

반복적 오차 제거를 이용한 영상 보간법

김원희[†], 박봉희^{**}, 김종남^{***}, 문광석^{****}

요 약

영상 보간법은 영상의 크기변환에서 할당되지 못한 화소에 대한 값을 추정하는 기술로써, 보간된 결과 영상에서 나타나는 화질 열화 현상을 최소화하면서도 낮은 계산복잡도를 가지는 것이 필요하다. 본 논문에서는 반복적 오차 제거를 이용한 영상 보간법을 제안한다. 제안하는 방법은 5단계로 구성되며, 각각 손실 정보 계산 단계, 손실 정보 추정 단계, 손실 정보 적용 단계, 오차 계산 단계, 오차 적용 단계이다. 실험을 통해서 기존의 방법보다 평균 3.3dB 이상 PSNR(peak signal to noise rate)이 향상된 것을 알 수 있었고, 주관적인 화질도 개선된 것을 확인하였으며 계산복잡도가 최소 83% 이상 감소한 것을 측정하였다. 제안한 영상 보간 방법은 영상 복원 및 확대를 위한 다양한 응용 환경에서 유용하게 사용될 수 있다.

Image Interpolation Using Iterative Error Elimination

Won-Hee Kim[†], FengJi Piao^{**}, Jong-Nam Kim^{***}, Kwang-Seok Moon^{****}

ABSTRACT

Image interpolation is a technique which estimates the non-allocated pixel values on image scale-transform. It requires minimum computational complexity and minimum image quality degradation on the interpolated resultant images. In this paper we propose an image interpolation method using iterative error estimation. The proposed method consists of the following five steps: loss-information computational step, loss-information estimation step, loss-information application step, error computation step, and error application step. The experimental results obtained show that the average PSNR is increased by 3.3dB, subjective image quality is enhanced and the minimum computation complexity is decreased by 83%. The proposed image interpolation algorithm may be helpful in various applications such as image reconstruction and enlargement.

Key words: Image Interpolation(영상 보간법), Iterative(반복적인), Error Elimination(오차 제거)

1. 서 론

보간법은 2개 이상의 변수 사이에서의 임의의 값을 추정하는 기술로 정의된다. 영상 보간법은 영상의 크기 변환에 있어서 할당 받지 못한 화소의 값을 추

정하는 기술을 의미한다[1].

영상 보간법은 다양한 영상처리 분야에서 기반 기술로 사용되고 있다[2]. 군사 시설 및 감시 카메라와 같은 보안 분야에서 객체 인식과 분석을 위한 도구로 활용되며 의료 영상 분야에서도 고해상도 영상 개선

* 교신저자(Corresponding Author): 문광석, 주소: 부산광역시 남구 대연3동 부경대학교 대연캠퍼스 2408호(608-737), 전화: 051)629-6218, FAX: 051)629-6259, E-mail: moonks@pknu.ac.kr

접수일: 2010년 12월 20일, 수정일: 2011년 5월 23일
완료일: 2011년 7월 15일

[†] 준회원, 부경대학교 정보공학과
(E-mail: whkim@pknu.ac.kr)

^{**} 준회원, 부경대학교 전자공학과
(E-mail: piaofengji2017@nate.com)

^{***} 정회원, 부경대학교 정보공학과
(E-mail: jongnam@pknu.ac.kr)

^{****} 종신회원, 부경대학교 전자공학과

* 본 결과물은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

을 위한 기초 기술로 사용된다. 또한 위성 및 항공 분야에서 해상도 개선 및 영상 분석을 위해서 사용되는 등 컴퓨터 비전의 전반에서 다양하게 사용된다. 멀티미디어 시스템의 응용 환경에서는 MPEG 또는 H.264의 움직임 보상 방법, 리프팅 기반의 웨이블릿 변환, 격행 주사 방식을 사용하는 디지털 TV의 주사선 제거 등의 목적으로 사용되어 왔다. 이와 같이 다양한 응용 분야에서 영상 보간이 연구되어 왔으며 더 좋은 성능을 위한 연구가 계속되고 있다.

영상 보간에서 있어서 원본 영상이 존재하고 획득 영상이 원본 영상으로부터 생성된 저해상도 영상이라고 가정한다면 획득 저해상도 영상을 원본 영상으로 완전 복원하는 것은 거의 불가능한 일이다[3]. 이것은 고해상도 영상이 저해상도 영상으로 변환될 때의 손실 정보를 정확하게 계산해내기 힘들기 때문이다. 저해상도 영상은 주파수 겹침 현상으로 인해서 대부분의 고주파 성분의 정보가 손실된다. 이런 손실 정보들은 보간된 영상에서 흐려짐 현상, 블록 현상, 번짐 현상 등의 화질 열화 현상으로 나타난다. 이와 같은 화질 열화 현상을 최소화하는 것이 영상 보간에서 중요한 요소이다.

최근 들어 화질 열화를 최소화하기 위한 연구들이 진행되어 오면서 또 하나의 문제가 발생하였다. 화질 열화를 줄이기 위한 기존의 연구들이 지나치게 높은 계산 복잡도를 가진다는 것이다[4]. 일정 부분의 화질 열화 문제는 해소하였지만 높은 계산복잡도로 인해서 실시간 응용 환경에서의 사용이 어렵다. 결론적으로 영상 보간에서는 화질 열화를 최소화하는 것과 계산복잡도를 낮추는 것을 중요한 두 가지 문제로 요약할 수 있다.

