

고해상도 비디오 압축을 위한 향상된 분리 적응형 보간 필터

*윤여진 *정승원 **최해철 **최진수 *고성제

*고려대학교 전기전자전파공학부

**한국전자통신연구원

*sjko@korea.ac.kr

An Enhanced Separable Adaptive Interpolation Filter for High-Definition Video Compression

*Yeo-Jin Yoon *Seung-Won Jung **Haechul Choi **Jin Soo Choi *Sung-Jea Ko

*Department of Electronics Engineering, Korea University

**Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

최근 HD 방송의 실현과 함께 HDTV가 빠르게 상용화되면서 고화질 비디오를 더 효율적으로 압축하기 위한 기술 개발이 활발하게 진행되고 있다. 최신 표준 비디오 압축 방식인 H.264/AVC에서는 고정 6탭 필터를 사용하여 참조 영상을 보간하고 움직임 예측을 수행하는데, 이의 압축 효율을 향상시키기 위하여 고정 필터를 개선한 비분리 적응형 보간 필터가 개발되었다. 하지만 비분리 적응형 보간 필터는 압축률뿐만 아니라 계산량도 증가하는 단점이 있기 때문에 2차원 필터를 1차원 필터의 연결로 모델링 한 분리 적응형 보간 필터가 개발되었고, 그 결과 압축률은 비슷하게 유지하면서 계산량을 훨씬 줄일 수 있게 되었다. 분리 적응형 보간 필터는 1차원 필터 모델링을 할 때, 수평방향의 필터링 수행 후 수직방향 필터링을 하기 때문에 이를 통해 만들어진 보간 영상은 원 영상의 수평방향에 대한 특성을 더 많이 반영하게 된다. 따라서 수직방향으로 더 높은 주파수 특성을 갖는 영상의 경우에는 효율이 떨어지게 된다. 이를 고려하여 본 논문에서는 영상의 수직방향 주파수 특성을 더 많이 반영할 수 있는 보간 필터를 추가함으로써 영상의 주파수 특성에 따라 보간 필터를 적응적으로 선택하는 향상된 분리 적응형 보간 필터를 제안한다. 제안한 알고리즘을 이용할 경우 기존의 분리 적응형 보간 필터에 비해 움직임 예측 및 보상이 더 정확하게 이뤄질 수 있으며, 부호화 효율이 향상됨을 확인할 수 있다.

1. 서론

많은 방송 및 멀티미디어 매체들이 HD급의 고화질, 고해상도 영상을 제공하기 시작하면서 이를 효율적으로 압축하기 위한 기술의 개발은 중요한 연구 분야가 되었다. H.264/AVC 비디오 압축 표준은 이전 압축 기술들에 비해 월등한 압축 효율을 보이며 많은 멀티미디어 서비스의 표준으로 채택되었지만, 더 좋은 화질의 영상을 제한적인 네트워크 전송 환경에서 제공하기 위해서는 고효율의 영상 압축 기술 개발이 필수적으로 요구된다. 따라서 최근에는 H.264/AVC의 압축 성능을 향상시킬 수 있는 차세대 기술들이 많이 제안되고 있으며, 그 중 적응형 보간 필터를 이용하여 보간 영상을 만드는 기술은 H.264/AVC 대비 압축 효율이 매우 우수하다.

H.264/AVC는 움직임 보상 시 고정 6탭 필터를 통해 1/4 화소 단위로 보간된 영상을 참조 영상으로 사용함으로써 압축 효율을 향상시킨다 [1]. 즉, 고정된 필터 계수 $[(1, -5, 20, 20, -5, 1) / 32]$ 를 갖는 필터를 주변 정수 화소에 씌워 분수 화소를 생성한다. 이렇게 보간된 영상을 참조하여 움직임 예측을 수행하면 보간되지 않은 영상을 그대로 참조하여 사용할 경우보다 예측

