

# 적응적인 선형 보간을 이용한 부화소 기반 영상 확대

유 훈<sup>†</sup>

## 요 약

본 논문에서는 부화소 단위의 적응적인 선형 보간법을 제안한다. 보통의 선형 보간법에 화소마다 매개 변수가 도입되고 이 매개 변수를 최적으로 구하기 위해서 저역 필터와 MMSE (minimum mean square error) 방법을 이용한 일반적인 보간 구조를 제안한다. 또한 제안된 일반적인 적용 선형 보간 구조에서 복잡도를 최소화한 방법을 유도하여 간단한 닫힌 형태의 식으로 제시한다. 기존 방법인 보통의 선형 보간법, 3차 커브루션 보간법에 비교하여 주관적으로나 객관적으로 제안된 방법의 우수함을 실험 결과로 알 수 있을 뿐만 아니라 왜곡 거리 선형 보간법(warped distance linear interpolation), 이동 선형 보간법(shifted linear interpolation) 등의 최근 기술과 비교하여도 우수함을 실험 결과는 보여준다.

## Sub-pixel Image Magnification Using Adaptive Linear Interpolation

Hoon Yoo<sup>†</sup>

## ABSTRACT

We propose an adaptive linear interpolation locating sub-pixels. We utilize a pixel-based parameter in the conventional linear interpolation. To optimally obtain the parameter, we propose a generic interpolation structure including a low pass filter and minimum mean square error. We also propose a simple version of the generic interpolation method, which obtain a closed-form solution. Simulation results show that the proposed method is superior to the state-of-the-art methods such as warped distance linear interpolation and shifted linear interpolation, as well as the conventional method such as the linear interpolation and the cubic convolution interpolation in terms of the subjective and objective image quality.

**Key words:** Adaptive Image Interpolation(적응 선형 영상 보간), Least-squares(최소 자승), MMSE(평균 자승에 라 최소화), Warped Distance(왜곡 거리)

## 1. 서 론

영상 보간법은 많은 분야에서 기초 기술로써 중요 한 역할을 수행한다[1,2]. 비록 보간법이 두 샘플의 임의의 사이 값을 모두 계산할 수 있게 구축돼야 하지만, 부화소 단위의 영상 보간은 디지털 카메라 응용[2-6], 영상 압축[7,8], 디지털 TV 분야[9-11] 등등에서 빈번히 사용된다. 예를 들면, CFA(color filter array)에서의 영상 보간[4,5], YUV 영상에서의 4:2:2 또는 4:2:0 포맷에서 4:4:4 포맷으로 변환[9-10], 격행

주사(interlaced scan)된 디지털 TV 영상에 대한 격 행 주사선 제거(de-interlacing)에서의 보간[11], 리프팅(lifting) 기반 웨이블릿 변환(wavelet transform) 구축[7] 등등을 들 수 있다. 따라서 이들 분야에서는 부화소 단위의 효율적인 영상 보간법이 요구된다.

가장 간단하고 쉽게 접근할 수 있는 보간은 영차 보간(zero<sup>th</sup> order interpolation)이다. 이 방법은 구현이 간단하여 저 복잡도를 요구하는 보간 응용 분야에서 사용 가능하지만 보간된 영상의 화질이 좋지 못한

\* 교신저자(Corresponding Author): 유 훈, 주소: 부산 시 사상구 주례2동 69-1(617-716), 전화: 051)320-1734, FAX: 051)327-8955, E-mail: hunie@dongseo.ac.kr

접수일: 2006년 3월 9일, 완료일: 2006년 5월 8일

<sup>†</sup> 정회원, 동서대학교 컴퓨터정보공학부

단점이 존재한다. 화질을 높이기 위한 방법으로 선형 보간(linear interpolation) 방법, 3차 컨볼루션 보간(cubic convolution interpolation), 스플라인 보간(spline interpolation) 등의 고전적인 방법이 사용된다[12-17]. 이들 방법들은 화질의 개선 효과가 있지만 영상의 에지 부분에서 흐림 현상(blurring)을 유발하는 단점도 존재한다. 따라서 보간된 영상의 화질을 개선하기 위한 방법으로 적응 보간(adaptive interpolation)이 제안되었다[18-29].

적응 보간 방법들은 영상의 에지 부분에서 에지 정보를 이용한 보간 방법들[18-20],[28]과 고전적인 보간법[12]의 보간 커널 식에서 고정된 매개변수를 사용하지 않고 주변 화소 값으로부터 적절한 정보를 얻어내서 매 화소마다 매개변수를 변화시키는 방법들[22-26]로 크게 나눌 수 있다. 따라서 적응적인 보간법은 매 화소마다 어떠한 매개변수로 보간할지에 대한 정보를 얻기 위해서 다양한 방법의 모델을 세우고 이에 따른 매개변수를 구하는 것으로 정리된다. 적응적 보간법 구축 시 기본 모델을 3차 보간법에서 출발하는 경우가 많다. 이는 3차 보간법이 선형 보간법보다 대체로 우수한 성능을 보이기 때문이다. 그러나 선형 보간법은 3차 보간법에 비해서 간단하며 또한 적응적인 선형 보간법들은 3차 보간법과 비교하여 보간된 화질 면에서 대등한 면을 보인다. 특히 [24]에서는 적응 매개변수로 왜곡거리(warped distance)를 도입하여 화질을 개선하였고, [27]에서는 선형 보간법을 발전시켜 이동 선형보간법(shifted linear interpolation)을 제안했고 3차 보간법[12]과 비교하여 보간 화질에서 대등하거나 우수한 결과를 보였다. 따라서 선형 보간법을 주축으로 한 보간법에서 성능향상은 계속 필요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 선형 보간법에 기반한 적응적인 영상 보간법을 제안한다. 적응 매개변수 값을 유도하기 위해서 최소 평균 자승 에러(minimum mean square error) 방법을 이용한다. 최소평균자승에러 방법은 가격함수 정의를 위해서 보간된 영상과 비교할 원본 고해상도 영상이 필요하게 된다. 그러나 일반적으로 비교할 고해상도는 존재하지 않는 경우가 대다수이다. 이때 필요한 고해상도 영상을 고전적인 보간법을 이용하거나 또는 고 해상도의 영상과 저 해상도의 영상이 유사하는 특징을 이용하여 추출하는 방법을 사용할 수 있다[18,26,30]. 그러나 MMSE를 이용한

