

적응적인 매개변수가 적용된 3차 회선 보간법을 통한 영상 확대

An Enhanced Image Magnification by Interpolation of Adaptive Parametric Cubic Convolution

김 윤*

Kim, Yoon

Abstract

The purpose of this paper is an adaptive image interpolation using parametric cubic convolution. Proposed method derive parameter of adapting the frequency from adjacent values. The parameter optimize the interpolation kernel of cubic convolution. Simulation results show that the proposed method is superior to the conventional method in terms of the subjective and objective image quality.

키워드 : 영상 확대, 보간법, 3차 회선 보간법

Keywords : *image magnification, interpolation, cubic convolution*

1. 서론

영상 보간(image interpolation)은 이산 신호의 집합들로부터 공간적으로 연속적인 영상을 정의하는 처리이다[1]. 영상 보간은 많은 디지털 영상처리 기법의 기반으로 사용되며, 특히 영상 리샘플링(resampling), 영상 크기조정(scaling), 영상 정합(registration), 영상 워핑(warping), 영상의 기하학적 왜곡보정 등에서 주로 사용된다[1]. 최근에 전자, 정보통신 기술의 발달로 인해 더욱 컴퓨터 시스템 성능과 네트워크 대역폭은 증가하였고, 멀티미디어 시대의 핵심기술로 자리매김하였다. 멀티미디어를 접하고 이용할 수 있는 환경이 점차 개선되면서 관련된 멀티미디어 콘텐츠에서

제공되는 영상은 이전에 주로 사용된 저해상도가 아닌 고해상도의 영상을 사용함으로써 콘텐츠의 질을 높여가고 있으며, 또한 멀티미디어 서비스도 고해상도를 고려하지 않고서는 사용자의 서비스욕구를 충족시킬 수 없게 되었다. 이와 같은 변화를 통해 점차 멀티미디어 환경이 개선되며 발전하고 있지만, 멀티미디어를 이용하는 사용자들의 서비스욕구도 동일하게 증가하여 고화질, 고해상도의 영상을 제공받길 원한다. 이에 대한 해결책으로 클라이언트에서 보간법을 통한 영상 개선이 있다. 클라이언트에서 서비스된 저해상도의 영상이 보간법을 통해 고화질, 고해상도의 영상으로 변환되어 제공되므로 독립적인 서비스 환경이 개선이 가능하다. 따라서 저해상도의 영상을 가능한 고화질, 고해상도의 영상으로 얻어내는 것이 주요하며, 이때에 효과적인 보간 기법을 통한 영상의 생성이 바람직하다.

일반적인 보간은 연속적인 모델로 설정된 주어

* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 조교수

진 영상 신호를 이산적인 새로운 간격으로 보간 함수를 적용하여, 주어진 영상 신호보다 더욱 많은 영상 신호로 연속적인 모델이 구성되는 영상을 생성하는 것이다. 보간을 통해 생성되는 영상은 새로운 간격으로 인해 존재하지 않던 신호들을 주어진 저해상도의 영상에서 얻은 신호정보를 통해 생성되어 구성된다[2]. 여기서 새로 생성된 신호는 성능이 좋은 보간 함수가 적용될수록 신호의 특성이 주변 신호와 연속적으로 표현된다. 이상적인 선형의 stationary 시스템에서 sinc 함수의 사용은 최적의 보간을 수행한다. 여기서 sinc 함수는 무한대의 대역폭을 가진 신호를 정확하게 연속적인 신호로 복원하지만, 물리적인 함수로 실제적인 사용이 불가능하며, 또한 영상은 일반적으로 선명한 경계나 다른 세부적인 특징을 가지기 때문에 명확하게 무한대의 대역폭을 가졌다고 할 수 없다[2]. 따라서, 실제적으로 사용이 불가능한 sinc 함수를 대신해 인접 화소 보간 기법[3], 양선형 보간 기법[4], 3차 회선 보간 기법[4], B-스플라인 보간 기법[5] 등이 사용되고 있다.

