

## 깊이 영상을 위한 향상된 HEVC 무손실 화면내 부호화 방법

최정아, 호요성

광주과학기술원

jachoi@gist.ac.kr, hoyo@gists.ac.kr

### 요약

본 논문에서는 3차원 비디오의 깊이 영상을 부호화하기 위한 효율적인 HEVC 무손실 화면내 부호화 방법을 제안한다. HEVC는 기존 H.264/AVC 비디오 표준에 비해 약 40% 이상의 부호화 효율 향상을 보이는 차세대 비디오 코덱이다. HEVC 무손실 부호화기는 변환, 양자화, 루프 필터와 같이 부호화 손실을 유발하는 모듈을 제거함으로써 손쉽게 구현할 수 있으며, 손실 부호화에서와 같이 무손실 부호화에서도 이전의 부호화 표준에 비해 높은 효율을 보인다. 하지만 깊이 영상은 영상 특성이 색상 영상과 다르기 때문에 이를 효율적으로 부호화하기 위해서는 새로운 기술이 필요하다. 본 논문에서는 무손실 화면내 부호화에서 잔여 신호의 통계적 특성을 고려해 설계한 새로운 모드 기반 차분 화소 주사 방법과 CABAC 중요 맵 부호화 방법을 제안한다. 실험을 통해, 제안한 방법이 HEVC 무손실 부호화 방법에 비해 평균 약 10.61%의 비트 수를 감소시키는 것을 확인했다.

### 1. 서론

3차원 비디오를 구성하는 방식에는 양안식, 다시점, 색상-깊이 혼합, 다시점-깊이 혼합 등 다양한 방법이 존재한다. 이 중 깊이 영상을 이용하는 방식은 색상 영상에 비해 데이터의 크기가 작은 깊이 영상의 장점을 이용한 것이다. 송신단에서는 색상 영상과 깊이 영상을 부호화해 전송하고, 수신단에서는 이를 복호한 후 깊이 영상 기반 렌더링 방법[1]을 통해 3차원 영상을 재현한다. 깊이 영상의 화질은 생성된 가상 시점의 화질과 밀접한 연관이 있기 때문에 고품질의 가상 시점을 위해서는 향상된 렌더링 기술뿐만 아니라, 손실이 없는 정확한 깊이 영상이 필요하다. 이 경우, 깊이 영상 부호화 방법으로 무손실 부호화 방법을 사용해야 한다 [2].

현재 ISO/IEC MPEG은 ITU-T VCEG과 함께 JCT-VC(joint collaborative team on video coding)를 구성하고 차세대 비디오 부호화 표준인 HEVC를 개발하고 있다 [3]. HEVC는 기존의 H.264/AVC와 유사한 복잡도를 가지면서 약 40% 이상의 높은 부호화 효율을 제공한다. 따라서, 표준 제정 이후 HDTV, 모바일 장치에서의 고품질 영상 서비스 등 많은 응용 분야에서 사용될 것으로 전망된다. 특히, HEVC의 높은 압축율을 이용하면 3차원 비디오 서비스의 문제점으로 거론되는 큰 데이터로 인한 어려움을 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

HEVC는 주로 손실 압축 기반으로 연구되어 왔기 때문에 무손실 압축 성능 향상을 위해서는

더 많은 연구가 필요하다. 무손실 화면내 부호화의 경우, 변환과 양자화 과정을 수행하지 않으므로 손실 압축과 무손실 압축의 잔여 신호에는 명확한 통계적 분포의 차이가 있다. 본 논문에서는 무손실 압축 환경에서 깊이 영상의 잔여 신호의 통계적 특성을 고려한 새로운 부호화 방법을 제안한다.

### 2. HEVC 무손실 화면내 부호기

HEVC 무손실 화면내 부호기[4]는 부호화 과정에서 손실을 유발하는 변환 및 양자화 부분을 제거함으로써 손쉽게 구현할 수 있다. 또한, 원본 화소값을 변화시킬 가능성이 있는 적응적 루프 필터, 디블록킹 필터, 샘플 가변 오프셋, 내부 비트 깊이 증가를 제거한다. 아래 세부 절에서 HEVC 무손실 화면내 부호기의 세부 기술을 하나씩 살펴본다.

