

초고해상도 영상에 적합한 다양한 스케일러들의 성능 비교

*채진기 **한중기

세종대학교

*jinkyphone@gmail.com, **hjk@sejong.edu

Performance comparison of various scalers for UHD sequences

*Chae, Jin-Ki **Han, Jong-Ki

Sejong University

요약

최근 UHD급 디스플레이 장치가 등장하면서 이에 대한 코덱 및 영상 처리 기술들이 개발되고 있다. 그 중 UHD급 콘텐츠 부재에 따른 비디오 스케일러의 역할은 더욱 중요해졌다. 기존에 연구되어 시중에서 사용되고 있는 1차, 3차 보간법들과 함께 좀 더 향상된 효과를 보이는 스케일러 방법, 하드웨어 스케일러 구현을 고려하여 제안된 스케일러 방법들을 다양한 기준으로 분석하였다.

1. 서론

디스플레이 기술이 발전함에 따라 다양한 크기의 디스플레이를 탑재한 장치들이 등장하게 되었고, 다양한 디스플레이 크기만큼 다양한 해상도를 사용하고 있다. 일반적으로 각 해상도에 맞는 영상을 모두 제작할 수 없으므로 영상은 특정한 크기로 촬영이 된다. 이때, 특정한 크기의 영상을 다양한 디스플레이 장치들의 해상도에 맞추어 영상의 크기를 변경해 주는 것이 스케일러이다. 스케일러는 1차 보간법인 인접 화소 보간법, 양선형/이중선형 보간법, 3차 보간법인 3차 회선 보간법이 대표적이다. 차수가 낮은 스케일러일수록 연산량은 줄어들고 하드웨어 구현 복잡도도 낮아지지만 화질이 저하되는 경향을 띤다.

최근 UHD TV의 등장으로 스케일러의 역할은 더 중요해졌다. 아직까지 대부분의 영상이 초고해상도보다 낮은 해상도로 제작되기 때문에, 기존 영상을 초고해상도에 맞는 크기로 스케일링해서 디스플레이 해야 한다. 이에 1차 보간법 보다는 3차 보간법 이상의 고차 보간법들이 연구되고 있다. 또한 스케일러는 소프트웨어 외에도 하드웨어 칩으로 제작되어 사용되기 때문에 하드웨어 특성을 고려한 스케일러도 중요한 연구 분야이며, 병렬화, 정수화 등을 통한 하드웨어 스케일러 연구도 계속 되고 있다. 본 논문에서는 지금까지 보편적으로 사용된 Bilinear, Cubic B-Spline[1], Bi-cubic[2]과 3차 커널 두가지를 혼합하여 성능을 향상시킨 Blended Kernel[3], 하드웨어 스케일러 구현을 위해 연구된 Novel Interpolation Chip[4], Fast First-Order

Polynomials Convolution Interpolation[5] 논문들을 비교 분석 해보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스케일러 별 특징과 보간 방법 비교, 3장에서는 스케일러 별 성능을 비교한다. 마지막 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 스케일러 비교

2.1. 기존의 방법들

2.1.1. Bilinear

Bilinear 보간 방법은 1차 선형 방정식을 이용한 보간 방식으로 계산이 간단하면서도 우수한 성능을 보인다. 가장 가까운 2개의 픽셀 값의 선형적 관계식으로 원하는 픽셀 값을 계산하며, 아래와 같은 수식으로 커널을 표현할 수 있다.

$$\beta(x) = \begin{cases} x+1, & -1 \leq x \leq 0 \\ -x+1, & 0 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

2.1.2. Cubic B-Spline

Cubic B-Spline 보간 방법은 Bilinear 보다 신호 복원 능력이 뛰어나서 더욱 자연스러운 아날로그 영상을 만들어 낼 수 있다. 하지만 basis 함수의 peak값이 2/3 밖에 되지 않아서 복원한 신호가 주어진 디지털 신호보다 약 30% 낮은 곳에 위치하게 된다. 이런 곡선을 사용해서 다른 해상도의 디지털 영상을 만든다면 어두운 사진이 만들어진

1) 본 연구는 산업통상자원부 기술혁신사업(산업융합원천기술개발사업 4K급 UHD를 지원하는 초고해상도(Super Resolution)영상 스케일러 개발, K10041900)으로 지원되었습니다.

