

적응적 왜곡 거리 계산을 이용한 부화소 기반 영상 확대

유재욱^o 박대현 김윤 김만배 정인범

강원대학교 컴퓨터 정보통신 공학과

wodnrns@kangwon.ac.kr, dhpark@snslab.kangwon.ac.kr,yooni@kangwon.ac.kr, manbae@kangwon.ac.kr, ibjung@kangwon.ac.kr,The Sub-pixel Image Magnification
Using Adaptive Warped Distance CalculationJaewook Yoo^o Daehyun Park Yoon Kim manbae Kim Inbum Jung

요 약

본 논문에서는 디지털 영상의 해상도를 부화소 기반의 새로운 적응적 선형보간법으로 변경하는 방법을 제안한다. 일반적 선형보간법에서 고정된 위치로 쓰이는 거리계수를 왜곡된 거리 계산에 의한 화소 가중치를 주는 방법으로 개선한다. 이를 계산하기 위하여 최소 평균 자승 에러(minimum mean square error, MMSE)를 이용한다. 원영상과의 차이를 최소화하는 왜곡 거리 계산을 위하여 이웃한 보간 화소와 왜곡거리를 참조하게 된다. 이를 사용하면 복잡도가 높지 않은 효과적인 화소 보간을 할 수 있고 실험 결과 일반적인 보간법과 비교할 때 PSNR(peak signal to noise ratio)과 주관적 화질 면에서 우수함을 알 수 있었다.

1. 서 론

영상 보간법은 특정 해상도로 표현된 영상을 다양한 해상도의 신호로 확대 또는 축소 시키는 영상시스템과 영상 신호의 일부분을 복원하는 시스템 등 폭 넓은 응용분야에서 필수적으로 사용되는 기술이다. 비록 보간법이 원영상의 두 샘플 사이의 값을 모두 계산할 수 있도록 구축 돼야 하지만, 부화소 단위의 화소 보간은 디지털 카메라 응용, 영상 압축, 디지털 TV 분야 등과 같은 다양한 분야에서 사용된다.[1].

보간에 필요한 이상적인 필터는 공간 영역에서 sinc 함수의 특성을 가지는 저역 통과 필터(low-pass filter, LPF)이어야 한다. 그러나 무한한 영역의 에너지를 필요로 하는 이상적인 저역 통과 필터는 현실상 구현이 불가능하다. 그래서 연구된 보간 기법으로 이웃화소 보간법(nearest neighbor interpolation), 양선형 보간법(bilinear interpolation), 그리고 고등차수 보간법(high order interpolation) 등이 존재한다[2].

이웃화소 보간법은 가장 구현이 간편하고 저 복잡도를 요구하지만 보간된 영상의 화질이 타 보간법에 비하여 좋지 못하고 계단 현상이 일어난다는 단점이 있다. 이를 개선하기 위한 방법으로 선형보간(linear interpolation)과 고등차수 보간법이 제시 되었지만 결과 영상에서 흐림현상이 발생하는 문제와 보간법의 복잡도가 높아 많은 처리시간을 요한다는 문제가 존재한다. 따라서 보간된 영상의 화질을 개선하기 위한 방법으로 적응적 보간(adaptive interpolation)이 제안되었다[3].

적응형 보간 방법들은 크게 영상의 고주파 부분의 정보

를 이용한 보간법과[4], 제시된 고등차수 보간법의 매개변수를 고정으로 사용하지 않고 주변 화소 값으로부터 적절한 정보를 취득하여 화소 단위로 새로운 매개변수를 적용하는 방법[5]으로 나눌 수 있다. 영상의 고주파 영역을 이용한 방법은 보간법을 시행함에 있어 고주파 영역을 고려하여 윤곽선을 더 뚜렷하게 하고, 매개변수 변경 방법은 위치 계수나, 고등차수 보간법의 특성을 변경할 수 있는 계수 값들을 화소 단위로 최적이 되도록 찾는 방법이다. 하지만 영상의 고주파 부분의 정보를 이용한 알려진 방법에서는 고주파 부분이 심하게 강조되는 문제점이 생기고 매개변수 변경 방법은 개선되어지긴 했으나 흐림현상이 존재하고 에지 부분에서의 계단현상이 생긴다는 문제점이 남아있다. 본 논문에서 제안하는 방법은 화소단위로 매개변수를 달리하는 방법으로 주변 화소에서 어떤 방법으로 정보를 얻을지를 정하고 이에 따라 각각의 화소에 따른 최적화된 매개변수를 얻는 것으로 이루어진다[2].

