

# 매개변수의 적응화를 통한 최적화된 3차 회선 보간 기법

박대현<sup>†</sup> · 유재욱<sup>††</sup> · 김윤<sup>†††</sup>

## 요 약

본 논문에서는 낮은 해상도의 영상을 높은 해상도의 영상으로 보간하는 과정에서 각각의 픽셀에 대해 최적화된 매개변수를 적용하는 새로운 적응적 3차 회선 보간 기법을 제안한다. 기존의 3차 회선 보간 기법은 보간하려는 영상에 대해 동일한 매개변수를 적용하여 각 픽셀의 고유한 특성을 적응적으로 반영하지 못하였지만, 제안한 보간 기법은 픽셀의 정보에 따라 매개변수를 최적화하여 반영함으로써 주어진 영상을 고품질 영상으로 보간한다. 여러 가지 영상을 통해 본 논문에서 제안한 보간 기법과 기존에 알려진 보간 기법들을 비교하는 실험을 하였고, 도출된 실험 결과를 객관적인 지표로 제시하여 우수함을 입증하였다.

주제어 : 영상 보간, 3차 회선 보간 기법, 최적화된 매개변수

## An Image Interpolation Using Optimized Cubic Convolution With Adaptive Parameter

Dae-Hyun Park<sup>†</sup> · Jea-Wook Yoo<sup>††</sup> · Yoon Kim<sup>†††</sup>

## ABSTRACT

An adaptive optimization of parametric cubic convolution for image interpolation is derived in this paper. The proposed technique is based on optimizing the standard cubic convolution interpolation formula at each interpolated pixel. Conventional parametric cubic convolution methods use a fixed parameter in an image, so properties of each pixel cannot be incorporated into the interpolation. The proposed method optimizes the interpolation kernel by obtaining parameters adaptively on each pixel. A new cost function is introduced to reflect frequency properties of the original data. The proposed technique produces noticeably sharper edges than traditional techniques and exhibits an average PSNR improvement of traditional techniques.

Keywords : Image Interpolation, Cubic Convolution, Optimized Parameter

---

† 정 회 원: 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정  
 †† 정 회 원: 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 학부과정  
 ††† 중 심 회 원: 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 부교수(교신지자)  
 논문접수: 2008년 6월 11일, 심사완료: 2008년 8월 27일  
 \* 본 논문은 2008년 삼성전자 정보통신연구소의 지원으로 수행되었음  
 \* 본 논문은 2008년 (주)자랍테크놀로지의 지원으로 수행되었음

## 1. 서 론

영상 보간(image interpolation)은 이산 신호의 샘플들로부터 공간적으로 연속적인 신호를 정의하는 기술로서[1], 영상 감시 시스템, 의학 화상, 자동적인 대상 감지, 가전제품 등 많은 분야에 널리 사용되어 왔다[2][3]. 멀티미디어 응용분야의 경우, 고해상도의 영상을 저장하는 경우에 저장매체는 많은 용량을 필요로 하고, 고해상도의 영상을 전송하는 경우에는 높은 대역폭 또는 긴 지속 시간을 필요로 한다[4]. 따라서 고해상도의 영상은 실제적인 응용분야에 적합하지 못하므로 저해상도의 영상을 많이 사용한다. 이런 경우, 제공된 저해상도의 영상은 클라이언트에서 보간 기법을 통해 고해상도의 영상으로 변환되어 사용될 가능성이 크다. 이와 같이 저해상도의 영상이 제공되는 응용분야에서 고해상도의 고화질영상을 이용하기 위해서는 저해상도 영상에 보간 기법을 사용하여 고해상도 영상을 생성하는 것이 필수적이며, 이때에 효과적인 보간 기법을 사용하는 것이 관건이다[4].

일반적인 보간은 주어진 데이터를 연속적인 모델로 설정하고, 각각의 신호에 대해 새로운 간격으로 보간 함수를 적용하여 리샘플링(resampling)을 하는 것이다. 이상적으로 선형적이고 stationary 시스템에서 최적의 보간 기법은 무한대의 대역폭을 가지는 신호를 완벽하게 복원할 수 있는  $\text{inc}$  함수를 적용하는 것이다[5]. 그러나  $\text{inc}$  함수는 무한대의 대역폭에 적용되어야하므로 실제적인 함수의 기능을 구현하기가 불가능하며, 따라서  $\text{inc}$  함수와 성능이 비슷한 다른 방법들이 연구되어 왔다. 그 결과들로  $\text{inc}$  함수를 대체하여 새로운 보간 함수를 적용한 보간 기법들이 나왔으며, 이 보간 기법들은 일반적으로 거리에 대해 가중치가 적용된 보간 커널(kernel)을 이용한 유사 회선 보간 기법(convolution interpolation)으로 영상을 보간한다[1][5]. 이와 같이 회선 방식(convolution method)을 사용하는 보간 기법들은 인접 화소 보간(nearest neighbor)[2], 양선형 보간(bilinear)[2], 고등 차수 보간(bicubic)[2] 등의 선형(linear) 보간 기법과 b-스플라인 보간

(b-spline)[6], 3차 스플라인 보간(cubic spline)[7] 등의 스플라인(spline) 보간 기법 등이 있다.