본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위한 영상 보간법을 제안한다. 제안하는 방법은 획득 저해상도 영상을 부표본화-보간 과정을 이용해서 손실 정보를 계산하는 단계, 계산된 손실 정보를 보간하여 추정 손실 정보를 생성하는 단계, 추정한 손실 정보를 보간된 영상에 적용하는 단계, 보간된 영상을 부표본화하여 획득 저해상도 영상과의 오차를 계산하는 단계, 계산된 오차를 다시 보간하여 영상에 더해주는 절차를 반복하는 단계의 다섯 과정으로 이루어진다. 동일한 영상을 이용한 실험 결과, 기존 방법들보다 주관적 및 객관적 화질이 향상되었고, 알고리즘 수행시간도 최소 83% 이상 감소하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 영상 보간과 관련된 선행 연구들을 분석하여 정리하였고, 3장에서는 제안하는 영상 보간 방법을 서술하였다. 4장에서는 실험 결과 및 분석을 기술하였고, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련연구

영상 보간법은 저해상도 영상의 고해상도 보간에 있어서 할당되지 않은 화소값을 추정할 수 있다. 임의의 저해상도 영상을 가로와 세로로 2배씩 확대하게 되면 저해상도 영상의 1개 화소에 대응되는 화소가 4개로 증가한다. 이때 기존의 1개값 외에 3개의 화소값은 존재하지 않기 때문에 이 값들을 추정하여야 한다. 이 과정에서 영상 보간법이 사용된다. 그림 1에서는 영상의 크기변환에 따른 할당되지 않은 화소를 그림을 통해서 나타내었다.

이런 보간법은 실험 환경과 응용 환경에서 각각 다르게 적용된다. 실험 환경에서는 원본 영상을 가지고 있으며 이로부터 저해상도 영상을 생성한다. 일반적으로 다운샘플링을 통해서 저해상도 영상을 생성하며 저주파통과필터나 잡음을 부가하기도 한다. 저해상도로 변환에 사용되는 여러 가지 처리들을 추정하여 보간에 적용하게 되면 비교적 정확한 영상 보간이 가능하게 되며, 원본 영상과의 비교를 통해서 화질 개선 정도를 측정할 수 있다. 반면 실제 응용 환경에서는 원본 영상을 가지고 있지 않기 때문에 화질 개선 정도를 객관적으로 측정할 수 없다. 따라서 실험 환경에서 얻어진 결과를 토대로 보간 모델을 생성하고, 생성된 모델을 응용 환경에 적용하게 된다. 이런 영상 보간 알고리즘의 개발 과정을 그림 2에 나타

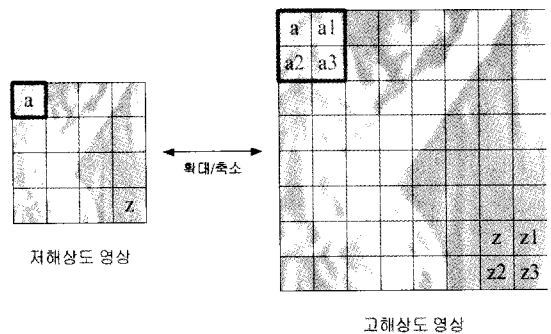


그림 1. 영상 크기 변환에 따른 화소의 할당

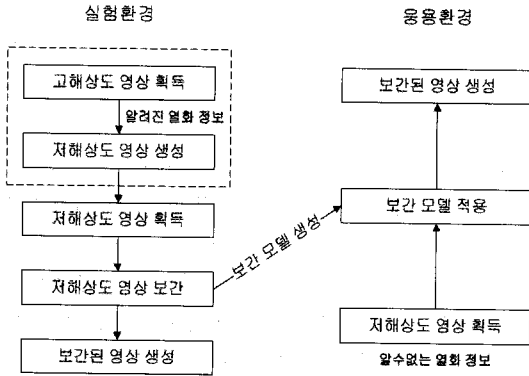


그림 2. 영상 해상도 향상 기술 개발 과정

내었다.

영상 보간법은 오랜 기간 다양한 분야에서 연구되어 왔다. 크게 선형적인 방법과 적응적인 방법으로 구분할 수 있다.

선형적인 방법은 영상 전체에 대해서 일정한 보간 함수를 적용하는 방법이다. 일반적으로 구현이 용이하고 계산복잡도가 낮은 장점이 있지만 영상의 지역적 특성을 반영하지 못하기 때문에 보간 결과가 다소 떨어진다. 대표적인 방법으로는 최근접 이웃화소 보간법, 양선형 보간법, 3차 상승 보간법, B-Spline 보간법 등이 있다. 최근접 이웃화소 보간법은 할당받지 못한 화소의 값을 가장 가까운 화소에서 복사하여 사용하는 방법으로 결과 영상에서의 블록현상이 심하게 발생한다[5]. 양선형 보간법은 널리 사용되는 보간법의 하나로 출력 영상의 화소값을 주변의 네 화소들의 값에 가중치를 곱한 값들의 합으로 할당한다[6]. 3차 상승보간법과 B-Spline 보간법은 출력 영상의 할당되지 않은 화소들의 값을 주변의 16개 화소들의 삼차 상승 연산을 통해서 계산하게 된다[7].

선형적인 방법의 단점을 해결하기 위한 방법으로 적응적인 영상 보간법이 제안되었다[8]. 적응적 선형 보간법, 적응적 3차회선보간법, 이동선형보간법, 적응매개변수왜곡거리방법, 최소평균자승오차방법 등이 대표적인 적응적 보간 방법이다. 일반적으로 비적응적인 방법에 비해서 영상의 화질 열화 현상을 줄일 수 있지만 계산복잡도가 높아지는 단점이 발생한다. 또한 영상에 따라서 오히려 화질 열화가 심해지는 경우도 발생한다.

