

논문 2012-49SP-1-7

# 비디오 압축을 위한 선택적인 보간 필터

## ( Selective Interpolation Filter for Video Coding )

남정학\*, 조현호\*, 심동규\*\*, 이수연\*\*

( Jung-Hak Nam, Hyun-Ho Jo, Dong-Gyu Sim, and Soo-Youn Lee )

### 요약

H.264/AVC 표준의 제정 이후에도 ITU-T VCEG에서는 KTA 소프트웨어를 바탕으로 부호화 효율을 향상시키기 위해 유망한 비디오 압축 기술들을 계속 연구해 왔다. 최근에는 ISO/IEC MPEG과 ITU-T VCEG은 공동으로 JCT-VC를 결성하여 H.264/AVC 대비 두 배 높은 차세대 영상 압축 표준인 HEVC를 진행 중에 있다. 다양한 차세대 부호화 기술 중에 움직임 예측을 위한 적응적 영상 보간 기술은 높은 부호화 성능을 보이지만, 많은 계산량과 다양한 영상에 대한 에러 특성을 반영하지 못하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 영상에 따른 보간 필터의 특성을 파악하고, 이를 기반으로 다양한 에러 특성을 반영하는 효과적인 고정 보간 필터 뱅크를 제안한다. 실험 결과, 제안하는 방법은 KTA의 고정 방향성 보간 필터(FDIF)와 HEVC의 방향성 보간 필터(DIF) 대비 각각 0.7%와 1.3%의 부호화성능 향상을 얻었다.

### Abstract

Even after establishment of H.264/AVC standard, the video coding experts group (VCEG) of ITU-T has researched on development of promising coding techniques to increase coding efficiency based on the key technology area (KTA) software. Recently, the joint collaboration team video coding (JCT-VC) which was composed of the VCEG and the motion picture experts group (MPEG) of ISO/IEC is developing a next-generation video standard namely HEVC intended to gain twice efficiency than H.264/AVC. An adaptive interpolation technique, one of various next-generation techniques, reported higher coding efficiency. However, it has high computational complexity and does not deal with various error characteristics for videos. In this paper, we investigate characteristics of interpolation filters and propose an effective fixed interpolation filter bank including diverse properties of error. Experimental results is shown that the proposed method achieved bitrate reduction by 0.7% and 1.3% compared to fixed directional interpolation filter (FDIF) of the KTA and the directional interpolation filter (DIF) of the HEVC test model, respectively.

**Keywords :** AIF, H.264/AVC, HEVC, KTA

## I. 서론

H.264/AVC는 지난 2003년에 ISO/IEC의 MPEG (Motion picture experts group)과 ITU-T의 VCEG (Video coding experts group)이 함께한 JVT (Joint video team)에 의해서 개발되었고, 기존의 압축 표준에

비해 2배 이상의 높은 부호화 성능을 얻었다<sup>[1-3]</sup>. 하지만 VCEG에서는 이에 그치지 않고, H.264/AVC보다 우수한 압축 기술에 대한 연구를 위하여 2005년부터 KTA (Key technical area) 소프트웨어를 개발하기 시작하였다. KTA 소프트웨어는 효율적인 움직임 벡터 부호화를 위하여 예측 움직임 벡터에 대한 후보를 구성하고, 최적의 예측 움직임 벡터를 부호화하는 움직임 벡터 경쟁 기술 (MVC), 균등한 양자화기를 사용하는 대신에 주파수의 위치에 따라 적응적인 양자화 매트릭스를 선택하는 기술 (AQMS), 움직임 예측의 성능 향상을 위해서 참조 영상을 현재 영상과의 에러를 최소화하는 보간 필터를 적용하는 적응적인 보간 필터 기술

\* 학생회원, \*\* 정회원 광운대학교 컴퓨터공학과  
(Dept. of Computer Engineering,  
Kwangwoon University)

※ 이 논문은 2010년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

접수일자: 2011년2월11일, 수정완료일: 2011년9월10일

(AIF), 복호화된 영상에 대해서 원본 영상과의 평균 자승 에러 (MSE)를 최소화 하는 위너 필터 기반의 블록 기반 적응적인 루프 필터 기술 (BALF), 인트라 모드의 방향에 따른 변환부호화를 사용하는 기술 (MDDT), 주파수 영역의 양자화와 영상 영역의 양자화를 비트-율 왜곡 관점에서 최적의 양자화를 선택적으로 사용하는 적응적인 공간 영역 변환 부호화 기술 (APEC) 등을 통하여 많은 부호화 효율을 얻었다<sup>[4~8]</sup>.