방법은 매개 변수 추출이 일반적으로 다원 편미분 방정식의 해를 구해야 하는 부담이 있다. 본 논문에서는 MMSE를 이용해서 효율적인 매개변수의 추출을 위해서 일반화된 적응 보간 구조를 제안한다. 제안된 일반화된 구조는 그림 1에서 보여주듯이 저역 필터, MMSE, 그리고 선형 보간으로 이루어진다. 매개변수의 함수로 가상의 고해상도 화소를 구축하고, 이를 저역 필터에 통과시킨다. 그 이유는 매개 변수의 영향이 주변 화소에 영향이 미치도록 하여서 적응 매개 변수를 계산하기 쉽게 하기 위한 것이고 또한 일반적으로 고 해상도의 영상이 저 해상도의 영상으로 변환될 때 간축 필터로써 저역 필터를 사용하는데 있다. 카메라 렌즈를 통과해서 얻어지는 디지털 영상에서도 카메라 렌즈가 저역필터로 모델링 할 수 있다. 매개 변수의 함수인 가격함수가 구축되면 적응 보간 매개 변수를 구하고 일반화된 적응 영상 보간법이 구축된다. 기존의 MMSE를 이용한 방법이 일반적으로 닫힌 형의 해법을 제공 못하는 문제점으로 성능 향상 대비 구현 복잡도가 너무 높다. 이런 문제점을 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 제안된 일반화된 보간법에서, 설계 예로써 닫힌 형 해법을 제시해서 구현 복잡도가 낮은 방법을 제안된다. 따라서 제안된 일반적인 보간 구조에서 저역필터, 가격함수를 위한 화소범위 등등의 선택에 의해서 다양한 적응적인 보간 필터가 얻어질 수 있다. 제안된 적응 선형 보간법은 알려져 있는 보통의 선형 보간법, 3차 컨볼루션 보간법[12]과 비교되고 최근의 선형 보간 방법으로 선형 왜곡 거리 방법[24], 이동 선형 방법[27]과도 비교된다. 비교 기준으로 Lena영상으로 주관적으로 화질이 비교되며 또한 객관적인 보간 성능의 지표로 PSNR (peak signal to noise ratio)면에서도 비교 평가된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 고전적인 보간법에 대한 기술을 하고 또한 이들 방법이 적응 보간법으로 이용되는 방법에 대해서 기술한다. 또한 선형왜곡거리방법과 이동선형방법에 대해서 기술한다. III장에서는 제안된 적응 보간법에 대한 일반적인 모델을 제시한다. 또한 이 모델로부터 복잡도 최적화되고 선형 보간법에 잘 적용되는 예를 제시한다. IV장에서는 제안된 방법에 대한 실험결과를 제시하고, V장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 보간법의 기초

### 2.1 고전적인 보간법

표본화(sampling)는 연속적인 신호(continuous time signal)를 이산신호(discrete time signal)로 만든다. 표본화의 역 과정으로써 보간법은 이산신호를 연속적인 신호로 변환해주는 방법이다. 즉 이산신호 사이에 존재하지 않은 값을 주어진 이산신호 값을 이용하여 재구성해 내는 것이다. (1)은 이산신호로부터 보간된 신호를 만들어내는 과정을 보여준다.

$$\hat{f}(x) = \sum_k f(x_k) \beta(x - x_k) \quad (1)$$

여기서  $f(x_k)$ 는 입력 이산신호이고,  $\hat{f}(x)$ 는 보간된 신호이며,  $\beta(x)$ 는 보간 커널 식이다.  $x_k$ 는 시간 축으로 균등한 이산 값이고  $x$ 는 연속적인 값이다. (1)은 입력 이산신호와 연속신호인 보간 커널식을 컨버루션한 결과를 보이고 있다. 따라서 보간된 신호는 보간 커널에 따라서 그 결과가 달라진다.

샤논(Shannon)의 표본화 이론(sampling theorem)에 의하면 표본화 이전 신호인  $f(x)$ 가 대역 제한(bandlimited) 신호이고 표본화 할 때 이 대역보다 2배 이상의 주파수로 표본화하면 표본된 이산신호로부터 본래의 연속신호로 완벽히 복원되는데 이때 사용되는 보간 커널은 (2)와 같다.

$$\beta(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \quad (2)$$

(2)는  $\text{sinc}(x)$ 로 알려져 있고 이상적인 보간법(ideal interpolation)으로 알려져 있다. 그러나 무한 대의 범위를 갖기 때문에 현실적으로 구현이 어렵다는 단점이 있다. 따라서  $\text{sinc}(x)$  함수에 적절한 윈도우를 씌워서 범위를 제한하는 연구가 진행되었다 [17]. 또한  $\text{sinc}(x)$ 의 대용으로 스플라인(spline)을 이용한 보간법이 연구되었다[15-17]. 비록 스플라인 보간법이 IIR(infinite impulse response) 필터를 기반한 현실적인 구현 방법이 있지만  $\text{sinc}(x)$ 와 같이 보간 커널의 범위가 무한대로 요구되어서 현실적인 사용에 다소의 제약이 따른다. 따라서 제한된 크기의 보간 커널을 이용한 보간법이 대두된다.

