

## 3차 회선 보간법에 적응적 매개변수를 적용한 영상 보간

유재욱\*, 박대현\*, 김윤\*\*

### An Image Interpolation by Adaptive Parametric Cubic Convolution

JeaWook Yoo\*, DaeHyun Park\*, Yoon Kim\*\*

#### 요약

본 논문에서는 고화질, 고해상도로 영상을 확대하기 위한 적응적인 매개변수가 적용된 3차 회선 보간법을 제안한다. 제안하는 보간법에서는 영상이 가지는 주파수 특성을 반영한 보간을 수행하기 위해 1단계 보간 과정에서 새롭게 정의한 비용함수를 이용하여 3차 회선 보간법의 매개변수를 적응적으로 구하고, 2단계 보간 과정에서는 1단계에서 구한 적응적인 매개변수를 적용하여 3차 회선 보간법을 수행한다. 영상의 주파수 특성이 고려된 적응적인 매개변수의 사용은 보간 커널의 성능을 향상시켜 동일한 매개변수를 사용하는 이전의 3차 회선 보간법보다 결과 영상의 화질이 우수하다. 컴퓨터 실험 결과를 통해 제안하는 보간법이 이전의 보간법들보다 PSNR이 약 0.5~4dB 높아 객관적인 성능에서 나은 결과를 나타냈으며, 결과 영상의 확대를 통한 비교에서 영상이 부드럽고 에지가 선명하게 나타남으로 주관적 화질이 우수함을 보였다.

#### Abstract

In this paper, we present an adaptive parametric cubic convolution technique in order to enlarge the low resolution image to the high resolution image. The proposed method consists of two steps. During the first interpolation step, we acquire adaptive parameters in introducing a new cost-function to reflect frequency properties. And, the second interpolation step performs cubic convolution by applying the parameters obtained from the first step. The enhanced interpolation kernel using adaptive parameters produces output image better than the conventional one using a fixed parameter. Experimental results show that the proposed method can not only provides the performances of 0.5~4dB improvements in terms of PSNR, but also exhibit better edge preservation ability and original image similarity than conventional methods in the enlarged images.

▶ Keyword : Adaptive Interpolation(적응적 보간법), Image Magnification(영상 확대), Cubic Convolution(3차 회선 보간법)

---

• 제1저자 : 유재욱    교신저자 : 김 윤  
• 접수일 : 2008. 9. 2, 심사일 : 2008. 9. 22, 심사완료일 : 2008. 11. 26.  
\* 강원대학교 멀티미디어통신 연구실    \*\* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 부교수

## 1. 서론

최근 전기, 전자, 정보통신 기술의 발달로 인해 빠른 속도로 컴퓨터 시스템 성능과 네트워크 대역폭이 증가하였고, 이에 따라 사용자가 멀티미디어를 접하고 이용할 수 있는 기회가 증가하였다. 멀티미디어 콘텐츠에 제공되는 영상은 콘텐츠의 질을 높이기 위해 이전에 주로 사용되던 저해상도가 아닌 고해상도의 영상을 많이 사용하며, 멀티미디어 서비스는 고해상도를 고려하지 않고서는 사용자의 서비스욕구를 충족시킬 수 없게 되었다. 이와 같은 변화를 통해 멀티미디어 서비스 환경은 지속적으로 개선되어 왔지만, 멀티미디어를 이용하는 사용자들의 서비스욕구도 동일하게 증가하여 고화질, 고해상도의 영상을 제공받길 원한다. 서버와 네트워크의 부하를 줄이면서 고해상도의 영상을 서비스하기 위한 방법으로 서버에서 저해상도의 영상을 보내고, 클라이언트에서 보간법을 통한 영상을 확대하는 방법이 있다. 영상 보간(image interpolation)은 이산 신호의 집합들로부터 공간적으로 연속적인 신호를 정의하는 기술로서, 영상 리샘플링(resampling), 영상 크기조정(scaling), 영상 정합(registration), 영상 워핑(warping), 영상의 기하학적 왜곡보정 등의 많은 디지털 영상처리 기법의 기반으로 사용되어 왔다[1]. 영상 보간을 사용하는 클라이언트에서는 제공된 저해상도의 영상이 보간법을 통해 고화질, 고해상도의 영상으로 변환되고 서비스되어 서비스 환경의 개선이 가능하다. 따라서 저해상도의 영상을 가능한 고화질, 고해상도의 영상으로 얻어내는 것이 중요하며, 이때에 효과적인 보간법을 통한 영상의 생성이 관건이다.

일반적인 보간은 주어진 영상 신호의 연속적인 모델을 이산의 새로운 간격으로 보간 함수를 적용하여 주어진 영상 신호보다 더욱 많은 영상 신호를 생성하는 것이다. 새로운 간격으로 인해 존재하지 않던 신호들은 주어진 영상에서 기존의 존재하는 신호들을 보간하여 생성된다[2]. 여기서 새로 생성된 신호는 성능이 좋은 보간 함수가 적용될수록 보간되는 신호의 특성이 주변 신호와 연속적으로 표현된다. 이상적으로 선형적이고 stationary 시스템에서  $\text{inc}$  함수의 사용은 최적의 보간을 수행한다. 여기서  $\text{inc}$  함수는 무한대의 대역폭을 가진 신호를 정확하게 연속적인 신호로 복원하지만, 물리적인 함수로의 실제적인 사용이 불가능하다. 또한 영상은 일반적으로 선명한 경계나 다른 세부적인 특징을 가지기 때문에 명확하게 무한대의 대역폭을 가졌다고 할 수 없다[2]. 따라서, 실제적으로 사용이 불가능한  $\text{inc}$  함수를 대체하여 인접 화소 보간법[3], 양선형 보간법[4], 3차 회선 보간법[4], B-스플라인 보간법

(b-spline interpolation)[5] 등이 사용되고 있다.