이러한 기술들 중에 적응적 보간 필터는 기존의 6-탭 고정 필터를 사용하는 H.264/AVC의 움직임 예측 성능을 향상시켜 높은 부호화 성능을 보였으며, KTA 소프트웨어에 포함된 적응적 보간 필터 기술로는 2D-비분리 적응적 보간 필터 (2D non-separable AIF), 분리 적응적 보간 필터 (Separable AIF), 방향성 적응적 보간 필터 (Directional AIF), 향상된 적응 보간 필터 (Enhanced AIF), 향상된 방향성 보간 필터 (Enhanced directional AIF) 등이 있다<sup>[9~16]</sup>. 적응적 보간 필터 기술은 이전에 복원된 참조 영상과 현재 부호화 하려는 영상간의 에러를 최소화하는 필터 계수를 구하고, 이를 프레임 단위에서 보내주는 것이다. 2D-비분리 적응적 보간 필터 [10]는 2D 형태의 필터 계수를 높은 부호화 성능을 보이지만 많은 필터 계수와 높은 계산량이 요구된다. 분리 가능한 적응적 보간 필터 [11]는 수평 방향과 수직 방향으로 1D 형태로 필터 계수를 구하는 방법으로 성능은 2D-비분리 적응적 보간 필터와 유사하면서 복잡도를 크게 줄였다. 방향성 적응적 보간 필터 [12]는 영상에 포함된 수평 또는 수직 방향 이외의 대각선 방향 성분을 고려한 적응적 필터 계수를 포함하는 기술이다. 향상된 적응 보간 필터 [13]는 필터 계수를 구할 때 사용되는 화수의 수를 현재 화소의 주변 6×6 블록을 사용하는 대신에 현재 화소 주위의 12개 화소만을 사용하는 방법을 사용과 밝기 값 변화를 보상하기 위한 오프셋 값을 고려하였다. 향상된 방향성 보간 필터 [16]는 방향성 보간 필터와 함께 정수 화소와 각 부화소 위치마다 오프셋을 적용하여 밝기 값 변화를 보정하여 향상된 부호화 성능을 얻는 기술이다. 하지만, 이러한 적응적 부호화 방법 들은 공통적으로 부호화 과정을 반복적으로 수행하여 적응적 보간 필터 계수를 구하기 때문에 부호화 복잡도가 크게 증가하였다. 또한, 필터 계수는 실수 형태를 가지기 때문에 영상 복호화 시 움직임 보상에 걸리는 시간이 크게 증가하는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하고자, 최근

에는 적응적 보간 필터를 구하는 않고, 고정적인 보간 필터를 사용하는 방법에 대한 연구가 있었다. 즉, KTA에 고정 필터로 고정밀도 필터 (High precision filter)와 고정 방향성 보간 필터 (Fixed-directional IF) 등이 포함되어 있다. 고정밀도 필터는 기존의 H.264/AVC 표준 6-탭 필터의 연산 정밀도를 높여 부호화 효율을 높이는 기술이고, 고정 방향성 보간 필터는 방향성 및 오프셋을 고려한 고정 필터를 사용하는 기술이다. 프레임마다 적응적인 보간 필터를 구하는 방법은 부호화 효율이 높지만 계산량이 복잡하고, 고정 보간 필터 방법은 계산은 간단하지만 부호화 효율이 높지 않은 단점이 있다<sup>[17]</sup>. 또한, 필터 계수가 고정적이어서 다양한 영상 특성을 반영하지 못한다. 이에 본 논문에서는 영상 특성을 고려하여 고정 보간 필터를 프레임 단위로 선택하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 고정 보간 필터와 영상에 따른 보간 필터 특성을 분석한다. III장에서 제안하는 프레임 단위의 선택적 고정 보간 필터를 소개한다. IV장에서는 실험 결과를 분석하며, V장에서 결론을 맺는다.

## II. 보간 필터의 특성 분석

일반적으로 보간 필터는 부화소 단위의 움직임을 가지는 영상, 방향성 경계를 가지는 영상, 조명 변화를 가지는 영상, 그리고 뭉뚱화된 영상에 대해서 효과적이라고 알려져 있다. 기존의 H.264/AVC는 부화소 단위의 움직임을 가지는 영상에 대해서 부호화 효율을 높이기 위한 1/4 화소 단위의 정밀도를 가지는 부화소를 생성하였다. 즉, 정수 화소들 사이에 선형 보간을 통하여 정수 화소 사이의 부화소들을 생성하였다. 하지만 자연 영상 안에는 영상 움직임이 빠른 경우, 카메라 초점 변화에 의한 영상 뭉뚱화 현상이 나타나는 경우, 영상에 방향성의 경계를 많이 포함하고 있는 경우에는 기존의 보간 필터의 영상 보간 방법이 좋은 성능을 보이지 못한다. 또한, 조명 변화가 발생하는 경우에는 보간 필터에 의해서 보상이 잘 되지 않는다. KTA의 고정 방향성 보간 필터는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 필터 특성을 가지도록 설계되었다. 또한, 최근 MPEG의 JCT-VC (joint collaborative team on video coding)에서 표준화를 진행 중에 있는 HEVC (high efficiency video coding)의 LC (low complexity) 모드에서도 방향

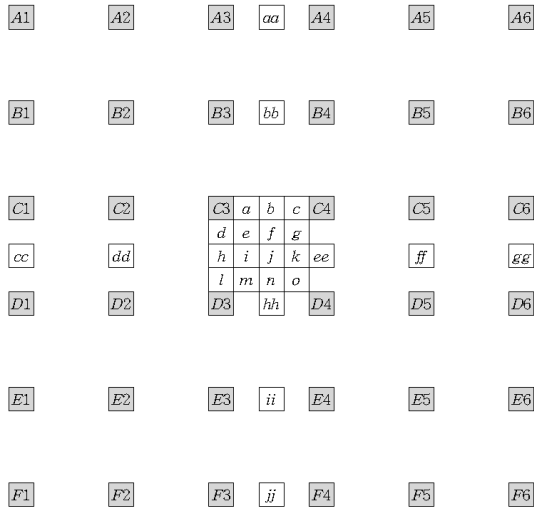


그림 1. 영상 보간을 위한 정수 화소와 부화소의 위치  
Fig. 1. Position of integer-pixels and sub-pixels for the interpolation.

성 보간 필터를 사용하고 있다. 이 장에서는 기존의 방향성 보간 필터에 대한 필터 구성을 살펴보고, 각 영상에 따른 보간 필터의 특성을 파악한다.

