

이웃 픽셀 값을 고려한 적응적 3차 보간법

*이아영 **김희창 ***정제창

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

*adolsa@naver.com

An Adaptive Cubic Interpolation Considering neighbor pixel values

*Lee, A-Yeong **Kim, hee-Chang ***Jeong, Je-Chang

Hanyang University Department of Electronics and Computer Engineering

요약

영상 표시장치의 화소수가 다양화됨에 따라, 영상 보간법은 더욱 중요한 역할을 하게 되었다. 3차 콘볼루션 보간법(Cubic Convolution Interpolation)은 간단하지만, 적용하는데 제한이 없고, 좋은 성능을 보이기 때문에 널리 쓰이고 있다. 이 논문은 3차 콘볼루션 보간법을 이용한 적응적 방법을 제안한다. 예측하려는 픽셀의 이웃 화소 값의 차이를 고려해서, 3차 콘볼루션 커널에 있는 'a'값을 적응적으로 선택한다.

1. 서론

영상보간법은 불연속(discrete) 샘플로부터, 그것을 연속적인 이벤트로 생각해서 중간 값을 예측하는 것이다. 영상보간법은 디지털 영상 처리에서 영상을 확대하거나 축소하기 위해 다양하게 쓰이고 있다[1].

현재 다양한 영상 콘텐츠가 방송사나 사용자에 의해서 제작되고, 영상물은 더욱 일상화되고 있다. 이에 따라 영상 표시장치도 다양화되고, 그것의 화소수도 더욱 다양성을 가지게 되었다. 이에 따라 영상보간법은 더욱더 중요한 역할을 차지하게 되었다.

주관적인 화질을 향상시키고, 계산량을 줄이기 위해 많은 보간 방법들이 제안되었다. 가장 간단한 영상보간법은 영차보간법(nearest neighbor interpolation)이다. 이 방법은 간단하지만, 원하지 않는 체커보드 효과(checkerboard effect)가 나타나며, 이것은 확대 계수(magnification factor)가 클수록 두드러진다[2]. 이런 영차보간법의 약점을 극복하기 위해 더 높은 차수의 보간 커널(kernel)을 기반으로 하는 선형보간법(bi-linear interpolation)과 3차보간법(bi-cubic interpolation)방법이 제안되었다. 하지만, 이 방법은 영상의 부분적 특질을 고려하지 않기 때문에, 흐려짐 효과(blurring effect)를 일으킨다. 모서리(edge)와 평탄한 부분에 똑같은 알고리즘을 적용하기 때문이다.

흐려짐 효과를 줄이기 위해서 여러 가지 보간 방법이 제안되었다. 그중 한 가지는 멀티 해상도 피라미드(multi-resolution pyramid) 방법이다. 이 방법은 주어진 영상을 저 해상도(low resolution) 이미지로 두고, 이것을 기반으로 높은 주파수(high frequency) 성분의 이미지를 예측하여, 고 해상도(high resolution) 이미지를 얻는 방법이다. 웨이블릿 구조(wavelet structure)등을 사용하는 방법이 제안되었다[3]. 흐려짐 효과를 줄이기 위해 제안된 다른 방법은 모서리인지 아닌지 고려하여, 다른 알고리즘을 적용하는 방법이다[4]. 이런 방법들은 복잡도가 높은 단점을 가지고 있다.

최근에는 선형보간법을 기반으로 하고 이것을 향상시킨 알고리즘들이 제안되었다[5]. 이것은 계산이 복잡하지 않으면서도, 꽤 좋은 주관적 화질을 얻을 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한, 다차수 보간 커널을 이용한 보간법은 확대 계수가 2의 거듭제곱이 아니어도 적용할 수

있기 때문에, 적용성이 높다.