0차 보간법(zero-order interpolation)인 인접 화소 보간법은 구현이 매우 용이하고[3], 보간을 위해 소요되는 실행 시간이 상대적으로 짧다. 구현의 복잡도와 실행시간이 우수하지만 픽셀을 정수단위로 참조하여 영상의 주파수 특성을 제대로 반영하지 못한다. 또한 보간을 통해 생성된 영상은 주어진 영상이 가지고 있던 에지(edge)에 대해 왜곡이 발생하여 바람직하지 못한 왜곡(artifact)을 산출하는 단점이 있다[3]. 1차 보간법인 양선형 보간 법은 인접한 픽셀과의 거리를 참조하여 거리에 반비례하는 가중치 매개변수를 적용하며[4], 보간되는 영상은 인접 화소 보간법보다 주어진 영상의 주파수 특성에 더욱 가깝게 표현된다. 3차 보간법인 B-스플라인 보간법은 상대적으로 이전 보간법에 비해 좋은 화질의 영상을 생성한다. 하지만 보간법의 복잡도가 높으며 보간법들 중에서도 스무딩(smoothing)한 보간 커널로 구성되어 있어서 보간되는 영상의 에지부분에 블러링(blurring)이 발생하는 단점이 있다. 3차 보간 커널을 사용하는 다른 보간법으로는 3차 회선 보간법이 있다. 3차 회선 보간법은 영상 보간을 위한 계산의 복잡도와 보간되는 영상의 화질을 적절하게 절충한 보간 과정을 수행한다. 이와 같은 장점으로 인해 3차 회선 보간법은 이전에 보간법들이 충족시키지 못해 생기는 문제에 대한 해결책을 제시하여 많은 응용 분야에 사용되고 있다.

3차 회선 보간법은 보간 커널이 가지는 매개변수의 값에 따라 참조되는 인접한 픽셀의 가중치가 가변하게 되어 영상에 많은 영향을 준다. 그러므로 영상의 모든 픽셀에 동일한 값의 매개변수를 적용하면 주파수 특성을 고려하지 못하는 단점이 나타난다. 이런 단점을 없애고 영상이 가지는 주파수 특성을 고려한 3차 회선 보간법이 적용되기 위해서는 보간 과정에서 인접한 픽셀이 가지는 주파수 특성을 매개변수에 반영하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 저해상도의 영상을 고해상도의 영상으로 확대하기 위해 주파수 특성을 고려한 적응적인 매개변수가 적용된 3차 회선 보간법을 제안한다. 제안하는 보간법은 이산적인 새로운 간격으로 존재하지 않는 픽셀을 생성함에 있어 각 픽셀의 매개변수를 주파수 특성에 맞게 구하므로 원영상에 가까운 자연스러운 영상을 만든다. 이를 위해 먼저 3차 회선 보간법을 사용하여 매개변수를 적응적으로 구하기 위한 과정을 수행한다. 저해상도의 영상을 이용하여 같은 해상도의 영상을 3차 회선 보간법으로 생성하고, 이 두 영상의 차이를 최소로 만드는 매개변수를 각 픽셀마다 구한다. 만약 각 픽셀마다의 매개변수가 이상적이라면 두 영상의 차이는 없게 된다. 여기서 매개변수를 구하기 위해 비용함수(cost function)를 선택

게 제안하고, 그레디언트 메소드(gradient method)를 사용한다. 이렇게 구한 매개변수는 인접하는 새로운 픽셀을 보간하기 위한 3차 회선 보간법에 사용된다. 인접하는 픽셀끼리는 유사도(correlation)가 존재하므로 주파수 특성이 비슷하고, 이웃하는 매개변수를 인접하는 픽셀의 보간에 사용하는 것이 가능하다. 이와 같은 과정을 통해 구한 보간된 결과 영상이 기존의 보간법들에 비해 주관적 화질과 객관적 성능에서 보다 나은 것이 실험결과를 통해 입증된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 일반적인 보간에 대한 설명과 3차 회선 보간법에 대해 서술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 적응적인 매개변수가 적용된 3차 회선 보간법에 대해 서술하고, 4장에서는 제안한 보간법을 기존의 보간법들을 대상으로 비교한 실험 결과에 대해 설명한다. 그리고 최종적으로 5장에서는 결론을 맺는다.

### II. 3차 회선 보간법의 배경이론

본 장에서는 새로운 간격으로 위치한 이산 영상 신호가 보간 과정을 통해 연속적인 모델의 영상으로 확대되는 일반적인 과정을 언급하고, 본 논문에서 제안하는 보간법의 기초가 되는 3차 회선 보간법에 대해 살펴보도록 한다.

