

SAO 부호화기 통계값 테이블의 면적 축소 방법

배승환, 이혁재, *이채은

서울대학교 전기컴퓨터공학부, 반도체공동연구소, *인하대학교 정보통신공학과
{shbae, hyuk_jae_lee}@capp.snu.ac.kr, *chae.rhee@inha.ac.kr

The Area Reduction for the Statistics Table in an SAO Encoder

Seung Hwan Bae, Hyuk-Jae Lee, *Chae Eun Rhee

Department of Electrical Engineering and Computer Science,
Interuniversity Semiconductor Research Center
Seoul National University*Department of Information and Communication Engineering,
Inha University

요 약

본 논문에서는 하드웨어 기반의 Sample Adaptive Offset (SAO) 부호화기에서 전체 면적 중 상당히 큰 비중을 차지하는 통계값 테이블의 면적을 개선하는 방법을 제안한다. 파이프라인으로 동작하는 통계 계산과 최적 모드 결정 모듈의 통계값 테이블 접근 분석을 통하여 Luma 테이블을 재사용함으로써 Cr 테이블을 제거할 수 있다. 또한 테이블의 bit width 를 가능한 값의 최대 범위가 아닌, 충분히 큰 범위로 제한함으로써 면적을 감소시킬 수 있다. 제안한 방법을 적용했을 때 합성을 통해 예측된 면적이 46% 가량 감소하는 것을 확인하였다.

1. 서론

Sample Adaptive Offset (SAO)는 HEVC 표준에 도입된 인루프 필터의 일종으로 디블러킹(Deblocking) 필터를 거친 화소와 원본 영상과의 차이를 줄여주는 역할을 한다. HEVC 복호화기는 디블러킹 필터에서 얻은 화소(post-DBF)를 분석하여, 부호화기에서 전송된 최적 모드와 일치하는 화소에 오프셋을 더하여 왜곡을 줄인다. SAO에는 크게 Band, Edge 타입이 존재하며 Band에는 32개의 카테고리, Edge에는 방향에 따라 4개의 클래스와 각 클래스마다 4개의 카테고리가 존재한다[1]. SAO 부호화기에서는 모드를 전송하는데 필요한 비트(Rate)와, 해당 모드를 사용함으로써 감소하는 왜곡(Distortion)을 동시에 고려하는 Rate-Distortion Optimization(RDO)를 이용하여 최적의 모드를 결정한다. 기존 연구를 통해 RDO 과정을 빠르게 수행할 수 있는 Fast Distortion Estimation 방법이 제안[1]되었으며, 수식은 다음과 같다.

$$\Delta J = Nh^2 - 2hE + \lambda R \quad (1)$$

수식(1)의 N은 특정 카테고리에 속하는 post-DBF 화소의 개수이며, E는 마찬가지로 특정 카테고리에 속하는 post-DBF 화소와 원본 화소의 차이값의 합계이다. 따라서 SAO 부호화기에는 카테고리 별로 E와 N을 구하는 과정이 필요하다.

본 논문에서는 전체 SAO 부호화기를 구현함에 있어서 수행 시간에 관련된 고려 사항을 살펴보고, 카테고리 별 E와

N을 저장하는 통계값 테이블을 구현했을 때 하드웨어 면적에 관련된 문제점을 설명한다. 그리고 SAO의 왜곡 개선 성능은 거의 그대로 유지하면서도, 통계값 테이블의 면적을 감소시키기 위한 방안을 제안한다.

2. SAO의 통계 계산 모듈

본 논문에서 제안하는 SAO 부호화기는 화소를 처리하여 E와 N을 구하는 통계 계산 단계(Statistics Collection)와 이 정보를 이용하여 RDO를 수행하는 최적 모드 결정 단계(RDO)를 그림 1과 같이 파이프라인으로 구성하였다. 최적 모드 결정 단계는 Band, Edge를 합쳐 총 48개의 카테고리 중 수식(1)의 값이 가장 작은 모드를 선택하는 과정이므로, 수행 시간이 CTU의 크기에 영향을 받지 않는다. 반면 통계 계산 단계는 CTU가 커질수록 수행 시간이 길어진다. 본 논문의 구현은 32x32 CTU를 사용하기 때문에, 그림 1과 같이 통계 계산 단계가 최적 모드 결정 단계보다 오래 걸리게 된다. 그러므로 통계 계산 단계를 최대한 빠르게 수행하는 것이 전체 수행 시간을 단축하는데 중요한 역할을 한다.