이 논문에서는 간단하지만 활용성이 높은 3차 보간법을 기반으로 하는 방법을 제안한다. 보간하고자 하는 픽셀의 이웃 픽셀의 차이를 고려하여 지역적인 특징을 얻고 이에 따라 다른 커널을 사용한다. 3차 보간법 커널 함수의 'a'값을 다르게 하여 다양한 커널을 얻었다. 제안된 방법은 주관적 화질면에서도, 객관적인 수치인 peak signal to noise ratio(PSNR)측면에서도 좋은 결과를 보여준다.

2. 이론

가. 3차 보간법(Cubic interpolation)

앞에서 설명한 것과 같이 영상보간법은 불연속적으로 샘플링된 값으로부터 연속적인 이벤트를 얻어, 중간 값을 예측하는 것이다. 그 연속적인 이벤트인 보간 함수, $g(x)$ 는 다음과 같은 식으로부터 쓸 수 있다.

$$g(x) = \sum_k c_k u\left(\frac{x - x_k}{h}\right). \quad (1)$$

여기서 h 는 샘플링의 증가(sampling increment)이고, x_k 는 보간 노드(interpolation node)이고, u 는 보간 커널이고, c_k 는 원래 이미지의 샘플링 값을 의미한다. 이 콘볼루션과 비슷한 오퍼레이션으로 불연속 값들로부터 연속적인 값을 얻는다.

3차 콘볼루션 보간법의 커널은 $(-2, -1), (-1, 0), (0, 1), (1, 2)$ 에서 정의되며, 나머지 구간에서는 '0'값을 가진다. 그것을 식으로 쓰면 다음과 같다.

$$u(s) = \begin{cases} A_1|s|^3 + B_1|s|^2 + C_1|s| + D_1 & 0 < |s| < 1 \\ A_2|s|^3 + B_2|s|^2 + C_2|s| + D_2 & 1 < |s| < 2 \\ 0 & 2 < |s|. \end{cases} \quad (2)$$

또한, 정수 값에서 커널은 $u(0) = 1, n$ 이 '0'이 아닐 때는 $u(n) = 0$ 으로 정의 된다. 여기서 정수 값에서 커널이 1과 0이 되는 것은 상당히 중요하다. 이 조건으로 인해, 보간된 영상의 샘플의 위치가 보간 전 영상의 샘플의 위치와 정확하게 일치하는 경우에, 그 샘플 값을 그대로 가져올 수 있다. 식(1)에서 h 는 샘플링의 증가이기 때문에, 보간 노드(interpolation node)인 x_j 와 x_k 의 차는 $(j-k)h$ 이므로, $g(x_j)$ 는 식(1)에 의해 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$g(x_j) = \sum_k c_k u(j-k). \quad (3)$$

$j = k$ 일 때는 $u(j-k)$ 값은 '1'이고, 그 외의 경우에 $u(j-k)$ 값은 '0'이므로, $g(x_j) = c_j$ 가 되어, 보간 전의 샘플의 값을 그대로 가져올 수 있게 된다. 이 조건들과 커널의 연속성과 1차 미분 값의 연속성을 고려하면, 식(2)는 다음과 같이 하나의 미지수만 가지는 커널을 얻을 수 있다.

$$u(s) = \begin{cases} (a+2)|s|^3 - (a+3)|s|^2 + 1 & 0 < |s| < 1 \\ a|s|^3 - 5a|s|^2 + 8a|s| - 4a & 1 < |s| < 2 \\ 0 & 2 < |s|. \end{cases} \quad (4)$$

보간 함수 $g(x)$ 를 테일러 시리즈(Taylor series)의 처음으로 나오는 3개의 항만 가진다고 가정하면, $a = -\frac{1}{2}$ 가 적절함을 알 수 있다[1].