회선 방식을 사용한 보간 기법 중 0차(zero-order) 보간 기법인 인접 화소 보간 기법은 낮은 복잡도를 가지며, 쉽게 구현이 가능하여 빠르게 결과 영상을 얻을 수 있다[2]. 그러나 결과 영상이 인접한 픽셀의 패턴을 많이 수용하지 못하여 화질이 저하되는 단점이 있다. 인접 화소 보간 기법보다 좋은 성능을 가지는 양선형 보간 기법은 인접한 픽셀과의 거리에 반비례하여 가중치를 적용하는 일반적인 1차 보간 기법이다[2]. 맵핑(mapping)되는 픽셀을 직접적으로 사용하는 0차 보간 기법과는 다르게 1차 보간 기법은 인접한 픽셀을 참조하여 패턴을 수용하는 유연한 보간 성능을 보이지만, 역시 화질 저하가 두드러진다. 3차 보간 기법인 3차 스플라인 보간 기법은 결과 영상의 화질이 이전 보간 기법들에 비해 상대적으로 우수하지만[7], 보간에 사용되는 연산의 복잡도가 높아져 실제적인 응용 분야에서 사용하기는 어렵다. 이를 극복하기 위해 3차 회선 보간 기법(cubic convolution)이 제안되었다[8][9]. 3차 회선 보간 기법은 3차 스플라인 보간 기법보다 상대적으로 복잡도가 낮고, 우수한 성능을 가지기 때문에 복잡도와 보간된 결과 영상의 화질에 대해 모두 만족할 수 있는 보간 기법이다[9]. 따라서 3차 회선 보간 기법은 실제적으로 영상 보간이 필요한 여러 응용 분야에서 많이 사용되고 있다.

3차 회선 보간 기법은 보간 커널의 매개변수에 따라 보간되는 픽셀 값이 넓은 범위에 나타날 수 있다. 그러므로 한 영상의 각 픽셀에 동일한 매개변수를 적용하는 방법은 영상의 주파수 성분과 패턴이 고려되지 않아 각각의 픽셀에 대해 적용적으로 보간이 이루어지지 않는다. 이런 단점을 없애고 화질을 효율적으로 개선하기 위해 각 픽셀마다 최적화된 매개변수를 적용하여 보간된 영상과 원(original) 영상과의 차이가 최소가 되도록 하는 새로운 3차 회선 보간 기법이 필요하다.

본 논문에서는 낮은 해상도의 영상을 높은 해상도의 영상으로 변환하는 데 있어, 보간된 영상과 원 영상과의 차이가 최소가 되는 최적화된 매개변수를 적용한 적응적 3차 회선 보간 기법을 제안한다. 먼저, 낮은 해상도의 영상 신호를 3차

회선 보간 기법을 적용해 높은 해상도의 영상 신호로 보간한다. 여기서 생성된 높은 해상도의 영상 신호에서 보간에 의해 새로 생성된 영상 신호만으로 구성되도록 다운샘플링(down-sampling)을 하여 초기에 주어진 원 영상 신호와 같은 해상도로 변환시킨다. 여기까지의 과정이 1차 변환 과정이다. 1차 변환과정을 통해 변환된 영상 신호는 다시 3차 회선 보간 기법을 적용해 높은 해상도의 영상으로 보간되고, 앞선 방법과 같이 다운샘플링을 하여 새로 생성된 영상 신호를 얻는다. 여기까지의 과정이 2차 변환과정이며, 얻은 영상 신호는 매개변수에 대한 함수로 표현된다. 2차 변환과정을 통해 얻은 영상 신호를 초기에 주어진 원 영상 신호와 비교하여 차이가 최소가 되는 보간 커널의 매개변수를 찾는다. 여기서 구한 매개변수는 각각의 영상 신호에 대해 적응적인 값을 가지며, 이 값은 보간 커널에 적용되어 보간 기법을 최적화시킨다. 따라서 적응적으로 최적화된 매개변수는 최종적인 결과 영상 신호의 보간에 사용되어 3차 회선 보간 기법의 성능을 향상시킨다. 이와 같은 과정을 통해 생성되는 보간 영상이 기존의 기법들에 비해 주관적인 화질과 객관적인 화질에서 보다 나은 결과영상이 생성됨을 실험결과를 통해 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이상적인 보간 커널과 3차 회선 보간 기법의 일반적인 사항에 대해 서술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 최적화된 매개변수를 적용하는 개선된 적응적 3차 회선 보간 기법에 대해 서술하고, 4장에서는 제안한 알고리즘을 기존의 보간 기법들을 대상으로 비교한 실험결과 자료에 대해 설명한다. 그리고 최종적으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 3차 회선 보간 기법의 배경이론

본 장에서는 일반적으로 이산 신호가 연속 신호로 생성되는 과정에 대해 언급하고, 3차 회선 보간 기법에 대해 살펴보고자 한다.