영상처리 알고리즘을 이용한 영상 보간법이 많이

연구되었는데, 윤곽선 영역에서 흐려짐 현상을 해결하기 위해서 비선형적인 방법으로 윤곽선의 방향성을 이용하는 방법이 있다[9]. 이 방법은 윤곽선 영역을 선명하게 만드는 효과가 있지만 다른 인공물이 같이 발생하는 단점이 있다. 윤곽선의 방향성을 이용한 방법은 현재까지도 개선된 연구가 활발히 진행 중이다[10].

또한 웨이블릿 변환 기반의 영상 보간법[11]이나 역확산 기반의 방법[12], 신경망을 이용하는 방법[13] 등이 연구되었다. 또한 마코프 트리 모델 기반의 방법[14]이나 커널 회귀법을 이용하는 방법[15]들도 제안되었다. 그리고 다수의 저해상도 영상을 이용하는 초해상도 기술[16]이나 한 장의 저해상도 영상을 이용하는 초해상도 기술[17]이 연구되었다. 최근 들어서는 컴프레시브 센싱을 이용한 영상 복원도 연구되고 있다[18]. 국내에서는 공간불변 점확산 함수를 이용한 영상복원방법[19], 영상 관찰 모델을 이용한 예제 기반 영상 복원 기술[20], 거리 가중치와 지역적 패턴을 고려한 적응 선형보간법[21], 부화소 기반의 영상 확대 방법[22], 윤곽선 가중치를 이용한 방법[23] 등의 다양한 연구가 진행되어 왔다.

위에서 언급한 많은 기존 연구들이 있었지만 아직도 화질 열화 발생과 높은 계산복잡도 문제를 완전히 해결하지 못하고 있다. 본 논문에서는 기존의 문제점들을 해결하기 위한 영상 보간 방법을 제안한다.

3. 제안하는 영상 보간 알고리즘

본 장에서는 제안한 방법을 설명하고 제안한 방법의 특징과 영상 보간 과정의 원리를 기술하였다. 본 논문에서는 영상 보간 분야에서 아직까지 해결하지 못한 영상의 화질 열화와 계산복잡도 최소화를 위한 영상 보간 방법을 제안한다.

본 논문에서의 중요한 요소는 새로운 보간 커널을 생성하는 것이 아닌 보간된 영상과 원본 영상의 차이를 계산하고 그 차이를 줄임으로써 원본 영상에 가까운 보간 영상을 생성하는 것이다. 제안하는 방법의 원리를 다음의 수식 (1)~(3)에서 정의하고 있다.

$$\hat{I}_H = KI_L \tag{1}$$

$$E = I_H - \hat{I}_H \tag{2}$$

$$E + \hat{E} = D \tag{3}$$

식에서 \hat{I}_H 는 보간된 영상, K 는 보간 커널, I_L 는 저해상도 영상, E 는 원본 영상과 보간된 영상의 차, I_H 는 원본 영상, \hat{E} 는 E 를 최소화하기 위해서 더해지는 임의의 값을 각각 나타낸다. 즉, 기존의 방법에서는 어떤 보간 커널을 이용해서 저해상도 영상을 보간한 후에 원본 영상과 차이를 계산하게 되면 반드시 차이 값이 존재하게 된다. 이것은 영상의 완전복원이 불가능하기 때문에 반드시 발생하는 값이다. 본 논문에서는 이 차이를 없애거나 최소화하기 위해서 어떤 특정한 값을 더해주거나 빼주게 된다. 이것은 새로운 보간 커널을 생성하는 것이 아니라 보간된 영상에 부가적인 정보를 적용함으로써 작용할 수 있다. 식 (3)의 D 값이 작을수록 원본 영상과의 오차가 적음을 의미하고 $E - \hat{E} \approx 0$ 일수록 더욱 원본 영상에 가까운 영상 보간을 수행할 수 있게 되는데, 이것이 제안한 방법의 핵심 내용이다.

제안하는 방법은 크게 2개의 단계로 구분할 수 있으며 세부적으로는 5개의 과정으로 나눌 수 있다. 1 단계는 손실 정보 단계로 손실 정보 계산 과정, 손실 정보 추정 과정, 손실 정보 적용 과정으로 구성되어 있다. 2단계는 반복 오차 단계로 오차 계산 과정, 반복 오차 적용 과정으로 구성된다.

1단계의 손실 정보 계산 과정은 획득 저해상도 영상의 처리로부터 시작된다. 이 과정을 아래의 수식 (4)~수식 (10)에 정의하고 있다.

$$\hat{I}_{LL} = K_{LL} I_{LLL} \tag{4}$$

$$E_{LL} = I_{LL} - \hat{I}_{LL} \tag{5}$$

$$\hat{E}_{L\gamma} = K_L E_{LL} \tag{6}$$

$$\hat{I}_L = K_L I_{LL} \tag{7}$$

$$\tilde{I}_L = \hat{I}_L + \omega_\gamma \hat{E}_{L\gamma}, \quad (0 \leq \omega \leq 1) \tag{8}$$

$$\hat{E}_{L\alpha} = I_L - \hat{I}_L \tag{9}$$

$$\hat{E}_{L\beta} = I_L - \tilde{I}_L \tag{10}$$

식에서 I 는 원본 영상을 뜻하고, \hat{I} 와 \tilde{I} 는 보간되거나 추정된 영상, L 은 다운샘플한 횟수, K_L 과 K_{LL} 은 해당 크기의 영상을 보간하는 보간 커널, E 는 해당 크기의 영상의 차, \hat{E} 는 해당 크기의 영상의 손실 정보, ω 는 가중치를 각각 의미한다. 즉, 획득 저해상도 영상(I_L)에서 두 번 다운샘플링한 영상을 보간하는 과정이 식 (4)를 의미하고, 식 (4)의 보간 결과 영상과 획득 저해상도 영상을 한번 다운샘플한 영상과의 차