나. 적응적 3차 보간법 개괄

영상의 지역적 특질을 고려하지 않고, $a = -\frac{1}{2}$ 를 사용하는 것은 문제점이 있다. 영상은 모서리인지, 그렇지 않은가에 따라서 다양한 특질을 가지고, 그에 따라서 적절한 커널을 사용하여야 한다. 값의 변화가 거의 없는 평탄한 지역은 낮은 주파수 성분만을 가진다는 것이고, 테일러 시리즈의 초기항만 고려해도 된다. 이에 반해 모서리 부분에서는 높은 주파수 성분도 가지는 것으로, 테일러 시리즈의 많은 항까지 고려해야 한다는 것이다. 따라서, 테일러 시리즈의 세 번째 항만 고려해서 얻은 상수의 a 값을 사용하기 보다는 지역적인 특질을 찾아 그에 따라 적절한 a 값을 사용하고자 한다.

이 논문에서는 지역적 특징을 얻기 위해서, 단순히 보간하고자 하는 픽셀의 바로 이웃한 픽셀의 값만 고려하였다. 이웃 픽셀값의 차이에 따라 a 값을 다음과 같이 사용하였다.

$$a = \begin{cases} 0 & diff \leq 2 \\ -\frac{1}{2} & diff \leq 4 \\ -\frac{3}{4} & diff \leq 16 \\ -1 & else. \end{cases} \quad (5)$$

