JPEG Pleno: Conformance Testing	19/11	20/07	20/10	-	21/04
4	JPEG Pleno: Reference Software	19/11	20/07	20/10	21/07	22/04
5	JPEG Pleno: Holography	22/01	22/10	23/04	24/01	24/07
6	JPEG Pleno: Learning-based Point Cloud Coding	22/10	24/01	24/07	-	25/01
Part-AMD	Title	WD	CDAM	DAM	FDAM	AMD
2-AMD1	JPEG Pleno: Profiles and levels for JPEG Pleno Light Field Coding system	20/04	20/07	20/10	-	21/04



<그림 1> 4DTM 예시



<그림 2> 렌즈릿 라이트 필드 실험 영상

용되고, 분할은 시점이나 공간적인 도메인에서 모두 가능하며, 이를 위해 트리 구조로 분할 정보를 따로 정의하여 부호화한다. 그리고 분할 과정을 최적으로 수행하기 위해 Lagrangian 비트율-왜곡 모델에 기반한 계층적 재귀적 분할을 수행한다[3]. <그림 1>은 4DTM 적용의 예시이다. <그림 2>와 <표 2>는 JPEG Pleno의 실험 영상과 H.265 대비 4DTM 모드의 성능을 보여주고 있다.

4DPM 모드는 깊이 정보와 카메라 파라미터를 이용하는 방식으로 일반적으로 렌즈릿 이미지보다는 고해상도 다시점 영상 형태의 라이트 필드 이미지 압축에 적합하다. 4DPM은 입력된 다시점 영상을 계층적으로 여러 레벨로 나누어 참조 시점과 참조 시점으로부터 합성될 중간 시점으로 구분한다. 현재 4DPM의 구현에서 참조 시점의 고퀄

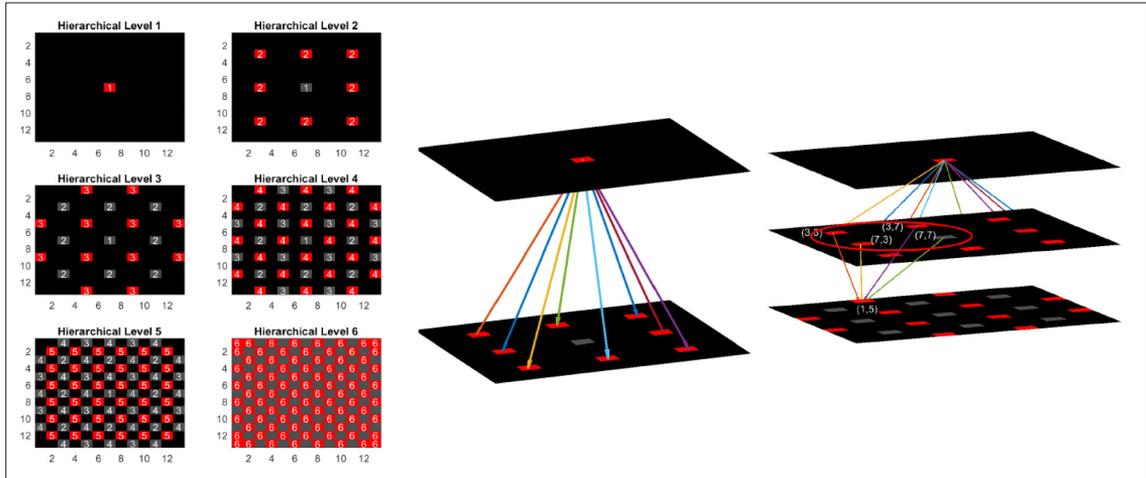
러 영상과 깊이 영상 및 카메라 파라미터 정보들은 JPEG 2000을 통해 압축하고 있으나 JPL 파일 포맷은 다른 코덱으로 압축하는 방식도 지원이 가능하다. 참조 시점과 중간 시점의 계층적 구성은 입력 영상의 특성에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 시점간 상관도가 높은 경우에는 보다 적은 참조 시점으로 전체 영상을 구성하는 것이 가능하다. 중간 시점 영상들은 복호화된 참조 시점 영상으로부터 이미지 워핑(warping) 기술 기반의 합성 기술을 통해 재구성되고, 원 시점 영상과의 차분 데이터가 비트율 환경에 따라 부호화된다. <그림 3>은 4DPM 모드의 계층적 참조 시점 및 중간 시점 구성에 대한 예시이다. <그림 4>와 <표 3>은 JPEG Pleno의 실험 영상과 H.265 대비 4DPM 모드의 성능을 보여주고 있다. Tarot 영상의 경우 구슬 영