### 1. KTA의 고정 방향성 보간 필터 (FDIF) 방법

고정 방향성 보간 필터는 적응적 방향성 보간 필터와 유사하게 방향성을 고려하지만, 적응적으로 필터 계수를 구하여 전송하지는 않는다. 즉, 다양한 실험 영상을 통하여 미리 구한 고정적인 필터 계수를 이용하여 영상을 보간 하게 된다. 고정 방향성 보간 필터는 방향성의 고려 외에 강한 필터링(Strong filter position)과 DC 오프셋(Local DC offset) 등의 두 가지 특성을 가지고 있다. 그림 1은 보간 하려는 현재 화소와 주변 화소의 위치 관계를 보여 준다.

식 (1)부터 식 (3)까지는 KTA의 고정 방향 보간 필터에서 사용하는 필터 계수를 나타낸다.

$$f1 = \{ 3, -15, 111, 37, -10, 2 \} / 128 \quad (1)$$

$$f2 = \{ 3, -17, 78, 78, -17, 3 \} / 128 \quad (2)$$

$$f3 = \{ 2, -10, 37, 111, -15, 3 \} / 128 \quad (3)$$

부화소  $a, b, c$ 는 수평 방향의  $C1, C2, C3, C4, C5, C6$  위치의 정수 화소를 이용하며, 각자의 위치에 따라 필터  $f1, f2, f3$ 로 수행한다. 부화소  $d, h, l$ 은 수직 방향의  $A3, B3, C3, D3, E3, F3$  위치의 정수 화소를 이용하여 필터  $f1, f2, f3$ 로 보간된다. 나머지 부화소 위치의 값

은 방향성을 고려하여 영상 보간을 수행하는데,  $e1, j1, o1$ 은  $A1, B2, C3, D4, E5, F6$  위치에 대해 필터  $f1, f2, f3$ 를 적용하고, 이와 반대로  $g2, j2, m2$ 는  $A6, B5, C4, D3, E2, F1$  위치에 대해 필터  $f1, f2, f3$ 를 적용한다. 8개의 부화소 위치에 대한 보간식은 식 (4)부터 식 (11)과 같다.

$$e = (e1 + 128 + 64) \gg 7 \quad (4)$$

$$f = (e1 + g2 + 128) \gg 8 \quad (5)$$

$$i = (e1 + m2 + 128) \gg 8 \quad (6)$$

$$j = (j1 + j2 + 128) \gg 8 \quad (7)$$

$$k = (g2 + o1 + 128) \gg 8 \quad (8)$$

$$m = (m2 - 128 + 64) \gg 7 \quad (9)$$

$$n = (m2 + o1 + 128) \gg 8 \quad (10)$$

$$o = (o1 + 64) \gg 7 \quad (11)$$

부화소  $f, i, j, k, n$ 은 두 개의 방향성 필터에 대한 쌍선형 보간법 (Bilinear interpolation)을 이용하려 얻는다. 부화소  $e, m$ 은 지역적 DC 오프셋을 보정하는 기능을 수행한다. 즉, H.264/AVC의 가중치 예측 기술 (weighted prediction)과 같은 기능을 제공한다. 위에서 언급하지 않는 부화소  $g$  위치는 강한 필터링 위치로써, 2D 형태의 필터를 적용한다. 강한 필터링을 위한 필터 계수는 식 (12)와 같다.

$$f0 = \{ \{ 0, 5, 5, 0 \}, \{ 5, 22, 22, 5 \}, \{ 5, 22, 22, 5 \}, \{ 0, 5, 5, 0 \} \} / 128 \quad (12)$$

부화소  $g$ 는  $f0$  필터와 현재 화소의 주변 16개 정수 화소를 이용하여 보간을 수행하며, 보간식은 식 (13)과 같다.

$$g = (( 0 \times B2 + 5 \times B3 + 5 \times B4 + 0 \times B5 + 5 \times C2 + 22 \times C3 + 22 \times C4 + 5 \times C5 + 5 \times D2 + 22 \times D3 + 22 \times D4 + 5 \times D5 + 0 \times E2 + 5 \times E3 + 5 \times E4 + 0 \times E5) + 64) \gg 7 \quad (13)$$

그림 2는 방향성 필터와 부화소  $g$ 를 위한 강한 필터에 대해서 주파수 응답 보여준다. 강한 필터는 주파수 통과 대역이 방향성 필터보다 좁게 분포하여 저주파 성분만을 통과하는 특성을 가진다.

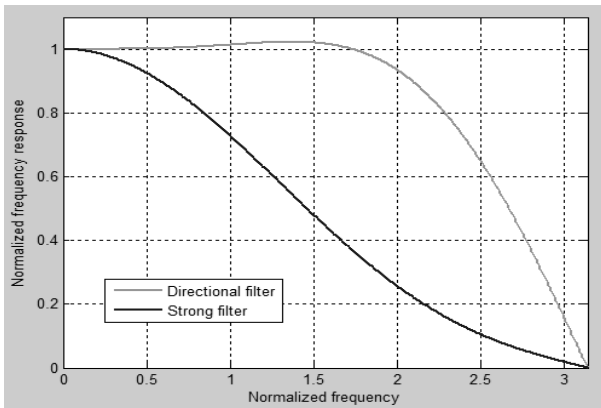


그림 2. KTA 강한 필터의 주파수 응답  
Fig. 2. Frequency response of KTA strong filter.