주어진 이산 신호에 대해 연속 신호의 보간 커널을 사용하여 보간된 신호를 생성하는 일반적인 과정을 식으로 나타내면 아래와 같다.

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

이 식에서  $(x_k)$ 는 주어진 이산 신호이고,  $\hat{f}(x)$ 는 보간 커널이 적용되어 보간된 신호이다.  $x - x_k$ 는 보간 커널의 일반적인 표현이며,  $x$ 는 연속적인 값을 나타내고,  $x_k$ 는 일정한 간격의 이산적인 값을 나타낸다. 식 (1)은 주어진 이산 신호인  $(x_k)$ 와 보간 커널인  $x - x_k$ 의 유사 회선 보간 기법을 통해 보간된 신호  $\hat{f}(x)$ 를 생성한다.  $\hat{f}(x)$ 는 주어진 이산 신호인  $(x_k)$ 가 보간 커널  $x - x_k$ 에 따라 보간되는 값이 다르기 때문에 다양한 결과로 보간될 수 있다.

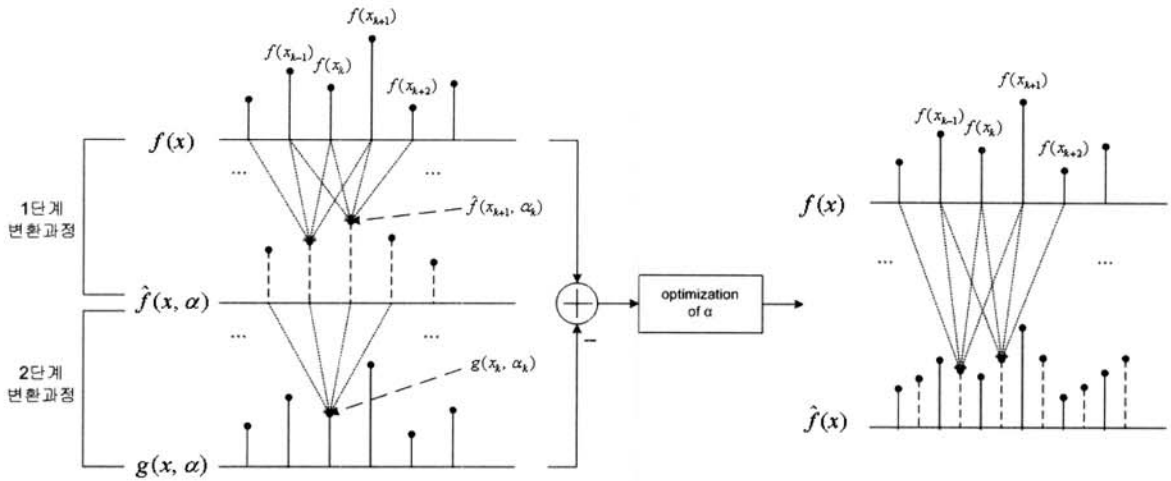
샤논(Shannon)의 표본화 이론에 의하면, 신호  $\hat{f}(x)$ 의 대역폭이 구간  $\tau, +\pi$  이내로 제한된다면,  $\hat{f}(x)$ 의 샘플 값인  $(x_k)$ 으로부터 원 연속 신호를 완벽하게 복원할 수 있다[10]. 이 과정은 다음과 같이 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\hat{f}(x) = \sum_k f(x_k) \text{sinc}(x - x_k). \quad (2)$$

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin \pi x}{\pi x}. \quad (3)$$

식 (3)은 보간 커널로 사용되는  $\text{nc}(x)$ 를 표현한 것이고, 이상적인 보간 커널(ideal interpolation kernel)로 알려져 있다. 여기서 식 (3)이 적용된 식 (2)에서 이산 신호  $(x_k)$ 에 이상적인 보간 커널을 적용하여 연속 신호  $\hat{f}(x)$ 를 생성한다. 보간된 연속 신호  $\hat{f}(x)$ 는 원 영상 신호와 일치하는 값을 갖지만, 보간 커널의 범위가 무한대값을 갖기 때문에 실제적인 구현이 불가능하다. 따라서 이상적인 보간 커널에 가까운 성능을 가질 수 있는 보간 기법에 대한 연구가 진행되었다.

여러 보간 기법 중 계산량을 많이 필요로 하지 않아 복잡도면에서 유리한 1차 보간 기법인 간단한 양선형 보간 기법은 아래 식 (4)와 같이 표현된다.



