

# MPEG-4 비디오 코덱을 위한 MB 단위 파이프라인 구조의

## 디블록킹 필터 설계

구본태, 엄낙웅

한국전자통신연구원 집적회로연구부

### Macroblock-based Pipeline-structured Deblocking-Filter for MPEG-4 Video Codec

Bontae Koo, Nak-Woong Eum

Advance Micro Electronic Research Department

Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : koobt@etri.re.kr

#### Abstract

본 논문에서는 MPEG-4 디블록킹 필터를 매크로블록 단위의 효율적인 파이프라인 구조를 사용하여 구현하였다. MPEG-4 QCIF/CIF 영상 시퀀스의 디블록킹 필터링 효과를 보일 것이며, 디블록킹 필터링의 많은 계산량을 줄임과 동시에 낮은 클록에서 실시간 처리할 수 있는 구조를 제안하였다. 대부분 블록기반의 비디오 코딩 시스템에서, 블록 에지 효과는 블록기반 영상 압축에 치명적인 화질 저하를 나타낸다. 특히 압축 비율이 커질수록 화질 저하는 뚜렷하다. 그래서, 영상 후처리 기술로서 디블록킹 필터를 사용하여 블록 에지 영향을 줄임으로써 영상 화질을 향상시킨다. 그러나 디블록킹 필터의 주요 단점은 많은 계산량을 요구하고 있어서 구현에 어려움이 있다. 이 문제를 해결하기 위해, MPEG-4 디블록킹 필터를 매크로 블록단위의 파이프라인 구조로 설계하였고, 실시간으로 동작하는 MPEG-4 SP@L2의 비디오 코덱 칩을 구현하였다.

#### I. 서론

대부분의 비디오 압축 표준은 블록단위의 이산 역변환(DCT)을 사용하고 있다. 8x8 블록단위의 DCT 구조는 영상의 공간적인 상관 특성에 장점이 있지만, 블록 에지 효과를 야기하여 압축 비율이 커질수록 화질 저하를 일으킨다. 블록 에지 효과는 블록 경계면을 따라 나타나는 격자 잡음이다. 이 블록 에지 효과를 제거

하기 위해, 블록 경계 필터링, MAP(maximum a posteriori) 알고리즘, 변환영역 필터링등의 다양한 후처리 기술이 제안되었다. 그러나 복잡도, 유용성, 시장성을 고려해 낮은 비트 레이트 비디오 코딩에서도 블록 단위의 코딩을 채택하고 있기 때문에, H.263 이나 MPEG-4 와 같은 낮은 비트 레이트 비디오 코딩에서의 후처리 기술로서, 디블록킹 필터링 기술은 점차 중요시된다. 비디오 코딩에서 이전 프레임의 블록 에지 효과는 현재프레임에 영향을 주며, 움직임 보상에 따라 임의의 위치에서도 그 영향이 나타난다. 그러므로, 단순한 블록 경계 완화 기법으로 블록 에지 효과를 줄일 수 없기 때문에 보다 복잡한 구성이 요구된다. MPEG-4 표준에서 채택한 디블록킹 필터링은 기본 모드와 DC 옵션 모드 영역으로 나누어 복잡한 영역과 평탄영역의 블록 에지 처리를 다르게 하고 있다.[1] 본 논문에서는 MPEG-4 에서 권고 하는 많은 계산량이 요구되는 디블록킹 필터링을 효율적으로 매크로블록 단위의 파이프라인 구조를 사용하여 계산량을 줄이고, 실시간 처리할 수 있도록 구현함으로써 MPEG-4 비디오 코덱의 다른 핵심 모듈과 같이 파이프라인 동작할 수 있도록 하였다.

