

High bit-depth 를 위한 SIMD 명령어 기반 HEVC 보간 필터 고속화

목정수, 안용조, 류호찬, 심동규
 광운대학교
 {jsmok, yongjoahn, jolie, dgsim}@kw.ac.kr

SIMD instruction-based fast HEVC interpolation filter for high bit-depth

Jung-Soo Mok, Yong-Jo Ahn, Hochan Ryu and Dong-Gyu Sim
 Kwangwoon University

요 약

본 논문은 High bit-depth 를 위한 SIMD (Single Instruction, Multiple Data) 명령어 기반 보간 필터 고속화 방법을 제안한다. 픽셀 연산을 기반으로 하는 보간 필터링은 HEVC 복호화기에서 높은 복잡도를 차지하고 있지만 반복적인 산술연산을 수행하기 때문에 SIMD 를 이용한 고속화에 적합한 구조를 가지고 있다. 이러한 이유로 본 논문에서는 보간 필터 연산에 대하여 SIMD 명령어를 이용하여 메모리를 효율적으로 사용하여 고속화하는 방법을 제안한다. 제안하는 기술은 HEVC 참조 소프트웨어 HM 12.0-RExt 4.1 에 기반을 둔 ANSIC 기반 차체 개발 HEVC REExt 복호화기 소프트웨어에서 평균 8.5%의 복호화 속도향상을 보였으며, 보간 필터의 수행 시간을 평균 24.8% 향상시켰다.

1. 서론

고해상도, 고품질 영상에 대한 요구가 증가함에 따라 ISO/IEC MPEG (Moving Picture Experts Group)과 ITU-T VCEG (Video Coding Experts Group)은 JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding)을 결성하여 기존의 비디오 압축 표준인 H.264/AVC 대비 동일 화질에서 2 배 이상의 부호화 효율을 갖는 차세대 비디오 압축 기술인 HEVC (High Efficiency Video Coding)에 대한 표준화를 진행하였다[1]. 쿼드트리 구조, 다양한 예측 모드 등을 포함한 HEVC 버전 1 표준은 2013 년 1 월에 개발이 완료되어 최종 국제 표준 초안 (FDIS, Final Draft International Standard)이 승인되었다[2]. 또한, 최근 4K-UHD, 8K-UHD 영상에 대한 시장의 수요가 늘어남에 따라, 더 높은 비트 심도와 풍부한 색차 정보 표현을 지원하기 위해 HEVC REExt (range extensions)에 대한 표준화가 진행되었고, 2014 년 7 월 REExt 을 포함한 HEVC 버전 2 표준이 완료되었다. HEVC REExt 은 최대 16 비트 심도의 영상을 지원하며, YUV 4:0:0/4:2:0/4:2:2/4:4:4 색차 샘플링을 지원한다[3].

본 논문에서는 HEVC REExt 실시간 복호화기 고속화 연구의 일환으로 SIMD (Single Instruction, Multiple Data) 명령어 기반의 보간 필터 고속화 방법을 제안한다. SIMD 명령어를 통한 보간 필터 고속화를 위해서는 메모리의 효율적인 사용이 필요하며 특히, 보간 필터의 중간 연산 결과 값에 대한 오버플로우 및 언더플로우에 대한 고려가 필요하다. 본 논문에서는 SIMD 의 확장 명령어 집합인 SSE, SSE2 기반 인트린직 (intrinsic) 함수를 이용하여 코드 레벨 최적화를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 High bit-depth 를 위한 SIMD 명령어 기반의 효율적인 보간 필터 고속화 방법을 제안하고, 3 절에서는 제안하는 기술에 대한 성능 평가 및 분석을 한다. 마지막 4 절에서는 본 논문에 대한 결론 및 향후 연구 진행 방향을 제시한다.

2. SIMD 명령어를 이용한 보간 필터 고속화

본 절에서는 High bit-depth 를 위한 복호화기 고속화를 위하여 제안하는 SIMD 명령어 기반 보간 필터링 최적화 방법을 제안한다. 보간 필터는 화면간 예측에서 보다 정밀한 예측을 통해 압축 성능 향상을 위해 사용되며 정수 화소를 포함하여 부화소 단위로 보간 필터링을 수행한다. 휘도 성분에 대하여 8 탭, 색차 성분에 대해 4 탭 필터를 적용하며 픽셀 기반 연산으로 복호화기에서 높은 복잡도를 차지한다[4]. HEVC 의 보간 필터는 복잡도와 압축 성능을 고려하여 DCT 기반의 1 차원 필터를 사용하며 반복적인 산술연산을 수행하기 때문에 SIMD 명령어를 이용한 고속화 구현에 적합한 구조를 가지고 있다. SIMD 명령어를 통해 10 비트 심도 이상의 픽셀에 대해 보간 필터를 수행하기 위해서는 16 비트의 입/출력이 필요하다. 그림 1 은 수평 방향 보간 필터링 및 수직 방향 필터링을 수행하기 위해 필요한 참조할 복원 픽처의 위치를 나타낸다. 그림 2 와 그림 3 은 수평 방향 보간 필터링과 수직 방향 보간 필터링을 128 비트 레지스터를 이용하여 SIMD 연산 방법을 보여준다. 수평 방향 보간 필터링은 16 비트 입력에 대해 최대 4 개의 입력에 대한 연산을 수행할 수 있으며, 수직 방향 보간 필터링은 최대 8 개의 입력에 대한 연산을 수행할 수 있다. 표 1 은 보간 필터의 계수를 나타낸다.

