

윤곽보존형 Quadratic Spline Interpolation filter를 이용한 고해상도 영상 확대 알고리즘 구현

김효주, 정창성
고려대학교 전자공학과 병렬처리 연구실

Image Zooming Algorithm using Edge-Preserving Quadratic Spline Interpolation Filter

Hyo-Ju Kim, Chang-Sung Jeong
Dept. of Electronic Engineering, Korea Univ.
Email: hyojukim@snoopy.korea.ac.kr

ABSTRACT

다양한 보간 기법을 정리해 보고 이를 통해서 기존의 보간 기법의 한계를 고찰해 본다. 보간의 효율성과 보간 결과 영상의 화질과는 Trade off 관계가 있으며, 이를 적절한 수준에서 결정하는 것은 중요한 문제이다. 본 논문에서는 Quadratic B-spline을 기저 함수로 하는 윤곽보존형 보간 필터를 사용한 영상확대 알고리즘을 제안한다. Unser의 Cardinal Cubic spline 함수에 비해 적은 하드웨어만으로도 이상적인 저역 통과 필터의 특성을 가지며, 입력영상의 윤곽의 방향성을 고려한 적응적인 보간 기법의 적용으로 화질이 우수한 영상확대 알고리즘을 제안한다.

I. 서 론

보간은 주어진 이산 샘플로부터 연속함수의 중간값을 추정하는 과정이며, 임의의 표본율을 다른 표본율로 변환시키는 샘플링 속도 변환기법의 한 방법이기도 하다. 영상 신호 처리에 있어서 보간은 영상의 형태 변화나, 공간적 왜곡의 정정 및 영상의 확대 기법 등에 사용된다. 다양한 display 장치의 해상도 표현 특성에 적응적으로 대처하기 위해 해상도 변화를 위해 사용되며, 민생용 전자 제품에서 영상의 확대 기법(전자 줌)으로 사용되기도 한다. 가장 간단한 영상 보간 구현은 0차 보간(Nearest Neighbor) 기법과 1차 보간(Bilinear) 기법이 있다. 이는 하드웨어 구현상의 용이성은 있으나, Scale factor(확대 배율)의 증가에 따른 화질의 열화를 수반하는 단점이 있으며, 또한 반도체의 미세 가공 기술의 발전에 따라 회로의 집적도가 급격히 증가함으로써, 하드웨어

구현의 제약이 크게 영향을 받지 않는 현재에는 잘 사용하지 않는 기법들이다. 좀더 세련된 보간 기법으로는 Hou와 Andrews에 의해 제안된 Cubic B-spline 기법이 있으나, 보간 연산의 복잡함 때문에 Keys 에 의해 Cubic Convolution이라는 새로운 보간 기법이 제안되기도 했다.

Unser에 의해 발표된 B-spline Transform에 의한 보간 기법에서는 B-spline 보간 기법을 디지털 신호처리 관점에서 재해석하고, 이를 필터 신호처리를 위한 변환기법으로 적용함으로써, 이상적인 저역 통과 필터에 근접하는 Cardinal cubic spline interpolation kernel을 제안하였다.

영상신호 보간 과정은 신호의 확장과 보간 신호의 복원으로 구성되며, 만약 입력신호가 Nyquist 표본화 조건을 만족하고, 주파수 대역 제한되어 있다면 이상적인 보간 함수인 sinc 함수에 의해 정확히 복원 할 수 있다. 그러나, 이상적인 보간 함수인 sinc 함수는 공간적으로 대역 제한되어 있지 않기 때문에 영상의 복원을 위해서는 이상적인 저역 통과 filter에 근접하는 적절한 보간 함수가 필요하다. 영상확대를 위한 하드웨어 구현시 필요 이상의 주변 화소 참조는 하드웨어 cost 및 구현의 복잡성 때문에, 영상 보간 알고리즘을 선택할 때는 화질과 하드웨어 구현의 효율성과의 Trade off을 설정해야만 한다. 본 논문에서는 Quadratic B-spline을 기저 함수로 하는 윤곽 보존형 보간 필터를 사용한 영상확대 알고리즘을 제안한다. Unser의 Cardinal Cubic spline 함수에 비해 적은 하드웨어만으로도 이상적인 저역 통과 필터의 특성을 가지며, 입력영상의 윤곽의 방향성을 고려한 적응적인 보간 기법의 적용으로 화질이

우수한 영상확대 알고리즘을 제안한다.

II. 영상 보간 기법

1. 이상적인 보간 필터(Ideal Interpolator)

이상적인 보간 필터는 공간영역에서 sinc 함수의 특성을 가지는 이상적인 저역 통과 필터 이어야 한다. 하지만 무한대의 공간대역 에너지를 필요로 하는 이상적 저역 통과 필터는 구현이 불가능하며, 이는 보간 필터로 적용할 수 없는 이론적인 개념일 뿐이다.