#### II. MPEG-4 디블록킹 필터링 알고리즘

##### 2.1 개요

MPEG-4 디블록킹 필터링은 수평과 수직 블록경계에 따라 수행된다. 기본적으로 그림 1 에서처럼, 필터링 동작은 비디오 디코더에서 8x8 블록 경계에 따라 수행

된다. 필터링 절차는 모드검출, DC 오프셋 모드 필터링과 기본모드 필터링의 주요 3 개의 기능 동작을 한다. 그림 2 에 MPEG-4 디블록킹 필터링 기능구조를 나타내었다. 디블록킹의 주요기능은 블록경계를 평탄화하는 것이지만, HVS(human visual system)에 의하면 블록 예지효과가 복잡한 영역보다는 평탄한 영역에서 민감하고, 움직임 보상에 의한 블록예지 효과 전달이 평탄영역에서 잘 보이므로 블록 경계뿐만 아니라 블록 내부까지의 강한 평탄화가 필요하다. 한편 복잡한 영역에서는 블록 경계의 화소만으로 블록 효과를 충족시킬수 있지만, 번짐현상이 두드러지므로 적응 필터링이 필요하다.

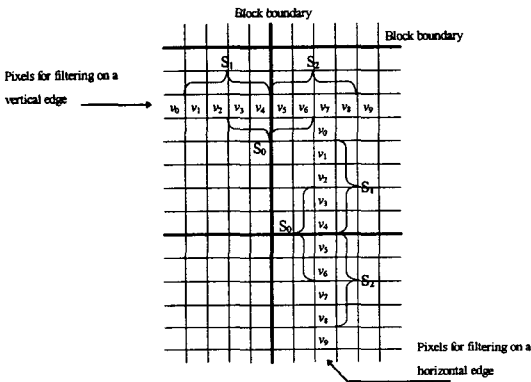


그림 1. 8x8 블록 경계

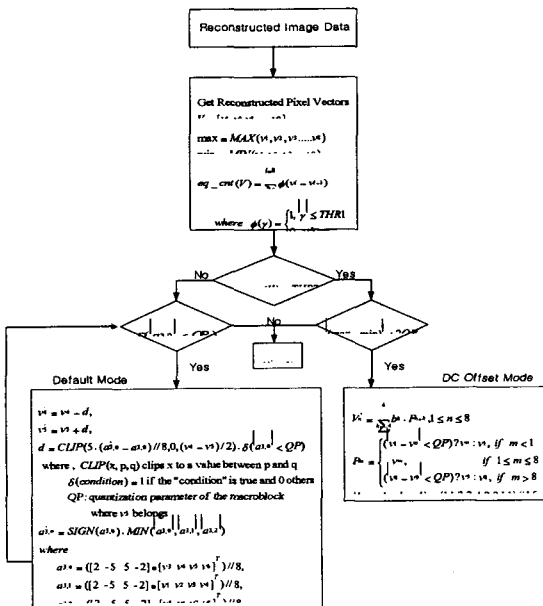


그림 2. MPEG-4 디블록킹 필터링 주요 기능 구조

### 2.2 모드 검출

모드 검출은 평탄 영역과 복잡한 영역 검출인 DC 오프셋모드와 기본 모드를 검출하는 것이다. 모드 검출은 다음 수식으로 이루어진다.

$$eq\_cnt(V) = \sum_{i=0}^{i=8} \phi(v_i - v_{i+1})$$

$$where \quad \phi(\gamma) = \begin{cases} 1, & |\gamma| \leq THR \\ 0, & others \end{cases}$$

$$eq\_cnt(V) \geq THR$$

v 는 블록 경계에있는 1 차원 어레이 화소이고, 두 화소의 차가 THR=2 이하인 개수를 구한다. 화소차가 거의 없다면 eq\_cnt( v ) 은 임계치 THR 보다 큰 값을 얻고, 평탄 영역인 DC 오프셋 모드로 검출된다. 임계치 THR 보다 작다면 복잡한 영역인 기본모드로 판정한다.