제한된 크기의 보간 커널을 사용하는 보간법 중에 가장 간단한 형태의 커널은 (3)과 같은 0차 보간 커널

이다.

$$\beta(x) = \begin{cases} 1, & -\frac{1}{2} < x \leq \frac{1}{2} \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3)$$

0차 보간 커널은 가장 간단한 형태로 복잡도 면에서 가장 유리한 보간법이다. 그러나 보간 신호가 불록화 되는 등 품질 면에서 문제가 있다. 0차 보간에서 한 단계 개선된 형태는 1차 함수 즉 선형 함수의 조합으로 이루어진 (4)와 같은 선형 보간(linear interpolation) 커널이다[17].

$$\beta(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & 0 < |x| \leq 1 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (4)$$

$x$ 와  $x_k$ 사이 거리를 (5)와 같이 도입하고 (4)와 (5)를 (1)에 대입해서 정리하면 선형 보간 (6)과 같이 정리된다[12, 23-24].

$$s = x - x_k, \quad 1 - s = x_{k+1} - x \\ \text{where } x_k \leq x \leq x_{k+1}, \quad 0 < s \leq 1 \quad (5)$$

$$\hat{f}(x) = (1 - s)f(x_k) + sf(x_{k+1}) \quad (6)$$

(6)으로부터  $x_k$ 와  $x_{k+1}$ 사이의 보간된 신호는 매개 변수  $s$ 의 함수로 정의된다. 또한 보간 값은  $f(x_k)$ 와  $f(x_{k+1})$ 의 두 값에 의해 결정된다. 예를 들면, 중간위치 ( $s=0.5$ )에 대한 보간 신호는  $f(x_k)$ 와  $f(x_{k+1})$ 의 평균값이 됨을 확인할 수 있다. 보간 커널을 3차로 확장하면 (7)과 같다[12].

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

(5)와 (7)를 (1)에 대입하여 정리하면 (8)이 얻어진다[12].

$$\begin{aligned} \hat{f}(x) = & f(x_{k-1})(\alpha s^3 - 2\alpha s^2 + \alpha s) \\ & + f(x_{k+0})((\alpha + 2)s^3 - (\alpha + 3)s^2 + 1) \\ & + f(x_{k+1})(-(\alpha + 2)s^3 + (2\alpha + 3)s^2 - \alpha s) \\ & + f(x_{k+2})(-\alpha s^3 + \alpha s^2) \end{aligned} \quad (8)$$

(8)은 (6)과 달리 변수  $s$ 이외도  $\alpha$ 가 도입되었다. 다양한 값으로  $\alpha$ 를 정의하여 3차 보간법(cubic con-

volution interpolation)으로 사용한다[17]. 이들 중에서 Keys[12]는  $f(x)$ 가 3차 미분이 존재한다는 가정하에 Taylor 급수전개를 이용하여  $a=-1/2$ 를 제시하고 있다. 이 값을 대입하여 얻어진 (9)의 3차 보간법이 가장 많이 이용되고 있다. 여기서 부화소(즉,  $s=0.5$ ) 단위 보간일 때 보간 필터 계수가 (9)에 의해서  $[-1, 9, 9, -1]/16$ 이 됨을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}\hat{f}(x) &= f(x_{k-1})(-s^3 + 2s^2 - s)/2 \\ &+ f(x_{k+0})(3s^3 - 5s^2 + 2)/2 \\ &+ f(x_{k+1})(-3s^3 + 4s^2 + s)/2 \\ &+ f(x_{k+2})(s^3 - s^2)/2\end{aligned}\quad (9)$$

## 2.1 화소 기반 적응 보간법

고전적인 보간법이 고정된 커널을 이용하여 보간을 수행한다면, 적응적인 보간법은 고전적인 보간법에 적당한 매개변수를 도입하여 이 변수를 매 화소마다 계산하는 것이 특징이다. (6)의 선형 보간법에서는 도입할 매개 변수가  $s$ 뿐이다. 반면에 (8)의 3차 보간법에서는 매개 변수가  $s$ ,  $a$ 를 도입할 수 있다. 변수  $s$ 가 보간할 때 거리 계산에 사용됨으로  $a$ 를 매개변수로 적응적인 보간법을 수행할 수 있다. (8)를  $a$ 를 기준으로 재구성하여 (10)같이 정리할 수 있다 [23].

$$\begin{aligned}\hat{f}(x) &= \alpha(f(x_{k-1}) - f(x_{k-1}))(s^3 - 2s^2 + s) \\ &+ \alpha(f(x_{k+0}) - f(x_{k+2}))(s^3 - s^2) \\ &+ (f(x_{k+0}) - f(x_{k+1}))(2s^3 - 3s^2) \\ &+ f(x_{k+0})\end{aligned}\quad (10)$$

여기서 매 화소마다  $a$ 를 정의하기 위해서 [23]에서는 오목도(concavity)를 도입하여 이용하였다.  $A$ 가 합당한 범위의 값이 아니면 [12]에서 제안된  $a = -1/2$ 로 두어서 잘못 유도된 매개변수에 의한 에러를 최소화 했다.

이 외에도 [26]에서는 (8)에서부터  $s$ ,  $a$ 를 매개 변수로 두고 보간한 신호를 재차 평균값을 취하여 표본화하고 이것과 입력 신호와의 차의 에너지를 가격함수로 정하여 매개 변수를 반복(iteration)을 통해서 구하고 있다. 구해진 매개 변수를 이용하여 3차 보간법을 수행한다. [25]에서는 2차원 영상 정보의 지역 기울기(local gradient) 정보를 활용하여 2차원 선형

보간법과 2차원 3차 보간법을 제안하였다. 또한 [29]에서도 2차원 영상의 지역적인 기울기 값을 이용하는 보간법을 제안하였다.