이상적인 저역 통과 필터의 공간 영역에서의 특성을 살펴보면, 매 sampling grid에서 양의 값과 음의 값이 교대로 나타나는 영의 교차점(zero-crossing) 나타남을 알 수 있다. 보간 kernel에서 영의 교차점이 나타나면, 보간 영상의 뭉뚱화 현상을 피할 수 있고, 고주파 성분을 지니고 있는 윤곽성분을 보존하게 되는 특성이 있다.

$$h(0) = 1,$$

$$h(x) = 0, \quad |x| = 1, 2, \dots$$

궁극적으로 보간 kernel이 지나야 하는 특성이 바로 영의 교차점을 지니고 있어야 한다는 것이다. 일반적인 보간 필터는 이상적인 보간 필터에 공간적으로 대역 제한을 위해 Truncation 이나 Windowing 기법을 적용하여 얻어지는 Kernel (Truncated sinc interpolator)을 보간 필터로 이용한다. Truncation에 의해 얻어지는 보간 필터의 단점은 상당량의 에너지소실로 인해 주파수공간에서 Gibbs's Phenomenon 이라고 불리는 Ringing Effect가 발생한다는 점이다.

Pass-band 주파수 대역에서 Flat한 주파수 응답 특성을 얻기 위해서는 Windowing 방법이 보편적으로 가장 널리 사용되고 있다.

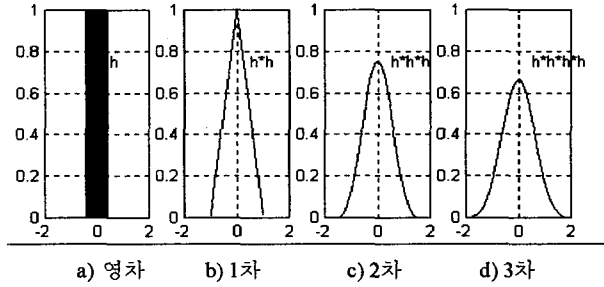
2. B-spline 보간 기법

좀더 좋은 특성의 보간 함수를 얻기 위해 구간별 다항식을 이용한 고차방정식에 의한 보간 기법이 사용된다. 가장 일반적인 구간별 다항식은 두 점 사이에 3차 다항식을 사용하며, 이를 3차 spline 보간(Cubic spline interpolation)이라 한다. 다양한 형태의 Spline 함수 중에서 B-spline (Basis spline)은 가장 널리 알려져 있다. B-spline의 convolution 특성을 이용하면 고차의 B-spline을 만들 수 있다. n차의 B-spline kernel $h_n(x)$ 는 Box function $h_0(x)$ 를 n+1번 convolution 함으로써 얻어진다.

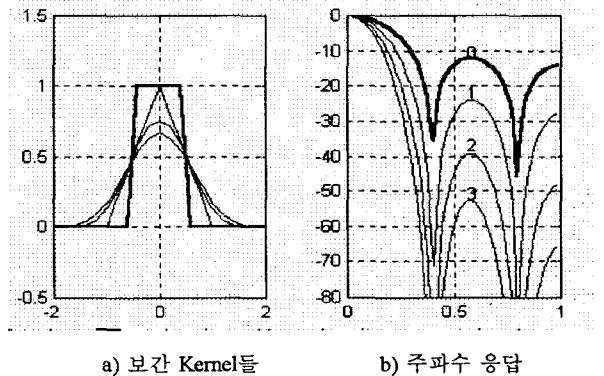
$$h_0(x) = \begin{cases} 1, & -0.5 \leq x \leq 0.5 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

$$h_n(x) = \underbrace{h_0(x) * \dots * h_0(x)}_{(n+1)\text{times}}$$

아래 그림은 좌측부터 0차, 1차, 2차 그리고 3차 B-spline 함수의 kernel을 나타내 주고 있다.



주파수 응답 특성을 살펴보면 Pass-band 영역에서 고주파 성분의 감쇄율이 비교적 크며, 이는 보간 영상의 뭉뚱화로 나타날 수 있음을 보여 준다. Cubic B-spline 함수의 주파수 응답 특성을 살펴보면, Side-lobe의 크기가 -52dB 수준으로써 0차~2차 B-spline 함수의 주파수 응답 특성에 비해 좋다는 것을 알 수가 있다. 하지만 Pass-band 영역에서의 고주파 감쇄율이 여전히 크기 때문에 보간 영상의 해상도가 좋지는 않다.