2. HEVC의 방향성 보간 필터 (DIF) 방법

HEVC 표준화 과정의 참조 소프트웨어인 HM1.0 (HEVC test model)에 있는 방향성 보간 필터는 KTA에 있는 고정 방향성 보간 필터를 기반으로 설계되었다<sup>[18]</sup>. 식(1)~식(3)까지의 필터 계수를 동일하게 사용하며, 수평 및 수직 방향 필터, 방향성 필터 및 강한 필터의 특성을 포함하고 있다. 하지만 KTA의 고정 방향성 보간 필터에 있던 오프셋 필터는 제외되었다. 수평 및 수직 방향 필터 ( $a, b, c, d, h, l$ )의 보간식과 부화소  $f, i, k, n, o$  위치의 보간식은 KTA의 고정 방향성 보간 필터와 동일한 보간식을 사용한다. 나머지 부화소 위치에 따른 보간 식은 다음과 같다.

$$e = (e1 + 64) \gg 7 \tag{14}$$

$$g = (g2 + 64) \gg 7 \tag{15}$$

$$m = (m2 + 64) \gg 7 \tag{16}$$

부화소  $e, m$  위치는 앞에서 언급한 바와 같이 이전에 존재하던 오프셋이 제외되었으며,  $g$  위치에 있던 강한 필터는 동일한 계수 값을 가지고 부화소  $j$  위치로 이동되었다.

$$j = ((0 \times B2 + 5 \times B3 + 5 \times B4 + 0 \times B5 + 5 \times C2 + 22 \times C3 + 22 \times C4 + 5 \times C5 + 5 \times D2 + 22 \times D3 + 22 \times D4 + 5 \times D5 + 0 \times E2 + 5 \times E3 + 5 \times E4 + 0 \times E5) + 64) \gg 7 \tag{17}$$

3. 보간 필터의 특성 분석

각 영상에 대해서 필터의 선택 분포를 확인하기 위하

표 1. 필터 그룹 분류

Table 1. Classification of filter group.

그룹	필터 특성	부화소 위치
1	수평 및 수직 방향	$a, b, c, d, h, l$
2	방향성	$f, i, j, k, n, o$
3	오프셋 필터	$e, m$
4	강한 필터	$g$

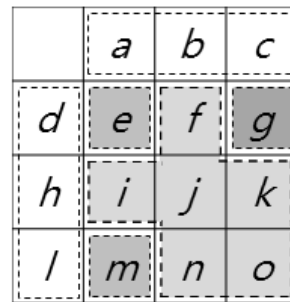


그림 3. 부화소 위치에 따른 필터 분류  
Fig. 3. Filter classification of sub-pixel.

표 2. 실험 조건

Table 2. Experimental condition.

파라미터	설정 값
QP	I=22, 27, 32, 37, P=I+1
GOP 구조	IPPP 구조
RDO	켜기
엔트로피 부호화	CABAC

여 KTA의 고정 방향성 필터의 특성에 따라 크게 네 개의 그룹으로 분류하였다. 표 1은 각 필터 그룹의 특성과 각 그룹에 대응되는 부화소 위치를 보여준다.

KTA의 고정 방향성 보간 필터에서 그룹 1에 해당하는 부화소  $\{a, b, c, d, h, l\}$ 들은 수평이나 수직 방향으로 부화소 단위의 움직임은 가지는 영상을 위한 필터이다. 그룹 2는 부화소  $\{f, i, j, k, n, o\}$ 로 구성되며, 방향성 경계를 가지는 영상을 위한 필터이다. 그룹 3은 부화소  $\{e, m\}$ 이며, 영상에서 조명 변화가 발생하여 밝기 값이 변화는 경우의 움직임 보상위해서 오프셋을 추가하는 필터이며, 그룹 4는 부화소  $\{g\}$  위치이고 영상의 뭉뚱화가 발생한 영상에 대한 효과적인 필터이다.

그림 3은 부화소 위치에 따른 필터를 분류를 보여준다. 각 실험 영상에 대해서 위에서 분류한 부화소 필터 그룹에 대해서 선택 비율을 알아본다.

표 3. 영상에 따른 필터 그룹 선택 비율

Table 3. Selection ratio of filter group according to sequences.

	WVGA(%)				WQVGA(%)				720p(%)				평균 (%)
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
정수	56.2	58.0	22.5	8.2	72.0	31.2	19.6	9.8	25.7	40.6	19.3	68.8	35.1
그룹 1	3.8	3.8	8.6	6.4	3.1	8.8	7.5	6.7	7.2	3.4	6.1	2.7	5.7
그룹 2	1.4	2.0	2.4	5.3	1.0	2.0	3.6	5.4	4.3	3.2	4.1	1.0	3.0
그룹 3	3.8	2.1	3.8	6.3	1.0	1.8	4.9	5.5	2.1	8.0	2.1	3.1	3.7
그룹 4	4.7	3.0	3.8	9.3	1.0	0.2	3.7	6.8	1.1	3.5	15.7	3.1	4.7

표 2는 부화소 본 논문의 공통적인 실험 조건을 보여 준다. 실험 영상은 표준화 단체에서 권고하는 HD급 영상과 HEVC에서 사용하는 WVGA 및 WQVGA 영상을 각각 4개씩 사용하였다<sup>[19]</sup>. High 프로파일 환경에서 실험하였다.

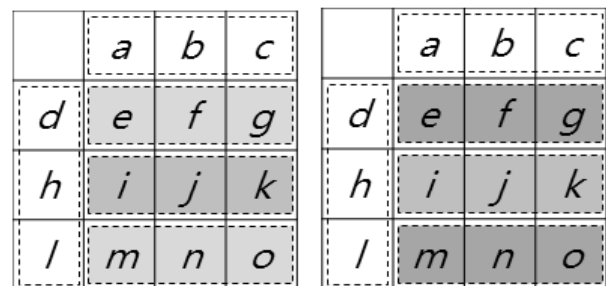
표 3은 각 실험 영상에 대해서 정수 화소 및 필터 그룹의 선택 비율을 보여준다.