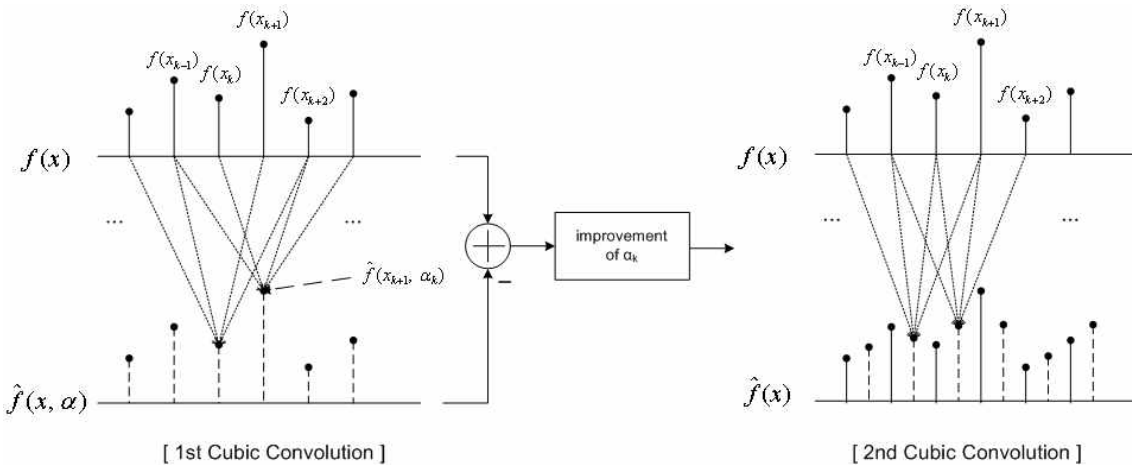
주어진 이산 신호에 대해 보간 커널로 보간을 수행하여 연속 신호가 생성되는 일반적인 과정을 식으로 나타내면 다음의 식 (2.1)과 같이 표현된다.

$$\hat{f}(x) = \sum_k f(x_k) \beta(x - x_k). \dots\dots\dots (2.1)$$

이 식에서  $(x_k)$ 는 입력으로 주어진 이산 신호이고,  $\hat{f}(x)$ 는 출력으로 생성될 연속 신호로 보간 커널을 적용하여 보간된 신호이다.  $(x - x_k)$ 는 이산 신호를 연속 신호로 변환해주는 보간 커널의 일반적인 표현이며, 식 (2.1)에서 사용된  $x$ 는 연속적인 값을 의미하고,  $x_k$ 는 일정한 간격의 이산적인 값을 의미한다. 식 (2.1)에서 주어진 이산 신호인  $(x_k)$ 는 보간 커널인  $(x - x_k)$ 와 회선 방식(convolution method)으로 연산되어 보간된 연속 신호인  $\hat{f}(x)$ 를 생성한다. 여기서 입력으로 사용된 이산 신호  $(x_k)$ 가 동일하게 사용될 경우에 출력으로 나타나는 보간된 신호인  $\hat{f}(x)$ 는 보간 커널인  $(x - x_k)$ 에 따라 보간된 신호의 레벨(level)이 다양하게 나타난다. 또한, 보간 커널인  $(x - x_k)$ 가 연속적인 모델이 아닌 이산적인 모델을 취하면 보간된 신호  $\hat{f}(x)$ 도 이산 신호로 나타난다.

샤논의 표본화 이론(Shannon sampling theory)에 의하면, 신호  $\hat{f}(x)$ 의 대역폭이 구간  $[\pi, +\pi)$  이내로 제한된다면  $\hat{f}(x)$ 의 입력 값인  $(x_k)$ 으로부터 원 연속 신호를 완벽하게 복원할 수 있다[6]. 이 과정은 다음의 식 (2.2)와 같이 표현된다.

$$\hat{f}(x) = \sum_k f(x_k) \text{sinc}(x - x_k). \dots\dots\dots (2.2)$$



<그림 1> 개선된  $\alpha$  를 구하여 보간에 적용하는 과정  
 Fig 1. interpolation performed using improved parameter  $\alpha$

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \dots\dots\dots (2.3)$$

식 (2.3)에서 식 (2.1)의 일반적인 보간커널  $\mathbf{x} - \mathbf{x}_k$  를 대체하여  $\mathbf{nc}(\mathbf{x})$  이 사용되었으며,  $\mathbf{nc}(\mathbf{x})$  는 이상적인 보간 커널(ideal interpolation kernel)로 알려져 있다.  $\mathbf{nc}(\mathbf{x})$  가 보간 커널로 사용된 식 (2.2)는 이산 신호  $\hat{\mathbf{x}}_k$  를 보간하여 연속 신호인  $\hat{\mathbf{x}}(x)$  를 생성한다. 여기서  $\hat{\mathbf{x}}(x)$  는 사논의 표분화 이론에 의해  $\pi, +\pi$  의 제한된 대역폭을 가지며, 대역폭내의 존재하는 연속적인 신호는  $\mathbf{nc}(\mathbf{x})$  에서 발생하는 가중치와  $\hat{\mathbf{x}}_k$  를 통해 원 연속 신호와 일치하는 값을 가진다. 이와 같이 사논의 표분화 이론에서 정의한 조건에 만족한다면  $\mathbf{nc}(\mathbf{x})$  의 사용으로 완벽하게 연속 신호로 복원이 가능하지만,  $\mathbf{nc}(\mathbf{x})$  는 연속적인 신호의 생성을 위해 보간 커널의 입력범위가 무한대의 영역에서 정의가 되므로 실제적인 계산과 구현이 불가능하다. 불가능한  $\mathbf{nc}(\mathbf{x})$  의 사용을 대체하여 널리 사용되고 있는 것은 보간 커널이 3차로 구성된 보간법이다. 3차 보간 커널로 구성된 보간법은 보간을 위해 인접한 신호를 많이 참조함으로써 인접한 신호들의 주파수 특성이 보간되는 신호에 반영되어 0차, 1차 보간법들보다 좋은 성능을 지닌다. 3차 보간 커널로는 고등 차수 보간법, 3차 스플라인 보간법 등이 있지만 각각 밝기 값에 리플(ripple) 현상이 일어나는 단점과 복잡도가 높은 단점이 있다[7][8][9]. 이와 같은 단점을 보완한 3차 보간 커널을 가지는 보간법으로 3차 회선 보간법이 있다. 3차 회선 보간법은 보간을 위한 계산의 복잡도와 영상의 화질을 적절하게 절충하여 보간의 성능을 높였으며, 연속 신호의 보간 커널은 다음의 식 (2.4)와 같이 표현된다.