가장 간단한 방식의 보간 기법인 인접 화소 보간 기법은 0차 보간법(zero-order interpolation)으로 구현이 매우 용이하고[3], 보간을 위해 소요되는 실행시간이 상대적으로 짧다. 구현의 복잡도와 시간적인 성능에서 우수하지만 픽셀을 정수단위로 참조하여 영상의 주파수 특성을 제대로 반영하지 못하고, 보간으로 인해 생성된 영상이 주어진 영상이 가지고 있던 에지(edge)에 대해 왜곡이 발생하여 바람직하지 못한 인공물(artifact)을 산출하는 단점이 있다[3]. 양선형 보간 기법은 인접한 픽셀과의 거리를 참조하여 거리에 반비례하는 가중치 매개변수를 적용한 1차 보간 기법을 사용하며[4], 거리에 반비례하는 가중치 매개변수의 특성으로 인해 보간되는 영상은 인접 화소 보간 기법보다 주파수 특성을 주어진 영상에 더욱 가깝게 표현한다. 3차 보간 기법을 사용하는 B-스플라인 보간 기법은 상대적으로 이전 보간 기법에 비해 좋은 화질의 영상을 생성하지만, 보간 기법이 가지는 복잡도가 높으며 보간 기법들 중에 가장 스무딩(smoothing)한 보간 커널로 구성되어 있어서 보간되는 영상의 에지부분에 블러링(blurring)이 발생하는 단점이 있다. 3차 보간 기법을 사용하는 다른 보간 기법으로는 3차 회선 보간 기법이 있다. 3차 회선 보간 기법은 영상 보간을 위한 계산의 복잡도와 보간되는 영상의 화질을 적절하게 절충한 영상 생성과정을 수행한다. 이와 같은 장점으로 인해 3차 회선 보간 기법은 이전에 보간 기법들이 충족시키지 못해 생기는 문제에 대한 해결책을 제시해 주게 되어 많은 응용 분야에 사용되고 있다. 3차 회선 보간 기법은 보간 커널이 가지는 매개변수의 값에 따라 인접한 픽셀이 참조되는 가중치가 변화

하게 되어 영상에 많은 영향을 준다. 매개변수로 하나의 값을 사용하게 되면 영상이 가지는 모든 주파수 특성에 동일하게 적용되어 주파수를 고려하지 못하는 단점이 나타난다. 따라서 영상이 가지는 모든 주파수 특성을 고려한 3차 회선 보간 기법이 적용되기 위해서는 보간과정에서 인접한 픽셀이 가지는 주파수 특성을 매개변수에 반영하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 저해상도의 영상을 고해상도의 영상으로 주파수 특성을 고려한 효과적인 확대를 위해 적용적인 매개변수가 적용된 3차 회선 보간법을 제안한다. 제안하는 보간법은 연속적인 모델로 설정된 주어진 영상의 확대를 위해 이산적인 새로운 간격을 정의함으로써 생기는 주어진 영상에서 존재하지 않는 픽셀을 효과적으로 생성한다. 인접한 신호들의 주파수 특성을 고려해 원(original) 신호에 근접한 신호로 생성되어야함을 만족하는 제안하는 보간법은 주파수 특성이 고려된 매개변수를 구해 최종적인 보간에 적용한다. 먼저, 3차 회선 보간법을 사용하여 매개변수를 적용시키기 위한 과정을 수행한다. 여기서 3차 회선 보간법의 보간함수에 참조되는 픽셀 중에 최종적인 보간을 하는 위치에서 가장 인접한 픽셀을 하나 제외시키고, 제외시킨 픽셀의 방향으로 새로운 하나의 픽셀을 참조하여 보간함으로써 새로운 픽셀을 생성한다. 생성된 픽셀은 매개변수가 적용되지 않았기에 미지수로 남아 여전히 보간의 결과에 영향을 미칠 수 있는 형태이며, 최종적인 보간을 하는 위치에서 가장 인접한 앞선 과정에서 제외시킨 픽셀의 위치와 동일하게 되어 제외된 픽셀과 생성된 픽셀과의 관계가 정의된다. 따라서 제외된 픽셀과 생성된 픽셀은 이상적인 보간함수를 사용했다면 완벽하게 일치함으로 보간함수의 매개변수가 미지수로 있는 생성된 픽셀과 제외된 픽셀의 차이를 최소로 하는 매개변수를 찾는다. 여기서 구한 매개변수는 참조된 픽셀의 주파수 특성을 반영하여 적용적인 값을 가지고, 이 값은 3차 회선 보간법의 보간함수에 매개변수로 적용되어 3차 회선 보간법의 성능을 향상시킨다. 향상된 3차 회선 보간법은 결과 영상을 얻는 최종적인 보간에 사용되어 보간의 성능을 향상시켜 나은 결과 영상을 얻는다. 이와 같은 과정을 통해 생성되는 보간 영상이 기존의 기법들에 비해 주관적인 화질과 객관적인 화질에서 보다 나은 결과 영상이 생성됨을 실험결과를 통해 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 일반적인 보간에 대한 설명과 3차 회선 보간법에 대해 서술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 적용적인 매개변수가 적용된 3차 회선 보간법에 대해 서술하고, 4장에서는 제안한 보간법을 기존의 보간법들을 대상으로 비교한 실험 결과에 대해 설명한

다. 그리고 최종적으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 3차 회선 보간법의 배경이론

본 장에서는 영상 확대를 위해 새로운 간격으로 위치한 이산 신호가 보간과정을 통해 연속적인 모델의 영상으로 변환되는 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 (1)과 같이 표현된다.