<표 2> H.265 대비 4DTM 모드의 성능 실험 결과

Metric	Bikes	Danger	Fountain	Pillars
PSNR-YUV BD-BR (%)	-32.15	-36.37	-6.22	-30.24
PSNR-Y BD-BR (%)	-19.02	-24.18	-13.04	-11.39
PSNR-YUV BD-PSNR (dB)	1.41	1.46	0.54	0.96
PSNR-Y BD-PSNR (dB)	1.06	1.11	0.11	0.73

<표 3> H.265 대비 4DPM 모드의 성능 실험 결과

Metric	Greek	Sideboard	Tarot
PSNR-YUV BD-BR (%)	-33.47	-29.59	22.37
PSNR-Y BD-BR (%)	-5.12	-17.06	68.23
PSNR-YUV BD-PSNR (dB)	0.80	0.91	-0.71
PSNR-Y BD-PSNR (dB)	0.17	0.46	-1.56



<그림 3> 4DPM 모드의 계층적 참조 시점 및 중간 시점 구성 예시



<그림 4> 다시점 라이트 필드 실험 영상

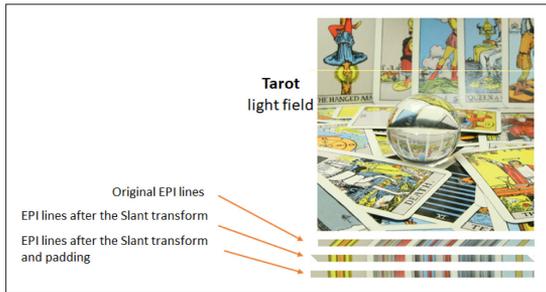
역의 깊이 정보 부정확성으로 인해 오히려 성능이 저하됨을 확인할 수 있다.

최근 JPEG Pleno Light Field에는 4DTM 모드의 성능을 개선한 Slanted 4DTM 모드 기술이 제안되었다[4]. Slanted 4DTM 모드는 <그림 5>와 같이 EPI(Epipolar-Plane Image) 라인의 기울임을 보정하여 공간적 상관도

를 증진시킬 수 있는 Slanted 4D 변환을 이용하는 방식으로 <표 4>에서와 같이 기존의 4DTM이나, 4DPM 모드보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 이에 Slanted 4DTM 기술을 기반으로 JPEG Pleno Part2: Light Field Coding에 대한 2<sup>nd</sup> edition 표준을 준비 중이다. 추가적으로 JPEG Pleno에서는 화질 평가를 위한 신규 표준화를 준

<표 4> Slanted 4DTM 모드의 성능 실험 결과

Reference Sequence	Slanted 4D-TM vs. References (metric: PSNR-YUV)					
	4DPM		4DTM		HEVC	
	BD-rate (%)	BD-PSNR (dB)	BD-rate (%)	BD-PSNR (dB)	BD-rate (%)	BD-PSNR (dB)
Bikes	-35.01	1.07	-2.97	0.10	-31.62	1.26
Danger	-32.03	1.00	-12.19	0.36	-42.72	1.60
Fountain	-49.00	1.74	-13.78	0.42	-16.71	0.70
Pillars	-25.41	0.69	-11.81	0.33	-35.93	1.09
Greek	-20.23	0.57	-65.56	2.78	-34.34	1.30
Sideboard	-2.71	0.14	-50.96	2.13	-23.17	1.02
Tarot	-38.12	1.11	-69.31	3.60	-7.78	0.28



<그림 5> Slanted 4DTM 기술 예시

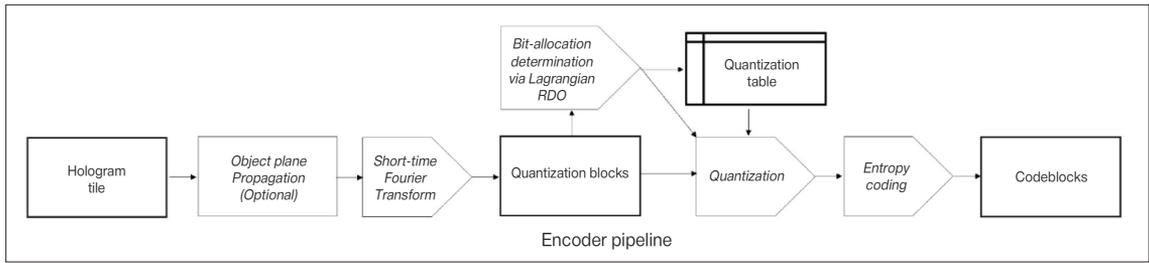
비 중이다. 기존에 JPEG AIC에서 2D 영상의 화질 평가에 대한 표준이 있었지만, 3차원 영상에 관한 표준인 JPEG Pleno의 화질 평가를 위한 표준은 없었다. 이에 JPEG Pleno의 플렌옵틱 데이터에 대한 압축 표준을 만들며 고려된 화질 평가 기술들을 바탕으로 JPEG Pleno Quality Assessment[5]를 파트 7로 추가하는 것을 고려 중이다. 먼저 라이트 필드에 대한 화질 평가 표준부터 시작될 예정이고, 점차적으로 포인트 클라우드나 홀로그래피 분야에 대한 화질 평가 기술에 대한 표준화도 계획하고 있다.