### 2.3 기본 모드 필터링

기본 모드 필터링은 복잡한 영역에 적용된다. 이 모드에서, 인접한 화소 어레이 , S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>(그림.1)의 주파수 정보를 사용하여 블록의 불연속 지점에서의 이미지를 선명하게하기 위해 적응형 평탄화 필터링을 수행한다. 기본 모드의 필터링 개념은 경계화소 v<sub>4</sub> 와 v<sub>5</sub> 를 다음 수식에 의해 v'<sub>4</sub> 와 v'<sub>5</sub> 로 대체하는 것이다.

$$v'_4 = v_4 - d,$$

$$v'_5 = v_5 + d,$$

$$d = CLIP(5 \cdot (a_{3,0} - a_{3,0}) // 8, 0, (v_4 - v_5) / 2) \cdot \delta(|a_{3,0}| < QP)$$

$$where, \quad a_{3,0} = SIGN(a_{3,0}) \cdot MIN(|a_{3,0}|, |a_{3,1}|, |a_{3,2}|)$$

$$a_{3,0} = ([2 \ -5 \ -2] \bullet [v_3 \ v_4 \ v_5 \ v_6]T) // 8$$

$$a_{3,1} = ([2 \ -5 \ -2] \bullet [v_1 \ v_2 \ v_3 \ v_4]T) // 8$$

$$a_{3,2} = ([2 \ -5 \ -2] \bullet [v_5 \ v_6 \ v_7 \ v_8]T) // 8$$

블록 경계의 4 화소, { S<sub>0</sub>: v<sub>3</sub>, v<sub>4</sub>, v<sub>5</sub>, v<sub>6</sub> },의 주파수 특성에 따라 두개의 블록 경계 화소인 v<sub>4</sub> 와 v<sub>5</sub> 를 조절한다. 고주파 성분인 a<sub>3,0</sub> 가 블록 예지 효과에 중요한 영향을 미치기 때문에, 적절히 스케일링한 a'<sub>3,0</sub> 를 적용하므로써 공간영역에서의 블록 불연속성을 감소시키는 작용을한다. 주파수 성분 a<sub>3,0</sub>, a<sub>3,1</sub>, a<sub>3,2</sub> 는 근사 DCT 커널 [2 -5 -2]을 사용하여 구한다. 여기서 CLIP(x,p,q)는 x 를 p 와 q 사이의 값으로 클리핑하는 것이고, QP 는 v<sub>3</sub> 가 존재하는 매크로블록의 양자화 파라미터이다.

### 2.4 DC 옵셋 모드 필터링

매우 평탄한 영역에서 기본 모드를 적용하면 DC 옵셋 때문에, 블로킹 에지 효과를 개선하기 어렵다. 따라서 강한 평탄 필터링이 필요하다. 9-탭 필터를 사용하여 블록 경계뿐만 아니라 블록 내부까지 적용한다. 실제의 에지 영역까지 평탄화하는 것을 방지하기 위해 화소의 최대,최소차가 2QP 보다 크면, 필터링을 수행하지 않는다. DC 옵셋 모드의 필터링 수식은 다음과 같다.

$$\max = \text{MAX}(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8),$$

$$\min = \text{MIN}(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8),$$

if ( |max-min| < 2·QP ) {

$$v'_n = \sum_{k=-4}^4 b_k \cdot p_{n+k}, 1 \leq n \leq 8$$

$$p_m = \begin{cases} (v_1 - v_0 < QP) ? v_0 : v_1, & \text{if } m < 1 \\ v_m, & \text{if } 1 \leq m \leq 8 \\ (v_8 - v_9 < QP) ? v_9 : v_8, & \text{if } m > 8 \end{cases}$$

$$\{b_k : -4 \leq k \leq 4\} = \{1, 1, 2, 2, 4, 2, 2, 1, 1\} // 16$$

}

b(k)는 필터 계수이고, 블록 경계를 중심으로 4 화소씩에 대해서 필터링을 수행한다.