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

이 식에서 $f(x_k)$ 는 입력으로 주어진 이산 신호이고, $\hat{f}(x)$ 는 출력으로 주어진 이산 신호로 보간 커널을 적용하여 연속 신호로 보간된 신호이다. $\beta(x - x_k)$ 는 이산신호를 연속신호로 변환해주는 보간 커널의 일반적인 표현이며, 식 (1)에서 사용된 x 는 연속적인 값을 의미하고, x_k 는 일정한 간격의 이산적인 값을 의미한다. 식 (1)에서 주어진 이산 신호인 $f(x_k)$ 는 보간 커널인 $\beta(x - x_k)$ 와 회선 방식(convolution method)으로 연산되어 보간된 연속 신호인 $\hat{f}(x)$ 를 생성한다. 여기서 입력으로 사용된 이산 신호 $f(x_k)$ 가 일정할 경우에 출력으로 나타나는 보간된 신호인 $\hat{f}(x)$ 는 보간 커널인 $\beta(x - x_k)$ 에 따라 보간된 신호의 레벨(level)이 다양하게 나타난다. 또한, 보간 커널인 $\beta(x - x_k)$ 가 연속적인 모델이 아닌 이산적인 모델을 취하면 보간된 신호 $\hat{f}(x)$ 도 이산 신호로 보간되어 나타난다.

샤논의 표본화 이론(Shannon sampling theory)에 의하면, 신호 $f(x_k)$ 의 대역폭이 구간 $(-\pi, +\pi)$ 이내로 제한된다면, $\hat{f}(x)$ 의 입력 값인 $f(x_k)$ 로부터 원 연속 신호를 완벽하게 복원할 수 있다[6]. 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)에서 $\text{sinc}(x)$ 는 식 (2)에서의 보간 커널 $\beta(x - x_k)$ 로 사용된 것으로 이상적인 보간 커널(ideal interpolation kernel)로 알려져 있으며 식 (3)과 같이 표현된다. $\text{sinc}(x)$ 가 보간 커널로 사용

된 식 (2)는 이산 신호 $f(x_k)$ 를 보간하여 연속 신호인 $\hat{f}(x)$ 를 생성하며, 여기서 $\hat{f}(x)$ 는 샤논의 표본화 이론에 의해 원 연속 신호와 일치하는 값을 가진다. 이와 같이 $\text{sinc}(x)$ 는 샤논의 표본화 이론에서 정의한 조건에 만족한다면 $\text{sinc}(x)$ 의 사용으로 완벽하게 연속 신호로 복원이 가능하지만, $\text{sinc}(x)$ 는 연속적인 신호의 생성을 위해 보간 커널의 입력범위가 무한대의 영역에서 정의가 되므로 실제적인 계산과 구현이 불가능하다. 불가능한 $\text{sinc}(x)$ 의 사용을 대신하여 널리 사용되고 있는 것은 보간 커널이 3차로 구성된 보간법이다. 보간 커널이 3차로 구성된 보간법은 보간을 위해 인접한 신호를 더욱 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. 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, 보간의 핵심이 되는 보간 커널은 다음의 식 (4)과 같이 표현된다[7, 8, 9].

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

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

식 (4)을 사용하는 3차 회선 보간법은 이산 신호의 위치 x_k 와 보간하는 위치 x 의 관계에 식 (5)의 가중치 표현을 적용하여 정리하고, 식 (1)에서 표현하는 일반적인 과정에 대해 정리하면 다음의 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\hat{f}(x) = f(x_{k-1})[\alpha s^3 - 2\alpha s^2 + \alpha s] \\ + f(x_k)[(\alpha+2)s^3 - (\alpha+3)s^2 + 1] \\ + f(x_{k+1})[-(\alpha+2)s^3 + (2\alpha+3)s^2 - \alpha s] \\ + f(x_{k+2})[-\alpha s^3 + \alpha s^2]. \quad (6)$$