## 2. JPEG Pleno Part 5: Holography

JPEG Pleno Holography는 빛의 파동 정보인 크기와 위상을 모두 기록 및 재현할 수 있는 홀로그래피 분야에서 다루는 디지털 홀로그램 데이터에 대한 압축 표준화를

목적으로 한다. 현재 표준에서 다루는 홀로그램 데이터는 주로 3D 이미징을 위해 광학적으로 직접 기록되거나 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 획득된 복소 홀로그램(실수부 & 허수부) 데이터를 다루고 있다. 추가로 고해상도 이진 홀로그램 데이터와 주로 계측 분야에서 위상 정보 획득을 위해 활용되는 계측용 홀로그램 데이터도 다루고 있다[6]. 디지털 홀로그램의 부가 정보인 픽셀 피치, 광원에 대한 파장 정보, 재현 거리 등의 정보는 메타데이터로 정의된다.

JPEG Pleno Holography 표준은 앞서 소개한 3가지 타입의 홀로그램 데이터 압축을 위해 각기 다른 방식을 이용한다. 복소 홀로그램 데이터에 대해서는 <그림 6>의 기술들을 바탕으로 손실 압축 방식을 지원하고 있다[7]. 먼저, 고해상도의 홀로그램 데이터를 분할하여 처리하기 위해 타일링 기능을 지원한다. 객체 평면 전파 기능은 홀로그램 이미지의 공간적 상관도 향상을 위해 고안된 기능으로 선택적으로 사용이 가능하다. STFT(Short-Time Fourier Transform)은 홀로그램 데이터에 대한 에너지 결집을 위해 채택된 변환 기술로 실험적으로 볼 때 DCT(Discrete Cosine Transform)나 DWT(Discrete Wavelet Transform)에 비해 홀로그램 압축에 효과적이다. STFT는 홀로그램 타일을 TB(Transform Block) 단위로 분할하여 적용하고, STFT 이후에는 타일을 다시 QB(Quantization Block) 단위로 분할하여 Lagrangian 비트율-왜곡 최적화를 통해 QB마다 최적의 비트 레벨과 양자화 범위를 결정하고, 이 값에 따라 변환된 계수들에



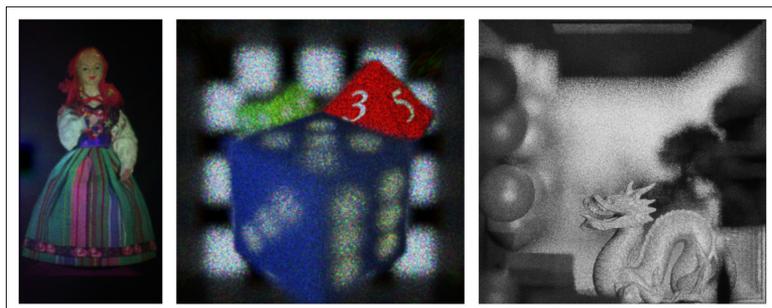
<그림 6> 복소 홀로그램 압축 인코더 구조

대해 양자화를 수행한다. 이때, 양자화 관련 파라미터의 효율적인 압축을 위해 타일 단위로 양자화 테이블을 전송한다.