<그림 1> 최적화된  $\alpha$ 를 통해 보간하는 과정.

$$\hat{f}(x) = (1-s)f(x_k) + sf(x_{k+1}). \quad (4)$$

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

이산 신호  $(x)$ 에 대해 보간 기법을 적용하여 생성되는  $\hat{f}(x)$ 는 인접한 신호인  $(x_k)$ 와  $(x_{k+1})$ 에 대하여 거리 가중치가 곱해진 합으로 구해지며, 여기서 가중치는  $x$ 의 위치를 기준으로 결정된다. 위 식 (5)에서 인접한 신호에 적용되는 거리 가중치는 보간될 신호와의 거리에 반비례로 적용된다.

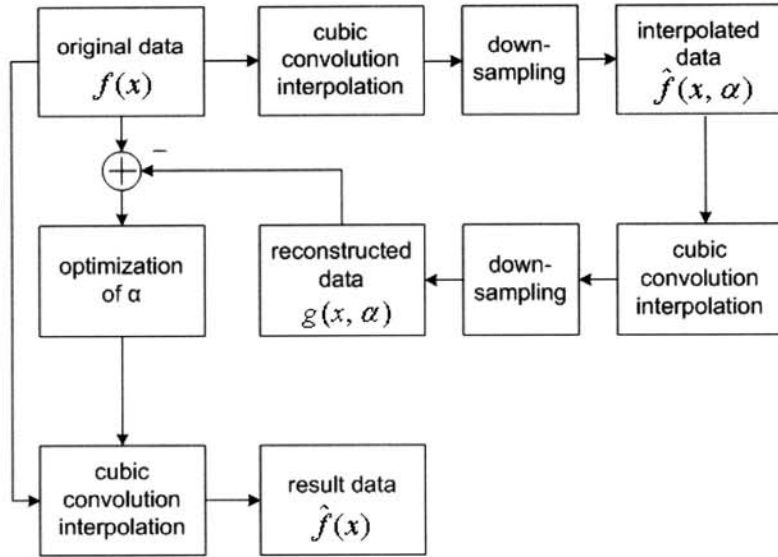
보간 커널을 3차로 구성하면 인접한 신호를 더욱 많이 참조하기 때문에 인접한 신호들의 패턴이 보간될 신호에 반영되어 1차 보간 커널보다 좋은 성능을 지닐 수 있다. 3차 보간 커널로는 고등 차수 보간, 3차 스플라인 보간 등이 있지만 각각 밝기 값에 리플(ripple) 현상이 일어나는 단점과 복잡도가 높아 실제로 사용하기에 부적합한 단점 등이 있다[8][9][11]. 높은 복잡도와 리플 현상 등의 단점을 보완한 3차 커널인 3차 회선 보간 기법의 보간 커널은 다음의 식 (6)과 같이 표현된다.

$$-5\alpha|x|^2 + 8\alpha|x| - 4\alpha, 1 < |x| \leq 2 \\ , elsewhere. \quad (6)$$

위의 식 (6)을 보간 커널로 사용하고, 식 (5)의 거리 가중치 표현을 적용하여, 일반적인 과정인 식 (1)에 대입해서 정리하면 다음 식 (7)을 얻는다 [8].

$$\hat{f}(x) = f(x_{k-1})[\alpha s^3 - 2\alpha s^2 + \alpha s] \\ + f(x_k)[(\alpha + 2)s^3 - (\alpha + 3)s^2 + 1] \\ + f(x_{k+1})[-(\alpha + 2)s^3 + (2\alpha + 3)s^2 - \alpha s] \\ + f(x_{k+2})[-\alpha s^3 + \alpha s^2]. \quad (7)$$

위의 식 (7)에는 거리 가중치  $s$ 이외에도  $x$  값이 존재하여 보간될 신호에 영향을 미친다. 따라서  $x$  값의 조절에 따라 보간된 신호는 원 신호에 일치하거나 근접할 수 있다. 3차 회선 보간 기법을 제안한 Keys[8]는  $(x_k)$ 가 3차 미분이 존재한다는 가정에 Taylor 급수 전개를 이용하여  $= -1/2$ 을 제시하였고, Rifman[9]과 Bernstein[11]은  $= 1$ 에서 보간 커널의 기울기를  $nc(x)$ 의 기울기인  $-1$ 과 일치시키게 하기 위해  $= -1$ 로 선정하였다. 여기서 영상의 각 신호에 동일한  $x$ 를 적용하는 것은 보간되는 각 픽셀에 적응적이지 못하여 영상의 주파수 성분과 패턴이 고려되지 않아 영상 또는 각



<그림 2> 제안하는 최적화 보간 시스템 블록 다이어그램.

각의 픽셀의 특성을 나타내지 못한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 3차 회선 보간 기법을 이용한 고해상도 영상으로의 변환과정에서 생성된 영상 신호와 원 영상 신호 사이에 차이가 최소가 되도록 적응적으로 최적화된  $\alpha$ 를 찾고, 여기서  $\alpha$ 를 최종적으로 보간될 픽셀에 적용하는 보간 기법을 제안한다.