이를 구하는 과정이 식 (5)에서 나타나고 있다. 식 (6)에서는 식 (5)의 차를 보간하여 상위 크기의 차이로 추정하는 과정이다. 식 (7)은 획득 저해상도 영상을 한번 다운샘플한 영상을 보간하는 과정이고, 식 (8)은 식 (6)의 결과를 이용해서 원본 저해상도 영상과는 다른 추정 저해상도 영상을 생성하는 과정이다. 식 (9)에서는 식 (7)의 결과를 이용해서 손실 정보를 계산하는 과정, 식 (10)에서는 식 (8)의 결과를 이용해서 손실 정보를 계산하는 과정을 의미한다. 식 (9)의 결과는 단순 보간 커널을 적용한 보간 영상과 획득 저해상도 영상과의 차이를 의미하고, 식 (10)의 결과는 (5)에서 계산한 차이를 적용한 보간 영상과의 차이를 의미한다. 이상의 수식 (4)~(10)의 과정은 획득 저해상도 영상으로부터 계산할 수 있는 정확한 정보이기 때문에 손실정보계산 과정으로 정의하며 이와 같은 과정을 통해서 손실 정보 계산 과정이 종료된다.

다음으로 1단계의 손실 정보 추정 과정을 설명한다. 손실 정보 추정 과정은 아래의 수식 (11)~(12)로 정의한다.

$$\hat{E}_{H\alpha} = K_H \hat{E}_{L\alpha} \tag{11}$$

$$\hat{E}_{H\beta} = K_H \hat{E}_{L\beta} \tag{12}$$

수식에서 \hat{E}_H 는 추정된 손실 정보, K_H 는 보간 커널, \hat{E}_L 은 계산된 손실 정보를 각각 의미한다. 즉, 손실 정보 계산과정의 결과에 각각 보간 커널을 적용하여 상위 크기의 손실 정보로 추정할 수 있다. 이 과정에서의 계산은 정확한 값이 아니라 추정치이기 때문에 손실 정보 추정 과정으로 정의한다. 이 추정 결과가 정확할수록 화질 열화가 적고 원본 고해상도 영상과 유사한 영상으로 생성할 수 있다. 제안하는 방법의 손실 정보 추정의 정확성은 저해상도 영상에서 계산한 손실 정보 계산값의 정확성이 근거한다. 일반적으로 동일한 영상은 크기가 다르더라도 동일한 주파수 분포를 이루고 있다. 이와 같은 과정을 통해서 손실 정보 추정 과정이 종료된다.

다음으로 1단계의 손실 정보 적용 과정을 나타내고 있다. 이 과정은 추정된 손실 정보를 보간된 영상에 더해줌으로써 구현할 수 있다. 이 과정을 아래의 수식 (13)에 나타낸다.

$$R_H = \hat{I}_H + K_H I_L + \omega_\alpha \hat{E}_{H\alpha} + \omega_\beta \hat{E}_{H\beta}, \quad (0 \leq \omega \leq 1) \tag{13}$$

수식에서 \hat{I}_H 는 1단계에서 최종적으로 보간된 영상

을 의미하며, 2단계에서는 R_H 로 정의하여 사용한다. 이 과정에서 두 개의 가중치 계수가 사용되었는데 이 가중치 계수는 적용되는 손실 정보의 강도를 조절하는 기능을 가진다. 영상에 따라서 다르지만 실험적 결과에 따라서 본 연구에서는 일괄적으로 0.5를 가중치 계수값으로 사용한다. 이와 같은 과정을 통해서 손실 정보 적용 과정이 종료되며 R_H 를 생성함으로써 1단계 손실 정보 단계가 종료된다.

다음으로 2단계의 오차 계산 과정을 설명한다. 오차는 1단계에서 보간된 영상을 다운샘플한 영상과 획득 저해상도 영상의 차를 이용해서 계산한다. 그리고 계산된 차이를 보간커널을 적용해서 상위 크기의 오차로 재생성한다. 이 과정을 아래의 수식 (14)~(15)에서 정의한다.

$$E_L = I_L - R_L \quad (14)$$

$$E_H = K_H E_L \quad (15)$$

수식에서 E 는 오차, H 는 고해상도 영상 크기, L 는 저해상도 영상크기를 각각 의미한다. 즉, 식 (14)에서는 1단계 보간 결과 영상을 다운샘플한 영상(R_L)과 획득 저해상도 영상의 차를 계산하는 과정이고, 식 (15)는 식 (14)의 결과에 보간 커널을 적용하는 과정이다. 이와 같은 과정을 통해서 오차 계산 과정이 종료된다.

다음으로 2단계의 오차 반복 적용 단계를 설명한다. 오차 계산 과정에서의 결과를 이용해서 1단계 보간 영상에 가중치가 결합된 오차를 더해줌으로써 구현된다. 아래의 수식 (16)에서 이 과정을 정의한다.

$$R_{H+1} = R_H + \omega E_H \quad (16)$$

수식에서 i 는 반복횟수를 의미하는데, 여기에서 반복은 식 (14)~(16)의 과정 전체를 의미한다. 식 (16)의 결과 영상이 최종 보간된 영상이 되며 식 (14)의 입력으로 다시 사용된다. 모든 반복을 종료한 R_H 영상이 2단계의 최종적인 보간 영상이 된다. 또한 본 논문에서 제안하는 방법의 최종 결과 영상이다.