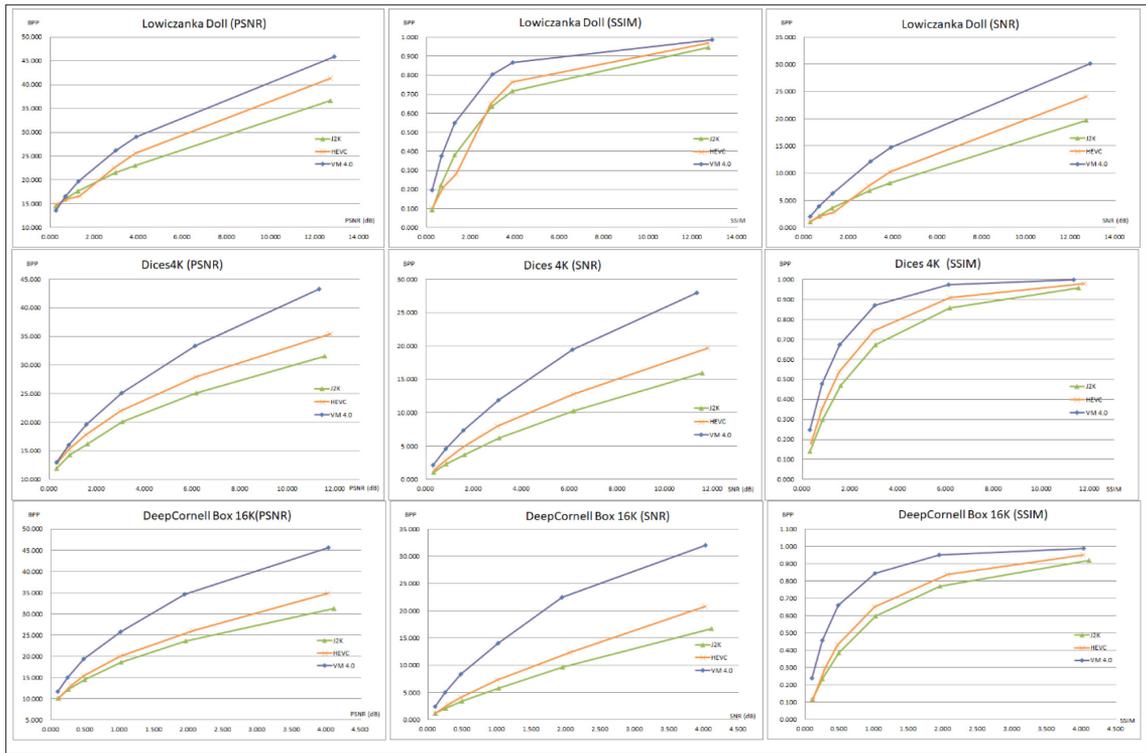
양자화 과정 이후에는 타일을 다시 QB보다 크거나 같은 크기인 CB(Code Block)으로 재구성하여 CB 단위로 양자화 관련 인덱스값과 양자화 계수들에 대한 엔트로피 부호화를 수행한다. 엔트로피 부호화를 위해서는 현재 고정 소수점 산술 부호화(FPAE, Fixed Point Arithmetic Encoding) 방식을 이용하고 있고, 성능 향상을 위해 컨텍스트 모델링(Context Modeling)을 통해 주변 CB로부터 현재 CB의 확률 모델을 예측하는 방법도 지원한다. 홀로그램 압축 성능 평가는 홀로그램 평면과 객체 평면 모두에서 이뤄지고, 객체 평면에 대한 평가는 시야각 내의 여러 시점 및 깊이에서 수치 복원된 영상들의 화질을 평가하는 방식이다. 수치 복원을 위해 JPEG Pleno Holography 표준화 그룹에서는 NRSH(Numerical Reconstruction

Software for Holography)라는 이름의 참조 소프트웨어(이를 직접 개발하여 이용하고 있다. 화질 평가 척도로는 여러 실험을 거쳐 PSNR, SNR, SSIM을 이용하고 있다. <그림 7>은 홀로그램 실험 영상 중 실사 촬영 홀로그램인 “Lowiczanka Doll”과 CGH 방식의 홀로그램인 “Dices4K”, “DeepCornell Box 16K”의 수치 복원 영상 예시이고, <그림 8>은 실험 영상에 대한 압축 실험 결과를 JPEG 2000 및 HEVC와 비교하여 보여주는 비트율-왜곡 곡선이다.

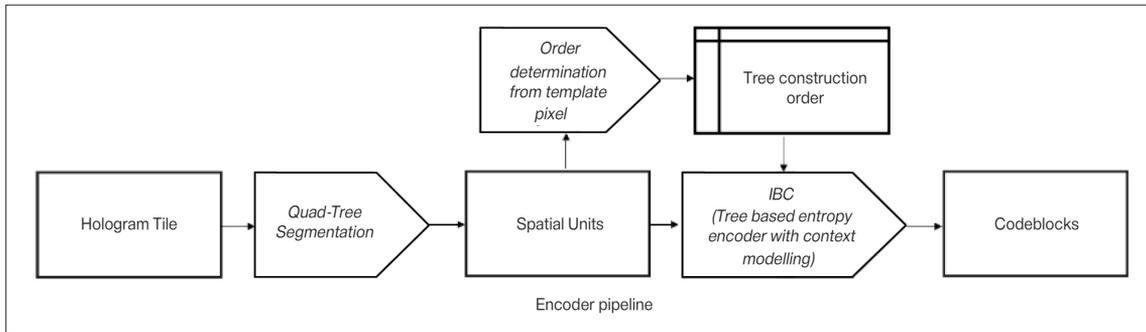
이진 홀로그램에 대해서는 현재 무손실 압축 방식만 지원하고 있다. <그림 9>와 같이 이진 홀로그램 압축에는 양자화와 같은 손실 압축 모듈이 존재하지 않고, STFT도 없다. STFT의 경우 이진 홀로그램에 대해서 무손실로 적용하기 위해서는 소수점 단위 정보 유지가 필요하고, 또한 에너지 결집 효과도 크지 않아 배제되었다. 홀로그램 타일링 기술은 큰 크기의 홀로그램을 다루기 위해 동일하게