III. 제안된 보간 기법

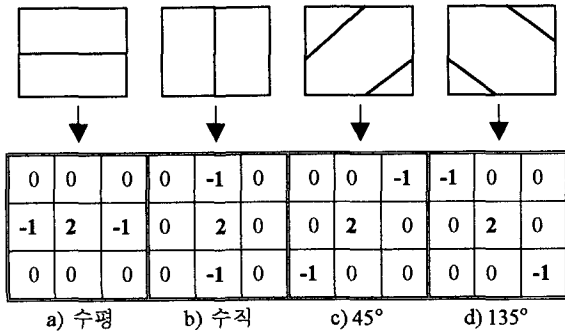
제안된 본 논문의 영상 보간 시스템은 다음의 두 가지 단계로 구성되어 있다. 먼저 입력 영상에 대해 윤곽 검출을 하여 수평, 수직, 대각선 방향의 윤곽을 각각 검출한 후, Quadratic spline 보간 계수값에 각각의 방향 성분에 해당하는 가중치를 부여한다.

1. 윤곽 검출 기법

인간의 시각체계는 급격한 영상의 변화 또는 윤곽 등의 detail에 민감하다. 이 detail은 고주파 영역에 해당하는 신호이며, 보간 신호처리에 있어서 윤곽의 방향성을 이용한 적응적인 보간 신호처리는 보간 영상의 뭉뚱화를 제거하며, 해상도를 증가 시키는 장점을 가진다. 본 논문에서 사용한 윤곽검출기법은 가장 일반적인 2차 미분에 의한 윤곽검출 기법을 적용하였다. 이는 윤곽 검출기법의 간단한 구현을 통해 하드웨어 구현상의 부담을 최소화 하기 위함이다. 윤곽검출을 위한 2차 미분 연산식 Laplacian Operator는 다음 수식과 같다.

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} f(x, y)$$

위 수식을 수평, 수직, 대각선 방향의 3 X 3 Mask based operator로 표현하면 다음과 같다.



2. Quadratic Spline 보간 기법

Quadratic B-Spline Function을 이용한 보간 기법은 선형 특성을 지닌 2차의 Smooth piecewise polynomial 함수를 이용한다. 시간축으로 대역 제한되어 있는 Quadratic B-spline 함수를 단위 시간축에 대해 가중치 합(Weighted sum)으로 연산하여 보간 결과를 생성한다. Quadratic B-spline Basis를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$h_2(x) = \begin{cases} \frac{3}{4} - |x|^2, & |x| \leq \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} (|x| - \frac{3}{2})^2, & \frac{1}{2} \leq |x| \leq \frac{3}{2} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

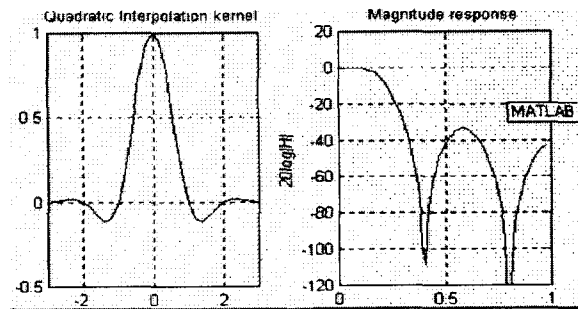
상기의 Quadratic B-spline basis를 이용한 Quadratic Spline interpolation kernel은 다음과 같이 단위 시간축에 대해 가중치 합을 연산하는 수식에 의해 만들어지며,

$$Y(x) = \sqrt{2} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} (2\sqrt{2} - 3)^{|i|} * h_2(x - i)$$

Quadratic Spline interpolation kernel Y(x)을 이용한 보간 과정을 통해 복원된 신호 s(x)는 다음과 같은 수식에 의해 표현된다. 여기서 f(k)는 초기의 입력 이산 신호이다.

$$s(x) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} f(k) * Y(x - k)$$

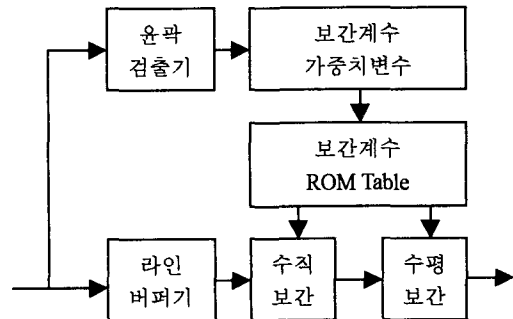
아래의 그림은 단위 시간축에 대해 가중치 합을 연산하는 Quadratic Spline interpolation kernel Y(x)를 나타낸다. 기준 시간축에서 멀어질수록 가중치 연산을 통해 얻어지는 신호의 크기가 급격히 감소함을 알 수 있다. 보간 Kernel Y(x)는 ±3 구간에서만 정의된다.