제안한 방법을 그림 3과 4에 나타낸다. 그림 3에서는 1단계인 손실 정보 단계의 흐름도를 나타내고, 그림 4에서는 2단계인 오차 적용 단계의 흐름도를 나타낸다. 그림 3에서는 원본 고해상도 영상의 입력으로부터 손실 정보 계산, 손실 정보 추정, 손실 정보 적용을 거쳐서 1단계 보간 결과 영상이 나오는 과정을

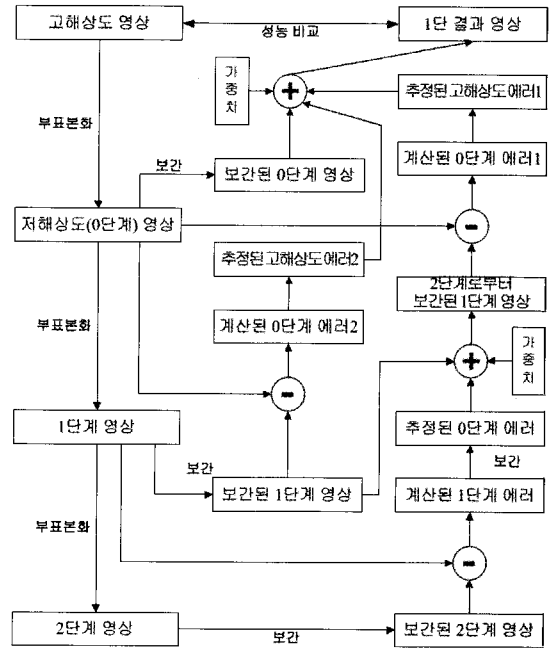


그림 3. 제안한 방법의 1단계 알고리즘 흐름도

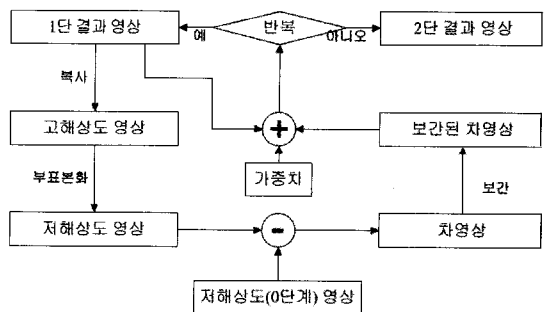


그림 4. 제안한 방법의 2단계 알고리즘 흐름도

도식화한다. 그림 4에서는 1단계 결과 영상을 입력으로 하여 오차 계산, 오차 적용, 반복 과정을 거쳐서 최종 보간 결과 영상을 생성하는 과정을 도식화한다.

이상으로 제안한 방법의 설명을 마치고 다음 장에서는 실험을 통해서 제안한 방법의 성능을 평가하고 다른 방법과의 비교를 통해서 제안한 방법의 우수성을 검증한다.

4. 실험 결과 및 분석

제안한 방법의 성능을 평가하기 위한 실험 조건은 다음과 같다. PC의 환경은 Intel Core2 2.4GHz CPU를 사용하며 3G RAM을 사용한다. 매트랩 7.5 버전

을 이용해서 알고리즘을 구현하고, 실험에 사용한 영상은 512×512 크기의 회색조 PGM 포맷의 정지 영상 8개를 실험 영상으로 사용한다. 그림 5에서는 실험에 사용된 8개 영상을 나타낸다. 실험에 사용된 영상은 Barbara, Boat, Butterfish, Elaine, Goldhill, Lena, Oldmill, Washsat 영상이다.

제안한 방법의 성능 평가는 객관적 화질, 주관적 화질, 계산복잡도를 통해서 이루어진다. 객관적 화질 비교는 일반적으로 사용되는 PSNR(peak signal to noise ratio)를 사용하고, 주관적 화질 비교는 보간된 영상에서의 윤곽선의 선명도와 텍스트의 인식 및 전체적인 인식 정도를 비교한다. 아래의 수식 (17)에서 PSNR을 정의한다[24]. 계산복잡도는 알고리즘의 실행시간을 비교한다. 비교방법들은 각 방법의 제안자가 제공하는 프로그램을 그대로 이용한다. 비교방법으로는 각각 Kim의 방법[17](C1), Takeda의 방법[15](C2), Castro의 방법[25](C3), Giachetti의 방법[4](C4), Asuni의 방법[10](C5), Salvado의 방법[12](C6)이 사용된다. 제안한 방법(P)은 매트랩에서 제공하는 Bicubic 보간 함수를 이용하고, 512×512 영상을 원본 고해상도 영상으로 하여 획득 저해상도 영상은 256×256 크기로 생성한다. 제안한 방법의 구현에 있어서 가중치 계수는 0.5를 사용한다.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2 \times (M \times N)}{\sum_i \sum_j (F(i,j) - F'(i,j))^2} \right) \quad (17)$$

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 검증하기 위한

실험은 크게 4가지로 수행한다. 첫 번째 실험에서는 PSNR을 이용해서 객관적 화질을 평가한다. 각 비교 방법들의 PSNR 결과는 표 1에 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 실험 영상과 방법에 따라 다르지만 제안한 방법이 비교 방법들보다 최대 5.08dB, 평균 최대 3.37dB, 평균 최소 0.25dB 만큼 PSNR이 향상된 것을 알 수 있다. Lena 영상에서 가장 높은 PSNR 향상이 발생한 것을 알 수 있으며, 모든 실험 영상에 대해서 제안한 방법이 가장 높은 PSNR 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이와 같이 실험 1을 통해서 제안한 방법이 객관적 화질 비교에서 기존의 방법들보다 우위에 있음을 알 수 있으며 화질 열화를 최소화 한 것을 알 수 있다.