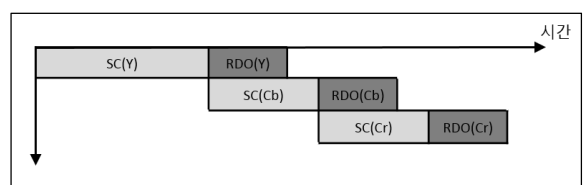


그림 1. SAO 부호화기의 파이프라인

통계 계산 단계에서는 post-DBF 화소가 Band 및 Edge 의 4 개 클래스 각각에 대하여 어느 카테고리에 속하는지 판단한다. 이후 화소 간의 차이 및 개수를 각 카테고리의 E 와 N 에 업데이트해야 한다. 따라서 32 개의 카테고리를 가지는 Band 테이블과, Edge 의 각 클래스 별로 4 개씩의 카테고리를 가지는 Edge 테이블 4 개, 총 5 개의 통계값 테이블이 필요하다. 그림 2 에 통계값 테이블 및 그와 연결된 통계 계산 모듈, 최적 모드 결정 모듈을 나타내었다. 통계 계산 단계에서 각 카테고리의 E 와 N 에 대하여 수행되는 연산은 통계값 누적 연산이다. 카테고리를 주소로 하여 통계값 테이블에서 기존의 E 와 N 을 읽어온 후, 화소 차이값과 1 을 각각 누적하여 다시 같은 주소에 저장해야 한다. 앞에서 설명한 것처럼 통계 계산 단계를 최대한 빠르게 수행하기 위해서는 읽기-더하기-쓰기로 구성된 통계값 누적 연산을 한 사이클마다 처리할 수 있어야 한다. 하드웨어 면적을 줄이기 위하여 SRAM 사용을 고려할 수 있으나 읽기 및 쓰기를 한 사이클에 처리해야 한다는 조건을 만족할 수 없다. 따라서 레지스터 파일을 이용하여 통계값 테이블을 구현하는 것이 적절하다.

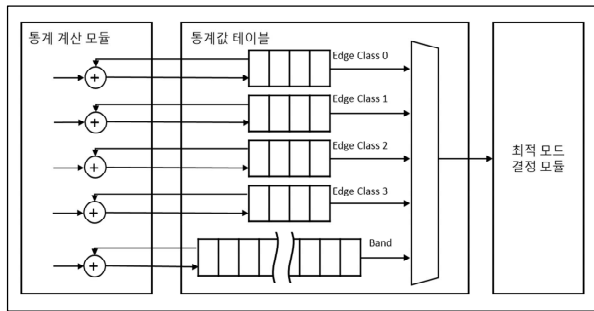


그림 2. 통계값 테이블 및 관련 모듈

통계 계산 단계의 처리 속도를 높이기 위하여 1 사이클에 4 화소를 동시에 처리하는 구조를 가정한다. 이 때, 동시에 처리되는 화소는 모두 다른 카테고리를 가질 수 있다. 이렇게 병렬성이 높은 동작을 지원하는 하드웨어 구조로 두 가지를 생각해 볼 수 있다. 첫째, 4 개의 읽기, 4 개의 쓰기 포트를 가지는 레지스터 파일이 필요하다. 포트가 많아지면 레지스터 파일 크기가 매우 커지게 된다. 또한 모든 화소의 카테고리가 같은 경우도 고려해야 한다. 이와 같은 경우 여러 포트를 통해 같은 주소에 쓰는 것을 방지하기 위해 Arbiter 를 도입할 수 있으나 그만큼 stall 이 발생하기 때문에 수행 시간이 길어지는 문제가 있다. 둘째, stall 없이 사이클 당 처리 속도를 일정하게 유지하기 위해, 동시에 처리하는 화소 수만큼인 4 개의 뱅크를 가지는 레지스터 파일을 사용하고, 최적 모드 결정 모듈이 통계값을 읽는 시점에 뱅크들의 데이터를 더해서 출력하도록 통계값 테이블을 구현할 수 있다. 하지만 4 개의 뱅크를 가지는 테이블을 사용하면 하드웨어 면적이 4 배에 가깝게 커지는 문제가 있다. 각 뱅크의 통계값 범위가 1/4 로 줄어들어도 불구하고, 각 테이블의 bit width 는 1/4 로 줄어드는 것이 아니라 오직 2bit 만 감소하기 때문이다.

3. 제안하는 통계값 테이블의 구조

본 논문에서는 SAO 의 왜곡 개선 성능을 거의 그대로 유지하면서도 통계값 테이블 하드웨어의 면적을 줄이기 위해 두 가지 방법을 제안한다.