본 논문에서는 새로운 부화소 기반의 적응적 영상 확대 시스템을 제안한다. 시스템의 적응적 매개변수 값을 구하기 위해 최소 평균 자승 에러(minimum mean square error, MMSE)를 이용하였다. 제안된 보간법은 알려진 일반적인 보간법과 비교되고 최근의 선형 보간 방법으로 선형 왜곡거리 보간법, 이동 선형 보간법과 비교하였다. 비교 기준으로는 Lena 영상의 주관적 화질 비교와 PSNR(peak signal to noise ratio)을 이용한 객관적 보간 성능을 비교 하였다. 실험결과 계산 복잡도가 고등차수 보간법보다 간단하였고 주관적 화질 비교와 PSNR 면에서도 우수한 결과를 보인다.

본 논문의 1장에서는 제안된 보간법에 대한 배경을 설명하였고 2장에서는 알려진 보간법에 대하여 간단히 기술하였다. 그리고 3장에서는 제안된 보간법에 대하여 도표와 수식을 이용하여 설명하였으며 4장에서는 실험 결과에 대하여 PSNR을 사용한 영상 비교와 lena영상의 주관적 화질비교를 하였다. 위의 과정으로 5장의 결과를 도출 하였다.

2. 보간법

2.1 고전적 보간법

재표본화(resampling)는 영상의 기하학적 변환이나 왜곡을 보정하기 위해 영상처리의 여러 분야에 사용되는 기술로 이산화 되어있는 값을 연속된 신호로 변환하여 다시 이산 데이터를 추출하는 것을 목적으로 한다. 즉, 존재하지 않는 위치로부터 하나의 새로운 화소를 생성시키는 것이다. 이러한 과정을 보간법이라고 하는데 일반적인 보간법의 과정은 식 (1)의 형태로 정의된다[9].

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

여기서 $f(x_k)$ 는 원본 영상의 이산 표본 값이고, x_k 는 보간된 신호의 값이며, $\beta(x_k)$ 는 보간 커널의 식이다. 이때 보간된 화소의 값은 보간 커널의 종류에 따라 달라진다는 것을 (1)식에서 알 수 있다. 보간 커널의 대표적인 것은 sinc 함수인데 Nyquist 이론에 의하면 sinc 함수인 경우 보간 하고자 하는 데이터의 주파수대역이 제한되어 있을 경우 완벽한 복원이 가능하다. 식 (2)는 sinc 함수의 보간 커널을 나타낸다[10].

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

그러나 sinc 함수의 경우 무한대 영역의 에너지가 필요하므로 구현이 불가능하다. 따라서 공간적인 대역제한을 위하여 윈도우를 적용하는 기법을 사용하게 되는데 이때 윈도우를 사용하는 목적은 첫 번째 주파수는 되도록 폭이 좁고 두 번째 주파수는 크기가 작게 되는 것이 목적이다. 따라서 제한된 크기의 보간 커널의 사용이 연구되고 있다[11].

