

HEVC 확장 표준 내 Residual DPCM 을 위한 L_1 정규화 기반의 가중 계수 추정 기법

류수경, *강제원

이화여자대학교

*jewonk@ewha.ac.kr

Estimation of Weight Coefficients of Residual DPCM based on L_1 Regularization in HEVC Format Range Extension

Su-Kyung Ryu, *Je-Won Kang

Ewha Womans University

요 약

Residual Differential pulse-code Modulation (RDPCM) 기법은 비디오의 압축을 위한 시간 및 공간 예측 후 남은 잔여신호를 인접 화소를 이용하여 추가적인 중복정보를 제거하는 기법을 의미한다. 본 논문에서는 우선 잔차 신호의 예측을 위하여 인접 화소 사이 선형 가중 합으로 예측 모델을 세우고, 각 가중치를 L_1 정규화를 포함하는 비용함수를 통해 추정함으로써 보다 효율적인 부호화 성능을 제공하는 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

Residual Differential pulse-code Modulation (RDPCM) 기법은 무손실 압축을 위하여 개발된 압축 기법으로 화면 내 예측 후 남은 잔차 화소를 수직 혹은 수평 방향으로 추가적인 예측을 수행하는 기법을 의미한다 [1]. 이후 RDPCM 은 손실 압축에서도 적용이 되었는데, HEVC 확장표준 (HEVC Format Range Extension, REExt)에서는 transform unit (TU)가 변환 생략 (transform skipping) 모드로 부호화할 때 잔차 신호의 RDPCM 을 수행하는 방식이 개발되어 컴퓨터 그래픽스를 포함하는 스크린 콘텐츠 비디오의 압축 등에 효과적으로 사용되었다[2]. 변환 생략 모드는 잔차 신호를 DCT 변환하지 않고 직접 엔트로피 부호화하는 기법으로 객체 경계에서 발생하는 높은 주파수 영역 대의 잔차 성분이 많은 경우 압축에 유용하게 사용할 수 있다. HEVC 확장표준의 RDPCM 은 수평 및 수직 방향의 화면 내 예측 후 같은 방향으로 예측을 수행하는 implicit RDPCM [3] 방식과 화면 간 예측 후 수평 혹은 수직 방향의 RDPCM 을 선택적으로 수행 후 예측방향 정보를 비트스트림을 통해 복호 측으로 전송하는 explicit RDPCM [4] 방식을 이용한다.

본 논문에서는 RDPCM 의 성능을 개선하기 위하여 주위 잔차 성분의 가중 합의 선형 조합을 통해 보다 정확한 예측을 수행하는 기법을 제안한다. 잔차 신호는 원 이미지 신호에 비하여 저주파 대비 보다 많은 고주파 성분을 포함하고 있으므로 인접 화소 사이에 변화량이 상대적으로 크다. 이에 따라 제안 기법에서는 가중값을 얻기 위한 목적함수에 L_1 정규화를 포함하는 목적함수를 세워 보다 안정적인 해를 구할 수 있도록 한다. 제안기법에 의하면 변환 생략 모드 과정에서 엔트로피 부호화를 위한 잔차 성분의 에너지를 감소하여 보다 뛰어난 압축 성능을 제공한다.

2. 제안 기법

제안 기법의 잔차 신호 예측 모델은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$z_{ij} = \begin{cases} r_{ij} - \sum_{k_1, k_2 \in K_A} \alpha_{i-k_1, j-k_2} Q(r_{i-k_1, j-k_2}), & K_A \subset K \\ r_{ij} & , otherwise \end{cases} \quad \dots (1)$$