$$-5\alpha|x|^2 + 8\alpha|x| - 4\alpha, 1 < |x| \leq 2 \dots\dots (2.4)$$

*, elsewhere.*

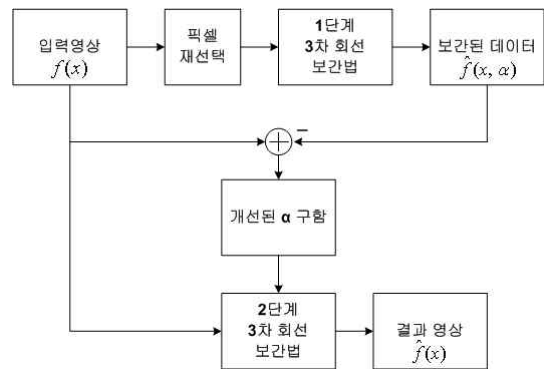
$$s = x - x_k, 1 - s = x_k + 1 - x, \dots\dots\dots (2.5)$$

$(x_k \leq x \leq x_{k+1}, 0 < s \leq 1).$

식 (2.4)에서  $\hat{\mathbf{x}}(x)$  는 식 (2.1)에서 표현한 일반적인 보간커널의 표현인  $\mathbf{x} - \mathbf{x}_k$  와 동일하고,  $x$  는 식 (2.5)에서 표현하는  $s$  와 같이 신호간의 거리를 나타내는 변수이고,  $\alpha$  는 독립적인 매개변수로써 다양한 값이 적용될 수 있다. 식 (2.4)의 보간 커널을 사용하는 3차 회선 보간법은 이산 신호의 위치  $x_k$  와 보간하는 위치  $x$  일 때에 식 (2.5)에서 표현하는 가중치 표현인  $s$  를 적용하여 정리한다.  $s$  는 보간될 신호와의 거리이며, 신호

와 거리가 멀어질수록 신호의 영향이 작아야하기 때문에 거리에 반비례하는 가중치를 가진다. 정리한 식 (2.4)는  $x$  의 위치에 이산적인  $s$  가 사용되므로 이를 보간커널  $\mathbf{x} - \mathbf{x}_k$  로 사용하여 식 (2.1)에서 표현되는 일반적인 보간과정으로 정리하면 다음의 식 (2.6)과 같이 표현된다.

$$\hat{f}(x) = f(x_{k-1})[\alpha s^3 - 2\alpha s^2 + \alpha s] + f(x_k)[(\alpha + 2)s^3 - (\alpha + 3)s^2 + 1] + f(x_{k+1})[-(\alpha + 2)s^3 + (2\alpha + 3)s^2 - \alpha s] + f(x_{k+2})[-\alpha s^3 + \alpha s^2]. \dots\dots\dots (2.6)$$



<그림 2> 제안하는 보간 시스템의 블록 다이어그램  
Fig 2. Block diagram of proposed interpolation system

식 (2.6)에서 가중치 표현이 적용되어 나타난 거리 가중치  $s$  는 보간을 위해 정의되는 새로운 간격에 의존적이지만,  $\alpha$  는 다른 존재하는 값에 영향을 받지 않는 독립적인 값으로 보간에 영향을 미친다. 그러므로  $\alpha$  의 조절에 따라 보간되는 신호가 인접한 신호와 연속성을 가지는데 중요한 역할로 작용하고, 이와 같은 경우 보간되는 신호는 원 신호에 일치하거나 근접하게 된다. 3차 회선 보간법을 제안한 Rifman[8]과 Bernstein[9]은  $=1$  에서 보간 커널의 기울기를  $\mathbf{nc}(\mathbf{x})$  의 기울기인  $-1$ 과 일치시키게 하기 위해  $=-1$ 로 선정하였고, Keys[7]는  $(x_k)$  가 3차 미분이 존재한다는 가정에 Taylor 급수 전개를 이용하여  $=-1/2$  을 제시하였다. 여기서 영상의 각 신호에 동일한  $\alpha$  를 적용하는 것은 보간되는 각 신호에 적용적이지 못한 단점이 있다.

본 논문에서는 보간될 영상 신호에 영향을 미치는 3차 회선 보간법의 매개변수  $\alpha$  를 인접한 신호들의 주파수 특성이 반영된 적응적인 값을 가지도록 보간 과정을 통해 구하고, 여기서  $\alpha$  를 최종적으로 적용될 보간에 적용하는 향상된 보간법

을 제안한다.

### III. 제안한 보간법

본 장에서는 주어진 저해상도의 영상을 고해상도의 영상으로 확대하는 과정에서 우수한 화질의 높은 해상도로 보간하는 적용적인 매개변수가 적용된 3차 회선 보간법을 제안한다.