### 3. 제안한 보간법

본 장에서는 주어진 낮은 해상도의 영상을 우수한 화질의 높은 해상도로 보간하는 과정에서 적응적으로 최적화된 매개변수를 가지는 3차 회선 보간 기법을 제안한다.

제안하는 보간 기법은 주어진 원 영상 신호  $(x)$ 로부터 3차 회선 보간 기법을 이용한 2번의 변환 과정을 거쳐  $(x)$ 와 같은 해상도를 갖는 복원 신호  $(x, a_k)$ 를 생성한다. 생성되는  $(x, a_k)$ 는 위치에 따른  $x_k$ 의 함수이며, 이상적인  $x_k$ 를 갖는 보간 함수를 사용하였다면  $(x)$ 와 같은 값을 가져야 한다. 이와 같은 과정은 그림 1과 같이 표현되고, 원 영상 신호  $(x)$ 와 복원 신호  $(x, a_k)$  사이

의 차이가 최소가 되도록 하기 위해 최소 평균 자승 에러(minimum mean square error)개념을 도입한 새로운 비용함수(cost function)를 사용하여 최적화된 매개변수  $x_k$ 를 얻는다. 최종적으로 매개변수  $x_k$ 는 결과 영상의 보간 커널에 사용되어 적응적으로 최적화된 보간을 수행한다.

일반적인 영상에서 인접한 픽셀 사이에는 유사도(correlation)가 존재하며, 이와 같은 특성을 고려하여 구한 매개변수  $x_k$ 를 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 주어진 낮은 해상도의 영상을 3차 회선 보간 기법을 통해  $x_k$ 를 미지수로 정의하여 높은 해상도의 영상으로 보간한다. 그림 2의 시스템에서  $(x)$ 는 주어진 낮은 해상도의 영상 신호들이고,  $(x, \alpha_k)$ 는 보간과정을 거쳐 보간된 영상 신호들이다. 위의  $(x, \alpha_k)$ 는 다음 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(x, \alpha_k) = & f(x_{k-1})[\alpha_k s^3 - 2\alpha_k s^2 + \alpha_k s] \\ & + f(x_k)[(\alpha_k + 2)s^3 - (\alpha_k + 3)s^2 + 1] \\ & + f(x_{k+1})[-(\alpha_k + 2)s^3 + (2\alpha_k + 3)s^2 - \alpha_k s] \\ & + f(x_{k+2})[-\alpha_k s^3 + \alpha_k s^2]. \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에서  $\alpha_k$ 는 최종적으로 구할 적응적으로 최적화된 파라미터이며,  $s$ 는 식 (5)에서 정의한 거리 가중치에 대한 값이다. 여기서 생성된 높은 해상도의 영상 신호  $(x, \alpha_k)$ 는 앞선 보간과정을 통해 새로 생성된 영상 신호만으로 구성되도록 다운샘플링을 하여 초기에 주어진 원 영상 신호와 같은 해상도로 변환된다. 변환된 신호는 원 영상 신호와 같은 해상도의 영상 신호로 매개변수  $\alpha_k$ 에 대한 함수의 형태로 표현된다. 여기까지의 과정이 1차 변환과정이며, 다운샘플링된  $(x, \alpha_k)$ 는 2차 변환과정에서 원 영상 신호의 역할로 사용된다. 따라서 1차 변환과정에서 생성된 신호는 원 영상 신호와 같은 해상도를 가지고, 이 신호는 다시 3차 회선 보간 기법이 적용되어 높은 해상도의 영상 신호로 보간된다. 여기서 보간된 신호는 앞선 방법과 같이 다운샘플링을 하여 원 영상 신호와 같은 해상도의 새로 생성된 영상 신호를 얻는다. 보간된 영상 신호  $(x, \alpha_k)$ 는 원 영상 신호와의 차이를 구하기 위해 비교대상이 되는 복원 신호이며, 신호의 생성은  $(x, \alpha_k)$ 를 입력으로 보간하여 다음 식 (9)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} g(x, \alpha_k) = & \hat{f}(x_{k-1}, \alpha_k)[\alpha_k s^3 - 2\alpha_k s^2 + \alpha_k s] \\ & + \hat{f}(x_k, \alpha_k)[(\alpha_k + 2)s^3 - (\alpha_k + 3)s^2 + 1] \\ & + \hat{f}(x_{k+1}, \alpha_k)[-(\alpha_k + 2)s^3 + (2\alpha_k + 3)s^2 - \alpha_k s] \\ & + \hat{f}(x_{k+2}, \alpha_k)[-\alpha_k s^3 + \alpha_k s^2]. \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)을 통해 얻어진 영상 신호  $(x, \alpha_k)$ 는 초기에 주어진  $(x)$ 가 2번의 변환과정에서 이상적인 보간 커널을 사용하였다면 원 영상 신호와 일치해야 한다. 따라서 식 (9)를 통해 원 영상 신호와 비교대상이 되는 복원 신호  $(x, \alpha_k)$ 를 생성하는 이번 과정이 2차 변환과정이다. 2차 변환과정을

거친 영상 신호는 1차 변환과정을 거친 신호와 유사한 형태인  $\alpha_k$ 에 대한 함수로 표현되며, 최종적으로 구할 적응적으로 최적화된 매개변수  $\alpha_k$ 를 포함한다.