3차 보간법을 기반한 적응 보간법 뿐만 아니라 선형 보간법에 적용하기 위한 적응 보간법으로 왜곡거리방법[24]이 제안되었다. 이 방법은  $s$ 를 매개 변수로 두기 때문에 다양한 보간법에 적용이 가능한 방법이다. 매개변수  $s$ 는 보간할 위치 정보를 갖는다. 따라서 이 값을 적응 변수로 사용하게 되면 보간된 값은 계산된 위치에서 보간되는 것이 아니라 변형된 거리로 보간된다. 이를 왜곡 거리(warped distance)라고 하고 (11)로 정의된다[24].

$$s' = s - kAs(s-1) \quad (11)$$

여기서

$$A = \frac{|f(x_{k+1}) - f(x_{k-1})| - |f(x_{k+2}) - f(x_k)|}{L-1} \quad (12)$$

이고,  $k$ 는 양수로 왜곡 강도를 조절하는 매개 변수이다.  $L$ 은 비트로 표현할 수 있는 최대값이다. 예를 들어 8비트 영상의 경우  $L = 256$ 이다. (12)의  $A$ 값은  $[-1, 1]$ 의 범위를 갖는다. 이 값은 매 화소마다 주변 화소로부터 계산되고 적응 매개변수로 사용된다.  $k$ 는 적응 매개변수가 아니라 영상 전체에 일정하게 정해지는 값이다. 이 값은 왜곡 강도를 조절하는 변수인데 이 값은 적용될 보간법마다 달리 사용된다. 예를 들면, [24]에서는 선형 방법엔  $k=8$ 를 3차 보간법엔  $k=5.5$ 를 사용하도록 실험적으로 제시하고 있다.  $k$ 의 선택은 영상에 종속적으로 될 수 있지만 Lena영상에서 실험적으로 얻은 최적의 값으로 고정하고 있다. (11)에 의해서 매 화소마다 얻어진 왜곡거리  $s'$ 는 (6)이나 (9)에 대입하여 기존 보간법을 그대로 사용한다.

## 3. 제안된 보간법

본 논문에서는 부화소 단위의 적응 보간법을 제안한다. 고전적인 선형 보간에서 부화소 위치( $s=0.5$ )의 보간은 화소의 평균값으로 계산되지만 본 논문에서는 이 부화소 값을 계산하기 위한 방법으로 (6)의  $s$ 를 매개변수로 이용한다. 즉, 부화소의 위치를 무시하고

매개 변수화하고 이를 새롭게 계산하여 신규 위치로 선형 보간한다. 왜곡 거리 방법[24]에서  $s=0.5$ 로 두고 보간하는 방법과 비교하여 본 방법은 부화소 위치의 보간을 가장 최적으로 하는 방법을 제시한다. 적용 보간법에서의 핵심이 매 보간될 화소에 대응하는 매개변수를 구하는 것이고 적용 보간 방법에 따라서 성능 및 구현의 복잡도가 달라진다. 따라서 본 논문에서는 그림 1과 같은 구조의 적용 보간법을 제안한다. 그림 1에서도 보여지듯이 제안된 보간법은 선형 보간에 기초를 두고 있고 저역 필터와 간축, 그리고 적용 매개변수를 구하는 것으로 되어 있다. 매개변수 값이 얻어지면 선형 보간을 최종적으로 해서 보간을 완료한다. 선형 보간에 기초를 둔 이유는 구현의 복잡성 때문이다. 고전적인 보간법과 달리 적용 보간법은 매 화소마다 적용 매개변수를 구해야 한다. 매개변수가 많을수록 매개변수를 구할 때 이용되는 화소 수가 많을수록 그 복잡성은 크게 증가한다. 따라서 가급적이면 복잡도를 최소한으로 유지하는 것이 필요하다. 또한 선형 보간법은 고차 보간법에 비하여 주관적 화질 면에서 크게 떨어지지 않는다.

제안된 방법은 저해상도 영상의 매 화소에 대해서 일차적으로 매개변수  $s$ 를 이용하여 선형 보간한다. 보간된 화소는  $s$ 에 관한 함수가 된다. 저해상도 영상의 화소들과 그 사이의 보간된 화소들로 구성된 고해상도 화소들은 저역 필터를 통과하고 2:1로 간축(down sampling)된다. 저역 필터의 도입 이유는 일반적으로 고 해상도 영상에서 저 해상도 영상으로 변환될 때 에이리어싱 현상을 제거하기 위해서 저역 필터를 사용하고 카메라를 통해서 얻은 영상의 경우

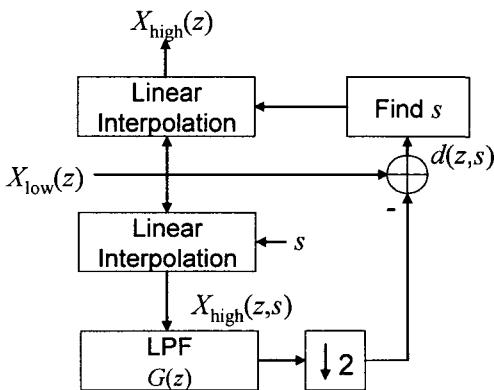
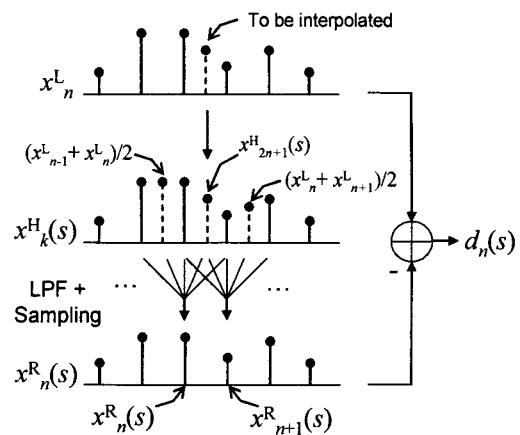


그림 1. 제안된 적용 보간법의 일반적인 형태

그림 2. 매개 변수 계산을 위해서 필요한  $d_n(s)$ 를 구하는 과정

렌즈에 의한 흐림 효과(blurring)이 발생하는데 이는 저역 필터로 모델링 되기 때문이다. 또한 매개 변수가 미치는 영향을 여러 화소에 걸치게 해서 최적인 매개 변수를 구하기 용이하게 하기 위함이다.