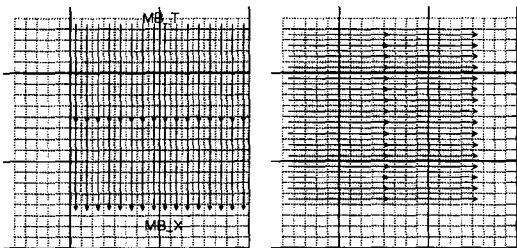


그림 4. a) 수평 에지 필터링 b) 수직 에지 필터링

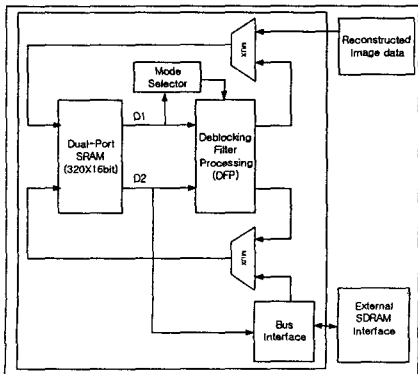


그림 5 제안된 더블블록킹 필터 구조의 블록도

### III. MB 단위 파이프라인 구조의 더블블록킹 필터 구조

그림 4는 매크로블록 단위의 수평 에지 필터링과 수직 에지 필터링에 관한 도식적 그림이다. 제안된 더블블록킹 필터 구조를 그림 5에 나타내었다. 매크로블록단위로 저장하는 320x16bit DPRAM, 모드검출기, 수평 및 수직 에지 필터링을 수행하는 더블블록킹 필터 프로세서(DFP), 외부 메모리와 연결하는 버스인터페이스로 구성된다. 제안된 더블블록킹 필터구조는 기존의 프레임단위의 수평 에지 필터링후의 수직 에지 필터링을 하는대신에, 매크로블록 단위의 파이프라인 구조의 필터링을 하므로써 실시간으로 동작 가능하도록 하였다. 제안한 더블블록킹 필터링은 4:2:0의 휘도 성분에 대해서만 수행하였다.

#### 3.1 DPRAM

DPRAM은 4:2:0의 매크로블록 단위의 복원된 영상을 저장하고 있으며, 휘도 성분(Y)의 더블블록킹 필터링 처리를위한 버퍼 역할을 한다. DPRAM의 메모리 맵은 그림 6과 같다.

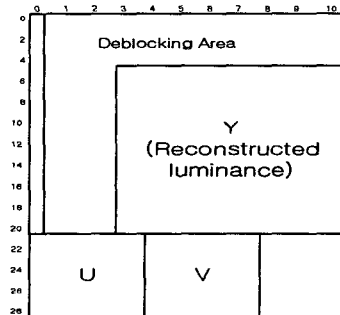


그림 6 Dual-port SRAM 메모리 맵

#### 3.2 모드 검출기

MS는 모드 검출 모듈로서 2개의 인접 화소값의 차이를 계산하고, 임계치(THR1) 값과 비교한다. 화소값 차이가 임계치보다 크면 결정 카운터가 증가하여 기본 모드와 DC 옵셋 모드를 판정을 한다.

#### 3.3 DFP

DFP는 더블블록킹 필터 프로세서로서 그림 7에 코어 모듈을 나타냈다. 기본 모드에서의 고주파 성분을 계산하는 DCT 계산과정과 DC 옵셋 모드에서의 9-탭 평탄화

필터 연산과정을 시프트 연산과 덧셈, 뺄셈 연산으로 처리하는 MAC 모듈, 각각 기본 모드와 DC 옵셋 모드 의 대치될 화소값 계산 과정이있다.

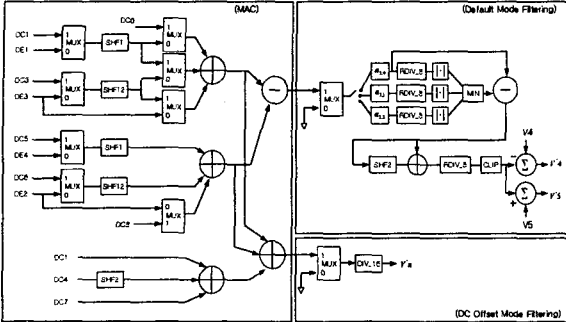


그림 7 더블록킹 필터 프로세서 코어 모듈

### 3.4 더블록킹 필터링 동작 순서

MPEG-4 에서 제안한 더블록킹 필터링은 프레임 단위로 수평 에지 필터링을 먼저 수행하고, 수직 에지 방향 필터링을 수행하게 되어있다. 그런데 제안된 더블록킹 필터링에서는 프레임단위가 아닌 매크로블록 단위로 처리한다. 매크로블록 단위의 더블록킹 필터링 순서는 다음과 같다.