첫째는 Y, Cb, Cr 각 성분이 처리되는 시간 차를 이용하여 필요한 통계값 테이블의 수를 줄이는 것이다. 그림 1 의 통계 계산 단계에서는 테이블에 값을 누적하며, 최적 모드 결정 단계에서는 테이블에서 데이터를 읽기만 한다. 그림 1 에서 볼 수 있듯이 Y 와 Cr 성분의 테이블 접근은 겹치지 않기 때문에 Cr 성분을 처리하는 파이프라인 단계에서는 Y 성분의 테이블을 재사용할 수 있다. 이를 통해 Cr 성분을 위한 테이블을 제거함으로써 면적을 32% 가량 줄일 수 있다. 둘째, 통계값 테이블의 bit width 를 E 의 최대값의 범위가 아닌 충분히 큰 값으로 줄인다. 그림 2 에서 보여지는 테이블의 bit width 는 E 와 N 의 최대 범위를 가정하여 설계되어야 한다. 하지만 실제 영상에서는 화면 내, 화면 간 예측이 잘 되기 때문에, 모든 post-DBF 화소와 원본 화소의 차가 최대/최소값인 ± 255 일 확률은 매우 낮다. 실제 영상에서 얻은 그림 3 의 빈도 그래프에서 보듯이 E 의 절대값이 커질 수록 발생 빈도는 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 N 은 최대값의 범위를 사용하고, E 는 충분히 큰 값으로 제한하는 방법을 사용하였다. SAO 오프셋의 범위가 ± 7 임을 감안하여, Luma 의 E 는 12 비트, N 은 9 비트로, Chroma 의 E 는 10 비트, N 은 7 비트로 결정하였다.

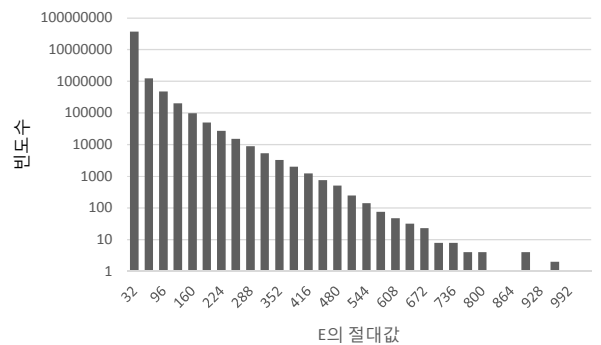


그림 3. E 의 절대값의 빈도(BQTerrace, QP 37)

표 1 에 실험에서 얻은 실제 영상의 E 와 N 최대값을 나타내었다. E 는 절대값의 최대값을 나타내었으며, 영상을 QP 32, 37 로 부호화했을 때 그 중 최대값을 표시하였다. Class B 영상으로는 BQTerrace, BasketballDrive, Cactus, Kimono, ParkScene 이, Class C 영상으로는 BQMall, BasketballDrill, PartyScene, RaceHorses 가 사용되었다. 실험에는 HM 12.0 이 사용되었으며, 각 영상은 Low Delay B 설정을 이용해 100 프레임씩 부호화되었다. 실험 결과 앞에서 bit width 를 벗어나는 값은 관찰되지 않았다. 제안하는 방법은 테이블의 크기를 줄이면서도 E 와 N 이 허용하는 범위를 벗어날 확률을 매우 낮게 할 수 있다.

영상	Luma		Chroma	
	E	N	E	N
Class B(1080p)	719	256	285	64
Class C(832x480)	958	224	331	56
최대값	958	256	331	64

표 1. 실험을 통해 얻은 E, N 의 최대값

표 2 에서는 2 절에서 설명한 4 뱅크 기반의 통계값 테이블, luma 테이블을 재사용했을 경우, bit width 를 줄였을 경우에

대한 하드웨어 면적을 보여준다. 합성 결과 제안하는 기법을 사용하였을 경우 하드웨어의 면적이 46% 가량 감소하는 것을 볼 수 있다.

	4 Bank 기반의 구현	Luma 테이블 재사용	Bit width 축소
면적(Kgates)	153	105	83
비율	100%	68%	54%

표 2. 제안하는 방법의 합성 결과

4. 결론

SAO 부호화 하드웨어의 구성 요소 중 통계값 테이블은 면적 측면에서 상당히 큰 비중을 차지한다. 본 논문에서는 테이블의 하드웨어 면적을 줄이기 위해 두 가지 방법을 제안하여 SAO의 왜곡 개선 성능을 거의 희생하지 않으면서도 하드웨어 면적을 46% 가량 감소시킬 수 있었다. SAO는 주관적인 화질 개선을 목표로 하는 모듈이므로 영상 특성을 고려한 추가적인 하드웨어 구현의 간략화와 최적화가 가능할 것으로 본다.

6. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0301-14-1018)

7. 참고문헌

[1] C. M. Fu et al., "Sample Adaptive Offset in the HEVC Standard," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 22, no. 12, pp. 1755-1764, 2012.