가장 간단한 보간법으로는 이웃화소 보간법 또는 영차 보간법이라고도 불리는 식 (3)을 들 수 있다.

$$\beta(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 0.5 \\ 0, & \text{else} \end{cases}, \quad (3)$$

식 (3)의 기본개념은 보간될 화소 주변의 가장 가까운 원 화소를 복사해서 보간 화소로 할당하는 것이다. 이 방법은 처리 속도가 빠르고 보간을 위하여 추가되는 로직도 상대적으로 매우 작다. 그러나 해상도 면에서 열악

하여 특히 확대 배율이 증가하면 영상의 블록화 현상이 두드러져 보인다. 이를 개선하기 위하여 연구된 방법이 1차함수 즉, 선형 함수의 조합으로 만들어진 식 (4)이다.

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

선형 보간법의 기본 개념은 복원 화소가 생성될 화소 주변의 원 화소 값들에 가중치를 곱한 값들의 합이다. 가중치들은 선형적으로 결정되는데 각각 존재하는 화소로부터 선형적으로 거리에 정비례하게 계산된 후 인접한 원 화소의 값과의 곱을 합하여 복원 화소에 할당하는 것이다. 이때 원본화소 x_k 와 생성될 화소의 위치를 x 라고 한다면 두 값들 사이 값은 식 (5)와 같이 결정 된다.

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

이때 s 값은 $0 \leq s \leq 1$ 이고 x 는 $x_k \leq x \leq x_{k+1}$ 에서 정의된다. 식 (4)와 식 (5)를 식 (1)에 대입하여 정리하면 식 (6)을 얻을 수 있다.

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

식 (6)으로 정의된 선형 보간은 거리 매개변수 s 에 대한 식으로 나타난다.

3차 이상의 고등차수 보간법으로는 식 (7)의 커널을 가지는 3차회선(cubic convolution) 보간법, 식 (8)의 커널의 3차 B-spline 보간법 등이 존재한다[7,8].

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

3차회선 보간법은 입력 영상 신호의 분산 특성을 반영하지 않기 때문에 한정된 결과를 낸다. 또한 대칭 함수 특성을 지니며 커널은 유한 수렴 특성을 가지고 있다. 식 (7)에서의 α 값은 자유변수로서 3차회선 보간법의 주파수응답 특성을 나타낸다.

$$\beta(x) = \begin{cases} 3|x|^3 - 6|x|^2 + 4, & 0 \leq |x| \leq 1 \\ -|x|^3 + 6|x|^2 - 12|x| + 8, & 1 \leq |x| \leq 2 \\ 0, & 2 \leq |x| \end{cases}. \quad (8)$$

식 (8)의 3차 B-spline보간법은 다양한 형태로 존재하는 spline보간 함수 중에서 가장 널리 알려져 있는 보간법으로, B-spline의 컨볼루션(convolution)특성을 이용하면 식 (8)의 보간 커널을 만들 수 있다. n차의

B-spline은 구형과 함수를 $n+1$ 번의 컨볼루션 함으로써 얻을 수 있다. 고등차수 보간법의 경우 여러 화소를 참조하여 부드러운 영상의 보간이 가능하지만, 고주파 영역의 감쇠현상으로 인하여 영상이 흐려지는 문제점을 가지고 있다[10].

2.2 적응적 보간법

고전적 보간법이 정해진 커널을 이용하여 보간을 수행하는데 있어 고주파 영역의 감쇠나 영상의 흐림 현상을 개선하기 위하여 지역특성(locality)을 강조하여 매 화소마다 매개변수를 달리하는 방법이 대두 되었다. 예를 들어 식 (6)의 선형 보간의 경우 s 를 매개변수로 사용하고 식 (7)의 3차회선 보간법의 경우에는 s, α 두 개의 매개변수를 매 보간될 화소의 계산마다 주변화소와의 관계를 고려하여 변경하면 국지적인 특성을 강조한 보간을 수행할 수 있다. 이 방법 중 선형 보간법에 적용하기 위한 적응 보간법으로 왜곡거리 방법[5]이 제시되었다. 이는 거리 계수 s 를 매개변수로 두기 때문에 s 를 사용하는 다양한 보간법에 적용이 가능한 방법이다. 따라서 이 값을 적응 변수로 적용하게 되면 보간된 값은 계산된 위치에서 보간되는 것이 아니라 변형된 거리 s' 로 보간되게 된다. 이를 왜곡 거리(warped distance)라 하고 식 (9)와 같이 정의된다[5,12].