- ① 매크로블록 단위의 복원된 영상이 DPRAM 에 저장되고, 외부 메모리로 복원된 영상을 전송한다.
- ② 더블록킹이 ON 되면, 복원된 MB 의 상위 16 화소의 5 라인을 외부메모리에서 DPRAM 으로 읽어온다.
- ③ DPRAM 의 D1 포트를 통해 블록경계의 인접 화소를 읽어 모드검출을 수행한다.
- ④먼저 수평에지 필터링을 위해서, 상위 5 라인과 더불어 복원된 휘도(Y)영상을 DFP 모듈로 차례로 읽어 들여 수평 에지 필터링을 매크로단위로 수행하고 수행 결과 화소를 다시 DPRAM 에 저장한다.
- ⑤수평에지 필터링으로 처리된 화소와 더불어 MB 단위의 휘도(Y) 영상을 DFP 모듈로 읽어들여 수직 에지 필터링을 수행하고 결과 화소를 DPRAM 의 해당 화소와 대치한다.
- ⑥ 수직 필터링이 끝나면, DPRAM 의 더블록킹된 MB 영상을 외부 SDRAM 에 전송한다.
- ⑦ 다음 필터링을 위해서, 우측 5 열의 데이터를 DPRAM 의 좌측으로 복사한다.
- ⑧ 매크로블록단위로 반복 동작

## IV. 실험결과

실험에 다양한 비디오 시퀀스 (Akiyo, Carphone, clair, forman...)를 사용하였고, 그림 8 에 MPEG-4 비디오 시퀀스에 따른 더블록킹 성능 비교를 하였다. 더블록킹 필터 처리는 낮은 비트레이트 코딩일수록 성능 향상이 두드러짐을 알수있다. 시각적으로 필터링을 했을때가 필터링을 하지않을때에 비해 3dB 정도이상의 효과 있음을 보았다.

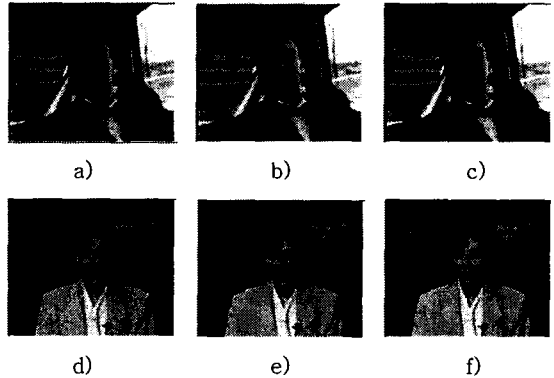


그림 8 MPEG-4 비디오 시퀀스에 따른 화질 비교 (Carphone 1th-frame, QP=15) a) No Filtering at 10kbps b) Filtering at 10kbps c) Filtering at 64kbps, (Akiyo 11<sup>th</sup>-frame, QP=15) d) No filtering at 10kbps e) deblocking filter at 10kbps f) deblocking filter at 64kbps

## V. 결론

MPEG-4 는 낮은 비트레이트 코딩을 하므로, 단순한 평탄화가 아닌 복잡한 형태의 더블록킹 필터링을 요구하게되었고, 제안된 매크로블록 단위의 파이프라인 구조의 더블록킹 필터를 사용하여 실시간으로 MPEG-4 비디오 코덱을 처리할 수 있도록 하였다.

## 참고문헌

- [1] International Standard ISO/IEC 14496-2 Part 2 – Visual Annex F.3.1 Deblocking filter
- [2] Sungdeuk Kim and Jaeyoun Yi, et al."A Deblocking filter with two separate modes in block-based video coding",IEEE Trans. On Circuits and Systems for video technology,vol.9,No.1, Feb. 1999