표 1. 보간 필터의 계수

Position		Filter coefficient
luma	1/4	-1, 4, -10, 58, 17, -5, 1, 0
	2/4	-1, 4, -11, 40, 40, -11, 4, -1
	3/4	0, 1, -5, 17, 58, -10, 4, -1
chroma	1/8	-2, 58, 10, -2
	2/8	-4, 54, 16, -2
	3/8	-6, 46, 28, -4
	4/8	-4, 36, 36, -4
	5/8	-4, 28, 46, -6
	7/8	-2, 10, 58, -2

보간 필터의 계수는 고속 연산을 위해 64 배 업스케일 되어있으며, 보간 필터가 적용되면 원본 영상의 비트 심도로부터 6 비트가 증가한다. 따라서 10 비트 심도 이상의 픽셀에 대한 보간 필터 연산의 중간 값이 16 비트 입력에 대해 오버플로우 혹은 언더플로우가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 32 비트 확장이 필요하며 하위 16 비트의 부호를 판단하여 상위 16 비트를 패딩하여 32 비트 확장을 통해 연산을 수행하여야 한다.

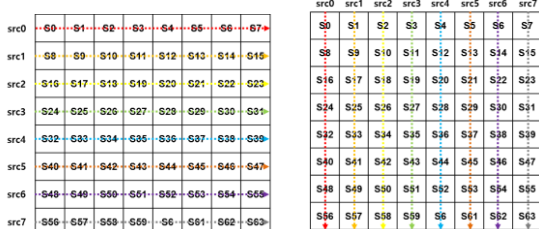


그림 1. 수평 방향 및 수직 방향 보간 필터링에 필요한 정수 화소의 위치

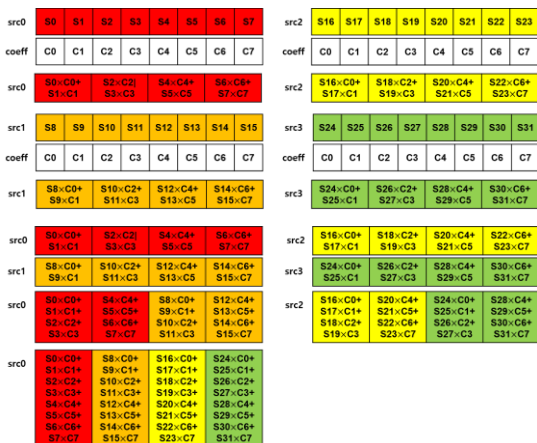


그림 2. 수평 방향에 대한 보간 필터링

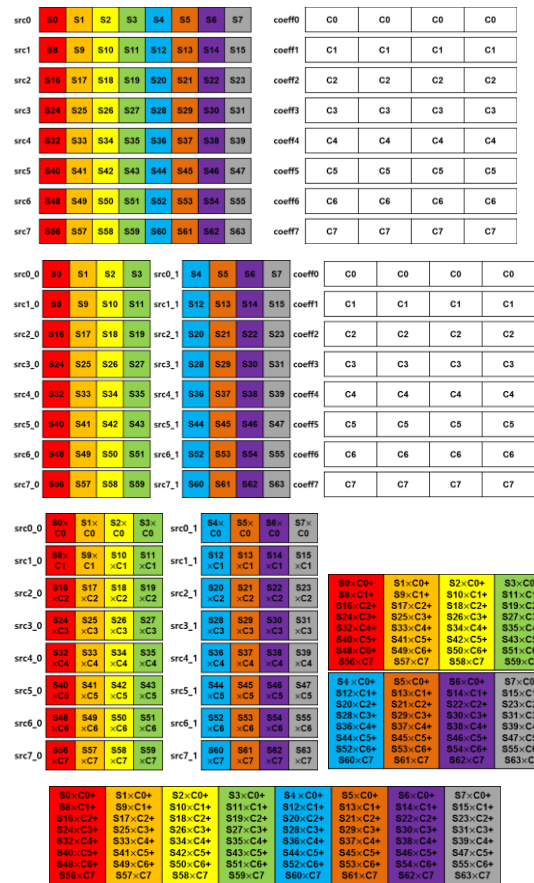


그림 3. 수직 방향에 대한 보간 필터링

3. 실험 결과 및 성능 분석

본 절에서는 제안하는 SIMD 명령어 기반 보간 필터링 최적화를 HEVC 참조 소프트웨어 HM 12.0-RExt 4.1 에 기반을 둔 ANSI C 기반 자체 개발 HEVC RExt 복호화기 소프트웨어에서 측정된 결과를 소개한다. 실험에 사용된 환경은 표 2 와 같다. 사용된 영상은 HEVC RExt 공통 실험 조건으로 YUV 4:2:2 색 샘플링 및 10 비트 심도 영상을 부호화한 비트스트림을 사용하였다[6]. 최적화에 대한 복호화기 성능 향상 비율을 나타내기 위해 수식 (1)의 ATS (Average Time Saving)를 사용하였다. 수식 (1)의 DecTime_{anchor} 은 SIMD 를 적용하기 전의 수행시간이며, DecTime_{prop} 은 SIMD 를 적용한 후의 수행시간이다.

표 2. 실험 환경 및 조건

Component	Description
CPU	Intel Core™ i7 3960X
Clock speed	3.3GHz
Memory	16GB
OS	MS Window 7 64 bits
Compiler	Intel C++ 13.0

$$ATS(\%) = \frac{DecTime_{anchor} - DecTime_{prop}}{DecTime_{anchor}} \times 100(\%) \quad \dots(1)$$

표 2 는 제안하는 방법을 사용하여 복호화기 및 보간필터의 성능을 측정 한 결과로써 복호화 시간의 오차를 줄이기 위해 각각의 비트스트림에 대해 복호화를 10 번씩 반복하여 시간을 측정하였다. 본 논문에서 제안하는 High bit-depth 를 위한 SIMD 명령어 기반의 보간 필터를 구현하였을 때, 전체 복호화 시간을 평균 8.5% 단축 시킬 수 있었다. 또한, 보간 필터의 수행시간은 평균 24.8% 단축 시킬 수 있었다.

표 2. 제안하는 방법을 사용한 복호화기 및 보간필터의 성능