각 그룹에 대한 선택 비율은 하나의 부화소 위치에 대한 평균 선택 비율을 의미한다. 대부분의 영상에서 정수 화소의 위치가 가장 많이 선택되었고, 부화소 필터 그룹들 중에서는 그룹 1 > 그룹 4 > 그룹 3 > 그룹 2의 순서로 선택되었다. 영상에 따라 부화소에 대한 선택 비율은 달라지며, 일반적으로는 영상에서 수평 방향 또는 수직 방향의 부화소를 이용한 움직임 보상이 가장 많이 발생하였다. 반면, 부화소 중에서 많은 위치 분포하고 있는 방향성 기반의 움직임 보상 필터는 가장 적게 선택되는 결과를 보였다. 그리고 QP가 높아짐에 따라 영상의 몽롱화 및 블록킹 (blocking) 열화가 심하기 때문에 이를 제거할 수 있는 강한 필터링이 많이 선택되었다. 오프셋 필터의 경우에도 많은 영상에서 조명 변화를 보상하기 위해서 적지 않은 비율로 사용되었다. 즉, KTA에 있는 고정 방향성 보간 필터 (FDIF) 및 HEVC의 방향성 보간 필터는 부화소의 위치에 다수의 방향성 필터를 포함하고 있으나, 실험한 대부분의 영상에서는 방향성 필터가 별로 사용되지 않는 결과를 보였다. 본 절에서 실험한 보간 필터의 선택 분포를 바탕으로 보간 필터에 대한 재구성이 필요하다.

### III. 제안하는 방법

앞 장에서 살펴본 바와 같이, 부호화된 영상에는 다

양한 종류의 에러가 포함되어 있고 기존의 보간 필터에서는 단일 필터 세트를 이용하여 모든 종류의 에러를 보상하려고 하였다. 하지만 영상에 포함된 텍스처의 특성과 양자화 파라미터에 따라 주요한 에러가 다르며, 모든 에러가 동시에 발생하지는 않는다. 또한, 기존의 방향성 기반 보간 필터들은 다수의 방향성 필터를 사용하고 있지만 그 선택 비율은 오프셋 필터나 강한 필터보다도 선택 비율이 낮은 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 다양한 영상 특성 및 보간 필터의 선택 확률을 고려하여 보간 필터 구성을 재정의하고, 프레임 단위에서 보간 필터를 선택적으로 사용가능한 뱅크 기술을 제안한다. 영상에 따라 에러의 특성이 다르기 때문에 특성이 다른 보간 필터를 분리하고, 발생 분포에 따른 보간 필터 뱅크를 구성하였다. 제안하는 새로운 보간 필터 뱅크는 인코더의 복잡도를 고려하여 단지 두 개의 보간 필터 세트로 필터 뱅크를 이용한다. 두 개의 필터 뱅크에서는 각각 수평 및 수직 방향, 조명 변화를 위한 오프셋, 영상의 대각선 방향 성분, 영상 몽롱화 및 블록킹을 위한 강한 필터 등의 보간 필터 특성을 고려한다. 제안하는 필터 뱅크는 선택 정보에 대한 오버헤



(a) 필터 뱅크-I

(b) 필터 뱅크-II

그림 4. 제안하는 필터 뱅크의 구성

Fig. 4. Organization of the proposed filter banks.

드를 줄이기 위해서 매크로블록 단위가 아닌 프레임 단  
위에서 필터 बैं크를 선택한다. 따라서 각 필터 बैं크에  
서는 빈번하게 발생하는 보간 필터 특성을 모두 포함하  
고 있어야 한다. 상대적으로 높은 선택율을 보이는 수  
평 및 수직 보간 필터와 강한 필터는 제안하는 두 개의  
필터 बैं크에 공통적으로 포함되고, 필터 बैं크-I은 오프  
셋 필터를 사용하고, 필터 बैं크-II는 방향성 보간 필터  
를 포함한다.

그림 4는 제안하는 보간 필터 बैं크의 부화소 별 위치  
에 따른 필터 특성을 보여준다. 그림 4(a)의 필터 बैं크  
-I은 수평 및 수직 방향 ( $a, b, c, d, h, l$ ), 조명 변화를  
위한 오프셋 ( $e, f, g, m, n, o$ ), 강한 필터 ( $i, j, k$ ) 특성  
을 가진다. 수평 및 수직 방향의 필터는 기존의 KTA  
및 HEVC의 방향성 필터와 동일한 필터 계수 및 필터  
적용 방법을 사용한다. 조명 변화 특성을 위한 오프셋  
필터는 현재 영상과 참조 영상간의 작은 밝기 값 변화  
를 보상하기 위하여, 수평, 수직 및 방향성 필터를 적용  
한 부화소 위치에  $\pm 1, \pm 2$ 의 오프셋 값을 사용한다. 오프  
셋 필터를 사용하는 부화소를 생성하기 위해서 식 (1)  
~식 (3)의 필터 계수를 사용하였다. 부화소  $e, o$  위치  
에서는  $A1, B2, C3, D4, E5, F6$  위치의 정수 화소를  
사용하며, 부화소  $g, m$  위치에 대해서는  $A6, B5, C4,$   
 $D3, E2, F1$ 를 사용한다. 부화소  $f, n$ 는 각각 수평 방향  
과 수직 방향의 정수 화소들을 이용한다. 각 부화소에  
위치에 대한 오프셋 값은 다음과 같다.

$$e = (e1 + 256 + 64) \gg 7 \quad (18)$$

$$f = (b1 + 256 + 64) \gg 7 \quad (19)$$

$$g = (g2 + 256 + 64) \gg 7 \quad (20)$$

$$m = (m2 - 256 + 64) \gg 7 \quad (21)$$

$$n = (h1 + 256 + 64) \gg 7 \quad (22)$$

$$o = (o1 + 256 + 64) \gg 7 \quad (23)$$

부화소  $e, m$  위치는 각각 +1과 -1의 오프셋을 적용  
하고, 부화소  $g, o$  위치는 각각 +2와 -2의 오프셋을 사  
용한다. 수평 및 수직 방향의 부화소  $f, n$  위치에 대한  
오프셋은 +2를 공통적으로 적용한다.