매개 변수를 값을 얻기 위해서 차분 신호  $d_n(s)$ 를 구해야 한다. 그림 2에서 차분 신호를 구하는 과정을 도식적으로 표현하고 있다. 그림 2의 상단에 보간될 화소 위치에서 매개 변수  $s$ 를 포함한 보간을 수행하면 보간된 고해상도 화소들은 (13)같이 얻어진다.

$$x^H_k(s) = \begin{cases} (1-s)x^L_n + sx^L_{n+1}, & k = 2n+1 \\ x^L_n, & k = 2n \\ (x^L_{n-1} + x^L_n)/2, & k = 2n-3, \dots \end{cases} \quad (13)$$

여기서  $k=2n+1$  위치는 보간할 화소의 위치이다. 보간할 현 화소의 위치는 매개 변수에 의한 함수가 되고 기타 보간될 화소의 위치는 고전적인 선형 보간을 사용한다. 매개 변수화된 고해상도 영상 화소들이 얻어지면 그림 1과 그림 2에서 보여지듯이 저역필터를 수행하고 2:1 간축한다. (13)을 저역필터에 의해서 수행되고 간축되면 (14)가 얻어진다.

$$x^R_n(s) = \sum_{m=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} g_{m+(M-1)/2} x^H_{2n+m}(s) \quad (14)$$

여기서  $g_m, m=0, \dots, M-1$ 은 저역필터 계수 값이다. 그림 2에서 도식적으로 보여주듯이 저역 필터 후 2:1 간축을 수행함으로 저역필터의 길이는 홀수가 되는 것이 바람직하다. 매개 변수화된 고해상도 화소를

저역필터 수행 후에 간축 시 원 저해상도 영상화소와 위치를 일치시키기 위한 것이다. (14)로부터 (15)와 같이 매개변수 계산을 위한 차분신호가 얻어진다.

$$d_n(s) = x^L_n - x^R_n(s) \quad (15)$$

차분 신호  $d_n(s)$ 는  $s$ 에 관한 함수이고 그림 2의 하단에서 보여지듯이 벡터 형식을 갖는다. 따라서 차분 신호는 랜덤변수(random variables)로 해석할 수 있다. 매개 변수를 구하기 위해서 가격함수(cost function) 도입이 필요하다. 차분 함수의 에너지가 통계적으로 최소가 되면 보간 효율이 좋기 때문에 (16)과 같이 가격함수를 둔다.

$$C = E[(d_n(s))^2] \quad (16)$$

가격함수가 정해지면 이 가격함수를 최소로 하는 매개변수를 구하기 위해서 (16)에 미분을 도입하여 (17)을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial s} E[(d_n(s))^2] = 0 \quad (17)$$

(17)의 방정식을 풀면 매개변수  $s$ 가 얻어진다. 매개변수  $s$ 를 이용하여 (6)에 적용하여 현재의 보간할 부화소를 최종적으로 구한다.

일반적으로 최소평균자승에러를 이용한 방법은 (17)과 같은 형식은 방정식이 얻어진다. 매개변수가 많아지면 방정식의 형태는 행렬(matrix)이 포함된 방정식이 되어서 일반적으로 방정식을 구하는 과정이 복잡하고 연산 양이 많이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 그림 1과 같이 제시된 적응 보간법 구조로부터 현실적으로 사용하기 위한 적응 선형 보간법을 유도한다.

그림 1과 그림 2에서 제안된 적응 선형 보간법은 저역필터와 최소 자승을 구하기 위한 영역 범위가 시스템 변수가 된다. 이 두 시스템 변수를 정의하기 위한 방법으로 본 논문에서는 복잡도를 최소화하는 방법으로 결정한다. 먼저 저역필터의 선택으로 3점 가우시안 필터를 생각할 수 있다. 이 필터의 계수가 [1, 2, 1]/4임으로 구현적으로 간단함을 알 수 있다. 따라서 (14)에서  $M=3$ 이 된다. 더 긴 길이의 필터를 사용하기 위해서는 보다 더 큰 최소 자승 영역 범위가 요구됨으로 본 논문에서는 그림 1과 같이 제안된

구조에서 선택할 수 있는 가장 간단한 형태의 저역필터 선택한다. 영역 범위는 (15)의 차분 신호의 크기를 의미한다. 일 차원 영역 범위를 정의하면 가장 작은 영역의 크기는 2이다. 즉, 그림 2에서 보여지듯이 보간될 화소의 양쪽 옆 화소를 이용하여 보간함을 알 수 있다.

영역 범위가 2로 정해지고 (15)를 (16)에 대입하면 가격함수는 (18)이 된다.

$$C(s) = \frac{(x^L_n - x^R_n(s))^2 + (x^L_{n+1} - x^R_{n+1}(s))^2}{2} \quad (18)$$

(14)에 저역 필터 [1, 2, 1]/4를 적용해서 (18)를 정리하면 (19)가 된다.

$$C(s) = \frac{(sc_0 + c_1)^2 + (sc_0 + c_2)^2}{2} \quad (19)$$

여기서,

$$c_0 = \frac{x^L_{n+1} - x^L_n}{4}, c_1 = \frac{x^L_{n-1} - x^L_n}{8}, c_2 = \frac{2x^L_n - 3x^L_{n+1} + x^L_{n+2}}{8}$$

(19)와 같이 정의된 가격함수를 최소화 하는  $s$ 를 구하기 위해서 미분을 도입하여 정리하면 (20)이 얻어진다.

$$s = -\frac{c_1 + c_2}{2c_0} \begin{cases} \text{if } s < 0, \text{then } s = 0 \\ \text{if } s > 1, \text{then } s = 1 \end{cases} \quad (20)$$

$s$ 는 (5)에 의해서 범위가 0과 1사이다. 따라서 (20)에 의해서 얻어진  $s$ 는 범위를 넘어설 수 있는데 이를 (20)의 우측과 같이 조정해준다. (20)에서 얻어진 결과는 (17)과 같은 방정식을 매 화소마다 풀어야 하는 문제를 제거해준다. 따라서 적응 매개 변수를 구하는 계산 양이 획기적으로 감소됨을 알 수 있다.