식 (6)은 가중치 표현이 적용되어 나타난 거리 가중치 s 는 보간을 위해 설정되는 새로운 간격에 의존적이지만, 식 (6)의 보간 커널에 존재하는 α 는 이외의 존재하는 값에 영향을 받지 않는 독립적인 값으로 보간에 영향을 미친다. 따라서 α 는 조절에

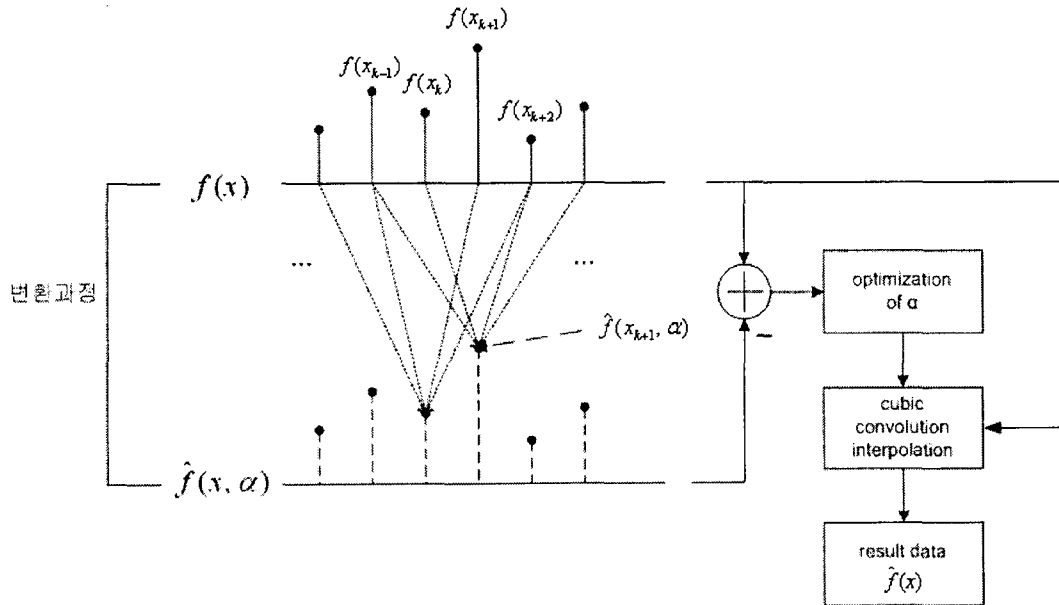


그림 1. 최적화된 α 를 구하는 과정.

따라 보간되는 신호가 인접한 신호와 연속성을 가지는데 중요한 역할로 작용하고, 그에 따라 보간되는 신호는 원 신호에 일치하거나 근접하게 된다. 3차 회선 보간법을 제안한 Rifman[8]과 Bernstein[9]은 $x=1$ 에서 보간 커널의 기울기를 $\text{sinc}(x)$ 의 기울기인 -1 과 일치시키게 하기 위해 $\alpha = -1$ 로 선정하였고, Keys[7]는 $f(x_k)$ 가 3차 미분이 존재한다는 가정에 Taylor급수전개를 이용하여 $\alpha = -1/2$ 을 제시하였다. 여기서 영상의 각 신호에 동일한 α 를 적용하는 것은 보간되는 각 신호에 적용적이지 못한 단점이 있다.

3. 제안한 보간법

본 장에서는 보간을 위해 주어진 저해상도의 영상을 고해상도의 영상으로 확대하는 과정에서 일반적으로 사용된 보간법의 화질보다 나은 적응적인 매개변수가 적용된 3차 회선 보간법을 제안한다.

제안하는 보간법은 보간하는 위치와 인접한 저해상도의 영상 픽셀을 참조한 변환과정을 통해 저해상도의 영상과 동일한 정수단위 위치의 존재하는 픽셀을 생성한다. 생성된 픽셀은 이상적인 보간함수를 사용하였다면 주어진 원 영상 $f(x)$ 의 동일한 위치에 있는 픽셀과 같은 값을 가지므로, 원 영상 $f(x)$ 의 픽셀과 변환과정의 보간으로 생성된 픽셀 $\hat{f}(x, \alpha)$ 는 최소 평균 사승 에러(minimum mean square error)를 사용하여 두 픽셀 사이의 차이를

최소로 하는 적응적인 매개변수 α 를 구한다. 이와 같은 과정은 그림 1과 같이 표현되고, 그림 1의 과정을 통해 구한 매개변수 α 는 보간하는 위치의 인접한 픽셀들이 가지는 주파수 특성이 고려되어 최종적인 결과 영상의 보간에 사용됨으로 3차 회선 보간법의 성능을 향상시킨다.