강한 필터는 보간 필터의 선택 분포를 고려하여  
KTA 및 HEVC의 강한 필터를 기반으로 다른 특성의  
주파수 응답을 가지는 필터를 제안한다. 제안하는 필터

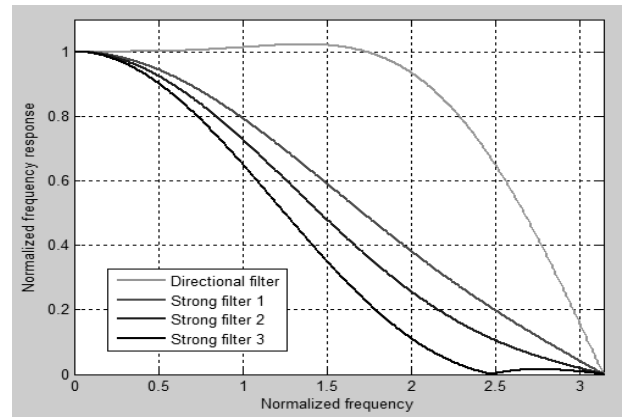


그림 5. 제안하는 강한 필터의 주파수 응답  
Fig. 5. Frequency response of proposed strong filter.

뱅크에서는 저주파 대역을 통과시키는 정도에 따라 총  
세 개의 강한 필터를 사용하였다. 기존의 KTA 및  
HEVC 강한 필터 (strong filter 2)를 중심으로 더 저주  
파를 통과하는 강한 필터 (strong filter 3)와 더 고주파  
를 통과하는 강한 필터 (strong filter 1)를 추가하였다.  
그림 5는 제안하는 강한 필터의 주파수 응답을 보여준  
다. 강한 필터는 2D 형태의 필터 계수를 가지며, 현재  
화소 위치의 주변 16개의 정수 화소를 이용한다. 부화  
소  $i, j, k$  순서로 강한 필터 특성을 가지며, 각 필터에  
대한 필터 계수는 다음과 같다.

$$i = (( 0 \times B2 + 3 \times B3 + 3 \times B4 + 0 \times B5 + 3 \times C2 + 26 \times C3 + 26 \times C4 + 3 \times C5 + 3 \times D2 + 26 \times D3 + 26 \times D4 + 3 \times D5 + 0 \times E2 + 3 \times E3 + 3 \times E4 + 0 \times E5 ) + 64) \gg 7 \quad (24)$$

$$j = (( 0 \times B2 + 5 \times B3 + 5 \times B4 + 0 \times B5 + 5 \times C2 + 22 \times C3 + 22 \times C4 + 5 \times C5 + 5 \times D2 + 22 \times D3 + 22 \times D4 + 5 \times D5 + 0 \times E2 + 5 \times E3 + 5 \times E4 + 0 \times E5 ) + 64) \gg 7 \quad (25)$$

$$k = (( 0 \times B2 + 7 \times B3 + 7 \times B4 + 0 \times B5 + 7 \times C2 + 18 \times C3 + 18 \times C4 + 7 \times C5 + 7 \times D2 + 18 \times D3 + 18 \times D4 + 7 \times D5 + 0 \times E2 + 7 \times E3 + 7 \times E4 + 0 \times E5 ) + 64) \gg 7 \quad (26)$$

그림 4(b)의 필터 बैं크-II는 필터 बैं크-I과 동일하게  
수평 및 수직 방향 ( $a, b, c, d, h, l$ )과 강한 필터 ( $i, j, k$ )의 특성을 가지고 필터 बैं크-II는 필터 बैं크-I의 조명  
변화를 위한 오프셋 필터 대신에 방향성 필터 ( $e, f, g, m, n, o$ ) 특성을 포함한다. 방향성 필터의 필터 계수는  
다른 부화소와 동일하게 식 (1)~식 (3)을 사용하였다.

부화소  $e, o$  위치와 부화소  $g, m$  위치는 각각  $A1, B2, C3, D4, E5, F6$  위치와  $A6, B5, C4, D3, E2, F1$  위치의 정수 화소를 사용한다. 부화소  $f, n$  위치는 보간된 주변 부화소 값의 쌍선형 보간 방법으로 채운다. 방향성 필터의 각 부화소에 대한 보간식은 다음과 같다.

$$e = (e1 + 64) \gg 7 \tag{27}$$

$$g = (g2 + 64) \gg 7 \tag{28}$$

$$o = (o1 + 64) \gg 7 \tag{29}$$

$$m = (m2 + 64) \gg 7 \tag{30}$$

$$f = (e1 + g2 + 128) \gg 8 \tag{31}$$

$$n = (m2 + o1 + 128) \gg 8 \tag{32}$$

#### IV. 실험 결과

제안하는 영상 특성에 따른 보간 필터 बैं크를 위해서

표 4. 제안하는 방법의 부호화 성능  
Table 4. Coding performance of the proposed method.