<그림 7> 복소 홀로그램 실험 영상: (좌) Lowiczanka Doll, (중) Dices4K, (우) DeepCornell Box 16K



<그림 8> 복소 홀로그램 압축 실험: (상) Lowiczanka Doll, (중) Dices4K, (하) DeepCornell Box 16K

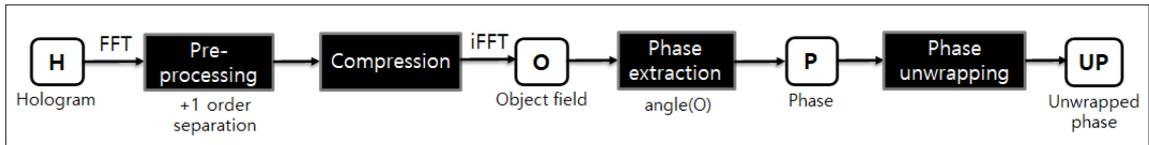


<그림 9> 복소 홀로그램 압축 인코더 구조

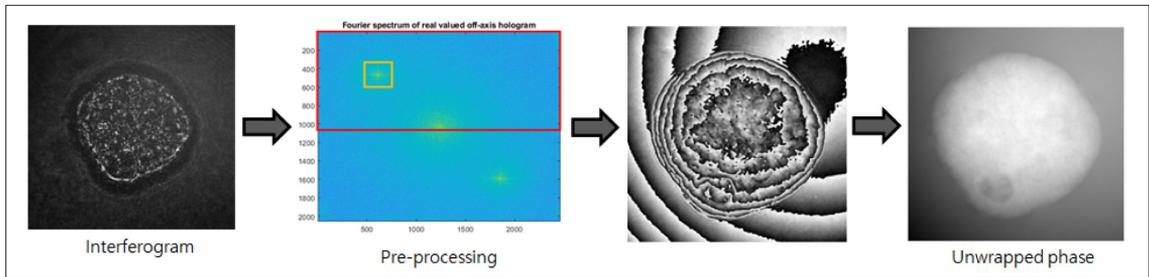
채택하고 있고, 대부분의 압축 효율은 엔트로피 코딩에서 기인하고, 엔트로피 코딩의 효율을 증진시키기 위해 공간적 상관도가 높은 영역끼리 구분하기 위해 쿼드트리 분할 기술을 이용한다. 이진 홀로그램 압축 성능은 기존의 이진 영상 압축 표준인 JBIG2에 비해 대략 10% 정도의 추가적

인 비트율 저감 성능을 보인다.

계측용 홀로그램은 실제 간섭계를 통해 획득된 홀로그램이므로 DC와 공액 영상(conjugate image)에 대한 분리가 필요하기 때문에 탈 축(off axis) 방식으로 획득한다. 계측용 홀로그램은 <그림 10>과 같이 푸리에 도



<그림 10> 복소 홀로그램 압축 인코더 구조



<그림 11> 탈 축(off axis) 홀로그램 처리 과정

메인에서 필요한 정보만을 분리하여 압축한다. 복호화된 데이터로부터 위상 정보를 추출하고, 위상의 모호성을 제거하기 위해 위상 펼침 기술을 적용하여 최종적으로 연속적인 위상 정보를 이미지화한다. 현재 JPEG Pleno Holography에서는 계층용 홀로그램 처리를 위해 두 가지 모드를 고려하고 있다. 두 방식 모두 푸리에 도메인에서 홀로그램의 공액 특성을 이용해 일부 홀로그램 정보만을 분리해내는데 <그림 11>과 같이 절반의 영역을 분리하는 방법과 1차 성분만을 분리하는 방법이 있다. 절반의 영역을 분리하는 방법은 홀로그램의 공액 특성상 추후 모든 정보를 복원할 수 있는 방법이고, 1차 성분만 분리하는 경우는 객체 정보만을 유지한다. 위상 펼침 기술로는 현재 PUMA 방식과 DCT 방식을 이용하고 있다. 계층용 홀로그램에 대한 처리 기술은 향후 JPEG Pleno Holography - Amendment 표준에서 다뤄질 예정이다.