a) 보간 Kernel

b) 주파수 응답

3. 시스템 구성도



입력된 영상은 윤곽검출을 위해 2차 미분 연산윤곽 검출기와 수직 보간을 위한 라인버퍼로 입력된다. Quadratic spline 보간을 위해서 라인 버퍼는 5개의 라인메모리를 사용하는데, 이는 Quadratic spline 보간 기법이 6 Tab의 보간 kernel을 사용하기 때문이다. 윤곽검출기에서는 수평, 수직, 대각선의 윤곽을 각기 분류하여 보간 계수 가중치 변수기에서 Quadratic spline 보간 계수값에 가중치를 부여하기 위한 값을 생성한다. 보간계수 ROM Table에는 미리 연산된 Quadratic spline 보간 계수(Y(x))를 저장한다. 확대 배율이 결정되면 확대 배율에 해당하는 보간 계수를 ROM Table에서 읽어 와서

수직 보간과 수평 보간을 수행한 후, 확대된 영상을 출력한다.

IV. 실험결과

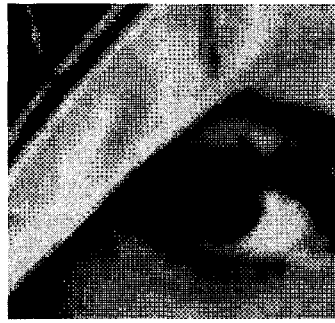
사용된 영상은 512 X 512 lena 영상을 사용하였다. 보간 영상은 8배 확대 배율을 적용하였다. 그림 a)는 0차 보간을 이용하여 8배 확대한 영상으로써, 영상의 블러화 현상이 두드러져 보인다. b)는 1차 선형 보간으로 8배 확대한 영상이며, 0차 보간에 비해 블러화 현상은 줄었지만, 영상의 뭉롱화가 조금 진행됨을 알 수 있다. c)와 d)영상은 2차, 3차 B-spline 보간 kernel을 이용하여 8배 확대한 영상이다. 블러화 현상은 제거가 되었지만 영상의 뭉롱화 현상이 상당히 진행 되었음을 알 수 있다. 따라서 B-spline 보간 기법에서는 n의 차수를 증가 시키면, 보간 영상의 뭉롱화만 진행될 뿐이지, 화질이 개선되지는 않는다는 것을 알 수 있다. e)는 보간 기법으로 비교적 우수한 특성을 지닌 것으로 알려져 있는 Unser의 Cardinal Cubic spline filter를 적용한 8배 확대 영상이다. f)는 제안된 본 논문의 8배 확대 영상이다. e)의 보간 영상을 위해 사용된 8 Tab의 보간 kernel에 비해 6Tab의 적은 하드웨어 만으로도 우수한 보간 영상을 만들 수 있음을 보여 주고 있다.

참고 문헌

- [1] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, pp.253-255,1989
- [2] J. S. Lim, *Two-Dimensional Signal and Image Processing*, Prentice-hall, pp.495-497,1990
- [3] S. W. Lee, J. K. Paik, "Image Interpolation using Adaptive fast B-Spline Filtering," proc. 1993 Int. Conf. Acoust, Speech, signal Processing, vol.5, pp. 177-179, April 1993
- [4] J. K. Paik and S. W. Park, "A Real Time Image Interpolation For Digital Zooming." Proc. 1st Korea-Japan Joint Conf. Computer Vision, pp. -322, Seoul, Korea, October 1991.
- [5] M. Unser, A. Aldroubi and M. Eden, "Fast B-spline Transforms for Continuous Image Representation and Interpolation", IEEE Trnas. Patt. Anal. Machine Intell., vol.13, no.3, pp.277-285, March 1991.
- [6] H. J. Kim, "An Edge Preserving Image Interpolation System form a Digital Camcorder." IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 42, no. 3, August 1996
- [7] K. Toraiichi, "A Quadratic Spline Function Generator", IEEE Trans. On ASSP, vol.37, no.4, April 1989



a) 8배 확대 0차 보간



b) 8배 확대 1차 보간



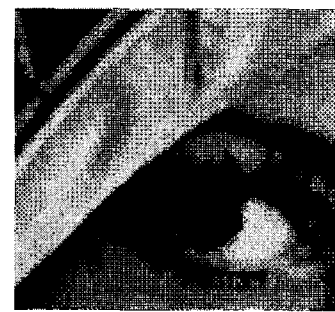
c) 8배 확대 2차 B-spline 보간 영상



d) 8배 확대 3차 B-spline 보간 영상



e) 8배 확대 Unser's cubic B-spline 변환 보간 영상



f) 8배 확대 제안된 본 논문의 보간 영상