영상	필터	KTA의 고정 방향 보간 필터		HM의 방향 보간 필터		제안하는 방법	
		BDBitrate(%)	BDPSNR(dB)	BDBitrate(%)	BDPSNR(dB)	BDBitrate(%)	BDPSNR(dB)
WVGA	S1	-4.43	0.175	-3.60	0.143	-6.83	0.274
	S2	-2.57	0.114	-2.20	0.097	-3.11	0.138
	S3	-1.81	0.084	-2.07	0.097	-2.30	0.108
	S4	-0.91	0.041	-0.39	0.017	-0.94	0.042
	평균	-2.43	0.104	-2.07	0.089	-3.30	0.106
WQVGA	S5	-1.14	0.053	-0.93	0.046	-1.32	0.062
	S6	-0.71	0.029	-0.63	0.026	-1.31	0.056
	S7	-1.81	0.076	-2.13	0.09	-2.19	0.092
	S8	0.83	-0.04	1.43	-0.071	1.32	-0.065
	평균	-0.71	0.030	-0.57	0.023	-0.87	0.036
720p	S9	-6.64	0.196	-6.97	0.206	-6.92	0.205
	S10	-6.13	0.154	-1.18	0.021	-7.15	0.175
	S11	-14.52	0.597	-14.35	0.582	-14.40	0.577
	S12	-0.77	0.03	0.02	-0.002	-3.48	0.1333
	평균	-7.01	0.244	-5.62	0.202	-7.99	0.273
전체 평균		-3.38	0.13	-2.75	0.10	-4.05	0.15

KTA 버전 2.3 소프트웨어에 필터 बैं크 기반의 보간 필터를 구현하였다<sup>[20]</sup>. 실험 조건은 표 3의 조건과 동일하게 진행하였다. 제안하는 방법의 성능 평가를 위하여 KTA 소프트웨어의 고정 방향성 보간 필터 (FDIF) 및

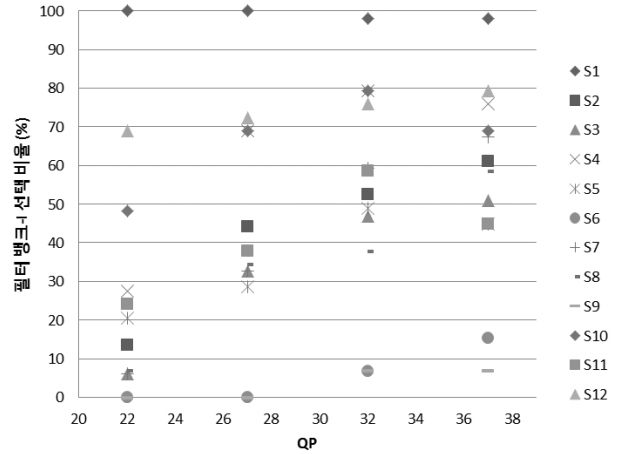


그림 6. 영상에 따른 제안하는 필터 बैं크-l의 선택 비율  
Fig. 6. Selection ratio of the proposed filter bank-l according to sequences.

HM1.0의 방향성 보간 필터 (DIF)와 제안하는 방법을 비교하였다. 보간 필터에 대한 공정한 평가를 위하여 HM1.0의 방향성 보간 필터를 KTA에 구현을 하였다.

그림 6은 각 실험 영상에 대해서 필터뱅크-I에 대한 선택 비율을 보여준다. 단, 필터뱅크-I과 필터뱅크-II에 대한 선택 비율의 합은 100%임으로 필터뱅크-II의 선택 비율은 계산될 수 있다. 영상의 종류에 따라 필터뱅크의 선택이 분포는 다르게 나타난다. S1과 S12 영상은 필터뱅크-I의 선택이 매우 높게 나타나며, S6이나 S9 등의 영상들은 필터뱅크-I의 선택 비율이 낮게 나타났다. 이는 영상에 포함된 텍스처의 특성에 따라 에러의 양을 최소로 하는 보간 필터의 특성이 다르기 때문이다. 전체적으로 낮은 QP에서는 필터뱅크-I의 선택 비율이 평균적으로 약 30% 정도 수준이며, 높은 QP에서는 필터뱅크-I이 평균 56%로 상대적으로 많이 선택되었다. 즉, QP가 증가함에 따라 필터뱅크-I의 선택율이 증가하는 특성을 보였다.

낮은 QP에서는 참조 영상이 고품질이므로 영상의 경계 정보를 유지할 수 있는 방향성 필터가 효율적이며, 높은 QP에서는 양자화 에러에 의한 DC 값의 보정을 위한 오프셋 필터가 많이 선택된 것으로 분석된다.

표 4는 본 논문에서 제안하는 부호화 성능을 보여준다. 제안하는 보간 필터는 KTA 고정 방향성 보간 필터 대비 0.7%의 부호화 성능을 얻을 수 있으며, HM 방향성 필터 대비 1.3%의 부호화 성능을 얻었다. 특히, S12 영상에 대해서는 KTA 고정 방향성 보간 필터와 HM 방향성 필터 대비 각각 2.7%와 3.5%의 높은 부호화 성능 향상이 있었고, 전체 12개의 실험 영상 중에서 단지 S8과 S11 영상에 대해서 성능이 저하되었다. 또한, WVGA와 720p 영상에 대해서는 0.9%와 1.0%의 성능을 보였으나, WQVGA 영상에 대해서는 0.2% 이내의 향상이 있었다. 즉, 작은 해상도의 영상에는 에러의 특성이 크게 나타나지 않기 때문에 제안하는 보간 필터에 의한 성능이 크게 나타나지 않은 것으로 분석된다. 또한, 제안하는 필터뱅크의 디코딩 속도는 기존의 고정된 단일 보간 필터 방법과 유사하며, 실수 필터 계수를 사용하는 적응적 보간 필터 방법에 비해 빠른 디코딩이 가능하다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 영상 특성 및 양자화 파라미터에 따른

영상의 에러 특성을 파악하고 이를 바탕으로 하는 보간 필터뱅크를 제안하였다. KTA 소프트웨어에 있는 고정 방향성 보간 필터는 하나의 필터 많은 필터 특성을 포함하고 있으며, HM에 있는 방향성 보간 필터는 방향성에 대한 특성만을 포함하는 문제점이 있었다. 제안하는 방법을 통하여 영상에 포함된 에러에 특화된 보간 필터를 사용함으로써 부호화 효율을 높일 수 있다. 제안하는 방법은 KTA 고정 방향성 필터 대비 평균 0.7%의 성능을 얻었으며, HM 방향성 필터 대비 평균 1.3%의 성능을 보였다.