연락 저자: 한중기

다. 이런 문제를 해결하기 위해서 전처리 증폭 필터를 사용해야 하며, 전처리 증폭 필터를 반드시 사용해야하기 때문에 복잡도가 높다는 단점이 존재한다. 아래와 같은 수식으로 커널을 표현할 수 있다.

$$\beta(x) = \begin{cases} \frac{2}{3} + \frac{1}{2}|x|^3 - x^2, & 0 \leq |x| \leq 1 \\ \frac{1}{6}(2 - |x|)^3, & 1 \leq |x| \leq 2 \end{cases} \quad (2)$$

2.1.3. Bi-cubic

Bi-cubic scaler는 cubic convolution scaler라고도 명명되며, photoshop 등 상용 프로그램에서 사용되는 기술로써 간단하고 우수한 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다. Bi-cubic scaler 방법은 보간하려는 위치 주위에 있는 4개의 픽셀정보를 사용하여 보간을 수행하는 방법으로써, 아래와 같은 수식으로 커널을 표현할 수 있다.

$$\beta(x) = \begin{cases} (\alpha + 2)|x|^3 - (\alpha + 3)|x|^2 + 1, & 0 \leq |x| \leq 1 \\ \alpha|x|^3 - 5\alpha|x|^2 + 8\alpha|x| - 4\alpha, & 1 \leq |x| \leq 2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

이 식에서는 α 는 조절 가능한 tuning 파라미터이다. 보통 $-1.5 < \alpha < 1.0$ 의 범위에서 사용하는데, '-1'에 가깝게 선택한다면 복원된 아날로그 신호에서 Edge 부분이 강하게 표현된다. 보통 α 는 중간 값인 -0.5 로 많이 사용한다. Bi-cubic scaler 기법의 경우 cubic B-spline과 달리 basis 함수의 peak value가 1이기 때문에 전처리 증폭 필터를 사용할 필요가 없다. 따라서 Bi-cubic scaler 기법은 cubic B-spline보다 간단하게 구현된다.

2.2. 향상 된 스케일러 기법들

2.2.1. Blended Kernel

Blended Kernel은 두 개의 잘 알려진 커널을 이용하여 새로운 커널을 정의한다. 새로운 커널은 아래의 수식을 이용하여 혼합한다.

$$I(x) = (1-w) \times I_1(x) + w \times I_2(x) \quad (4)$$

가중치(w)는 $w \in (0,1)$ 이며, I_1 은 I_2 은 부모 커널이라 부르며, Bi-cubic과 adaptive oscillatory rational interpolation function[6]을 부모 커널로 선택하였다.

$$\begin{cases} I_1 = Key(x) \\ I_2 = osc(x) \end{cases} \quad (5)$$

혼합 커널은 그들의 부모 커널들보다 공간 도메인에서 이점을 갖는다. OSC커널은 아래와 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$osc(x) = \begin{cases} \frac{1.0808 - 0.168|x|^2 - 0.9129|x|}{|x|^2 - 0.8319|x| + 1.0808}, & 0 \leq |x| \leq 1 \\ \frac{0.3905 + 0.1953|x|^2 - 0.5858|x|}{|x|^2 - 2.4402|x| + 1.7676}, & 1 \leq |x| \leq 2 \\ 0, & |x| \geq 2 \end{cases} \quad (6)$$

2.2.2. Novel Interpolation Chip

Novel Interpolation Chip 방법은 3차 회선 보간법 커널 모양과 1차 보간법간의 interpolation error theorem에 따라 커널의 계수 값을 보정을 하였다. 그럼으로써 1차 보간법의 복잡도를 가지면서, 3차 회선 성능과 유사한 커널을 구현하였다. 1차 보간법을 가지고 유사화 시킨 3차 회선 보간법 커널은 아래와 같다.

$$\beta(x) = \begin{cases} 3|x|^3 - 5|x|^2 + 1, & 0 \leq |x| \leq 1 \\ -|x|^3 + 5|x|^2 - 8|x| + 4, & 1 \leq |x| \leq 2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