#### 2.1 화면내 예측

HEVC는 예측 단위를 기준으로 예측이 수행되며, 16×16 이상의 예측 단위가 존재한다. HEVC 화면내 부호화 예측 기술은 H.264/AVC의 화면내 부호화 예측 방법과 같이 주변의 복원된 화소 값을 이용하며, 블록의 크기에 따라 예측 모드의 개수를 적응적으로 사용하는 특징을 가진다.

4×4 블록과 64×64 블록은 각각 18개와 5개의 모드를 사용하며, 8×8, 16×16, 32×32블록은 35개의 모드를 사용한다. 그림 1은 35개의 각 모드 번호에 따른 방향성을 보여준다.

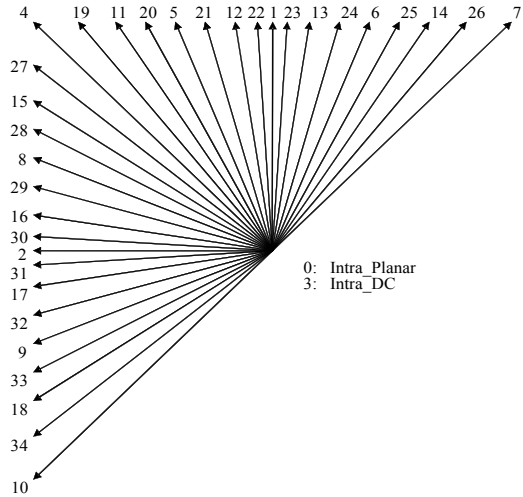
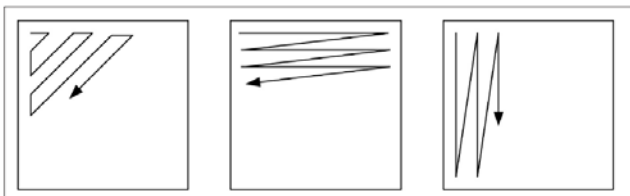


그림 1. HEVC 화면내 예측 모드의 방향성

2.2 모드 기반 계수 주사

화면내 부호화에서는 모드 기반 계수 주사 방법을 사용하며 이 기술은 그림 2와 같이 지그재그, 수평, 수직, 총 세 개의 주사 방향을 가진다 [5]. 모드 기반 계수 주사 방법의 주요 개념은 4×4또는 8×8과 같이 상대적으로 작은 변환 블록에서는 화면내 예측에서 수직 방향의 예측이 수행되면, 변환 계수는 상단 수평 영역에 존재할 확률이 높다는 것이다. 그러므로 수평 주사 방법을 사용하는 것이 변환 블록내 0이 아닌 계수를 부호화할 때 효율적이다.



(a) 지그재그 (b) 수평 (c) 수직  
그림 2. 모드 기반 계수 주사의 세 가지 방향성

마찬가지로, 수평 방향 예측에 대해서는 수직 방향 주사 방법이 효율적이다. 이와 같이, 변환 블록의 크기와 예측 모드의 방향성에 따라 세 개의 주사 방법 중 한 방법을 적응적으로 사용하며, 주사 방법이 정의된 매핑 테이블은 표 1과 같다. 이 표에서 최상위 행은 화면내 예측의 모드 번호이고 표 안의 수는 주사 방법을 나타내는 인덱스로, 0은 지그재그, 1은 수평, 2는 수직 주사 방법을 의미한다.