향후 초고해상도 영상 크기에 대한 보간 필터의 특성을 분석하고 이에 대한 필터 설계를 연구할 것이다. 또한, 프레임 단위가 아닌 매크로블록 단위에서 최적의 보간 필터뱅크를 선택하여 더 높은 부호화 효율을 얻을 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Joint Video Team (JVT) of ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG, "Draft ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10 AVC," May 2003.
- [2] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 7, pp. 560-576, Jul. 2003.
- [3] I. Richardson, "H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-generation Multimedia," *John Wiley & Sons*, 2003.
- [4] J. Jung and G. Laroche, "Competition-Based Scheme for Motion Vector Selection and Coding," *ITU-T SG16/Q6 Document VCEG-AC06*, Klagenfurt, July 2006.
- [5] A. Tanizawa and T. Chujoh, "Adaptive Quantization Matrix Selection," *ITU-T SG16/Q6 Document D-266*, Geneva, Switzerland, Nov. 2006.
- [6] T. Chujoh, G. Yasuda, N. Wada, T. Watanabe and T. Yamakage, "Block-based Adaptive Loop Filter," *ITU-T SG16/Q6 Document VCEG-A118*, Berlin, Germany, July 2008.
- [7] Y. Ye and M. Karczewicz, "Improved Intra Coding," *ITU-T SG16/Q6 Document VCEG-AG11*, Shenzhen China, October 2007.
- [8] M. Narroschke and H.G. Musmann, "Adaptive prediction error coding in spatial and frequency domain for H.264/AVC," *ITU-T SG16/Q6*



- Document VCEG-AB06*, Bangkok, Thailand, January 2006.
- [9] Y. Vatis and J. Ostermann, "Adaptive interpolation filter for H.264/AVC," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tecnology (CSVT)*, vol. 19, no. 2, Feb. 2009.
- [10] Y. Vatis, B. Edler, D.T. Nguyen and J. Ostermann, "Two-dimensional non-separable Adaptive Wiener Interpolation Filter for H.264/AVC," *ITU-T SG16/Q6 Document VCEG-Z17*, Busan, South Korea, April 2005.
- [11] S. Wittmann and T. Wedi, "Separable adaptive interpolation filter," *ITU-T SG16/Q6 Document C-219*, Geneva, Switzerland, June 2007.
- [12] Nokia, "Adaptive Interpolation with Directional Filters," *ITU-T SG16/Q6 Document VCEG-AG21*, Shenzhen, China, October 2007.
- [13] Tandberg and Nokia, "Low Complexity Directional Interpolation Filter," *ITU-T SG16/Q6 Document VCEG-A112*, Berlin, Germany, July 2008.
- [14] Qualcomm, "Switched Interpolation Filter with Offset," *ITU-T SG16/Q6 Document C-463*, Geneva, Switzerland, April 2008.
- [15] Qualcomm, "Enhanced Adaptive Interpolation Filter," *ITU-T SG16/Q6 Document C-464*, Geneva, Switzerland, April 2008.
- [16] Nokia and Qualcomm, "Improvements on Enhanced Directional Adaptive Filtering (EDAIF-2)," *ITU-T SG16/Q6 Document C-125*, Geneva, Switzerland, January 2009.
- [17] 남정학, 조현호, 심동규, 최병두, 조대성, "저 복잡도 보간 필터 뱅크 기반의 새로운 비디오 압축 방법," *전자공학회논문지*, 제 47권 SP편 5호, pp. 165-174, 9월, 2010년.
- [18] Thomas Wiegand, Woo-Jin Han, Benjamin Bross, Jens-Rainer Ohm and Gary J. Sullivan, "WD1: Working Draft 1 of High-Efficiency Video Coding," *JCTVC-CA03*, Guangzhou, October 2010.
- [19] Frank Bossen, "Common test conditions and software reference configurations," *JCTVC-C500*, Guangzhou, October 2010.
- [20] JM KTA reference model, version 2.3, <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/KTA>.
- [21] G. Bjøntegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-Curves," *ITU-T SG16/Q6 Document VCEG-M33*, April 2001.

---

 저 자 소 개
 

---



남 정 학(학생회원)  
 2006년 광운대학교 컴퓨터공학과 학사  
 2008년 광운대학교 컴퓨터공학과 석사  
 2008년~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야 : 영상압축, 병렬처리>



조 현 호(학생회원)  
 2008년 광운대학교 컴퓨터공학과 학사  
 2010년 광운대학교 컴퓨터공학과 석사  
 2010년~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축>



심 동 규(정회원)-교신저자  
 1999년 서강대학교 전자공학과 공학박사  
 1999년~2000년 (주) 현대전자  
 2000년~2002년 (주) 바로비전  
 2002년~2005년 Univ. of Washington senior researcher

2005년~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 <주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터비전>



이 수 연(정회원)  
 1983년 교토대학 공학 박사  
 1973년~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 정교수  
 <주관심분야 : 정보공학, XML, 영상압축, 컴퓨터비전>