### 3. JPEG Pleno Part 6: Learning-based Point Cloud Coding

JPEG Pleno에서 다루는 포인트 클라우드는 3차원 공

간을 여러 점들의 집합으로 표현한 데이터로 일반적으로 3차원 좌표 정보 (x, y, z)와 해당 좌표에 대한 속성 정보로 RGB 값, 반사 정보, 센서 정보, 법선 벡터 등을 가진다. 라이트 필드나 홀로그램과 달리 포인트 클라우드에 대한 압축 표준은 MPEG 표준에서 먼저 V-PCC(Video based Point Cloud Compression)[9]와 G-PCC(Geometry-based Point Cloud Compression)[10]에 대한 표준이 시작됐다. 이에 JPEG에서는 MPEG과 차별화된 표준화를 위해 딥러닝 기반의 포인트 클라우드 압축 기술에 대한 표준화를 시작했고, 현재 CD 단계이며 '25년 1월 IS를 목표로 표준화가 진행 중이다. 표준화 시작 시점에서 3단계 표준화에 대한 계획이 수립되었고, 1단계 표준의 목적은 포인트 클라우드를 압축하고 복호화한 도메인에서 3차원 신호 처리나 컴퓨터 비전 관련 기술을 처리할 수 있도록 하는 것이고, 2단계는 압축된 도메인에서 이미지 화질 향상이나 고해상도와 같은 3차원 영상 처리 기술을 다루는 것이 목적이다. 마지막 3단계 표준은 2단계 표준과 동일하게 압축된 도메인에서 이미지 분류, 인식, 분할과 같은 컴퓨터 비전 관련 기술이 처리될 수 있도록 하는 표준을 만드는 것이다.

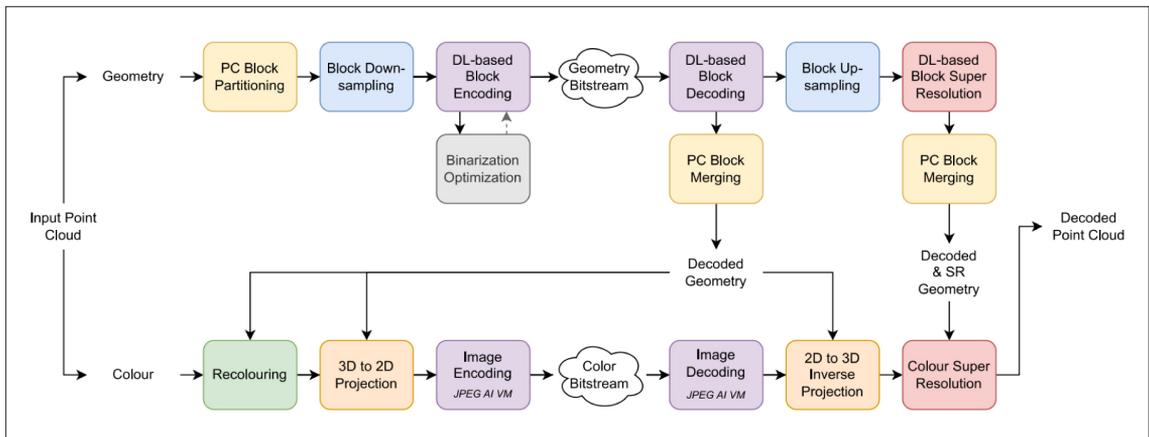
포인트 클라우드 압축 실험에는 ShapeNetCore 데이터

셋과 MPEG, JPEG의 실험 영상들을 이용하고, 화질 평가를 위해서 압축으로 인한 기하(Geometry) 정보의 손실을 포인트 간의 PSNR로 측정하는 방식인 PSNR MSE D1과 포인트와 평면 간의 PSNR로 측정하는 방식인 PSNR MSE D2를 이용하고, 추가로 기하 정보 손실뿐만 아니라 색상 정보의 손실도 측정하는 PCQM(Point Cloud Quality Metric)도 이용한다[11]. <그림 12>는 JPEG Pleno 학습 기반 포인트 클라우드 부호화를 위한 참조 SW인 VM 4.0의 구조도이다. 초기 모델에는 기하 정보와 색상 정보를 함께 부호화 방식을 지원했으나 현재는 분리하여 부호화하는 방식을 이용하고 있다. 기하 정보 부호화를 위해 먼저 포인트 클라우드를 3D 블록으로 분할하고, 분할된 블록들은 독립적인 부호화 단위가 되는데 각 블록에 대해 포인트 클라우드의 밀집도에 따라 다운 샘플링을 수행하기도 한다. 그다음 각 블록에 대해 딥러닝 기반의 압축을 위해 기존의 이미지 압축에서 사용되는 변환 방식 대신 컨벌루션 오토인코더(AE, AutoEncoder)로 학습된 비선형 모델을 이용하고, 나머지 과정은 양자화와 엔트로피 부호화이다. 이진 최적화는 다양한 밀도의 포인트 클라우드에 대한 적응성을 제공하기 위한 모듈로 이진화 매개변수는 디코더에서도 사용될 수 있도록 비트스트림으로 전송되어진다. 색상 정보 압축은 디코딩된 기하 정보를 이용해 압축할 포인트들과 그에

대한 색상 정보를 업데이트하는 재색상화 과정으로 시작된다. 그리고 V-PCC 기술을 이용해 3D 포인트들을 2D 이미지로 투영시키는 과정을 거치고, 배경 정보를 채우기 위해 푸쉬-풀(push-pull) 알고리즘을 이용한다. 이후 2D 이미지를 JPEG AI 코덱을 이용해 압축한다[12]. 디코더에서는 인코딩의 역과정을 통해 데이터를 복원한다.