#### 4. 실험 결과

제안된 보간법의 성능 평가를 위해서 그림 3과 같은 알려진 영상을 이용하여 실험하였다. 또한 비교 평가를 위하여 일반적인 선형 보간법, 3차 커브루션 보간법, 선형 웨곡거리 보간법 및 이동선형 보간법을 제안된 방법과 비교하였다. 비교 평가 실험 방법으로 먼저 크기가 512\*512인 원 영상을 저역 필터 수행 후 2:1로 간축해서 256\*256 영상을 얻는다. 필터 수행

과 간축 방법은 행 방향으로 필터 수행한 후 열 방향으로 필터 수행하였다. 여기서 저역 필터는  $[-1, 0, 9, 16, 9, 0, -1]/32$ 의 계수 값을 갖는 필터를 사용하였다. 영상의 끝에서 저역 필터를 적용할 때는 대칭 확장을 사용하였다. 저해상도 영상이 얻어지면 기존의 보간법들과 제안된 보간법을 적용하여 원 영상과 동일한 해상도의 영상을 얻어냈다. 각 보간법을 적용할 때 행과 열을 분리하여 보간법을 수행하였고 각 방법으로 얻어진 영상과 원 영상을 비교하는 측정 방법으로 PSNR(peak signal to noise ratio)를 사용하였다.

표 1에 실험결과가 제시되었다. 표 1의 첫 번째 행은 사용된 영상의 이름이고 두 번째 행은 일반적인 선형 보간법의 결과가, 세 번째 행은 3차원 컨벌루션 보간법의 결과가, 네 번째는 선형 왜곡 거리 보간법 [24]에 대한 결과가, 다섯 번째는 이동 선형 보간법 [27]에 대한 결과가 마지막으로 여섯 번째는 제안된 방법의 결과가 각각 제시되었다. 표 1에 숫자들은 PSNR를 의미하며 단위는 dB이다. 표 1의 실험 결과가 보여주듯이 제안된 방법이 PSNR면에서 우수함을 보이고 있다. 보통의 선형 보간법 뿐만 아니라 왜

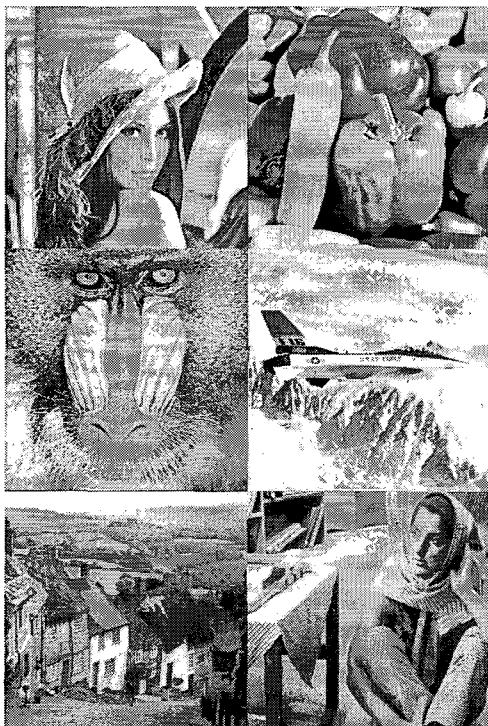


그림 3. 실험에 사용된 영상들: Lena, Peppers, Baboon, Airplane, Goldhill, Barbara

곡거리 선형 보간법과 이동 선형 보간법에 비교해도 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 3차 컨볼루션 보간법과 비교해도 대다수의 실험 영상에서 제안된 방법이 우수함을 표 1은 보여준다.

표 1. 기존 방법과 제안된 방법의 PSNR 비교 결과

Images	Linear	Cubic Convo.	Wadi- Linear	Shift- Linear	Proposed Method
Lena	33.28	34.25	34.09	34.15	34.62
Peppers	31.57	31.96	31.61	31.80	32.00
Baboon	23.28	23.59	23.42	23.54	23.66
Airplane	30.33	31.08	30.48	31.07	31.15
Goldhill	31.01	31.49	31.45	31.40	31.64
Barbara	25.25	25.40	25.34	25.28	25.38

그림 4에는 Lena 영상에 대한 기존 보간법과 제안된 보간 법을 적용한 결과를 보여주고 있다. 선형 보간법과 3차 컨버루션 보간법은 영상이 부드러운 반면 에지 부분에서 흐림 효과가 발생하는 반면 왜곡 거리 선형 방법은 원 영상보다 더 강한 에지 성분을 유도하는 경향으로 영상이 거칠어지는 현상을 보인다. 이동 선형 보간법은 선형 보간법이 갖는 문제점이 개선되긴 했으나 여전히 영상 에지에서 흐림 효과가 발생한다. 제안된 방법의 영상 결과는 영상의 에지를 원본과 유사하게 흐림 효과가 다른 방법에 비하여 적고 또한 영상이 거칠지 않는 모습을 보여준다. 따라서 제안된 방법은 주관적인 화질 비교 평가로도 기존의 방법에 비하여 우수함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 부화소 단위의 적응적인 선형 보간법을 제안했다. 적응 선형 방법의 일반적인 구조를 저역필터 등등을 이용하여 설계하였다. 적응 매개변수 값을 유도하기 위해서 최소 평균 자승 에러 (minimum mean square error) 이용하였다. MMSE 가 갖는 복잡도 문제를 해결하기 위해서 닫힌 형의 해법을 제시하는 저복잡도의 선형 보간법이 본 논문에서 제안된 일반적인 구조에서 다양하게 얻어질 수 있다. 이들 중에 본 논문에서는 저복잡도를 갖는 선형 보간법을 예로서 설계하여 제안했다. 제안된 방법에 대한 비교 평가 실험 결과는 기존 방법인 보통의