제안하는 보간법은 3차 회선 보간법을 사용하고, 먼저 이를 위해 개선된 매개변수  $\alpha$  를 구한다. 1단계 3차 회선 보간법을 통해 참조되는 저해상도의 영상과 동일한 위치에 존재하는 픽셀들을 생성한다. 생성된 픽셀  $(x, \alpha_k)$  는 위치에 따른 매개변수  $\alpha_k$  에 대한 함수이며, 이상적인  $\alpha_k$  을 가진 보간 함수를 사용하였다면 주어진 원 영상  $(x)$  와 같은 값을 가져야 한다. 여기서 원 영상  $(x)$  의 픽셀과 변환과정의 보간으로 생성된  $(x, \alpha_k)$  의 픽셀 사이의 차이를 최소화 하는 최소 평균 제곱 에러(minimum mean square error) 개념을 도입한 새로운 비용함수를 사용하여 개선된 매개변수  $\alpha_k$  를 구하며, 이와 같은 과정은 그림 1에 나타나있다. 여기서 구한  $\alpha_k$  를 2단계 3차 회선 보간법에 적용하여 원하는 해상도의 영상을 얻게 된다.

일반적인 영상에서 인접한 픽셀들끼리 비슷한 특성을 갖는 서로 유사도(correlation)가 존재한다. 이러한 특성을 이용하여 본 논문에서는 1단계 보간에서 구한 매개변수  $\alpha_k$  를 2단계 3차 회선 보간에 의해 보간해야 하는 인접한 픽셀에 적용한다. 이와 같은 과정을 통해 보간하는 위치의 인접한 픽셀들이 가지는 주파수 특성이 고려되어 3차 회선 보간법의 성능을 향상시킨다.

위의 전체 과정은 그림 2의 시스템으로 구성한다. 먼저, 최종적인 보간을 위해 그림 1에서 나타나듯 새로운 간격을 정의한다. 기존의 3차 회선 보간법은 식 (2.6)을 적용하여 보간을 수행하는데 있어 동일한 매개변수  $\alpha$  를 사용하였지만, 제안하는 보간법은 인접한 픽셀들과 이루는 주파수 특성을 고려하여 적용적인 매개변수를 구해 보간을 수행한다. 매개변수를 구하기 위한 과정으로 주어진 저해상도의 영상에서 1단계 및 2단계 보간과정에 사용할 참조 픽셀을 선택한다. 보간과정에서 사용할 픽셀은 보간하려는 위치와 가장 인접한 픽셀 하나를 제외하고, 3차 회선 보간법의 정의에 의해 인접한 4개의 픽셀을 선택한다. 여기서 제외되는 픽셀은 차후에 변환과정으로 생성되는 새로운 픽셀과 비교되는 대상이 된다. 새로운 조건을 통해 결정된 참조되는 픽셀의 집합  $F$  는 아래의 식 (3.1)과 같이 표현된다.

$$F = \begin{cases} (f(x_{k-2}), f(x_{k-1}), f(x_{k+1}), f(x_{k+2})) & , 0 < s \leq \frac{1}{2} \dots \\ (f(x_{k-1}), f(x_k), f(x_{k+2}), f(x_{k+3})) & , \frac{1}{2} < s \leq 1. \end{cases} \dots \dots \dots (3.1)$$

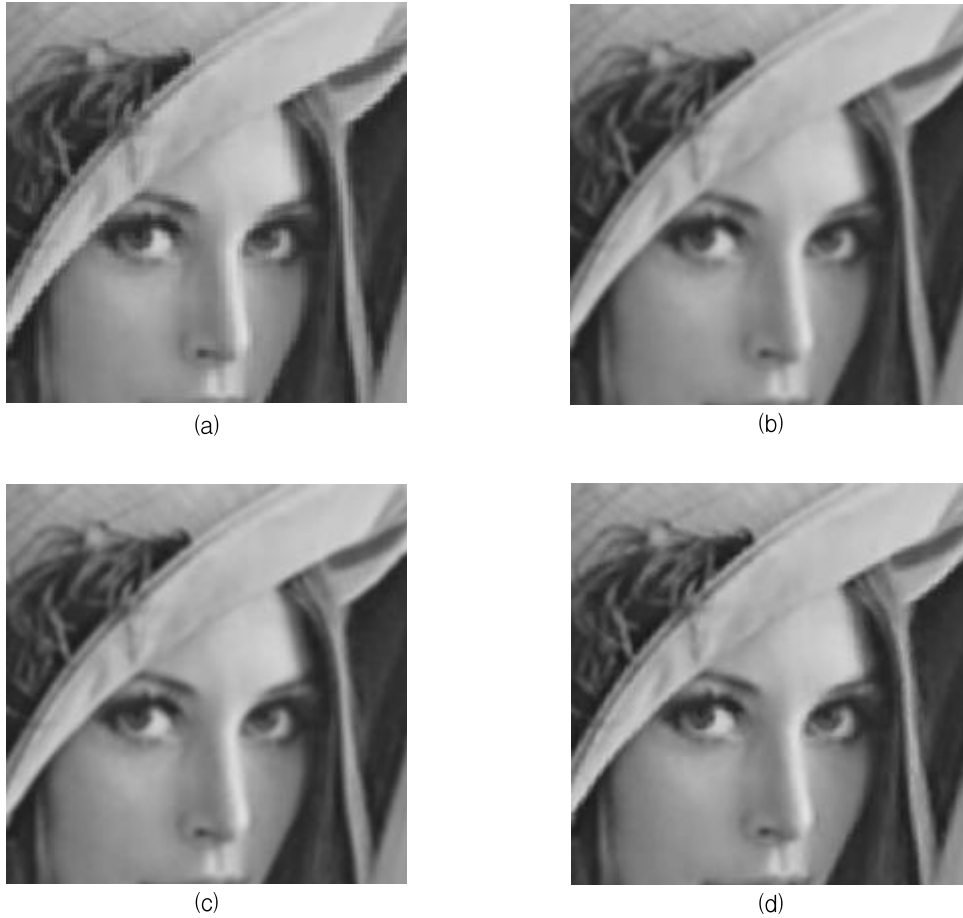
식 (3.1)에서  $s$  는 식 (2.5)에서 언급된 거리 가중치를 나타내며,  $s$  의 위치를 통해 보간하려는 위치와 가장 인접한 픽셀인  $(x_k)$  (또는  $(x_{k+1})$ )을 제외하고, 제외된 픽셀의 방향에 따라  $(x_{k-2})$  (또는  $(x_{k+3})$ )이 참조 픽셀로 사용된다. 식 (3.1)에서 정의한 참조 픽셀들을 사용하여 1단계 3차 회선 보간법을 수행한다. 여기서 생성되는 픽셀은 식 (3.1)에서 제외된  $(x_k)$  픽셀과 같은 위치에 매개변수  $\alpha_k$  의 함수로 표현된다. 1단계 보간과정을 통해 새롭게 생성되는 픽셀은 아래의 식 (3.2)과 같이 표현된다.