위의 전체과정은 그림 2의 시스템으로 구성한다. 먼저, 최종적인 보간을 위해 이상적인 새로운 간격으로 그림 1에서 나타나듯 일정한 간격을 정의한다. 여기서 이전의 매개변수를 모든 보간에 동일하게 사용하는 3차 회선 보간법은 픽셀을 참조하여 식 (6)을 적용하여 보간을 수행하였지만, 제안하는 보간법은 인접한 픽셀들과 구성되는 주파수 특성을 고려하여 적응적인 매개변수를 구해 보간을 적용한다. 매개변수를 구하기 위한 과정으로 주어진 저해상도의 영상에서 변환과정에서 사용할 참조 픽셀을 선택한다. 변환과정에서 사용할 픽셀은 보간하려는 위치와 가장 인접한 픽셀 하나를 제외하고, 제외된 픽셀의 방향으로 인접하는 새로운 하나의 픽셀을 참조하여 참조에 필요한 픽셀의 개수를 만족시킨다. 여기서 제외되는 픽셀은 차후에 변환과정으로 생성되는 새로운 픽셀과 비교되는 대상이 된다. 새로운 조건을 통해 결정되어 참조되는 픽셀의 집합 F 는 아래의 식 (7)과 같이 표현된다.

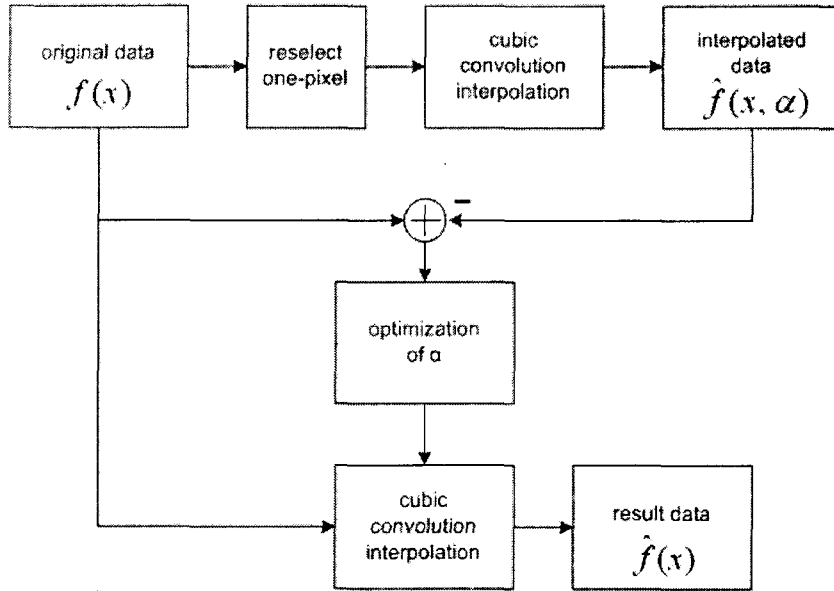


그림 2. 제안하는 최적화 보간 시스템 블록 다이어그램.

$$F = \begin{cases} (f(x_{k-2}), f(x_{k-1}), f(x_{k+1}), f(x_{k+2})) & , 0 < s \leq \frac{1}{2} \\ (f(x_{k-1}), f(x_k), f(x_{k+2}), f(x_{k+3})) & , \frac{1}{2} < s \leq 1. \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서 s 는 식 (5)에서 언급된 거리 가중치를 나타내며, s 의 위치를 통해 보간하려는 위치와 가장 인접한 픽셀을 파악하여 해당 픽셀인 $f(x_k)$ 또는 $f(x_{k+1})$ 을 제외하고, 제외된 픽셀의 방향에 따라 $f(x_{k-2})$ 또는 $f(x_{k+3})$ 이 참조 픽셀로 사용된다. 제외된 픽셀과 참조픽셀은 모두 같은 간격을 가지고 있으며, 여기서 참조된 픽셀들 F 를 통해 식 (7)에서 제외된 픽셀의 위치에 해당하는 자리에 매개변수를 정의하지 않은 3차 회선 보간법으로 픽셀을 생성한다. 여기까지가 변환과정이며, 변환과정을 통해 새롭게 생성되는 픽셀은 아래의 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(x, \alpha) = & F_1[\alpha s^3 - 2\alpha s^2 + \alpha s] \\ & + F_2[(\alpha + 2)s^3 - (\alpha + 3)s^2 + 1] \\ & + F_3[-(\alpha + 2)s^3 + (2\alpha + 3)s^2 - \alpha s] \\ & + F_4[-\alpha s^3 + \alpha s^2]. \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)의 s 는 식 (5)에서 언급된 거리 가중치이고, F_k 는 식 (7)의 참조되는 픽셀의 집합 F 의 원소를 나타낸다. 여기서 F_k 와 제외된 픽셀은 모두 같은