이 때 z_{ij} 는 잔차신호 예측 후 남은 신호로 2 차 잔차 신호라고 하며 엔트로피 부호화하여 전송한다. k_1 과 k_2 는 예측신호의 위치 인덱스이고, K 는 앞서 부호화를 완료한 인접 영역, 그리고 K_A 는 K 내 RDPCM 을 수행할 수 있는 영역이다. 예컨대 수직 방향의 RDPCM 에서 블록 내 첫 번째 열에 위치하는 화소는 상위 열의 잔차 신호가 이용이 가능하지 않으므로 RDPCM 을 수행하지 않는다. K_A 는 부호화 성능 및 throughput 개선을 위한 병렬처리 등을 고려하여 선택 가능하다. 본 논문에서는 예측 신호의 위치를 좌측 ($r_{i, j-1}$), 상측 ($r_{i-1, j}$), 좌상측 ($r_{i-1, j-1}$), 우상측 ($r_{i-1, j+1}$)을 선택한다. $Q(\cdot)$ 는 양자화 잡음을 포함하는 복원 신호이다.

제안 기법에서는 식(1)의 예측 모델에서 해당 계수를 전송하는 대신 인접 영역의 신호를 이용하여 추정하도록 한다. $r_{i, j}$ 의 인접 영역을 Ω_{ij} 로 정의하고 영역 내 추정에 사용하는 2 차 잔차 샘플을 $z'_{\Omega_{ij}}$ 로 다음과 같이 정의한다.

$$z'_{\Omega_{ij}} = Q(r'_{\Omega_{ij}}) - \sum_{(k_1, k_2) \in K_A} \alpha_{i-k_1, j-k_2} Q(r'_{\Omega_{i-k_1, j-k_2}}) \dots (2)$$

최소화하고자 하는 목적함수를 식(3)과 같이 정의한다.

$$D_{\Omega_i, j} = \sum_{l=1}^{|\Omega_i|} e^{-d(l)} |Q(r_{\Omega_i, j}^l) - \sum_{(k1, k2) \in K_A} \alpha_{i-k1, j-k2} Q(r_{\Omega_i-k1, j-k2}^l)|^2 + \lambda \|\alpha\|$$

... (3)

이 때 식(3)은 추론 영역 내 2 차 잔차신호의 왜곡합 성분과 계수의 개수를 의미하는 L_1 정규화 성분의 합으로 구성됨을 알 수 있다. 왜곡합 성분에서 $d(l)$ 은 현재 샘플 위치와 해당 샘플 위치의 거리로 주위 2 차 잔차신호의 각 왜곡치를 감쇄함수에 따라 다르게 하기 위함이다. 왜곡합 성분만을 최소화 하는 최적화 방법으로는 대표적으로 최소 제곱법이 있고 비교적 간단한 계산량으로 closed-form 의 해를 제공하지만 샘플 데이터 사이에 공선관계가 발생하거나 outlier 가 다수 존재하는 경우 안정적인 해를 제공하기 힘든 측면이 있다. 따라서 제안 기법에서는 계수에 L_1 정규화 성분을 제공하여 식(1)의 선형 모델이 최소선형 모델을 갖도록 한다. 식(3)의 $\|\alpha\|_1$ 은 계수 벡터의 L_1 norm 으로 L_0 norm 인 경우 최적화가 NP-hard 문제가 됨을 막기 위함이다. λ 는 상수 곱이다. 따라서, 식(3)을 만족하는 해 $\alpha^*_{k1, k2}$ 는 다음과 같이 구한다.

$$\alpha^*_{k1, k1} = \arg \min_{\alpha_{k1, k2} \in K_A} D_{\Omega_{ij}} \quad \dots (4)$$

식(4)를 풀기 위한 다양한 최적화 기법이 있다 [5,6]. 본 논문에서는 Least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) [5]를 사용하였다.

3. 실험 결과

본 실험에서는 제안 기법의 성능평가를 위하여 HEVC Format Range Extension 의 스크린 콘텐츠 압축 표준 확장을 위한 참조 코덱인 SCM 4.1 코덱 (screen content coding test model 4.1) [7]을 이용하였다. 제안 기법은 "All intra" 구성으로 모든 비디오 프레임은 I 프레임으로 압축하였다. 테스트 시퀀스는 스크린 콘텐츠 압축 표준에서 활용하는 컴퓨터 합성 비디오 (SCC, 표 1) 이외에도 Kimono 및 Parkscene 과 같이 카메라로 취득한 동영상 (Natural, 표 1) 역시 사용하였다. SCM4.1 의 공통실험환경은 변환 생략 모드가 4x4 TU 에만 적용이 되도록 구성되지만 샘플을 학습하는 제안 기법의 성능 평가를 위하여 변환 생략 모드를 32x32 까지 선택 가능하도록 구성하였다.