$$s' = s - kAs(s-1), \quad (9)$$

$$A = \frac{|f(x_{k+1}) - f(x_{k-1})| - |f(x_{k+2}) - f(x_k)|}{L-1}, \quad (10)$$

식 (9)의 A 는 식 (10)으로 정의된다. k 는 양수로 왜곡 강도를 조절하는 매개변수이다. L 은 해당 영상의 비트로 표현 가능한 밝기 단계이다. 예를 들어 8bit의 밝기 정보를 가진 흑백 영상의 경우 $L = 2^8 = 256$ 이 되고, 왜곡 강도를 조절하는 상수 k 의 값이 너무 커지게 되면 왜곡되는 정도가 심해지게 되어 값의 범위가 $0 \leq k \leq 1$ 의 범위를 벗어나게 되고, 그런 경우에는 s' 의 값이 $0 \leq s' \leq 1$ 범위를 벗어나는 현상이 발생 되는데, 이때는 0 또는 1로 보정된다[13].

3. 제안된 보간법

본 논문에서는 개선된 부화소 단위의 적응 보간법을 제안한다. 고전적 보간에서는 부화소 위치($s = 0.5$)의 보간에 있어서 양쪽의 화소 값들의 평균으로 계산되지만, 국지적인 특성을 고려하여 부화소의 값을 계산하기 위한 방법으로 식 (6)의 s 값을 매개변수로 이용하여 보간될 화소마다 국지적 특성을 고려한 새로운 매개변수 s' 를 구하고 선형 방적식의 s 값을 s' 로 치환 하는 방법

을 사용한다[2].

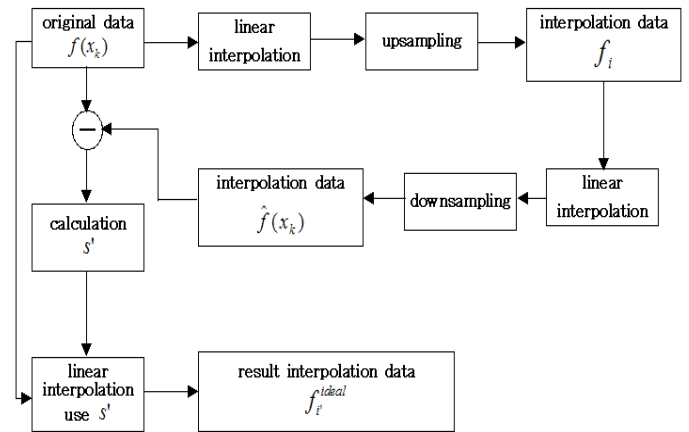


그림 1. 부화소 기반 선형보간의 구조.

그림 1은 제안하는 부화소 기반의 보간 시스템의 다이어그램이다. 그림에서 볼 수 있듯이 저해상도 영상에 대하여 먼저 s 를 매개변수로 하여 선형 보간을 실행하게 된다. 그렇게 되면 영상확대(upsampling)과정에 의해서 생성되는 보간된 화소는 식 (11)과 같은 s 에 관한 함수가 되고 이 함수를 이용하여 바로 이웃한 보간된 화소와의 영상축소(downsampling)로 식 (12)와 같은 연속 함수 형태의 결과를 얻을 수 있다. 이때 사용되는 k 값은 인접한 화소의 보간에서 계산된 s' 이다. 지금까지 알려진 적응적 보간 기법에서는 적응적으로 계산되긴 하였으나 전번 계산에서 사용된 값을 재사용하지 못함으로써 손실되는 부분이 있었는데 그 값을 매개변수로 하여 계산하기 때문에 좀 더 최적의 거리계수 s' 를 구할 수 있게 된다.