따라서 원 영상 신호  $(x)$ 와 식 (9)를 통해 얻은  $(x, \alpha_k)$ 사이의 차이를 최소로 만들어주는  $\alpha_k$ 를 그림 1과 같은 과정을 통해 얻을 수 있다. 여기서  $\alpha_k$ 를 포함하는 변환 과정을 통해 생성된  $(x, \alpha_k)$ 와 주어진 원 영상 신호  $(x)$ 사이의 차이는 비유함수의 개념을 도입하여 다음 식 (10)으로 표현된다.

$$E(\alpha_k) = [f(x_k) - g(x, \alpha_k)]^2. \quad (10)$$

식 (10)를 통해  $(x)$ 와  $(x, \alpha_k)$ 사이의 차이값인  $(\alpha_k)$ 는  $\alpha_k$ 에 의해 넓은 범위의 값으로 발생할 수 있으며, 이때 두 신호사이의 차이를 최소로 하는  $\alpha_k$ 를 구하여 최종적인 결과 영상의 보간에 사용한다. 두 신호사이의 차이를 최소로 하는  $\alpha_k$ 를 구하는 위해 식 (11)과 같은 gradient method를 사용하여 local minimum 값을 만족시키는  $\alpha_k$ 를 찾는다.

$$\alpha_k^* = \arg \min_{\alpha_k} E(\alpha_k) \quad (11)$$

식 (11)을 만족시키는  $\alpha_k$ 를 찾기위해, 식 (12)의 미분방정식을 정의한다.

$$\frac{\partial E(\alpha_k)}{\partial \alpha_k} = 0. \quad (12)$$

여기서 구해지는  $\alpha_k$ 는 주어진 영상 신호  $(x)$ 에 대해 적응적으로 최적화된 값을 가진다. 따라서  $\alpha_k$ 는 최종적으로 보간되는 픽셀에 적용되며 다음의 식 (13)로 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(x) = & f(x_{k-1})[\alpha_k s^3 - 2\alpha_k s^2 + \alpha_k s] \\ & + f(x_k)[(\alpha_k + 2)s^3 - (\alpha_k + 3)s^2 + 1] \\ & + f(x_{k+1})[-(\alpha_k + 2)s^3 + (2\alpha_k + 3)s^2 - \alpha_k s] \\ & + f(x_{k+2})[-\alpha_k s^3 + \alpha_k s^2]. \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)의 보간으로 생성된 결과 영상은 지역적 패턴을 많이 수용하며 원 영상에 근접하는 우수한 화질을 얻을 수 있다.

일반적인 예로 주어진 원 영상 신호  $(x)$ 에서 보간된 영상 신호  $(x)$ 를 생성할 때  $= 1/2$ 인 부화소 기반으로 보간을 수행하는 과정은 식 (8)을 정리하여 다음 식(14)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(x, \alpha_k) = & f(x_{k-1})\left(\frac{1}{8}\alpha_k\right) + f(x_k)\left(-\frac{1}{8}\alpha_k + \frac{1}{2}\right) \\ & + f(x_{k+1})\left(-\frac{1}{8}\alpha_k + \frac{1}{2}\right) + f(x_{k+2})\left(\frac{1}{8}\alpha_k\right). \end{aligned} \quad (14)$$

식 (14)에서 구한  $(x, \alpha_k)$ 를 다운샘플링하여 1차 변환과정을 수행한다. 1차 변환과정을 통해 얻은  $(x, \alpha_k)$ 를 2차 변환과정의 입력으로 식 (9)의  $(x, \alpha_k)$ 에 대해 정리하면 다음 식 (15)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} g(x, \alpha_k) = & \hat{f}(x_{k-1}, \alpha_k)\left(\frac{1}{8}a\right) + \hat{f}(x_k, \alpha_k)\left(-\frac{1}{8}a + \frac{1}{2}\right) \\ & + \hat{f}(x_{k+1}, \alpha_k)\left(-\frac{1}{8}a + \frac{1}{2}\right) + \hat{f}(x_{k+2}, \alpha_k)\left(\frac{1}{8}a\right). \end{aligned} \quad (15)$$

식 (15)으로 구한  $(x, \alpha_k)$ 는 알고리즘의 과정과 같이 원 영상 신호와 차이를 구하고 계산되며, 구한 적응적으로 최적화된  $\alpha_k$ 는 최종적인 보간에 적용된다.