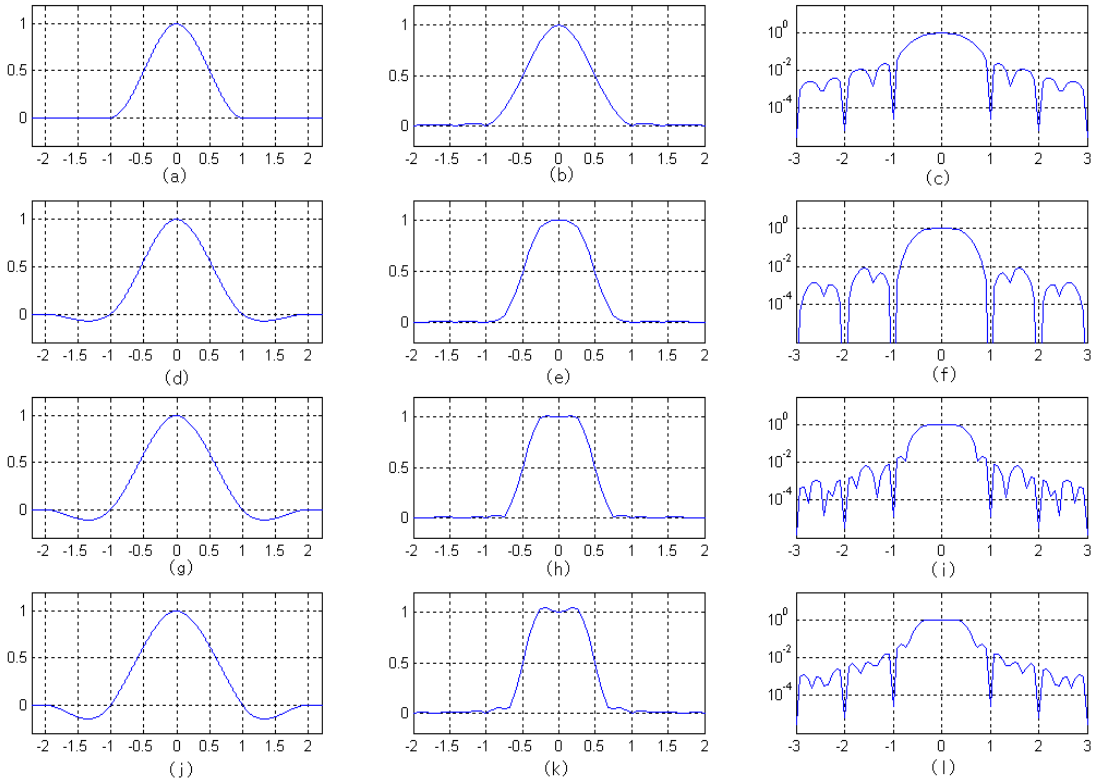


그림 1. 보간 커널. $a=0$ 일 때, (a) $u(x)$. (b) $U(f)$ 의 크기. (c) 로그스케일의 $U(f)$ 크기. $a=-0.5$ 일 때, (d) $u(x)$. (e) $U(f)$ 의 크기. (f) 로그스케일의 $U(f)$ 크기. $a=-0.75$ 일 때, (g) $u(x)$. (h) $U(f)$ 의 크기. (i) 로그스케일의 $U(f)$ 크기. $a=-1$ 일 때, (j) $u(x)$. (k) $U(f)$ 의 크기. (l) 로그스케일의 $U(f)$ 크기.

여기서 *diff*는 보간하고자 하는 픽셀의 바로 이웃한 픽셀값의 차이이다. 즉, 평탄한 지역일 때는 *a*값을 '0'으로 사용하고, 모서리인 지역에서 크기가 큰 *a*값을 사용한다.

다. 적응적 3차 보간법 해석

적응적 3차 보간법을 깊이 있게 해석하기 위해서, 공간영역의 해석보다는 주파수 영역의 해석을 보고자 한다. 공간영역에서의 보간 커널은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$g(x) = \sum_k c_k u\left(\frac{x-x_k}{h}\right). \quad (6)$$

이 커널을 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용해서 주파수영역의 함수로 바꾸면 다음과 같다.

$$G(\omega) = \sum_k c_k e^{-j\omega x_k} h U(\omega h). \quad (7)$$

여기서, 사용한 푸리에 변환은 다음과 같다.

$$G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) e^{-j\omega x} dx. \quad (8)$$

식 (7)의 $U(\omega)$ 는 다음과 같다.

$$U(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} u(x) e^{-j\omega x} dx. \quad (9)$$

식 (7)에서, $c_k e^{-j\omega x_k}$ 의 누적 합은 불연속 푸리에 변환(discrete Fourier transform) 임을 알 수 있다. 이 식에 곱해져 있는 $U(\omega h)$ 는 저주파만 통과시키는 스무딩 필터(smoothing filter)로 생각할 수 있다. 따라서, 보간 커널을 주파수 영역에서 보면, 그 보간법의 특징을 이해할 수 있다.

이상적인 보간 커널함수는 sinc함수이다. 왜냐하면 이것을 주파수 영역에서 보면, (-0.5,0.5)까지 1의 값을 가지고, 나머지 구간에서는 '0'의 값을 가지기 때문이다. 이것은 이상적이기는 하나, 실제적으로 적용이 불가능하다. 하지만, 실제로 적용하는 보간 커널이 얼마나 이 함수에 가까운지 비교함으로써, 적절한 보간을 하는지 생각해 볼 수 있다.

그림 1은 *a*값에 따른 커널을 공간영역과 주파수영역에서 보여주고 있다. 여기서 주파수의 단위는 각주파수, ω 가 아닌 주파수, *f*를 사용하였다. 그림에서 보면, *a*값의 크기가 클수록, 높은 주파수를 더 통과시킨다는 것을 알 수 있다. 이웃 픽셀간의 차이 값이 크다는 것은 모서리라는 것을 의미하고, 이를 위해 높은 주파수를 통과시키는 필터를 사용하였다.

3. 결과

가. 객관적 화질 비교

객관적인 화질 비교를 위해서 제안된 알고리즘을 사용하여 보간한 영상의 PSNR을 0차 보간, 선형보간, 3차보간과 비교하였다. 512x512영상을 다운 샘플링하여, 256x256영상을 얻은 후, 그것을 보간하여 다시 512x512영상을 얻어, 원본과 비교하였다. 다운 샘플링 방법으로는 매트랩의 디폴트 설정으로 선형보간법을 사용하였다. 따라서, 11by11의 지역통과필터를 사용하였다. 그것의 결과는 표 1과 같다.