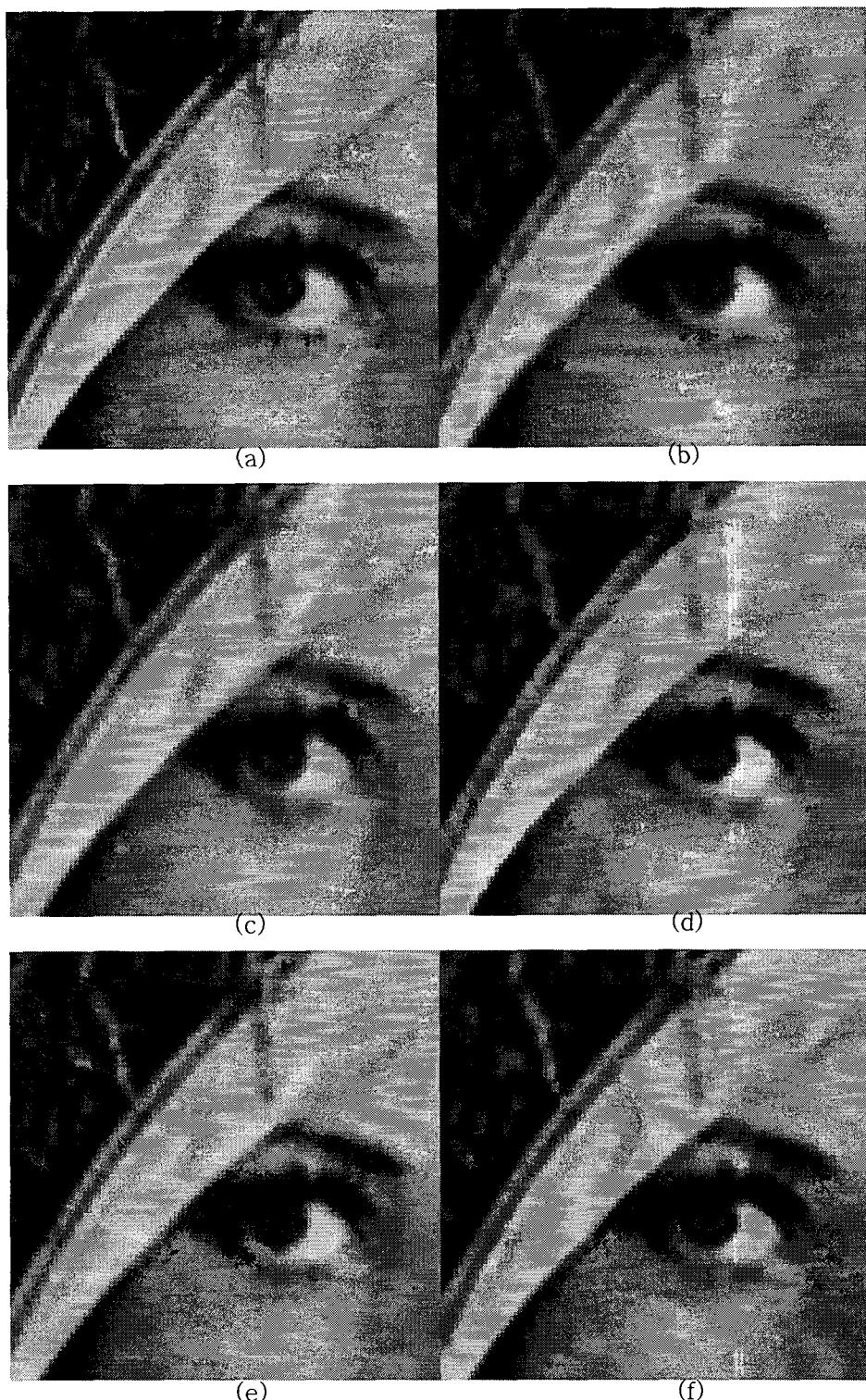


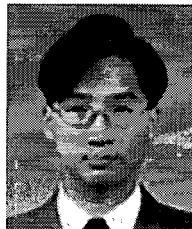
그림 4. Lena영상에 대한 주관적 화질 비교: (a)원 영상, (b)선형보간, (c)3차원 컬볼루션 보간, (d)왜곡 거리 선형보간, (e)이동선형보간, (f)제안된 방법