#### 4. 실험 결과

본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위해서 그림 2의 시스템을 구성하여 실험환경을 구축하였다. 실험 영상으로는 "Lena", "Pepper", "Barbara", "Church", "Bridge" 등을 사용하였고, 256X256 해상도와 256 단계의 밝기를 가지는 그레이(gray) 영상을 512X512 영상으로 보간하여 실험하였다. 비교 대상으로 고려된 보간 기법은 양선형 보간 기법, 고등 차수 보간 기법, 3차 회선 보간 기법이다. 실험 결과로 각각 보간 기법에 대해 원 영상과 결과 영상을 비교하여 객관적 성능과 주관적 화질을 평가하였다.

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.

$$PSNR = 10 \times \log \left( \frac{M \times N \times 255^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i, j) - f'(i, j))^2} \right) \quad (15)$$

<표 1> 기존 보간 기법과 제안한 보간 기법의 PSNR 비교.

	Lena	Pepper	Barbara	Church	Bridge
Bilinear	28.64	29.00	31.81	30.65	26.83
Bicubic	28.17	28.50	31.03	29.96	26.11
Cubic Convolution	29.19	29.54	32.72	31.41	27.56
Proposed	29.37	29.70	33.05	31.67	27.81





(a)



(b)



(c)



(d)

<그림 3> "LENA" 영상에 대한 주관적 화질 비교.  
 (a) 양선형 보간 기법. (b) 고등 차수 보간 기법. (c) 3차 회선 보간 기법. (d) 제안한 보간 기법.

여기에서  $(i, j)$ 는 원영상이며,  $(i', j')$ 는 각각의 알고리즘에 의해 보간된 영상이다. 표 1은 기존 보간 기법들과 제안하는 보간 기법의 PSNR을 각 실험 영상들에 대해 비교하였다. 실험 결과는 제안한 알고리즘을 사용한 보간 기법이 상대적으로 높은 PSNR 값을 가져 기존의 보간 기법들보다 우수한 성능을 제공함을 보여준다.

그림 3은 LENA영상에 대해 제시한 기존의 보간 기법들과 제안한 알고리즘을 적용한 보간 기법을 적용한 결과 영상을 보여주고 있다. 보다 나은 주관적 화질 비교를 위해 그림 4에서는 결과 영상을 확대하여 보간 기법들의 차이를 명확하게 보여준다. 결과 영상에서 나타나듯 기존에 존재하던 보간 기법인 양선형 보간, 고등 차수 보간, 3

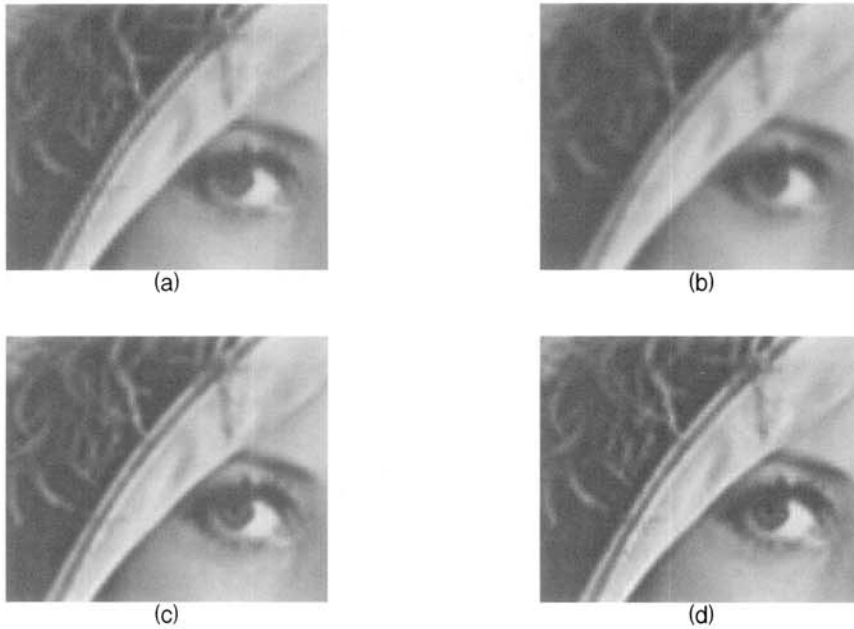
차 회선 보간 기법에 비해 제안한 보간기법을 적용하였을 경우 에지(edge)가 선명하면서 부드럽고 자연스러운 영상을 얻을 수 있었다.

본 실험을 통해 제안하는 보간 기법이 기존에 알려진 선형 보간들보다 모든 영상에 대해 높은 PSNR값을 가지는 것을 알 수 있으며, 주관적 화질 측면에서도 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 보간된 영상과 원 영상과의 차이가 최소가 되는 최적화된 매개변수를 적용한 적응적 3차 회선 보간 기법을 제안하였다. 3차 회선 보간 기법의 매개변수  $\alpha$ 를 구하는 데 있어, 변환과정을 거쳐 생성된 복원 신호와 원 영상 신





<그림 4> “LENA” 영상의 확대 영상에 대한 주관적 화질 비교.  
 (a) 양선형 보간 기법. (b) 고등 차수 보간 기법. (c) 3차 회선 보간 기법. (d) 제안한 보간 기법.