2.2.3. Fast First-Order Polynomials Convolution Interpolation

Fast First-Order Polynomials Convolution Interpolation 방법은 1차 다항식을 이용하여 3차 회선 보간법 커널 모양에 근사화 시킴으로써 연산량을 매우 간소화 하였으며, 커널의 수식은 아래와 같다. 또한 저자가 최적의 α 값으로 -0.853 과 -0.84375 를 제안하여 사용함으로써 한번 더 복잡도를 감소시켰다.

$$\beta(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \frac{4}{9}\alpha\right), & 0 \leq |x| < \frac{1}{3} \\ \left(1 - \frac{2}{9}\alpha\right) - \left(1 - \frac{2}{9}\alpha\right)s, & \frac{1}{3} \leq |x| < 1 \\ -\frac{4}{9}\alpha + \frac{4}{9}\alpha s, & 1 \leq |x| < \frac{4}{3} \\ \frac{4}{9}\alpha - \frac{2}{9}\alpha s, & \frac{4}{3} \leq |x| < 2 \end{cases} \quad (8)$$

3. 실험

3.1. 실험 조건

실험을 위한 영상은 그림 1과 같은 영상들을 사용하였다. 스케일러 성능 비교를 위해 PSNR을, 주관적 화질을 확인을 위해 영상 결과 일부를 포함시켰다. 마지막으로 복잡도 비교를 위해 각 스케일러 별 스케일링 시간을 측정하여 비교하였다.

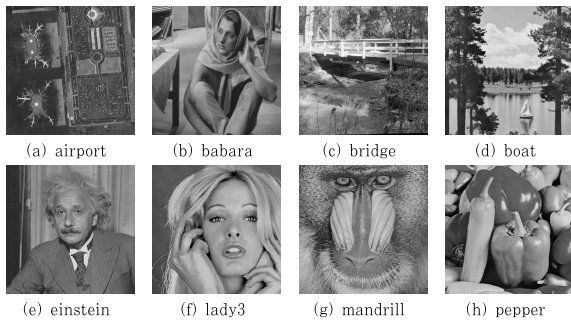


그림 1 실험 영상들

3.2. PSNR

신호 처리에서 주로 사용하는 SNR의 변형으로 두 영상의 차이를 정량적으로 표현하는 PSNR을 사용하여 스케일러 기법 별로 아래 표 2에 나타내었다.

- A : Bilinear
- B : Cubic B-Spline
- C : Bi-cubic
- D : Blended Kernel
- E : Novel Interpolation Chip
- F : Fast First-Order Polynomials Convolution Interpolation

	A	B	C	D	E	F
(a)	31.196	41.945	38.129	40.135	36.999	31.195
(b)	31.958	41.644	39.793	41.735	37.276	31.954
(c)	32.630	42.284	39.920	40.813	37.799	32.634
(d)	36.244	44.059	43.504	43.167	40.845	36.233
(e)	35.947	45.379	42.413	44.754	41.887	35.944
(f)	36.428	44.108	43.449	44.468	41.679	36.422
(g)	29.935	42.096	37.236	38.722	35.345	29.937
(h)	39.157	48.038	45.615	46.129	44.270	39.124

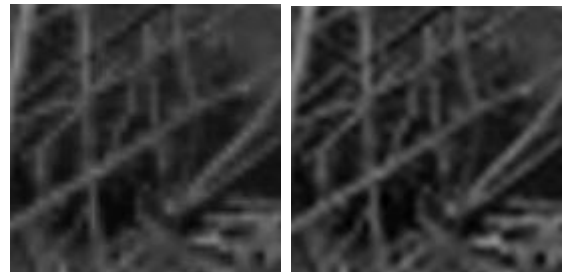
표 1 스케일러별 PSNR 비교

1차 보간법인 Bilinear은 PSNR 측면에서 가장 낮은 결과를 나타내었고, Novel Interpolation Chip, Fast First-Order Polynomials Convolution Interpolation이 그 다음으로 낮은 수치를 보였다. Bi-cubic와 Blended Kernel이 조금 더 높은 수치를 보임을 확인할 수 있다.