두 번째 실험에서는 보간된 영상을 대상으로 비교하여 주관적 화질을 평가한다. 그림 6에서는 Boat 영상의 128×128 크기의 일부 영상을 나타내고, 그림 7에서는 Boat 영상의 32×32 크기의 일부 영상을 나타낸다. 그림 6에서 알 수 있듯이 비교 방법들은 대부분 흐려짐 현상이 발생하였으며, 문자열 부분의 인식이 용이하지 않음을 알 수 있으며, 윤곽선 부분이 흐릿함을 알 수 있다. 하지만 제안한 방법의 결과영상에서는 비교 방법들보다 흐려짐 현상이 덜하며 문자열 부분과 윤곽선 부분이 뚜렷함을 알 수 있다. 더욱 확대된 영상을 나타낸 그림 7에서 확인할 수 있듯이 제안한 방법의 결과 영상이 원본 영상과 가장 유사한 형태의 화소값 분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 대각선의 윤곽선과 문자열 부분에서 비교 방법들은 원



그림 5. 실험 영상

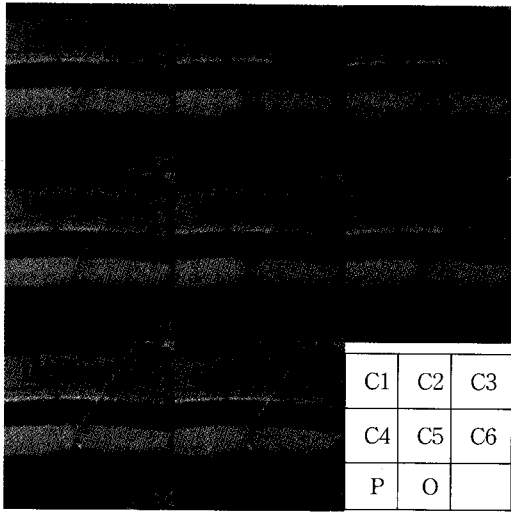


그림 6. Boat 영상 보간된 결과(128×128)

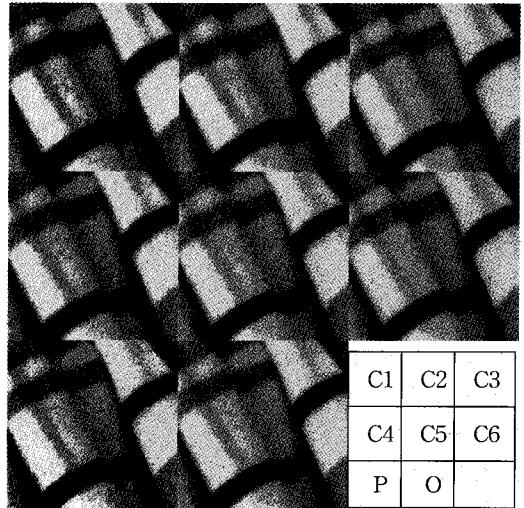


그림 8. Boat 영상 보간된 결과(128×128)

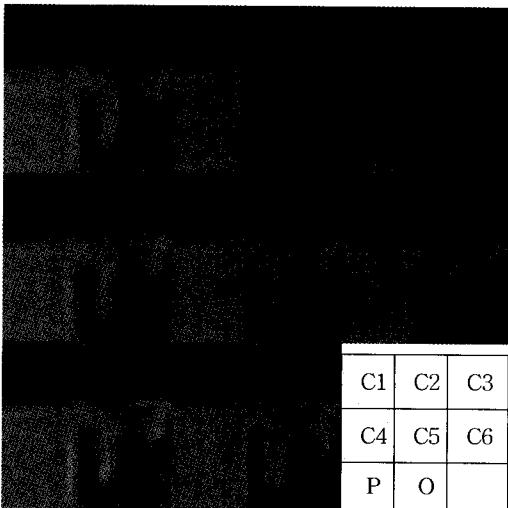


그림 7. Boat 영상 보간된 결과(32×32)

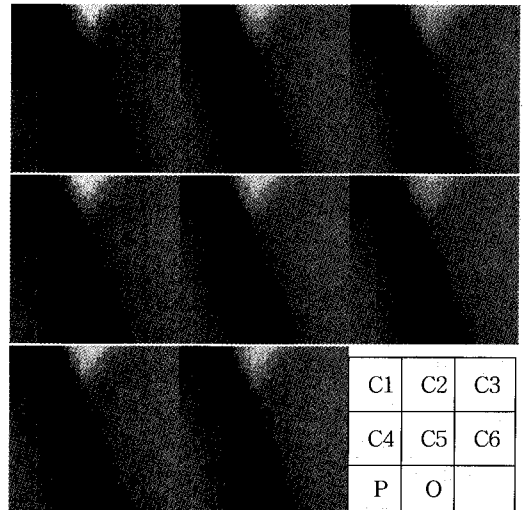


그림 9. Boat 영상 보간된 결과(32×32)

본 영상에 나타나는 화소값들의 명도차가 거의 없지만, 제안한 방법의 영상에서는 명도차이가 뚜렷함을 확인할 수 있다. 그림 8과 9에서는 Elaine 영상을 실험한 결과를 나타낸다. Elaine 영상의 실험 결과에서도 비교 방법들보다 흐려짐 현상이 덜하면서도 원본의 색상 분포와 가장 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 실험 2를 통해서 제안한 방법이 주관적 화질 비교에서도 비교 방법들보다 우수함을 알 수 있다.