표 1. 모드 기반 계수 주사의 매핑 테이블

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
32×32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16×16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8×8	1	2	0	0	1	1	0	2	2	0	0	1	1	0	0	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	
4×4	1	2	0	0	1	1	0	2	2	0	0	1	1	0	0	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

2.3 CABAC에서의 변환 계수 부호화

HEVC에서 성능 개선을 목적으로 하는 고효율 설정에서는 H.264/AVC의 CABAC(Context-adaptive Binary Arithmetic Coding)[6]에 기반한 엔트로피 부호화 방법을 사용한다. HEVC의 CABAC은 손실 부호화에서의 잔여 계수의 특성을 고려해 설계되었다. 효율적인 잔여 데이터 부호화를 위해 *last\_significant\_coeff\_x*, *last\_significant\_coeff\_y*, *significant\_coeff\_flag*, *coeff\_abs\_level\_greater1\_flag*, *coeff\_abs\_level\_greater2\_flag*, *coeff\_abs\_level\_minus*, *coeff\_sign\_flag*와 같은 구문 요소를 사용한다. 그림 3은 임의의 변환 단위에 대해 잔여 데이터를 부호화하는 과정을 나타낸다.

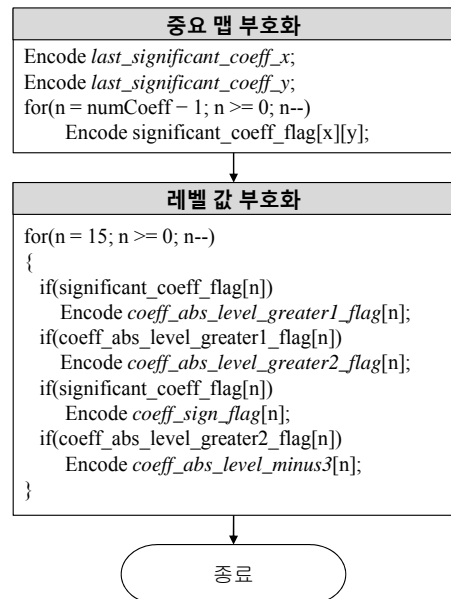


그림 3. 잔여 데이터 부호화 과정

HEVC의 CABAC은 크게 중요 맵 부호화와 레벨 값 부호화로 나뉘어 지는데, 중요 맵 부호화에서는 먼저 변환 블록내의 마지막 0이 아닌 계수의 위치를 부호화 하고, 그 다음으로, 0이 아닌 계수의 위치를 부호화 한다.

기존의 H.264/AVC 방법과 달라진 점은 마지막 0이 아닌 계수의 위치를 주사상의 순서가 아닌 좌표로 부호화한다는 점이다. 이는 HEVC의 예측 단위가 최대 64×64 크기라는 점에서 기인한 것으로, 만일 큰 블록에서 고주파 영역에 마지막 0이 아닌 계수가 존재하면, 주사상의 순서로 부호화했을 때 코드 길이가 길어지는 것을 방지하기 위한 것이다.

3. 제안하는 깊이 영상 부호화 방법

3.1 깊이 영상의 특성

그림 4는 MPEG 다시점 비디오 부호화의 실험 영상인 “Book Arrival”의 색상 영상과 그 깊이 영상을 보여준다. 깊이 영상은 카메라와 실제

사물과의 거리를 일정한 비트수로 표현한 것으로, 카메라와 가까울수록 밝은 값인 큰 값으로 표현된다.

그림 4에서 볼 수 있는 것처럼, 깊이 영상은 색상 영상과는 달리 상당히 완만한 특성을 가진다. 색상 영상에서는 화소 간 변화가 심한 반면, 깊이 영상은 화소 간 변화가 상당히 완만한 것을 알 수 있다. 따라서, 색상 영상에서 사용하는 부호화 방법을 그대로 사용하는 것보다 깊이 영상의 특성에 맞는 부호화 방법이 필요하다.



(a) 색상 영상 (b) 깊이 영상  
그림 4. “Book Arrival” 영상의 색상 및 깊이 영상

3.2 모드 기반 차분 화소 주사 방법

색상 영상에 비해 상대적으로 단순한 깊이 영상은 수평 상관 관계가 높다. 무손실 부호화에서는 변환 및 양자화가 수행되지 않기 때문에 이러한 상관 관계는 예측을 통해서만 제거될 수 있다. 하지만 예측 단계에서 작은 블록으로 분할된 복잡한 영역은 예측 후에도 이러한 방향성이 완전히 제거되지 않아, 수평 상관 관계가 남아있다. 따라서, 제안하는 무손실 부호화를 위한 모드 기반 차분 화소 주사 방법에서는 작은 예측 블록에서 사용했던 수직 주사 방법들을 모두 수평 주사로 바꾼다. 제안한 매핑 테이블은 표 2와 같다.