간격에서 존재하므로 거리 가중치 $s=1/2$ 로 정의되며, 식 (8)에 대입하여 정리하면 아래의 식 (9)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(x, \alpha) = & F_1\left(\frac{1}{8}\alpha\right) \\ & + F_2\left(-\frac{1}{8}\alpha + \frac{1}{2}\right) \\ & + F_3\left(-\frac{1}{8}\alpha + \frac{1}{2}\right) \\ & + F_4\left(\frac{1}{8}\alpha\right). \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서 생성된 픽셀 $\hat{f}(x, \alpha)$ 는 보간 커널의 매개변수 α 가 미지수로 남아있는 α 에 대한 함수의 형태로 나타나며, 최종적인 픽셀 값은 α 의 결정으로 정해지므로 α 는 결과 픽셀에 상당한 영향을 미친다. 따라서 α 의 값을 조절하여 새로 생성된 픽셀이 식 (7)에서 제외된 픽셀과 같은 값을 가지도록 해주는 것은 바람직하며, α 는 주변의 주파수 특성이 고려된 적응적인 값을 가진다. 최종적인 공간에서 사용할 적응적인 α 는 그림 1과 같은 과정을 통해 얻는다. 여기서 식 (7)에서 제외된 픽셀과 $\hat{f}(x, \alpha)$ 사이의 차이는 제외된 픽셀에 따라 아래의 식 (10)과 같이 표현된다.

$$E(\alpha) = \begin{cases} [f(x_k) - \hat{f}(x_k, \alpha)]^2 & , 0 < s \leq \frac{1}{2} \\ [f(x_{k+1}) - \hat{f}(x_{k+1}, \alpha)]^2 & , \frac{1}{2} < s \leq 1. \end{cases} \quad (10)$$

식 (10)에 두 픽셀사이의 차이는 α 에 따라 넓은 범위의 값으로 나타날 수 있으므로, 인접한 픽셀의 주파수 특성이 적응적으로 α 에 반영되기 위해선 차이를 최소로 하는 α 를 구해야 한다. 여기서 α 는 $E(\alpha)$ 에 존재하는 α 에서 구할 수 있고, 이와 같은 과정은 아래의 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial E(\alpha)}{\partial \alpha} = 0. \quad (11)$$

식 (11)에서 구해지는 α 는 제외된 픽셀과 $\hat{f}(x, \alpha)$ 사이의 차이를 최소로 하는 인접한 픽셀의 주파수 특성을 반영한 적응적인 값을 가진다. 여기서 α 는 결과를 얻는 최종적인 보간에서 이웃한 픽셀과 상관관계가 있다는 가정아래에 적응적으로 사용되며, 이와 같은 과정은 아래의 식 (12)로 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(x) = & f(x_{k-1})[\alpha s^3 - 2\alpha s^2 + \alpha s] \\ & + f(x_k)[(\alpha + 2)s^3 - (\alpha + 3)s^2 + 1] \\ & + f(x_{k+1})[-(\alpha + 2)s^3 + (2\alpha + 3)s^2 - \alpha s] \\ & + f(x_{k+2})[-\alpha s^3 + \alpha s^2]. \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)에서 α 는 앞선 과정으로 구해진 값이며, s 는 식 (7)에서 사용한 s 와 동일하다. 따라서 식 (12)는 일반적인 3차 회선 보간법이 아닌 적응적인 α 가 적용되어 인접한 픽셀들의 주파수 특성과 밀

접한 픽셀을 생성한다. 생성된 픽셀로 이루어진 영상은 원 영상과 근접하는 우수한 화질의 결과를 얻는다.