세 번째 실험에서는 알고리즘의 실행시간을 이용해서 계산복잡도를 평가한다. 표 2에서는 제안한 방

법과 비교 방법들의 실행시간을 측정하여 나타낸다. 모두 MATLAB으로 구현되었으며, 저자가 제공한 프로그램 파일을 사용한다. 표에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 가장 빠른 실행시간을 나타냄을 알 수 있다. 제안한 방법을 1로 하여 비율을 나타낸 결과 최소 5.8배, 최대 840배의 실행시간 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. 비교방법들 중에서 C6이 가장 낮은 실행시간을 나타내는데 제안한 방법은 C6과 비교하여 약 83%의 실행시간의 감소가 발생하였다. 이와 같이 실험 3을 통해서 제안한 방법이 비교 방법들보다 고속 처리가 가능한 것을 확인할 수 있다.

표 2. 수행시간 비교 결과(단위 : 초)

Image	C1	C2	C3	C4	C5	C6	P
Runtime	21.34	51.77	2.66	4.00	217.71	1.50	0.26
Ratio	82.54	200.22	10.27	15.46	841.98	5.80	1.00

표 3. 오차 적용 회수에 따른 PSNR비교(단위 : dB)

Image	0회	5회	10회	20회	30회
Baboon	23.73	24.18	24.24	24.26	24.26
Barbara	25.36	25.77	25.84	25.87	25.87
Beeflower	33.74	34.25	34.30	34.32	34.32
Bike	21.32	21.80	21.87	21.89	21.90
Boat	31.23	31.93	31.98	31.99	31.99
Butterfish	27.43	28.11	28.18	28.21	28.21
Butterfly	31.13	31.74	31.80	31.82	31.82
Elaine	33.08	33.44	33.47	33.48	33.48
France	20.76	21.16	21.20	21.21	21.22
Goldhill	31.57	32.12	32.16	32.18	32.18
Lena	34.21	35.17	35.27	35.29	35.29
Oldmill	25.49	26.36	26.45	26.48	26.49
Peppers	32.08	32.57	32.62	32.62	32.62
Portofino	31.61	32.31	32.35	32.36	32.36
Stagecoach	29.00	29.84	29.93	29.95	29.96
Washesat	35.61	36.21	36.27	36.29	36.29
Average	29.21	29.81	29.87	29.89	29.89

네 번째 실험에서는 제안한 방법 중에서 오차 계산 및 오차 적용의 반복 회수에 따른 PSNR 결과를 비교한다. 오차 계산 및 적용을 하지 않은 경우와 각각 5회, 10회, 20회, 30회 반복한 경우의 결과를 표 3에 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 반복을 하지 않은 경우와 5번 반복한 경우의 비교에서 0.6dB의 PSNR 차이가 발생한 것을 알 수 있다. 반면 반복 횟수가 10회를 넘어가면서 PSNR 상승 정도는 0.1dB를 넘지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 이 실험을 통해서 적절한 반복은 5회 미만임을 알 수 있다. 물론 반복 횟수가 증가함에 따라서 PSNR도 비례하여 증가하지만 그에 따른 계산복잡도의 증가가 더욱 크기 때문에 적절한 반복 회수의 제한이 필요하다.

이상의 실험들을 통해서 제안한 방법을 평가하였다. 제안한 방법의 보간 알고리즘은 비교 방법들보다 주관적 및 객관적 측면의 화질비교에서 더욱 우수함을 증명하였다. 또 한 비교 방법들보다 더욱 적은 실

행시간으로 보간이 가능함을 보였으며 적절한 반복 회수를 제시하였다.

5. 결 론

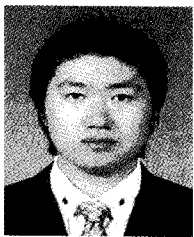
영상 크기 변환에서 사용되는 영상 보간 기술은 결과 영상에서 발생하는 화질 열화를 최소화하면서도 계산복잡도가 낮추는 것이 중요하다. 본 논문에서는 이런 조건을 만족하는 영상 보간법을 제안하였다. 제안하는 방법은 손실 정보를 계산한 후 추정된 손실 정보를 보간된 영상에 적용하는 단계와 보간된 영상의 오차를 계산해서 오차를 다시 보간하여 영상에 더해주는 절차를 반복하는 단계로 이루어진다. 실험을 통해서 기존의 방법보다 평균 3.3dB이상 PSNR이 향상된 것을 알 수 있었고, 주관적 화질도 개선되었으며, 계산복잡도가 최소 83%이상 감소한 것을 확인하였다. 그리고 상용 PDA에 영상 보간을 적용하여 실시간