$$\hat{f}(x, \alpha_k) = f(x_{k-2})[\alpha_k s^3 - 2\alpha_k s^2 + \alpha_k s] + f(x_{k-1})[(\alpha_k + 2)s^3 - (\alpha_k + 3)s^2 + 1] \dots (3.2) + f(x_{k+1})[-(\alpha_k + 2)s^3 + (2\alpha_k + 3)s^2 - \alpha_k s] + f(x_{k+2})[-\alpha_k s^3 + \alpha_k s^2].$$

식 (3.2)의  $s$  는 식 (2.5)에서 언급된 거리 가중치이고, 여기서 참조 픽셀들과 제외된 픽셀은 모두 같은 간격에서 존재하므로 거리 가중치 =  $1/2$  로 정의되며, 식 (3.2)에 대입하여 정리하면 아래의 식 (3.3)과 같이 표현된다.

$$\hat{f}(x, \alpha_k) = f(x_{k-2})(\frac{1}{8}\alpha_k) + f(x_{k-1})(-\frac{1}{8}\alpha_k + \frac{1}{2}) \dots \dots \dots (3.3) + f(x_{k+1})(-\frac{1}{8}\alpha_k + \frac{1}{2}) + f(x_{k+2})(\frac{1}{8}\alpha_k).$$

식 (3.3)에서 생성된 픽셀  $(x, \alpha_k)$  는 보간 커널의 매개변수  $\alpha_k$  가 미지수로 남아있는  $\alpha_k$  에 대한 함수의 형태이다. 이상적인  $\alpha_k$  을 가진 보간 함수를 사용하였다면 보간된  $(x, \alpha_k)$  는 주어진 원 영상의 픽셀  $(x)$  와 같은 값을 가져야 한다. 따라서 개선된 매개변수  $\alpha_k$  를 구하기 위해 원 영상의 픽셀  $(x)$  과 보간으로 생성된 픽셀  $(x, \alpha_k)$  사이의 차이를 최소로 하는 최소 평균 제곱 에러(minimum mean square error) 개념을 도입한 새로운 비용함수(cost function)를 식 (3.4)과 같이 정의한다.



<그림 3> "Lena" 영상에 대한 주관적 화질 비교  
 (a) 인접 화소 보간법 (b) 양선형 보간법 (c) 3차 회선 보간법 (d) 제안한 보간법  
 Fig 3. Comparison of subjective quality on "Lena". images : (a) nearest neighbor (b) bilinear  
 (c) cubic convolution (d) The proposed interpolation

$$E(\alpha_k) = \begin{cases} [f(x_k) - \hat{f}(x_k, \alpha_k)]^2 & , 0 < s \leq \frac{1}{2} \\ [f(x_{k+1}) - \hat{f}(x_{k+1}, \alpha_k)]^2 & , \frac{1}{2} < s \leq 1. \end{cases} \dots\dots\dots (3.4)$$

식 (3.4)에서 개선된  $\alpha_k$ 를 구하기 위해 식 (3.5)과 같은 gradient method를 사용하여 local minimum 값을 만족시키는  $\alpha_k$ 를 찾는다.

$$\alpha_k^* = \arg \min_{\alpha_k} E(\alpha_k) \dots\dots\dots (3.5)$$

식 (3.5)을 만족시키는  $\alpha_k$ 를 찾기위해, 식 (3.6)의 미분방정식을 정의한다.

$$\frac{\partial E(\alpha_k)}{\partial \alpha_k} = 0. \dots\dots\dots (3.6)$$

즉, 식 (3.4)을  $\alpha_k$ 에 대한 미분방정식으로 변환하여  $\alpha_k$ 에 대한 해를 구하면 최적의  $\alpha_k$ 를 구할 수 있다. 위의 1단계 보간

과정에서 구한 최적의  $\alpha_k$  를 2단계 3차 회선 보간법에 사용한다. 앞서 언급한 바와 같이 인접하는 픽셀 사이의 상관관계가 있기 때문에  $\alpha_k$  를 사용하여 인접한 픽셀을 보간할 수 있다.  $\alpha_k$  를 적용한 2단계 3차 회선 보간법을 식으로 나타내면 식 (3.7)과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(x) = & f(x_{k-1})[\alpha_k s^3 - 2\alpha_k s^2 + \alpha_k s] \\ & + f(x_k)[(\alpha_k + 2)s^3 - (\alpha_k + 3)s^2 + 1] \dots\dots\dots (3.7) \\ & + f(x_{k+1})[-(\alpha_k + 2)s^3 + (2\alpha_k + 3)s^2 - \alpha_k s] \\ & + f(x_{k+2})[-\alpha_k s^3 + \alpha_k s^2]. \end{aligned}$$

여기서  $\alpha_k$  는 앞선 과정으로 구한 개선된 값이며,  $s$  는 식 (3.1)에서 사용한  $s$  와 동일하다. 따라서 식 (3.7)에 의해 생성되는 픽셀은 인접한 픽셀들의 주파수 특성을 반영하여, 생성된 픽셀로 이루어진 영상은 원 영상과 근접하는 우수한 화질을 갖게 된다.