오차를 줄일 수 있게 되어 압축률이 향상된다. 그렇기 때문에 보간 영상을 원 영상과 보다 유사하게 만들수록 예측 오차가 줄어들어 압축률이 더 증가하게 된다. 고정 필터는 사용하기에는 쉽지만 해당 영상의 특성을 보간 영상에 반영하기가 어렵기 때문에 매 프레임마다 영상 특성에 적합한 필터를 구하여 보다 정확한 예측 영상을 만들 수 있는 비분리 적응형 보간 필터가 개발되었다 [2]. 비분리 적응형 보간 필터는 매 프레임마다 원 영상과의 예측 오차를 최소화시키는 2차원 필터 계수를 구하여 참조 영상을 보간하고, 구한 필터 계수를 복호기로 전송한다. 이것은 고정 필터를 이용한 부호화 방법 대비 압축 성능이 매우 뛰어나지만, 필터 계수를 구하는 데에서 계산량이 크게 증가한다는 단점이 있다. 그래서 계산량 문제를 해결하기 위해 분리 적응형 보간 필터가 개발되었다 [3][4]. 분리 적응형 보간 필터는 수평방향과 수직방향 각각에 1차원 필터링을 수행하기 때문에 비분리 적응형 보간 필터보다 계산량은 훨씬 감소시키면서 압축 성능은 비슷하게 유지할 수 있다. 본 논문에서는 기존 분리 적응형 보간 필터에 대해 설명하고, 이 방법에 새로운 필터를 추가하여 압축 성능을 향상시키는 알고리즘을 제안, 그 성능을 보인다.

2. 본론

가. 분리 적용형 보간 필터

분리 적용형 보간 필터는 기존에 제안된 비분리 적용형 보간 필터의 복잡도 문제를 개선하기 위해 6×6 필터를 1차원 6탭 필터로 모델링하여 독립적인 필터 계수를 구한다 [3]. 먼저 고정 필터를 이용한 부호화를 통해 움직임 벡터를 얻고, 이를 활용하여 그림 1의 수평방향 분수 화소 a, b, c의 필터 계수를 계산한다. 필터 계수는 예측오차를 최소화하는 값으로서 식 (1)을 통해 얻어진다.

$$(E^{SP})^2 = \sum_{x,y} \left(S_{x,y} - \sum_{i=0}^5 h_i^{SP} \cdot P_{x+i,\tilde{y}} \right)^2 \quad (1)$$

여기서 E^{SP} 는 예측 오차, S 는 원 영상의 정수 화소, P 는 참조 영상의 정수 화소, $\tilde{x} = x + \lfloor mvx \rfloor - FO$, $\tilde{y} = y + \lfloor mvy \rfloor$, (mvx, mvy) 는 고정 필터를 이용해 구한 움직임 벡터, FO 는 필터 오프셋 ($FO = \text{filter size}/2$), h 는 구해야 할 필터 계수이다. 식 (1)을 최소화하는 h 의 값을 구하여 화소 a, b, c 각각에 해당하는 6탭 필터를 얻는다. 이를 이용하여 수평방향으로 보간된 영상을 만들고, 식 (2)를 이용하여 나머지 분수 화소 d ~ o (그림 1)에 대한 각 수직방향 필터 계수를 같은 방법으로 계산한다.

$$(E^{SP})^2 = \sum_{x,y} \left(S_{x,y} - \sum_{i=0}^5 h_i^{SP} \cdot \hat{P}_{\tilde{x},\tilde{y}+i} \right)^2 \quad (2)$$

여기서 \hat{P} 은 이전 단계에서 얻은 수평방향으로 보간된 참조 영상, $\tilde{x} = 4 \cdot (x + \lfloor mvx \rfloor)$, $\tilde{y} = y + \lfloor mvy \rfloor - FO$ 이고, 나머지 인자들은 식 (1)의 인자들과 같은 값을 갖는다. 이 과정을 통해 화소 d ~ o 각각에 해당하는 12개의 6탭 필터를 얻게 되고 이를 이용하여 수직방향으로 영상을 보간한다. 최종 완성된 보간 영상을 참조하여 움직임 보상을 수행한 경우와 6탭 고정 필터를 사용했을 경우를 비트율-왜곡 값 [5] 측면에서 비교하여 효율이 더 좋은 필터를 최종 선택한다.