영상 보간 수행이 가능한 것을 확인하였다. 제한한 영상 보간 방법은 영상의 크기 변환과 해상도 향상을 위한 다양한 응용 환경에서 유용하게 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] S. H. Hong, R. H. Park, S. J. Yang, and J. Y. Kim, "Image Interpolation Using Interpolative Classified Vector Quantization," *Image Vis. Comput.*, Vol.26, No.2, pp. 228-239, 2008.
- [2] W. Qing and R. K. Ward, "A New Orientation-Adaptive Interpolation Method," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.16, Issue 4, pp. 889-900, 2007.
- [3] S. Banerjee, "Low-Power Content-Based Video Acquisition for Super-Resolution Enhancement," *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol.11, Issue 3, pp. 455-464, 2009.
- [4] A. Giachetti and N. Asuni, "Fast Artifacts-free Image Interpolation," *In Proc. of the British Machine Vision Conf.*, pp.123-132, 2008.
- [5] K. S. Ni and T. Q. Nguyen, "An Adaptable k-Nearest Neighbors Algorithm for MMSE Image Interpolation," *IEEE Trans. Image Process.*, Vol.18, Issue 9, pp. 1976-1987, 2009.
- [6] Y. Bai and H. Zhuang, "On the Comparison of Bilinear, Cubic Spline, and Fuzzy Interpolation Techniques for Robotic Position Measurements," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.54, Issue 6, pp. 2281-2288, 2005.
- [7] W. Yu, "Colour Demosaicking Method Using Adaptive Cubic Convolution Interpolation with Sequential Averaging," *IEE Proc.-Vis. Image Signal Process.*, Vol.153, No.5, 2006.
- [8] H. Yoo, "Closed-form Least-squares Technique for Adaptive Linear Image Interpolation," *Electronics Letters*, Vol.43, Issue 4, pp. 210-212, 2007.
- [9] X. Li, "New Edge-Directed Interpolation," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.10, No.10, pp. 1521-1527, 2001.
- [10] N. Asuni, "INEDI -- Tecnica Adattativa Per l'interpolazione di Immagini." *Master's thesis*, Università degli Studi di Cagliari, 2007.
- [11] A. Temizel and T. Vlachos, "Wavelet Domain Image Resolution Enhancement," *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, Vol.153, Issue 1, pp. 25-30, 2006.
- [12] O. Salvado, C. Hillenbrand, and D. Wilson. "Partial Volume Reduction by Interpolation with Reverse Diffusion," *International Journal of Biomedical Imaging*, Vol.2006, pp. 1-13, 2006.
- [13] C. T. Lin, K. W. Fan, H. C. Pu, S. M. Lu, and S. F. Liang, "An HVS-Directed Neural-Network-Based Image Resolution Enhancement Scheme for Image Resizing," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol.15, Issue 4, pp. 605-615, 2007.
- [14] L. Min and T. Q. Nguyen, "Markov Random Field Model-Based Edge-Directed Image Interpolation," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.17, Issue 7, pp. 1121-1128, 2008.
- [15] H. Takeda, S. Farsiu, and P. Milanfar, "Kernel Regression for Image Processing and Reconstruction," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.16, No.2, pp. 349-366, 2007.
- [16] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.20, No.3, pp. 21-36, 2003.
- [17] K. I. Kim and Y. H. Kwon, "Example-based Learning for Single-Image Super-resolution," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5096, pp. 456-465, 2008.
- [18] A. Mahalanobis and R. Muike, "Object Specific Image Reconstruction using a Compressive Sensing Architecture for Application in Surveillance Systems," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 45, Issue 3, pp. 1167-1180, 2009.

- [19] 고결, 홍민철, “공간불변 점확산 함수를 이용한 영상복원방식,” 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, 제33권, 제2호, pp. 333-334, 2010.
- [20] 박규로, 김인중, “영상 관찰 모델을 이용한 예제 기반 초해상도 텍스트 영상 복원,” 한국정보처리학회논문지B, 제17권, 제4호, pp. 295-302, 2010.
- [21] 김태양, 전영균, 정재창, “새로운 거리 가중치와 지역적 패턴을 고려한 적응적 선형보간법,” 한국통신학회논문지, 제31권, 제12C호, pp. 1184-1193, 2006.
- [22] 유훈, “적응적인 선형 보간을 이용한 부화소 기반 영상 확대,” 한국멀티미디어학회논문지, 제9권, 제8호, pp. 1000-1009, 2006.
- [23] 이우섭, 김형교, “방향성 에지 윤곽선 가중치를 이용한 영상 보간,” 한국신호처리시스템학회논문지, 제11권, 제1호, pp. 26-31, 2010.
- [24] W. Yu, “Colour Demosaicking Method Using Adaptive Cubic Convolution Interpolation with Sequential Averaging,” *IEE Proc.-Vis. Image Signal Process.*, Vol.153, No.5, 2006.
- [25] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/21410-increase-image-resolution>.



김 원 희

2007년 2월 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 졸업(공학사)
 2009년 2월 부경대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 2009년 3월~현재 부경대학교 대학원 정보공학과 박사과정 재학

관심분야: 영상복원, 영상개선, 영상처리 등



박 봉 희

2009년 8월 연변대학교 화학과 졸업(이학사)
 2009년 9월~현재 부경대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학
 관심분야: 영상처리 등



김 중 남

1995년 2월 금오공과대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사(공학석사)
 2001년 8월 광주과학기술원 기전공학과 박사(공학박사)

2001년 8월~2004년 2월 KBS 기술연구소 선임연구원
 2004년 3월~현재 부경대학교 정보공학과 부교수
 2003년 3월~현재 (주)홈캐스트 사외이사
 관심분야: 영상신호처리, 멀티미디어 보안 등



문 광 석

1979년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1981년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1989년 2월 경북대학교 대학원 공학과 졸업(공학박사)
 1988년 1월~12월 일본 동경대학교 학부 연구원

1997년 8월~1998년 7월 미국 Jackson State University 객원교수
 1990년 3월~현재 부경대학교 전자공학과 교수
 관심분야: 영상신호처리, 적응신호처리 등