선형 보간법, 3차 컨볼루션 보간법에 비하여 주관적으로 객관적으로 우수함을 보였을 뿐만 아니라 Lean 영상의 경우 왜곡 거리 선형 보간법, 이동 선형 보간법 등의 최근 기술과 비교하여 PSNR 면에서 각각 0.53dB과 0.47dB의 성능향상이 있었다. 또한 주관적으로 비교하여도 화질이 우수하였다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, New York: Wiley, 1991.
- [ 2 ] I. N. Bankman, *Handbook of Medical Imaging, Processing and Analysis*, Academic, New York, pp. 393-420, 2000.
- [ 3 ] B. E. Bayer, "Color imaging array," *U.S. Patent 3 971 065*, July 1976.
- [ 4 ] L. Chang and Y. P. Tang, "Effective use of spatial and spectral correlations for color filter array demosaicking," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 50, No. 1, pp. 355-365, May 2004.
- [ 5 ] R. Lukac and K.N. Plataniotis, "Data adaptive filters for demosaicing: a framework," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 51, No. 2, pp. 560-570, May 2005.
- [ 6 ] K. P. Hong, J. K. Paik, H. J. Kim, and C. H. Lee, "An edge-preserving image interpolation system for a digital camcorder," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, Vol. 42, No. 3, pp. 279-283, Aug. 1996.
- [ 7 ] W. Sweldens, "The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets," *Journal of Applied and Computational Harmonic Analysis*, Vol. 3(2), pp. 186-200, 1996.
- [ 8 ] T. K. Truong, L. J. Wang, I. S. Reed, and W. S. Hsieh, "Image data compression using cubic convolution spline interpolation," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 9, No. 11, pp. 1988-1995, Nov. 2000.
- [ 9 ] MPEG (JTC1/SC29/WG11) and E.G. on ATM Video Coding (ITU-T SG15), "Generic coding of moving pictures and associated audio: (MPEG-2)," Draft International Standard 13818-2 Video, ISO/IEC, March 1994.
- [10] J. L. Mitchell, W. B. Pennebaker, C. E. Fogg, and D. J. LeGall, *MPEG VIDEO COMPRESSION STANDRAD*, Chapman & Hall, 1996.
- [11] Hoon Yoo and Jechang Jeong, "Direction-oriented interpolation and its application to de-interlacing," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 48, No. 4, pp. 954-962, 2002.
- [12] R. G. Keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, Vol. 29, pp. 1153-1160, Dec. 1981.
- [13] E. H. W. Meijering, "A chronology of interpolation: From ancient astronomy to modern signal and image processing," *Proc. IEEE*, Vol. 90, No. 3, pp. 319-342, Mar. 2002.
- [14] P. Thévenaz, T. Blu, and M. Unser, "Interpolation revisited," *IEEE Trans. Med. Imag.*, Vol. 19, pp. 739-758, July 2000.
- [15] M. Unser, "Splines: A perfect fit for signal and image processing," *IEEE Signal Process. Mag.*, Vol. 16, pp. 22-38, Nov. 1999.
- [16] H. S. Hou and H. C. Andrews, "Cubic splines for image interpolation and digital filtering," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, Vol. ASSP-26, pp. 508-517, Dec. 1978.
- [17] T. Lehmann, C. Gönner, and K. Spitzer, "Survey: Interpolation methods in medical image processing," *IEEE Trans. Med. Imag.*, Vol. 18, No. 11, pp. 1049-1075, Nov. 1999.
- [18] X. Li and M. Orchard, "New edge-directed interpolation," *IEEE Trans. Image Process.*, Vol. 10, No. 10, pp. 1521-1527, Oct. 2001.
- [19] J. Allebach and P. W. Wong, "Edge-directed interpolation," *IEEE Int. Conf. Image Process.*, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996.
- [20] K. Jensen and D. Anastassiou, "Subpixel edge localization and the interpolation of still

- images," *IEEE Trans. Image Process.*, Vol. 4, pp. 285-295, Mar. 1995.
- [21] R. R. Schultz and R. L. Stevenson, "A Bayesian approach to image expansion for improved definition," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 3, pp. 233-242, May 1994.
- [22] S. K. Park and R. A. Schowengerdt, "Image reconstruction by parametric cubic convolution," *Comput. Vis., Graph., Image Process.*, Vol. 23, pp. 258-272, Sept. 1983.
- [23] J. K. Han and S. U. Baek, "Parametric cubic convolution scaler for enlargement and reduction of image," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, Vol. 46, No. 2, pp. 247-256, May 2000.
- [24] G. Ramponi, "Warped distance for space-variant linear image interpolation," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 8, pp. 629-639, May 1999.
- [25] J. W. Hwang and H. S. Lee, "Adaptive image interpolation based on local gradient features," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 11, No. 3, pp. 359-362, Mar. 2004.
- [26] S. E. El-Khamy, M. M. Hadhoud, M. I. Dessouky, B. M. Salam, and F. E. Abd El-Samie, "A new edge preserving pixel-by-pixel cubic image interpolation approach," *21<sup>st</sup> National Science Conference (NRSC2004)*, pp. C11. 1-9, Mar. 16-18, 2004.
- [27] T. Blu, P. Thevenaz, and M. Unser, "Linear interpolation revitalized," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 13, No. 5, pp. 710-719, May 2004.
- [28] S. alZahir, "A perceptually perfect image resizing scheme," *IEEE Int. Conf. Consumer Electron.*, pp. 83-84, Jan. 8-12, 2005.
- [29] T. W. Chan, O. C. Au, T. S. Chong, and W. S. Chau, "An adaptive interpolation using spatial varying filter," *IEEE Int. Conf. Consumer Electron.*, pp. 109-110, Jan. 8-12, 2005.
- [30] S. E. El-Khamy, M. M. Hadhoud, M. I. Dessouky, B. M. Salam, and F. E. Abd El-Samie, "Optimization of image interpolation as an inverse problem using the LMMSE algorithm," *IEEE MELECON 2004*, Dubrovnik, Croatia, pp. 247-250, May 12-15, 2004.
- [31] P. Thevenaz, T. Blu, and M. Unser, "Interpolation revisited," *IEEE Trans. Medical Imaging*, Vol. 19, No. 7, pp. 739-758, July 2000.
- [32] T. Blu, P. Thévenaz, and M. Unser, "MOMS: Maximal-order interpolation of minimal support," *IEEE Trans. Image Process.*, Vol. 10, pp. 1069-1080, July 2001.



### 유 훈

1990~1997 한양대학교 전자통신  
공학과 공학사  
1997~1999 한양대학교 대학원 전  
자동신공학과 공학  
석사  
1999~2003 한양대학교 대학원 전  
자동신공학과 공학

### 박사

2003~2005 삼성전자 무선사업부 책임연구원  
2005~현재 동서대학교 전임강사  
1997. 2. 26 제3회 삼성전자 휴먼테크 논문상 대회 입상  
2003~2005 삼성전자 위성 DMB 폰과 지상파 DMB 폰  
개발 및 양산

관심분야 : 영상 압축 및 처리, 멀티미디어 시스템