4. 실험 결과

본 장에서는 제안한 보간법의 객관적, 주관적 성능 평가를 위해서 그림 2의 시스템으로 실험환경을 구현했다. 실험을 위해 사용된 영상으로는 표 1에서 제시한 널리 알려진 영상을 사용했고, 표 1에서 제시한 기준에 존재하던 보간법들과 본 논문에서 제안한 보간법을 실험 영상에 적용하여 보간된 결과영상을 기반으로 성능을 평가했다. 이와 같은 실험을 통해 원 영상과 각각의 보간법이 적용된 결과 영상을 수치적인 차이를 비교하여 객관적 화질 비교를 제시하고, 결과 영상을 통해 주관적 화질 비교를 제시했다.

논문에서 제안한 보간법과 비교 대상으로 고려된 보간 기법은 널리 알려진 인접 화소 보간법, 양선형 보간, 3차 회선 보간 기법이다. 표 1의 실험 결과는 객관적 화질 비교를 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 단위로 측정해 각각의 보간법에 대한 성능 평가를 했다. 표 1에서는 위에서 언급한 알려진 보간법과 논문에서 제안한 보간법이 적용된 결과 영상에 대한 PSNR을 제시하며, 제안한 보간법을 사용해 보간된 결과 영상의 PSNR이 기존의 보간법들보다 상대적으로 높은 값으로 나타나 우수한 화질의 제공과 성능의 우수함을 알 수 있다.

그림 3은 LENA영상에 대해 앞서 제시한 기준의 보간법들과 제안한 보간법으로 보간한 결과 영상을 통해 주관적 화질을 비교한다. 여기서 결과 영상에 대해 더 나은 주관적 화질 비교를 위해 그

표 1. 기존 보간 기법과 제안한 보간 기법의 PSNR 비교.

	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	31.40	36.59	34.76	30.65

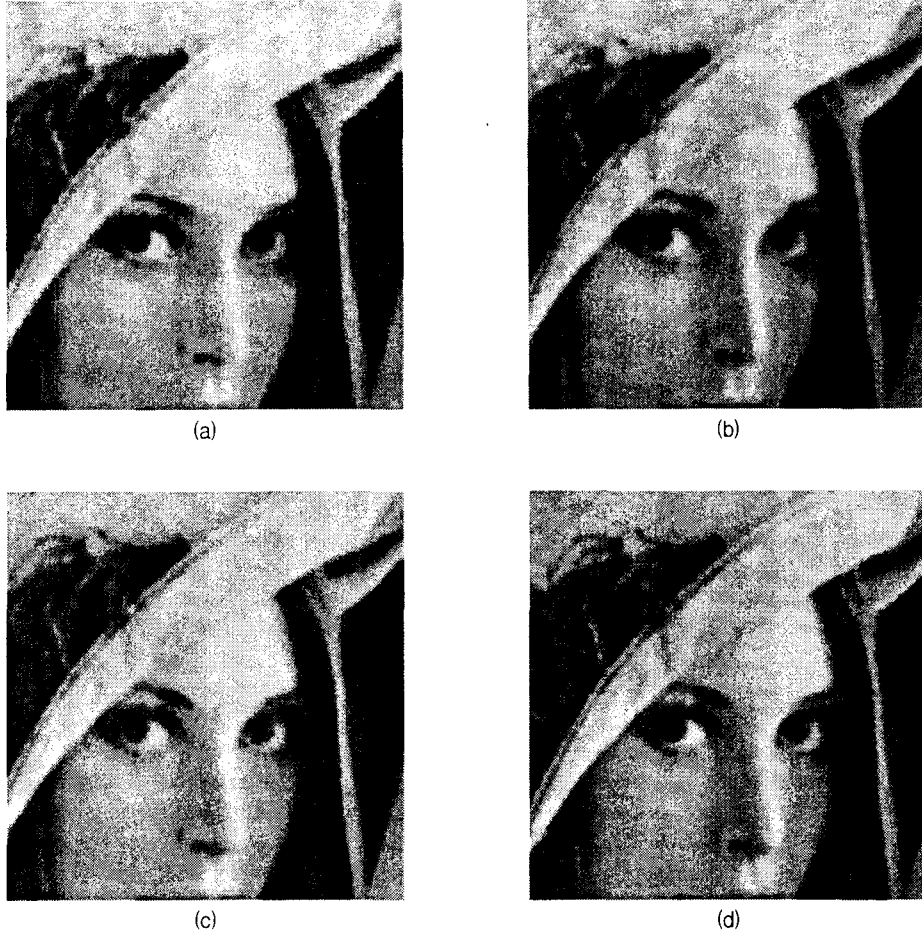


그림 3. "Lena" 영상에 대한 주관적 화질 비교.

(a) 인접 화소 보간법. (b) 양선형 보간법. (c) 3차 회선 보간법. (d) 제안한 보간법.