표 1 는 제안 기법의 부호화 성능을 보이며 기존 기법 대비 평균적으로 2.5% BD-rate 감소를 보인다. HEVC Format Range Extension 은 손실 압축의 경우 화면 내 예측 후 구한 잔여 신호의 예측에 implicit RDPCM 방식을 사용하므로 표 1 의 부호화 성능은 SCM4.1 의 implicit RDPCM 성능 대비 증가한 성능 향상을 보인다. PCB Layout 과 Layout 과 같이 다양한 방향의 선들이 화면 내 존재하는 경우 기존의 RDPCM 에서 제공하는 수직 혹은 수평 단일 방향의 예측이 어렵다. 그러나 표 1 에 따르면 제안 방식은 임의의 방향을 각 계수의 조합으로 선택하여 효율적인 부호화 성능을 보인다. 반면 Desktop 비디오와 같이 화면 내 평탄한 영역이 많이

존재하거나 카메라로부터 취득한 시퀀스의 경우 변환 생략 모드가 자주 선택이 되지 않기 때문에 제안 기법에 의한 부호화 효율이 가시적으로 나타나지 않았다. 이외에 숫자나 활자 등이 자주 나타나는 전자 문서로 구성된 시퀀스의 경우 3.1~3.6%의 비교적 우수한 부호화 효율을 보인다.

표 1. SCM4.1 대비 제안 알고리즘의 부호화 성능

Test sequence	Resolution (type)	BD-rate saving (%)
PCB Layout	1080p(SCC)	-5.7%
Waveform	1080p(SCC)	-4.4%
Console	1080p(SCC)	-2.0%
Desktop	1080p(SCC)	-0.8%
Realtime Data	1080p(SCC)	-3.1%
Flying graphics	1080p(SCC)	-1.8%
PPT and XLS	720p(SCC)	-3.6%
Video Conf.	720p(SCC)	-3.2%
Kimono	1080p(CC)	0.0%
Parkscene	1080p(CC)	0.1%
Average		-2.5%

5. 결론

본 논문에서는 HEVC Format Range Extension 의 RDPCM 의 부호화 효율을 개선하기 위하여 잔차 신호의 인접 성분으로부터 가중 계수를 유도하고 보다 정확한 예측을 수행하는 기법을 제안하였다. 제안 기법은 잔차 신호의 인접 영역에서 왜곡 값에 L_1 정규화를 이용한 비용함수를 최소화 하도록 계수를 추정한다. 제안 기법은 참조 코덱 SCM4.1 대비 약 2.5%의 부호화 성능 향상을 보였다.

6. 참고문헌

[1] Y. L. Lee, K.H. Han, and G. Sullivan, "Improved lossless intra coding for H.264/AVC," IEEE Trans. Image Processing, 2006.

[2] ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6, " "Joint call for proposals for coding of screen content," " Jan. 2014.

[3] R. Joshj, J. Sole, and M. Karczewicz, "Extension of residual DPCM to lossy coding JCTVC-N0052", July 2013.

[4] M. Nacarri, A. Gabriellini, M. Mrak, S. Blasi and E. Izquierdo, Inter prediction Residual DPCM, JCTVC-M0442, Apr. 2013.

[5] R Tibshirani, Regression shrinkage and selection via the lasso, Journal of the Royal Statistical Society. Series B, 1996

[6] T Hastie, B Efron, Lars: Least angle regression, lasso and forward stagewise, 2007.

[7] SCM 4.1 software, available at: https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/HM-16.6+SCM-4.1