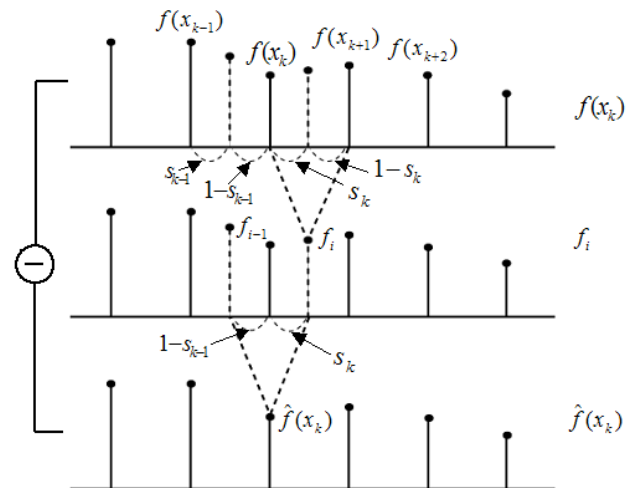


그림 2. 차분신호($g(x)$)를 구하는 과정.

그림 2에서는 원본영상을 확대하고 축소하여 s' 를 구하는 과정을 화소단위로 보여준다. 이때 계산은 각 화소별로 적응적으로 하게 된다.

$$f_i = (1-s)f(x_k) + sf(x_{k+1}). \quad (11)$$

$$\hat{f}(x_k) = \frac{k}{k+s} f_i + \frac{s}{k+s} f_{i-1} \quad (12)$$

위의 식 (11)와 식 (12)에서 구한 공식을 이용하여 원 영상과 식 (12)에서 얻은 결과 함수와의 차분신호를 식 (13)과 같이 구할 수 있다. 이때 사용되는 k 값은 바로 전 화소의 보간에서 구해진 s' 의 값이며, f_{i-1} 값은 이전 계산으로 구해진 보간된 화소의 값이 된다.

$$g(x) = \hat{f}(x_k) - f(x_k) \quad (13)$$

s 에 관한 함수인 $g(x)$ 가 최소가 되게 하는 s' 의 값을 찾기 위해서는 가격함수의 도입이 필요하게 된다. 에너지 개념을 도입하여 $g(x)$ 가 최소가 되게 하기 위한 s' 값을 구하기 위하여 최소 평균 자승에러를 이용하게 되면 식 (14)와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$C = E[g(x)^2] \quad (14)$$

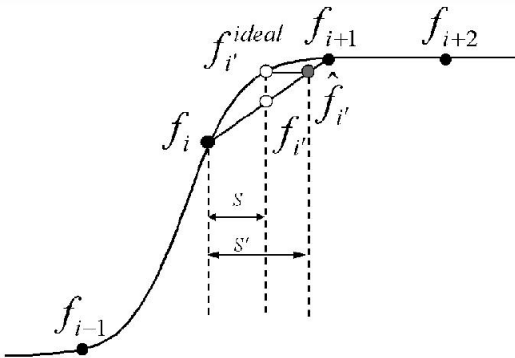


그림 3. 적응적 보간을 이용한 s 의 위치 이동.

$$\begin{aligned} C &= E[(\hat{f}(x_k) - f(x_k))^2] \\ &= E\left[\left(\frac{k}{k+s} f_i + \frac{s}{k+s} f_{i-1} - f(x_k)\right)^2\right] \\ &= E\left[\left(\frac{k}{k+s} ((1-s)f(x_k) + sf(x_{k+1}))\right.\right. \\ &\quad \left.\left. + \frac{s}{k+s} f_{i-1} - f(x_k)\right)^2\right] \\ &= E\left[\left(\frac{s}{k+s} (kf(x_{k+1}) - kf(x_k) + f_{i-1})\right.\right. \\ &\quad \left.\left. + \frac{k}{k+s} f(x_k) - f(x_k)\right)^2\right] \end{aligned} \quad (15)$$