림 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 제안한 보간법을 적용하였을 경우 에지(edge)가 선명하면서 부드럽고 자연스러운 영상을 얻을 수 있었다.

본 실험을 통해 기존에 알려진 보간법들과 영상에 동일한 매개변수를 적용하는 3차 회선 보간법보다 표 1의 결과와 그림 3과 그림 4의 결과 영상을 통해 제안한 보간법으로 보간한 영상의 결과가 우수함을 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 3차 회선 보간법의 매개변수 α 를 인접한 픽셀의 주파수 특성을 반영한 적응적인 값을 가지도록 변환과정 중에 제외된 픽셀과 변환 과정을 통해 새로 생성된 픽셀 사이의 차이가 최소가 되는 적응적인 α 를 구한다. 적응적인 값으로 새로 정의된 α 는 최종적인 보간의 3차 회선 보간법에 적용되어 결과 영상을 생성한다. 일반적으로 사용되는 영상에 대해 동일한 α 를 적용하는 3차 회선 보간법은 영상이 가지는 각각의 주파수 특성을 모두 고려하지 못하는 단점이 있으므로, 본 논문에서는 보간할 때에 인접한 픽셀이 가지는 주파수 특성을 고려한 α 를 구해 3차 회선 보간법에 적용한다. 이 과정으로 보간된 픽셀은 주변 픽셀과의 주파수 특성이 근접하게 나타나며, 각각에 대해

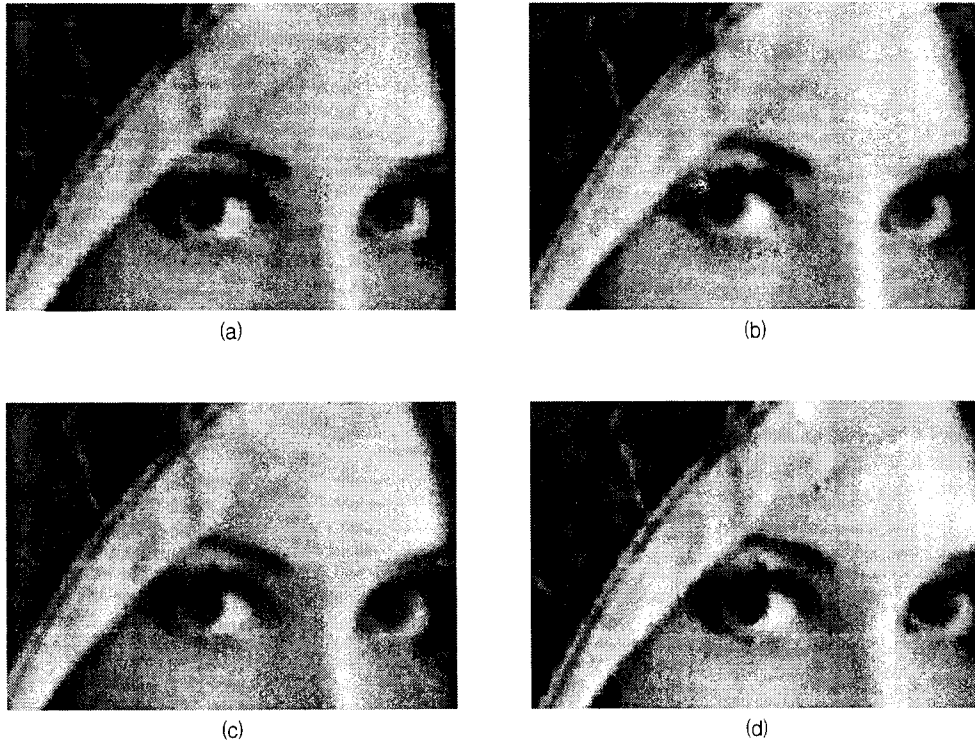


그림 4. "LENA" 영상의 확대 영상에 대한 주관적 화질 비교.
 (a) 인접 화소 보간법. (b) 양선형 보간법. (c) 3차 회선 보간법. (d) 제안한 보간법.

적용적인 보간으로 원 영상과의 차이를 줄여 보간법의 성능이 향상됨이 나타난다. 앞선 실험결과로 나타나듯 제안하는 적용적인 매개변수를 가지는 4차 회선 보간법을 통한 영상 확대는 기존에 존재하는 보간법들보다 주관적인 화질과 객관적인 화질에서 우수한 성능이 나타남을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [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. 1857-70, 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] 한종기, "국지적 신호 특성에 적용하는 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.