위의 모든 과정을 수행하면 총 90개의 필터 계수가 얻어지며 이들은 매 프레임마다 부호화되어야 한다. 하지만 부호화해야 할 추가 정보가 많을수록 압축 효율이 떨어지게 되므로 수직방향 필터에 대칭적 특성을 적용하여 개수를 줄이도록 한다. 분수 화소 d, e, f, g와 l, m, n, o는 h, i, j, k를 중심으로 각각 대칭되는 위치에 있으므로 l, m, n, o의 경우에는 d, e, f, g에 사용되는 필터 계수와 같은 값을 사용한다. 단, 각 계수를 정수 화소에 곱해주는 순서는 d, e, f, g의 경우와 반대가 되어야 한다. 그리고 b, h, i, j, k의 경우에는 필터링에 사용되는 정수 화소들의 중심에 위치하고 있기 때문에 필터 계수들 간에 대칭적 특성을 적용하여 3개의 필터 계수만 구하여 사용하도록 한다. 즉, 위의 식 (1), (2)에서 설명한 필터 계수 h_i 에 대해 $h_0 = h_5$, $h_1 = h_4$, $h_2 = h_3$ 의 관계가 이루어지도록 하는 것이다.

분수 화소 a, b, c의 경우에는 이 화소 값들이 수직방향 필터 계수를 구하는데 영향을 주기 때문에 대칭적 특성을 적용할 수 없다. 결과적으로 총 90개의 필터 계수는 51개로 감소되어 복잡도가 전술하게 된다.

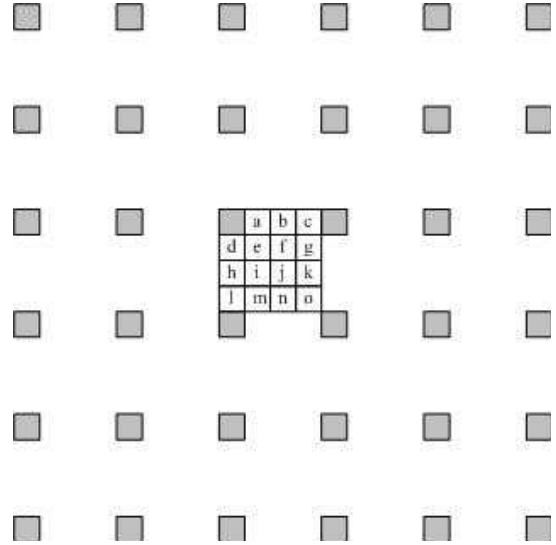


그림 1. 정수 화소(음영) 및 분수 화소(흰색)

나. 향상된 분리 적용형 보간 필터

분리 적용형 보간 필터는 수평방향 필터링 수행 후 수직방향 필터링을 하기 때문에 수직방향 필터 계수는 수평방향 보간 화소인 a, b, c의 화소 값으로부터 영향을 받는다. 따라서 완성된 보간 영상에는 원 영상의 수평적 주파수 특성이 더 많이 반영되므로 수직적 주파수 특성이 강한 영상의 경우에는 상대적으로 효율이 떨어질 것이다. 이 약점을 보완하기 위해서 영상 특성에 따라 필터링의 순서를 적용적으로 선택할 수 있는 향상된 분리 적용형 보간 필터를 제안한다.