식 (14)를 풀게 되면 $g(x)$ 는 식 (15)와 같이 s 에 대한 1차함수가 되고 차분 함수의 에너지가 최소가 되는 s' 값을 찾기 위하여 가격함수가 최소가 되는 값을 구하면 미분하여 식 (16)과 같이 차이가 0에 가까운 s 의 값을 구할 수 있다.

$$\frac{dE}{ds}[g(x)^2] = 0 \quad (16)$$

식 (16)과 같이 미분하여 s 에 대한 함수를 0이 되게 하는 s 값을 구하고 이를 s' 로 놓고 계산하게 되면 식 (17)과 같은 왜곡거리를 감안한 적응적인 선형보간을 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{f}_i &= (1-s')f_i + s'f_{i+1} = f_i^{ideal} \\ \text{if } \begin{cases} 0, & s' < 0 \\ 1, & s' > 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

4. 실험 결과

제안된 보간 시스템의 성능 평가를 위해 알려진 영상들을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션 하였다. 사용한 이미지들은 256 밝기 단계를 가지는 8비트 영상으로 원본 영상은 512 * 512의 크기의 "lena", "babara", "bridge", "church" 영상들이다. 원본 영상을 알려진 효율적인 방법의 보간법으로 2:1로 축소하여 256 * 256 크기의 영상을 만들고 이 이미지들을 실험에 쓰일 저해상도 영상으로 이용하였다. 각각의 저해상도 이미지에 알려진 보간 방법과 제안된 보간 방법을 사용하여 각각 1:2로 확대하여 원 영상과 비교하였다. 표 1에서 실험 결과를 제시하였다. 표 1에서는 왼쪽 행에서 각각의 영상의 이름으로 나누었고 맨 위의 열에서 알려진 보간 방법과 제안된 방법을 비교하여 각각의 PSNR 수치를 제시하였으며 단위는 dB이다.

표 1. 기존 방법 제안된 방법과의 PSNR 비교 결과.

영상	이웃화소	선형	왜곡거리	3차회선	제안
Lena	25.62	26.43	27.75	30.0	30.1
Peppers	28.18	28.87	29.84	29.93	29.97
Babara	31.26	33.08	33.51	33.73	34.91
bridge	18.17	18.66	18.66	18.70	18.95
church	21.16	21.31	21.58	21.74	21.81

표 1에서 보여주듯이 제안된 방법이 PSNR 면에서 다른 보간법보다 우수함을 알 수 있다. 이웃화소 보간법이나 선형보간법 뿐만 아니라 왜곡거리 선형보간법이나 이동선형 보간법과 비교해도 우수함을 알 수 있다. 주관적 화질 비교로는 그림 4에서는 "lena"영상에 대한

알려진 보간법과 제안된 보간법의 적용 결과 영상을 보여주고 있다. 여기서 보는 바와 같이 제안된 방법을 사용하여 보간이 이루어진 영상이 이웃화소 보간법에서의 계단현상이나 선형보간에서의 흐림현상을 개선한 것을 볼 수 있다. 그리고 왜곡거리 선형보간의 에지부분이 돌출되는 단점도 제안된 방법에서 개선된 것을 볼 수 있다. 따라서 제안된 방법이 주관적 화질 비교에서 알려진 보간법보다 우수함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 영상 확대에 있어서 새로운 부화소 기반의 적응적 왜곡거리 계산방법을 제안한다. 우선 알려진 보간법에 대하여 설명하고 각각의 보간법이 가지는 문제점을 제시 하였다. 우선 선형보간에서 변수인 s 값을 각 화소의 지역적 특성에 맞추어 보간 후에도 지역적인 특성을 잃지 않는 방법으로 s' 를 계산하게 된다. 이때 적응 매개변수 값이 s' 를 계산하기 위하여 최소 평균 자승에러(MMSE)를 이용하였다. 여기서 얻은 결과영상은 알려진 방법의 선형보간, 3차회선 보간, 왜곡거리 선형 보간, 이동 선형 보간과 비교하여 PSNR을 이용한 객관적 우수성을 보였다. 그리고 "lena" 영상을 사용한 주관적 화질 비교에서도 다른 보간법의 문제점이 많이 개선된 것을 볼 수 있었다. 이 보간법은 적응적 왜곡거리를 계산하여 적응적 선형보간을 실행함으로 복잡도가 높지 않고 결과 영상의 화질이 고등차수 보간법보다 높은 결과를 보이기 때문에 기존의 보간법보다 우수하다고 하겠다.