호사이의 차이가 최소가 되는 최적화된 값을 도출하였다. 여기서 구한 매개변수  $\alpha$ 를 최종적인 결과영상의 보간에 적용하였다. 제안하는 보간 기법은 영상에 대해 동일한  $\alpha$ 를 적용하는 이전 방법과는 다르게 보간될 각각의 영상 신호가 주변 신호들의 패턴을 적응적으로 반영하고 최적화되어 보간되는 특성을 가진다. 따라서 주변의 영상 신호와 적응적인 보간 과정을 통해 영상 신호들 사이의 차이가 최소가 되는 매개변수를 적용하여 보간 기법의 성능이 향상됨을 보였다. 앞선 실험 결과로 나타나듯 제안하는 적응적으로 최적화된 매개변수를 적용한 적응적 3차 회선 보간 기법은 기존에 존재하던 보간 기법들보다 객관적인 화질과 주관적인 화질에서 우수한 성능이 나타남을 입증하였다.

**참 고 문 헌**

[ 1 ] J. Shi and S. E. Reichenbach(2006), “Image Interpolation by Two-Dimensional Parametric Cubic Convolution,” *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 15, no. 7,

pp. 1857-1870.  
 [ 2 ] W. K. Pratt(1991), *Digital Image Processing*. 2nd ed., Wiley, NewYork.  
 [ 3 ] A. M. Tekalp(1995), *Digital Video Processing*. Prentice Hall, Engle-wood Cliffs, NJ.  
 [ 4 ] T. Chen, H. R. Wu, B. Qiu(2001), “Image Interpolation using Across-Scale Pixel Correlation,” *ICASSP*, Salt Lake City, Utah .  
 [ 5 ] J. K. Han and S. U. Baek(2000), “Parametric Cubic Convolution Scaler for Enlargement And Reduction of Image,” *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 46, no. 2, pp. 247-256.  
 [ 6 ] M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden(1991), “Fast B-spline transforms for continuous image representation and interpolation,” *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 13, pp. 277-285.  
 [ 7 ] H. S. Hou and H. C. Andrews(1978), “Cubic splines for image interpolation and digital filtering,” *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-26,

no. 6, pp. 508-517.

[8] R. G. Keys(1981), "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, And Signal Processing*, Vol. ASSP-29, No. 6, pp. 1153-1160.

[9] S. S. Rifman(1973), "Digital Rectification of ERTS Multispectral Imagery," *Proc. Symposium Significant Results Obtained from ERTS-1(NASA SP-327)*, I, Sec. B, pp. 1131-1142.

[10] 한종기(2002), "국지적 신호 특성에 적응하는 개선된 cubic convolution scaler," 한국통신학회 논문지, vol. 27, no. 5A, pp. 404-413.

[11] R. Bernstein(1976), "Digital Image Processing of Earth Observation Sensor Data," *IBM J. Res. Develop.*, vol. 20, pp. 40-57.

[12] J. Anthony Parker(1983), Robert V. Kenyon, Donald E. Troxel, "Comparison of Interpolating Method for Image Resampling," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, Vol. MI-2, no. 1, pp. 31-39.

[13] S. K. Park and R. A. Schowengerdt(1983), "Image reconstruction by parametric. cubic convolution," *Comput. Vis., Graph., Image Process.*, vol. 23, pp. 258-272.

[14] S. E. Reichenbach, J. Shi and F. Geng(2003), "Two-Dimensional Cubic Convolution," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 12, no. 8, pp. 857-865.

[15] S. M. Kwak, J. K. Han, B. C. Song(2005), "Modified cubic convolution scaler for enhancement of edge information," *ICCE 2005*, pp. 465-466.

[16] Meijering. E.H.W, Niessen. W.J, Viergever. M.A(1999), "Piecewise polynomial kernels for image interpolation: a generalization of cubic convolution," *ICIP 99. Proceedings*, vol. 3, pp. 647-651.

[17] Reichenbach. S.E, Geng. F(2001), "Improved cubic convolution for two dimensional image reconstruction," 2001 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record,

vol. 3, pp. 1775-1778.

[18] Meijering. E, Unser. M(2003), "A note on cubic convolution interpolation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 12, Issue 4, pp. 477-479.



### 박 대 현

2007 강원대학교  
컴퓨터정보통신공학과  
(공학사)

2007~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과  
석사과정

관심분야: 영상처리, 영상압축, 멀티미디어통신  
E-Mail: dhpark509@kangwon.ac.kr



### 유 재 욱

2002~현재 강원대학교  
컴퓨터정보통신공학과  
학사과정

관심분야: 영상처리, 영상압축, 멀티미디어통신  
E-Mail: wodnrms@kangwon.ac.kr



### 김 윤

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  
E-Mail: yooni@kangwon.ac.kr