본 논문에서는 원 영상의 수직적 특성이 보다 잘 반영된 보간 영상을 만들 수 있도록 수직방향 필터링 후 수평방향 필터링을 하여 필터 계수를 구하는 방법을 기존 분리 적용형 보간 필터에 추가한다. 이 필터를 구하기 위해서 먼저 분리 적용형 보간 필터와 마찬가지로 고정 6탭 필터를 이용한 부호화를 통해 움직임 벡터를 얻는다. 그리고 이를 활용하여 그림 1의 수직방향 분수 화소인 d, h, l의 필터 계수를 계산한다. 이 필터 계수는 예측 오차를 최소화하는 값으로서 식 (3)을 통해 구할 수 있다.

$$(E^{SP})^2 = \sum_{x,y} \left(S_{x,y} - \sum_{i=0}^5 h_i^{SP} \cdot P_{x,\tilde{y}+i} \right)^2 \quad (3)$$

여기서 $\tilde{x} = x + \lfloor mvx \rfloor$, $\tilde{y} = y + \lfloor mvy \rfloor - FO$ 이고, 나머지 인자들은 식 (1)에서 나타내는 것과 같다. 식 (3)을 최소화하는 h 의 값을 구하여 화소 d, h, l 각각에 해당하는 6탭 필터를 얻고, 이를 이용하여 수직방향으로 보간된 영상을 만든다. 그리고 식 (4)를 최소화하는 필터 계수를 계산하여 나머지 분수 화소인 a ~ o (d, h, l 제외)에 해당하는 필터 계수를 각각 구한다.

$$(E^{SP})^2 = \sum_{x,y} \left(S_{x,y} - \sum_{i=0}^5 h_i^{SP} \cdot \hat{P}_{x+i,\tilde{y}} \right)^2 \quad (4)$$

여기서 \hat{P} 은 이전 단계에서 얻은 수직방향으로 보간된 참조 영

표 1. H.264/AVC 대비 압축 성능 비교

720p 영상	비분리 적응형 보간 필터		분리 적응형 보간 필터		향상된 분리 적응형 보간 필터	
	BD-PSNR (dB)	BD-bitrate (%)	BD-PSNR (dB)	BD-bitrate (%)	BD-PSNR (dB)	BD-bitrate (%)
City	0.58	-17.21	0.55	-16.38	0.58	-17.19
Crew	0.52	-18.72	0.55	-19.49	0.57	-20.42
Night	0.18	-4.70	0.22	-5.72	0.24	-6.08
BigShips	0.29	-9.56	0.33	-11.02	0.34	-11.16
Average	0.39	-12.55	0.41	-13.15	0.43	-13.71

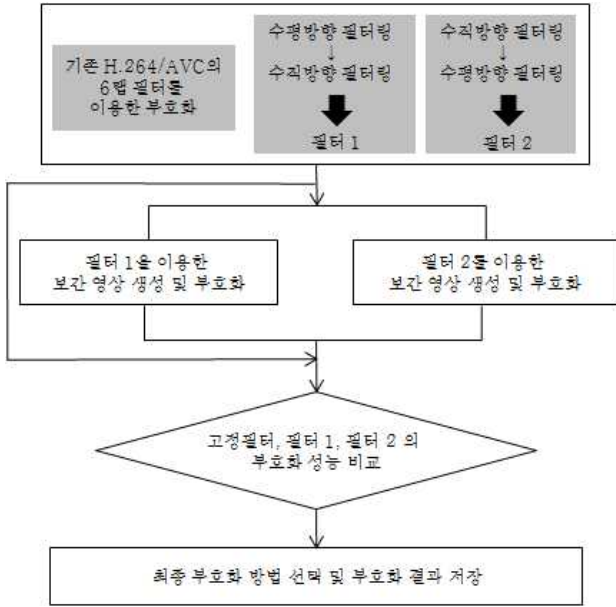


그림 2. 향상된 분리 적응형 보간 필터 알고리즘

상, $\tilde{x} = x + \lfloor mvx \rfloor - FO$, $\tilde{y} = 4 \cdot (y + \lfloor mvy \rfloor)$ 이고, 나머지 인자들은 위와 같은 값을 갖는다. 이 과정을 통해 a ~ o (d, h, l 제외) 각각에 해당하는 6탭 필터를 얻게 되고 이를 이용하여 수평방향으로 보간된 영상을 만든다. 위의 모든 과정을 통해 총 90개의 필터 계수가 얻어지는데, 분리 적응형 보간 필터에서 설명한 바와 같이 부호화해야 할 필터 정보의 양을 줄이기 위하여 수평방향 필터에 대칭적 특성을 적용함으로써 총 51개로 줄여 복호기로 보내도록 한다.