#### IV. 실험 결과

본 장에서는 제안하는 보간법의 객관적 성능과 주관적 화질을 평가를 위해서 그림 2의 시스템으로 실험 환경을 구현하였다. 실험 영상으로는 "Lena", "Barbara", "Church", "Bridge" 등을 사용하였고, 512X512 해상도와 256 단계의 밝기를 가지는 그레이(gray) 영상을 bilinear로 축소하고 이를 확대하는 실험을 하였다. 비교 대상으로 고려된 보간 기법은 인접 화소 보간법, 양선형 보간법, 3차 회선 보간법이고, 제안한 보간법을 포함한 표 1의 보간법은 1차원 연산을 영상에 두 번 적용하여 실험하였다. 실험 결과로 기존에 존재하던 보간법들과 본 논문에서 제안하는 보간법을 실험 영상에 적용하여 보간된 결과 영상을 바탕으로 성능을 평가했다.

알고리즘을 적용한 결과의 성능을 측정하기 위하여 PSNR(peak signal to noise ratio)을 이용하였다.  $M \times N$  의 해상도와  $[0, 255]$ 의 밝기 범위를 가지는 영상의 PSNR은 다음과 같이 정의된다.

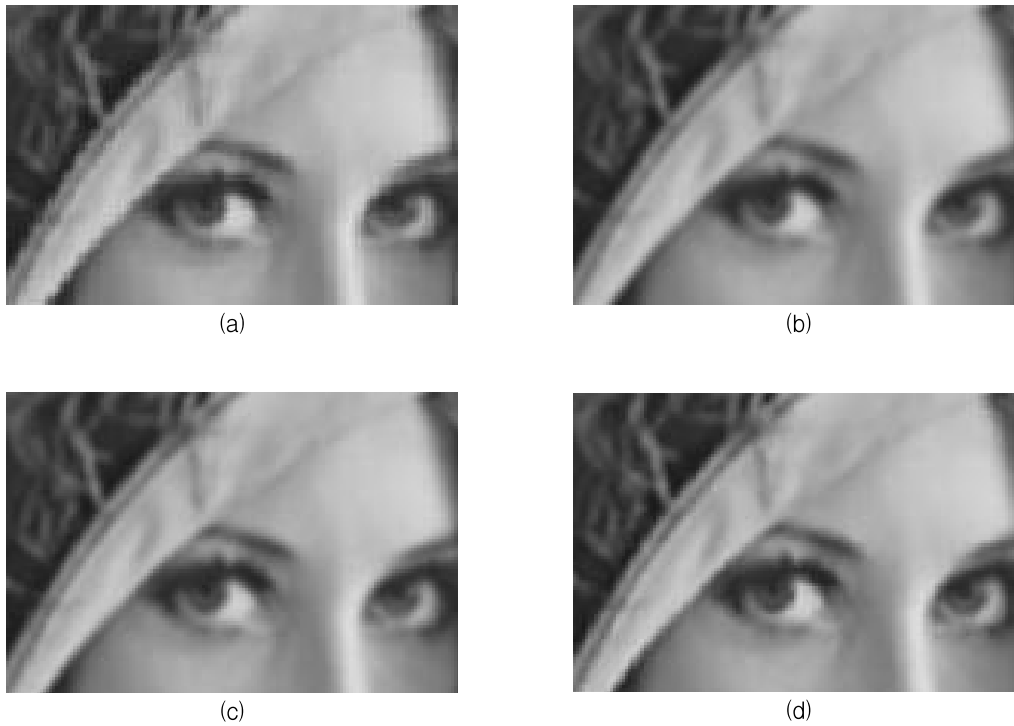
<표 1> PSNR을 통한 객관적 화질 비교  
Table 1. Comparison of objective quality for still images in PSNR(db)

	Lena	Barbara	Church	Bridge
Nearest Neighbor	28.57	31.70	30.62	27.17
Bilinear	30.64	34.89	33.48	29.40
Cubic Convolution	31.11	35.94	34.25	30.10
Proposed method	31.40	36.39	34.66	30.45

$$PSNR = 10 \times \log \left( \frac{M \times N \times 255^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i, j) - f'(i, j))^2} \right) \dots\dots\dots (4.1)$$

여기에서  $(i, j)$  는 원영상이며,  $'(i, j)$  는 각각의 알고리즘에 의해 보간된 영상이다. 표 1은 지금까지 주로 사용되었던 기존 보간 기법들과[3][4] 제안하는 보간 기법의 PSNR을 알려진 실험 영상들에 대해 비교한 결과 약 0.5~4 db 높게 나타났다. 실험 영상이 가지는 주파수 성분에 의해 각 결과 영상들에 대해 개선되는 PSNR 값의 차이를 보였으며, 앞선 배경이론에서 언급했듯이 3차 회선 보간법은  $\alpha$  에 의해 보간값이 다양하게 나타나므로, 각 픽셀에 적응적인  $\alpha$  를 적용한 제안한 방법은 영상에 대해 에지가 선명하고 자연스러운 영상을 도출한다. 이와 같은 실험 결과는 제안한 알고리즘을 사용한 보간 기법이 상대적으로 높은 PSNR 값을 가져 기존의 인접화소 보간법, 양선형보간법보다 우수한 성능을 제공함이 나타나고, 또한 영상전체에 동일한 값의  $\alpha$  를 적용한 기존의 3차 회선 보간법보다 높은 PSNR 값이 나타남을 확인하였다.