표 2. 모드 기반 차분 화소 주사의 매핑 테이블

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
32×32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16×16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8×8	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	
4×4	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

3.3 CABAC 중요 맵 부호화

다양한 압축 방법에서 잔여 데이터의 통계적 분포 차이는 변환과 양자화의 유·무에서 기인한다. 무손실 부호화의 경우, 변환 및 양자화를 수행하지 않으므로 잔여 데이터의 분포가 변환 블록의 스캔 위치에 독립적이다 [2]. 이러한 특성은 작은 변환 블록에서 더욱 두드러지게 나타난다.

그림 5는 “Book Arrival” 영상을 다양한 압축 환경에서 부호화했을 때, 4×4 블록에서 스캔 위치에 따른 0이 아닌 계수의 존재 확률을 나타낸다. HEVC 무손실 부호화기에서도 0이 아닌 계수의 발생

확률이 스캔 위치에 독립적이다. 즉, 그림 5를 통해 무손실 압축에서 잔여 데이터의 통계적 특성이 손실 압축의 경우와 다르다는 것을 확인할 수 있다.

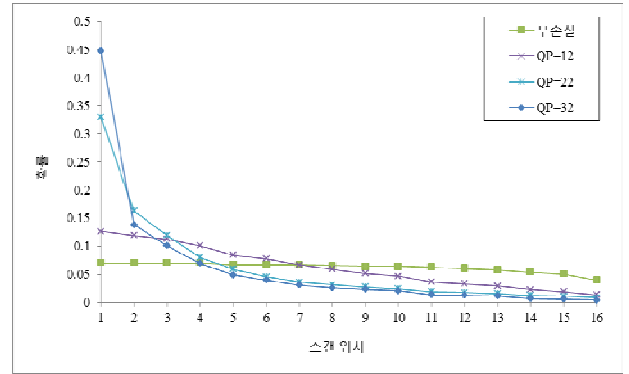


그림 5. 스캔 위치에 따른 0이 아닌 계수의 발생 확률

표 3은 다양한 깊이 영상을 무손실 부호화해 얻은 마지막 0이 아닌 계수의 평균 위치를 보여준다. 표 3에서 볼 수 있는 것처럼, 복잡한 영역에서 자주 발생하는 4×4 블록의 경우, 블록의 끝까지 0이 아닌 계수가 발생함을 확인할 수 있다. 따라서, 제안하는 방법에서는 마지막 0이 아닌 계수의 위치 부호화 과정을 제거하고, 블록의 끝까지 모든 0이 아닌 계수를 부호화한다.

표 3. 마지막 0이 아닌 계수의 평균 위치

4×4	8×8	16×16	32×32
(3.9, 4.0)	(5.8, 4.9)	(6.6, 8.8)	(7.7, 7.9)

4. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 HEVC 테스트 모델 HM 4.0[7] 기반 무손실 부호기를 이용해 실험했다. 제안한 알고리즘의 효율성을 보이고자, 6개의 MPEG 3차원 콘텐츠의 첫 프레임을 이용해 화면내 부호화를 수행했다.

제안한 방법과 HEVC 무손실 부호화 방법의 성능 비교를 위해 압축률과 비트수 이득을 각각 식 (1)과 식 (2)를 사용해 비교했다.

$$\text{압축율} = \frac{\text{비트수}_{\text{원영상}}}{\text{비트수}_{\text{방법}}} \quad (1)$$

$$\text{비트수 이득} = \frac{\text{비트수}_{\text{방법}} - \text{비트수}_{\text{HEVC}}}{\text{비트수}_{\text{HEVC}}} \times 100 \quad (2)$$

표 4는 성능 비교를 위해 실험한 결과를 보여준다. 여기서 방법 1은 모드 기반 차분 화소 주사 방법을 의미하고, 방법 2는 방법 1과 제안한 중요 맵 부호화를 결합한 방법을 의미한다.