Sequence	Total decoding time	Interpolation decoding time
Kimono	9.2%	27.1%
Seeking	8.3%	24.3%
EBUHorse	7.6%	22.8%
EBUKidSoccer	8.8%	25.1%
Average	8.5%	24.8%

4. 결론

본 논문에서는 High bit-depth 를 위한 복호화기 고속화 연구의 일환으로 SIMD 명령어 기반의 보간 필터 고속화 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 전체 복호화 시간을 평균 8.5% 감소시켰으며, 보간 필터의 수행 속도를 평균 24.8% 감소시켰다. SIMD 명령어를 통한 보간 필터 고속화를 위해서는 메모리 접근에 대한 고려와 MMX, SSE, SSE2 레지스터를 효율적으로 사용해야 한다. 추후에는 AVX2 (Advanced Vector Extensions) 명령어를 이용하여 보다 효율적인 메모리 사용을 통해 HEVC 복호화기 고속화에 대한 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업 [10039199, 인지품질 기반 스케일러블 3D 비디오코덱 핵심 기술 연구] 과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2014-H0301-14-1018)

참고문헌

[1] B. Bross, W.-J. Han, G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, and T. Wiegand, "High Efficiency Video Coding (HEVC) Text Specification Draft 10 (for FDIS & Last Call," document JCTVC-L1003_v34, Geneva, CH, Jan. 2013.

[2] B. Li, G. and G. J. Sullivan, "Comparison of Compression Performance of HEVC Draft 10 with AVC High Profile," JCTVC-M0329, Incheon, Korea, April., 2013.

[3] J. Boyce, J. Chen, Y. Chen, D. Flynn, M. M. Hannuksela, M. Naccari, C. Rosewarne, K. Sharman, J. Sole, G. J. Sullivan, T. Suzuki, G. Tech, Y.-K. Wang, K. Wegner, Y. Ye, "Draft high efficiency video coding (HEVC) version 2, combined format range extensions (RExt), scalability (SHVC), and multi-view (MV-HEVC) extensions," JCTVC-R1013, Sapporo, JP, July, 2014.

[4] 심동규, 조현호, "HEVC 표준 기술의 이해," 홍릉과학출판사, 2014.

[5] 황태진, 안용조, 심동규 "고속 HEVC 부호화기를 위한 보간 필터 최적화 연구," 대한전자공학회 하계학술대회, vol. 36, no. 1, 2013.

[6] D.Flynn, C.Rosewarne "Common test condition and software reference configurations for HEVC range extensions," document JCTVC-L1006_v2, Geneva, Jan. 2013