그림 3은 LENA영상에 대해 앞서 제시한 기존의 보간법들과 제안하는 보간법으로 보간한 결과 영상을 통해 주관적 화질을 비교한다. 여기서 결과 영상에 대해 더 나은 주관적 화질 비교를 위해 그림 4에서는 그림 3의 결과 영상을 확대하여 영상에서 나타나는 보간법들의 성능 차이를 명확하게 확인할 수 있다. 그림 3과 그림 4의 결과 영상에서 나타나듯 기존에 알려진 보간법인 인접 화소 보간법, 양선형 보간법, 3차 회선 보간법보다 본 논문에서 제안하는 보간법을 적용하였을 경우 에지(edge)가 선명하면서 부드럽고 자연스러운 영상을 얻을 수 있었다.



<그림 4> "LENA" 영상의 확대 영상에 대한 주관적 화질 비교  
 (a) 인접 화소 보간법, (b) 양선형 보간법, (c) 3차 회선 보간법, (d) 제안한 보간법.  
 Fig 4. Comparison of subjective quality on "Lena". images : (a) nearest neighbor (b) bilinear  
 (c) cubic convolution (d) The proposed interpolation

본 실험을 통해 기존의 보간법들과 영상에 동일한 매개변수를 적용하는 3차 회선 보간법보다 표 1의 결과로 모든 영상에 대해 높은 PSNR값을 가지는 것을 알 수 있으며, 그림 3, 그림 4의 결과 영상을 통해 주관적 화질 측면에서도 우수한 성능을 나타냄을 보였다.

### V. 결론

본 논문에서는 원 영상과 보간된 영상과의 차이가 최소화 되는 적응적인 매개변수  $\alpha$ 가 적용된 3차 회선 보간법을 제안하였다. 1단계 3차 회선 보간법을 통해 원 영상과 보간되는 영상의 차이가 최소가 되도록 하는 매개변수  $\alpha$ 를 구하기 위해 본 논문에서는 새로운 비용함수를 제안하고, local minimum을 구하는 과정을 통해 보간되는 픽셀별로 개선된  $\alpha$ 를 구하였다. 이렇게 계산된  $\alpha$ 는 인접한 픽셀들의 주파수 특성이 반영된 값이며, 이를 2단계 3차 회선 보간법에 적용되어 결과 영상을 생성한다. 일반적으로 사용되는 영상에 대해 동일한  $\alpha$ 를

적용하는 3차 회선 보간법은 영상이 가지는 각각의 주파수 특성을 모두 고려하지 못하는 단점이 있는데 반해, 본 논문에서는 보간할 때에 인접한 픽셀이 가지는 주파수 특성을 고려한  $\alpha$ 를 구해 3차 회선 보간법에 적용한다. 이 과정으로 보간된 픽셀은 주변 픽셀과 주파수 특성이 근접하게 나타나며, 각각에 대해 적응적인 보간으로 원 영상과의 차이를 줄여 보간법의 성능이 향상된다. 앞선 실험 결과로 나타나듯 제안하는 적응적인 매개변수를 가지는 3차 회선 보간법을 통한 영상 확대는 기존에 존재하는 보간법들보다 객관적 성능과 주관적 화질에서 우수한 성능이 나타남을 입증하였다.

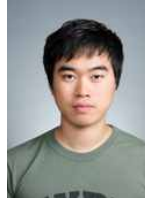
### 참고문헌

[1] J. Shi and S. E. Reichenbach, "Image Interpolation by Two-Dimensional Parametric Cubic Convolution," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 15, no. 7, pp. 1857-1870, July 2006.



- [2] T. Chen, H. R. Wu, B. Qiu, "Image Interpolation using Across-Scale Pixel Correlation", ICASSP, Salt Lake City, Utah, 2001.
- [3] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing", 2nd ed, Prentice Hall, 2002.
- [4] W. K. Pratt, "Digital Image Processing," 2nd ed., Wiley, 1991.
- [5] M Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "Fast B-spline transforms for continuous image representation and interpolation," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 13, pp. 277-285, Mar. 1991.
- [6] 한중기, "국지적 신호 특성에 적응하는 개선된 cubic convolution", 한국통신학회 논문지, vol. 27, no. 5A, pp. 404-413, May 2002.
- [7] R. G. Keys, "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, And Signal Processing, Vol. ASSP-29, No. 6, pp. 1153-1160, Dec. 1981.
- [8] S. S. Rifman, "Digital Rectification of ERTS Multispectral Imagery," Proc. Symposium Significant Results Obtained from ERTS-1(NASA SP-327), I, Sec. B, pp. 1131-1142, 1973.
- [9] R. Bernstein, "Digital Image Processing of Earth Observation Sensor Data," IBM J. Res. Develop., vol. 20, pp. 40-57, Jan. 1976.

## 저자 소개



### 유재욱

2002~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사과정  
<관심분야> 영상처리, 영상압축, 멀티미디어통신



### 박대현

2007 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과(공학사)  
2007~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정  
<관심분야> 영상처리, 영상압축, 멀티미디어통신



### 김윤

1993 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
1995 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
2003 고려대학교 전자공학과(공학박사)  
1995~1999 LG-Philips LCD 연구소 주임연구원  
2002~2003 (주)달리텍 선임연구원  
2003~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 부교수  
<관심분야> 영상처리, 영상압축, 멀티미디어통신