참 고 문 헌

[1] 한 종 기, "국지적 신호 특성에 적응하는 개선된 cubic convolution scaler," 한국통신학회논문지, Vol. 27, No. 5A, pp. 404-413, 2002.

[2] H. Yoo, "Sub-pixel Image Magnification Using Adaptive Linear Interpolation," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 9, No. 8, pp. 1000-1009, 2006.

[3] Xin Li, "New Edge-Directed Interpolation," IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 10, No. 10, pp 1521-1527, 2001.

[4] Y. J. CHA, "Edge-Forming Methods for Image Zooming," Springer Science + Business Media, Vol. 25, pp. 353-364, 2006.

[5] G. Ramponi, "WaDi for space-variant Linear Image interpolation," IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 8, No. 5, pp 629-639, 1999.

[6] 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, 1981.

[7] U. Michael, "Spline-A Perfect Fit for Signal and

Image Processing," IEEE Signal Processing Magazine, November 1999, pp. 22-38, 1999.

[8] S. Hsieh, C. Harry, "Cubic Splines for Image Interpolation and Digital Filtering," IEEE transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-26, No. 6, pp. 508-517, 1978.

[9] 김 태 찬, "저전력 평판 디스플레이 시스템을 위한 Soc 설계," 공학 석사 학위 논문, 고려대학교, 2003.

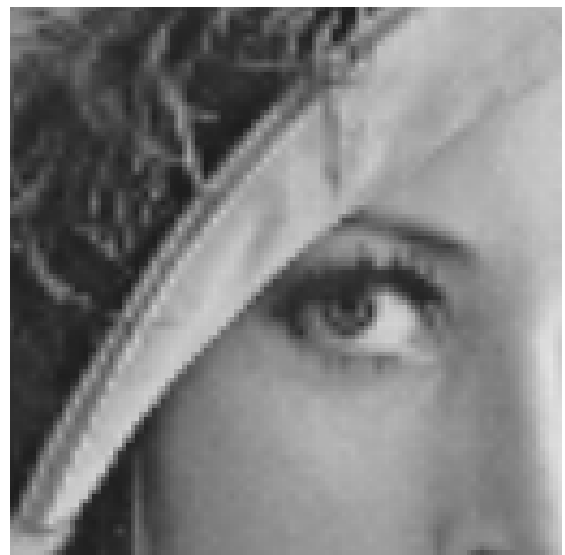
[10] 김 남 주, "2D 및 3D 영상의 적응 보간 및 렌더링에 관한 연구," 공학 석사 학위 논문, 2001.

[11] 이 봉 준, "신경망을 이용한 3차원 영상 방향성 보간 기법," 공학 학사 학위 논문, 연세대학교, 2001.

[12] S. E. EL-Khamy, M. M. Hadhoud, "A new edge preserving pixel-by-pixel cubic image interpolation approach," 21st National Science Conference, pp.1-9, 2004.

[13] S. Yuan, M. Abe, A. Taguchi, "High accuracy wadi Image interpolation with local gradient features," Proceeding of 2005 International Signal Processing and Communication System, Hong Kong, 2005.

[14] W. K. Pratt, "Digital Image Processing," New York, Wiley, 1991.



(a)



(b)



(d)

그림 4 . Lena eye 영상에 대한 주관적 화질 비교:
(a) 선형보간법. (b) 왜곡거리 보간. (c) 이동 선형
보간. (d) 제안된 방법.



(c)