표 4의 실험 결과로부터, 제안한 방법이 HEVC 무손실 부호화 방법과 비교해 약 10.61% 정도의 비트수를 감소시킴을 확인할 수 있다.

표 4. 제안한 알고리즘의 성능 평가

영상	원 영상 크기 (Bytes)	방법	전체 비트수 (Bytes)	압축율	비트수 이득 (%)
Ballet (1024×768)	1179648	HEVC 무손실 부호화	51671	22.83	-
		방법 1	51183	23.05	-0.94
		방법 2	44985	26.22	-12.94
Breakdancers (1024×768)	1179648	HEVC 무손실 부호화	55411	21.29	-
		방법 1	54821	21.52	-1.06
		방법 2	47822	24.67	-13.70
Lovebird1 (1024×768)	1179648	HEVC 무손실 부호화	26981	43.72	-
		방법 1	26580	44.38	-1.49
		방법 2	23695	49.78	-12.18
Newspaper (1024×768)	1179648	HEVC 무손실 부호화	42270	27.91	-
		방법 1	41948	28.12	-0.76
		방법 2	38481	30.66	-8.96
Book Arrival (1024×768)	1179648	HEVC 무손실 부호화	41728	28.27	-
		방법 1	41209	28.63	1.24
		방법 2	38153	30.92	8.57
Café (1920×1080)	3110400	HEVC 무손실 부호화	42713	72.82	-
		방법 1	42234	73.65	-1.12
		방법 2	38947	79.86	-8.82
Dancer (1920×1080)	3110400	HEVC 무손실 부호화	23350	133.21	-
		방법 1	23164	134.28	-0.80
		방법 2	21227	146.53	-9.09
평균		HEVC 무손실 부호화		50.01	-
		방법 1		50.52	-1.06
		방법 2		55.52	-10.61

5. 결론

본 논문에서는 HEVC에서 손실 압축과 무손실 압축 환경에서 잔여 신호의 통계적 특성 차이를 분석하고, 이를 기반으로 깊이 영상을 위한 향상된 무손실 부호화 방법을 제안했다. 제안한 방법에서는 실험적으로 무손실 화면내 부호화에서 깊이 영상의 잔여 데이터가 높은 수평 상관 관계를 가진다는 점을 발견하고, 이를 위해 모드 기반 차분 화소 주사 방법을 제안했다. 또한, 비교적 복잡한 영역에서 선택되는 작은 예측 블록은 0이 아닌 계수가 블록의 끝까지 존재하므로 이를 효율적으로 부호화하기 위해 CABAC의 구문 요소를 수정했다. 실험을 통해 제안하는 방법의 성능이 HEVC 무손실 부호화 방법에 비해 평균 약 10.61%의 부호화 비트수를 감소시키는 것을 확인했다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2011-0030822).

참고문헌

- [1] A. Ignatenko and A. Konushin, "A framework for depth image-based modeling and rendering," in *Proc. Graphicon*, pp. 169-172, 2003.
- [2] J. Heo and Y. Ho, "Improved context-based adaptive binary arithmetic coding over H.264/AVC for lossless depth map coding," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 17, no. 10, pp. 835-838, Oct. 2010.
- [3] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "WD4: working draft 4 of high efficiency video coding," JCT-VC Document, F803, Torino, Italy, July 2011.
- [4] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Near lossless coding for screen content," JCT-VC Document, F564, Torino, Italy, July 2011.
- [5] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "CE6.b: report on SDIP harmonization with deblocking, MDIS, MDCS, and HE residual coding," JCT-VC Document, F556, Torino, Italy, July 2011.
- [6] D. Marpe, H. Schwarz, and T. Wiegand, "Context-based adaptive binary arithmetic coding in the H.264/AVC video compression standard," *IEEE Trans. CSVT*, vol. 13, no. 7, pp. 620-636, July 2003.
- [7] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "HM4: HEVC test model 4 encoder description," JCT-VC Document, F802, Torino, Italy, July 2011.