JPEG Pleno Learning-based Point Cloud Coding 표준은 주로 MPEG G-PCC 표준과 성능을 비교하는데 <그림 13>과 <그림 14>는 실험에 사용된 포인트 클라우드 데이터들로 솔리드(Solid) 데이터와 밀집한(Dense) 데이터로 구분된다. <표 5>는 기하 정보만을 부호화한 경우에 G-PCC 대비 성능을 보여주고 있고, <표 6>은 기하 정보와 컬러 정보를 모두 부호화한 경우에 대한 실험 결과이다. 실험 결과 G-PCC 대비 안정적으로 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었고, 다른 실험에 따르면 V-PCC보다도 우수한 성능을 확인할 수 있었다.

위 실험 결과 솔리드 데이터셋에 대해서는 기하 정보 압축이나 컬러 정보를 함께 압축한 경우가 유사한 성능을 보였으나, 밀집한 데이터셋에 대해서는 기하 정보만 압축한 경우가 더 좋은 성능을 보임을 관찰할 수 있었다. 기하 정보와 컬러 정보를 함께 압축하는 경우에 대해서는 기하 정보와 컬러 정보 간의 비트율 할당 최적화를 통해 추가적인



<그림 12> JPEG Pleno 학습 기반 포인트 클라우드 부호화 프레임워크

성능 개선도 가능할 것으로 기대한다. 표준화 일정에 따르면 JPEG Pleno Learning-based Point Cloud Coding 표준은 2024년 DIS 단계를 거쳐, 2025년 1월에 IS 단계에

이를 예정이다. 또한 이후에는 2단계, 3단계 표준을 단계적으로 진행할 예정이고, 추가로 화질 평가에 대한 표준화도 고려할 계획이다.



<그림 13> JPEG Pleno 학습 기반 포인트 클라우드 부호화 실험 영상(Solid): (a) Thaidancer, (b) Soldier, (c) StMichael, (d) Bouquet



<그림 14> JPEG Pleno 학습 기반 포인트 클라우드 부호화 실험 영상(Dense): (a) Boxer, (b) CITIUSP, (c) Facade, (d) House\_without\_roof

<표 5> G-PCC 대비 기하 정보 압축 성능

Test Data	VM 3.0			
	BD-Rate		BD-PSNR	
	D1 PSNR	D2 PSNR	D1 PSNR	D2 PSNR
Thaidancer.ply	-75.84%	-66.23%	8.14	7.02
Soldier.ply	-87.82%	-80.28%	9.88	8.98
StMichael.ply	-85.89%	-77.01%	8.47	7.13
Bouquet.ply	-83.69%	-75.13%	7.56	6.35
<b>Average (solid)</b>	<b>-83.31%</b>	<b>-74.66%</b>	<b>8.51</b>	<b>7.37</b>
Boxer.ply	-74.77%	-72.82%	5.69	7.03
CITIUSP.ply	-53.56%	-38.98%	3.09	2.15
Facade.ply	-58.20%	-51.74%	3.41	3.20
House_without_roof.ply	-59.39%	-43.28%	3.12	2.34
<b>Average (dense)</b>	<b>-61.48%</b>	<b>-51.71%</b>	<b>3.83</b>	<b>3.68</b>

<표 6> G-PCC 대비 기하 정보+컬러 정보 압축 성능

Test Data	VM 3.0					
	BD-Rate			BD-PSNR		
	D1 PSNR	D2 PSNR	PCQM	D1 PSNR	D2 PSNR	PCQM
Thaidancer.ply	-75.94%	-64.25%	-43.48%	7.15	5.87	3.88E-03
Soldier.ply	-87.28%	-77.70%	-54.10%	8.56	7.47	8.92E-03
StMichael.ply	-86.84%	-76.07%	-28.16%	7.27	5.84	4.92E-03
Bouquet.ply	-86.79%	-77.57%	-15.71%	6.56	5.33	2.11E-03
<b>Average (solid)</b>	<b>-84.21%</b>	<b>-73.90%</b>	<b>-35.36%</b>	<b>7.39</b>	<b>6.13</b>	<b>4.96E-03</b>
Boxer.ply	-70.71%	-67.99%	-57.89%	4.72	5.74	4.81E-03
CITIUSP.ply	-21.12%	7.83%	-25.61%	0.93	-0.30	1.79E-03
Facade.ply	-38.51%	-28.68%	-50.87%	1.84	1.53	6.13E-03
House_without_roof.ply	-45.50%	-21.65%	-23.78%	2.03	0.97	1.73E-03
<b>Average (dense)</b>	<b>-43.96%</b>	<b>-27.62%</b>	<b>-39.54%</b>	<b>2.38</b>	<b>1.99</b>	<b>3.62E-03</b>

### III. 결론

지금까지 JPEG Pleno 표준에서 다루고 있는 라이트 필드, 홀로그래피, 포인트 클라우드의 표준화 현황과 주요 표준 기술에 대해 살펴봤다. JPEG Pleno 표준은 향후 압

축 기술뿐만 아니라 화질 평가에 대한 표준화도 계획 중이고, 새로운 3차원 영상 데이터에 대한 표준화도 고려 중이다. JPEG Pleno 표준은 추후 다양한 관련 산업 분야에서 널리 활용될 것으로 기대된다.