표 1에는 0차보간, 선형보간, 3차보간, 적응적 3차보간의 PSNR이 차례로 나와 있다. 평균 PSNR을 보면, 다른 보간법보다 향상되었음을 알 수 있다. 기존의 3차 보간법보다는 약 0.25dB PSNR이 상승했다. 그리고 14가지의 테스트 영상 모두에서 PSNR이 가장 좋은 것은 적응적

3차 보간 임을 볼 수 있다. 특히, 모서리가 많은 영상에서 적응적 알고리즘이 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

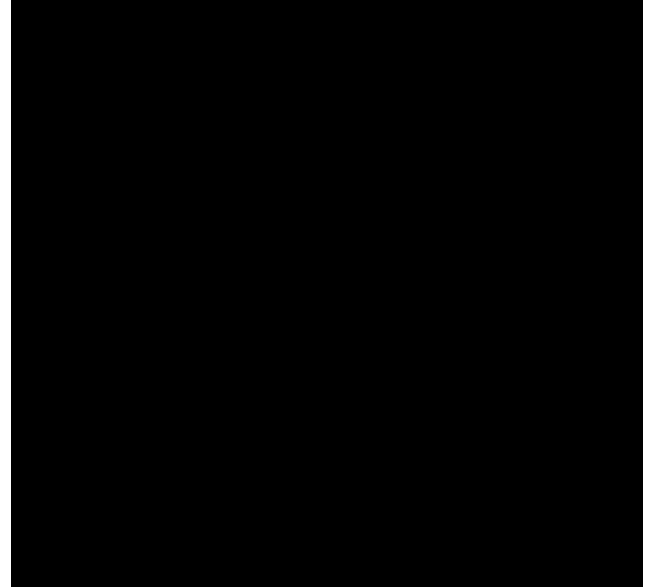


표 1. PSNR 비교.



그림 2. 0차 보간법에 의해 확대된 Butterfly 부분 영상.



그림 3. 선형보간법에 의해 확대된 Butterfly 부분 영상.



그림 4. 3차 보간법에 의해 확대된 Butterfly 부분 영상.



그림 5. 적응적 3차 보간법에 의해 확대된 Butterfly 부분 영상.

나. 주관적 화질 비교

그림 2-5를 살펴보면, 적응적 3차 보간법은 체커보드 효과도 없고, 모서리에서 흐려짐 현상이 적은 것을 볼 수 있다.

4. 결론

3차 보간법은 확대 계수의 제한이 없고, 간단하지만 좋은 성능을 보이므로, 여전히 많이 쓰이고 있다. 하지만, 이것의 문제점은 모서리에서의 흐려짐 현상이 발생한다는 것이다. 제안하는 적응적 3차 보간법은 영상의 지역적인 특질을 고려하여, 커널을 선택함으로써 이런 문제점을 개선시켰다. 주관적으로도, 객관적인 수치로도 화질이 향상됨을 볼 수 있었다.

5. 감사의 글

본 연구보고서는 정보통신부 출연금으로 ETRI, SoC산업진흥센터에서 수행한 IT SoC 핵심설계인력양성사업의 연구결과입니다.

출처

- [1] R.G. Keys, "Cubic Convolution Interpolation for Digital image processing," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process*, ASSP-29, No. 6, Dec. 1981, pp. 1153-1160.
- [2] T. M. Lehmann, C. Gonner and K. Spitzer, "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing," *IEEE Trans. Medical Imaging*, Vol. 18, No. 11, Nov. 1999, pp. 1049-1073.
- [3] N. Nguyen and P. Milanfar, "A Wavelet-Based Interpolation-Restoration Method for Superresolution," *Circuits Systems Signal Process*, Vol. 19, No. 4, 2000, pp. 321-338.
- [4] X. Li and M. T. Orchard, "New Edge-Directed Interpolation", *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 10, No. 10, 2001, pp. 1521-1527
- [5] J. W. Hwang and H. S. Lee. "Adaptive Image Interpolation Based on Local Gradient Features," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 11, No. 3, 2004, pp. 359-362.