이 필터의 경우에는 d, h, l의 화소 값이 나머지 분수 화소들의 필터 계수 계산에 영향을 주기 때문에 원 영상의 수직적 특성을 보간 영상에서 더 잘 유지할 수 있다. 따라서 본 알고리즘에서는 매 프레임마다 각 보간 방법을 수행하여 가장 좋은 필터를 최종 선택함으로써 영상의 주파수 특성을 고려한 참조 영상을 생성할 수 있고, 그 결과 압축 효율을 향상시킬 수 있게 된다 (그림 2). 적응형 보간 필터가 선택될 경우에는 어떤 필터를 사용하였는지 디코더에서 알 수 있도록 1 비트를 추가적으로 보낸다.

3. 실험 결과

JM11.0/KTA2.1 [6]을 이용하여 VCEG에서 제시한 실험 조건 [7]에 따라 HD 영상 (City, Crew, Night, Bigships)을 부호화하였다. 그리고 각 알고리즘의 압축 효율을 비교하기 위해 Bjøntegaard Delta (BD)-PSNR과 BD-bitrate [8] 값을 계산하였다.

먼저 표 1을 통해 알 수 있듯 고해상도 영상 압축을 위해 적응형 보간 필터를 사용하였을 경우, 고정 필터를 사용하는 H.264/AVC 대비 압축 성능이 매우 향상된다. 특히 Crew 영상은 제안한 알고리즘을 적용할 경우 최대 20%까지 압축률이 향상된다. 또한 제안한 알고리즘은 비분리 적응형 보간 필터와 분리 적응형 보간 필터보다 BD-PSNR, BD-bitrate 값이 모두 향상되어 우수한 압축 성능을 보인다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 분리 적응형 보간 필터를 구하는데 있어 영상의 특성을 고려하여 필터링 순서를 선택하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 기존의 방법보다 압축 성능을 향상시킬 수 있음을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 물론 계산량은 분리 적응형 보간 필터보다 많지만 비분리 적응형 보간 필터보다는 적기 때문에 고해상도 비디오 압축 성능을 향상시키기 위한 방법으로 적합하다고 할 수 있다. 하지만 보다 효율적인 알고리즘으로 구현하기 위해 계산량을 줄이기 위한 연구가 더 이뤄져야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 방송통신위원회, 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT 원천기술개발사업의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것이다. [과제관리번호: 2008-F-011, 과제명: 차세대 DTV 핵심기술 개발]

참고문헌

- [1] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjøntegaard, and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 7, pp. 560-576, Jul. 2003.
- [2] Y. Vatis, and J. Ostermann, "Adaptive interpolation filter for H.264/AVC," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 19, no. 2, pp. 179-192, Feb. 2009.
- [3] S. Wittmann and T. Wedi, "Separable adaptive interpolation filter," in *ITU-T SG16/Q6, Doc. C-0219*, Geneva, Switzerland, Jun. 2007.
- [4] S. Wittmann and T. Wedi, "Separable adaptive interpolation filter for video coding," in *Proc. IEEE ICIP*, San Diego, CA, pp. 2500-2503, Oct. 2008.
- [5] G. J. Sullivan and T. Wiegand, "Rate-distortion optimization for video compression," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 15, no. 6, pp. 74-90, Nov.

1998.

- [6] KTA software, Ver. JM11.0 KTA2.1 Sep. 2008
[Online].<http://iphone.hhi.de/suehring/tml/download/KTA/jm11.0kta2.1.zip>
- [7] T. K. Tan, G. J. Sullivan and T. Wedi,
"Recommended simulation common conditions for coding efficiency experiments," in *ITU-T SG6/Q.6, Doc. VCEG-AE10r1*, Marrakech, Morocco, Jan. 2007.
- [8] G. Bjøntegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves," in *ITU-T SG 6/Q.6 Doc. VCEG-M33*, Austin, Texas, USA, Apr. 2001.