※ 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “국제공동기술개발사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임(과제번호 : P0019802)

## 참 고 문 헌

- [1] JPEG Pleno: Standardizing a Coding Framework and Tools for Plenoptic Imaging Modalities, ITU Journal, ICT Discoveries, 3(1), pp. 85-99, 2020.
- [2] P. Schelkens, Z. Y. Alpaslan, T. Ebrahimi, K.-J. Oh, F. M. B. Pereira, A. M. G. Pinheiro, I. Tabus, and Z. Chen, "JPEG Pleno: a standard framework for representing and signaling plenoptic modalities," Proc. SPIE 10752, 107521P (2018).
- [3] De Oliveira Alves, G. et al. The JPEG Pleno light field coding standard 4D-transform mode: How to design an efficient 4D-native codec, IEEE Access 8, 170807-170829 (2020).
- [4] M. B. d. Carvalho et al., "Supporting Wider Baseline Light Fields in JPEG Pleno With a Novel Slanted 4D-DCT Coding Mode," in IEEE Access, 2023.
- [5] Prazeres, J., Luo, Z., Pinheiro, A. M., da Silva Cruz, L. A. & Perry, S. Jpeg pleno call for proposals responses quality assessment. ICASSP 2023-2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) pp. 1~5 (2023).
- [6] P. Schelkens, T. Ebrahimi, A. Gilles, P. Gioia, K.-J. Oh, F. Pereira, C. Perra, and A. M. Pinheiro, "Jpeg pleno: Providing representation interoperability for holographic applications and devices," ETRI journal 41, 93-108, 2019.
- [7] R. K. Muhamad, T. Birnbaum, A. Gilles, S. Mahmoudpour, K.-J. Oh, M. Pereira, C. Perra, A. Pinheiro, and P. Schelkens, "JPEG Pleno holography: scope and technology validation procedures," Appl. Opt. 60, 641-651 (2021).
- [8] Birnbaum T, Muhammad RK, Perra C, Gilles A, Blinder D, Kozacki T, Schelkens P. JPEG Pleno holography presents the numerical reconstruction software for holograms: an excursion in holographic views. Appl Opt. 2023 Apr 1;62(10):2462-2469. doi: 10.1364/AO.483357. PMID: 37132793.
- [9] MPEG 3DG, "V-PCC Codec Test Model v8", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 W18884, Geneva, CH, October 2019.
- [10] MPEG 3DG, "G-PCC Codec Description v5", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N18891, Geneva, CH, October 2019.
- [11] Joao Prazeres et al, "Quality analysis of point cloud coding solutions," in Electronic Imaging Symposium, 2022.
- [12] J. Prazeres, R. Rodrigues, M. Pereira and A. M. G. Pinheiro, "JPEG Pleno Learning-Based Point Cloud Coding: A Performance Analysis," 2023 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1890-1894, 2023.

## 저 자 소 개



### 오 관 정

- 2002년 : 전남대학교 정보통신공학과 학사
- 2005년 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
- 2010년 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
- 2010년 ~ 2013년 : 삼성전자 종합기술원 전문연구원
- 2013년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 실감미디어연구실 책임연구원
- 주관심분야 : 3차원 영상 처리, 압축 및 표준화, 이머시브 비디오, 디지털 홀로그래피



### 임 용 준

- 2004년 : 부산대학교 전자전기통신공학부 학사
- 2006년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학과 석사
- 2010년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학과 박사
- 2010년 ~ 2014년 : 삼성전자 반도체메모리사업부 책임연구원
- 2014년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 실감미디어연구실 책임연구원
- 주관심분야 : 3차원 계측 및 영상 처리, 디지털 홀로그래피, 나노 광학 응용

## 저 자 소 개



### 추 현 곤

- 1998년 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 2000년 : 한양대학교 전자공학과 석사
- 2005년 : 한양대학교 전자통신전파공학과 박사
- 2005년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
- 2015년 ~ 2017년 : 한국전자통신연구원 디지털홀로그래피연구실장
- 2023년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 실감미디어연구실장
- 주관심분야 : 컴퓨터 비전, 3D 이미징 및 홀로그래피, 이머시브 미디어, 3D 방송 시스템