3.3. 주관적 화질

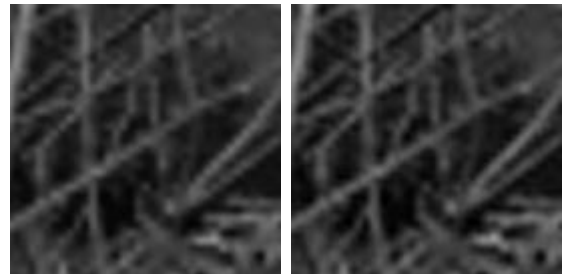
영상은 bridge영상을 x3.8한 결과의 일부를 비교하였다. Bilinear과 Fast First-Order Polynomials Convolution Interpolation는 다른 커널들에 비해서 전체적으로 흐리고, 옛지가 뭉개진 것을 확인할 수 있다. Bi-cubic과 Novel Interpolation Chip가 Bilinear와 Fast

First-Order Polynomials Convolution Interpolation보다는 나은 성능을 보였지만, Cubic B-Spline이 조금 더 나은 성능을 보였다. Blended Kernel의 경우 옛지들이 잘 살아난 영상을 보여주며, 주관적 화질에서 가장 좋은 성능을 보였다.



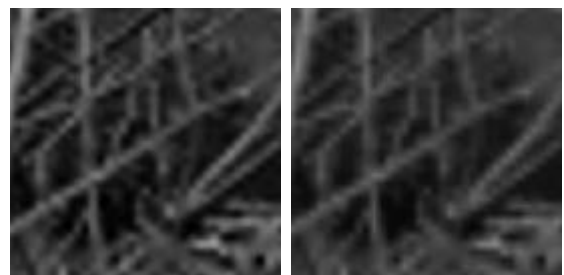
(a) BL

(b) CBS



(c) BC

(d) BK



(f) NIC

(g) FFPC

4. 결론

스케일러는 비디오 시스템이나 방송 시스템, 포터블 기기 등에서 쓰이는 중요한 모듈 중 하나이다. 이 논문에서는 오래전에 개발되어 현재 시중에서도 사용하고 있는 스케일러 방법들 뿐 아니라, 다양한 방법으로 성능 및 속도개선을 시킨 스케일러들을 비교 분석하였다. 하드웨어의 특성을 고려한 스케일러들은 복잡도 면에서 많이 개선이 되었지만, 기존의 방법들이나 소프트웨어적으로 구현한 스케일러들에 비해서는 화질면에서 부족한 점을 발견할 수 있다. 앞으로 초고해상도를 지원하는 장치들이 많이 등장할 것을 대비하여, 하드웨어의 특성을 고려하면서도 스케일된 영상의 화질은 개선시킬 수 있는 스케일러의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] R. G. Keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. ASSP-29, no. 6, pp. 1153 - 1160, Dec. 1981.
- [2] M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "B-Spline Signal Processing-part II: Efficient Design and Applications," *IEEE trans. on Signal Processing*, vol. 41, no. 4, pp. 834 - 848, Feb. 1993.
- [3] L. Liang, "Image Interpolation by Blending Kernels," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 15, pp. 805 - 808, Dec. 2008.
- [4] C. C. Huang, P. Y. Chen, and C. H. Ma, "A Novel Interpolation Chip for Real-Time Multimedia Applications," *IEEE trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 10, pp. 1512 - 1525, Oct. 2012.
- [5] C. C. Lin, M. H. Sheu, C. Liaw, and H. K. Chiang, "Fast First-Order Polynomials Convolution Interpolation for Real-Time Digital Image Reconstruction," *IEEE trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 20, no. 9, pp. 1260 - 1264, Sept. 2010.
- [6] M. Hu and J. q. Tan, "Adaptive osculatory rational interpolation for image processing," *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 195, pp. 46 - 53, 2006.
- [7] A. Hore, D. Ziou, "Image Quality Metrics: PSNR vs. SSIM," *International Conference on Pattern Recognition*, pp. 2366 - 2369, Aug. 2010.