개선된 자가 열화 복원 기법을 이용한 영상 향상

김원희^{*}, 문광석^{**}, 김종남^{***}

요 약

영상의 다양한 변환 후에 나타나는 화질의 열화를 복원하기 위한 방법으로 보간법이나 초해상도 기술 등이 사용된다. 낮은 계산복잡도를 가지면서도 주관적 및 객관적 영상 향상을 위한 연구는 현재까지도 다양하게 이루어지고 있다. 본 논문에서는 개선된 자가 열화 복원 기법을 이용한 영상 향상 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 개선된 자가 열화 복원 기법을 사용하여 영상의 크기 변환에서 소실된 정보를 유추하고, 유추한 정보를 영상 보간 기법과 결합하여 개선된 결과 영상을 생성한다. 실험을 통하여 제안한 방법이 비교 방법들보다 객관적 화질 지표인 PSNR에서 최대 1.8dB 향상된 결과를 나타내며, 주관적 화질에서도 우위에 있음을 확인할 수 있었다. 제안한 방법은 영상의 크기 변환이 요구되는 다양한 응용 환경에서 기반 기술로 사용될 수 있다.

Image Enhancement Using Improved Self Degradation Restoration Method

Won-Hee Kim^{*}, Kwang-Seok Moon^{**}, Jong-Nam Kim^{***}

ABSTRACT

Interpolation or super-resolution is used in order to restore degradation of image quality that appears after various transform of image. The method on subjective or objective image resolution improvement having low computation complexity has been being researched in many different ways. In this paper, image enhancement method using improved self degradation restoration(ISDR) method is proposed. The proposed method uses ISDR to estimate pixel value of missed coordinate in the process of image scaling, and combines the estimated loss information and interpolated image to generate enhanced result image. The proposed method shows that PSNR increases by 1.8dB, and subjective image quality is superior to other compared methods. The proposed method can be applied as a basis technique in variety of applications which requires image scale transform.

Key words: Self Degradation Restoration(자가 열화 복원), Interpolation(보간법), Super Resolution(초해상도), Image Enhancement(영상 향상)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김종남, 주소: 부산광역시 남구 대연 3동 부경대학교 대연캠퍼스 2호관 2409호(608-737), 전화: 051-629-6259, FAX: 051-629-6259, E-mail: jongnam@pknu.ac.kr
접수일: 2013년 8월 8일, 수정일: 2013년 9월 23일
완료일: 2013년 9월 26일

^{*} 준회원, 부경대학교 IT융합응용공학과
(E-mail: whkim@pknu.ac.kr)

^{**} 종신회원, 부경대학교 전자공학과
(E-mail: ksmoon@pknu.ac.kr)

^{***} 정회원, 부경대학교 IT융합응용공학과
※ 본 연구는 2013년도 산학협력선도대학(LINC)육성사업 산학공동기술개발과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

1. 서 론

영상 확대와 같은 변환 처리 이후에는 변환 과정에서 발생하는 열화를 복원해 주기 위한 복원 과정이 요구된다. 이런 복원 과정에서 주로 사용되는 기술 중에는 영상 보간법(image interpolation)이나 초해상도(super resolution) 기술이 대표적이다[1]. 영상 보간법은 영상의 크기 변환에서 원본 영상의 값을 그대로 사용할 수 없는 경우에 원본 영상의 화소값을 이용해서 할당받지 못한 위치의 화소값을 추정하는 기술이다[2]. 초해상도 기술은 동일한 장면에 대해서 획득한 다수의 저해상도 영상을 이용하여 영상을 재구성하는 방법이다[3].

이런 복원 기술은 디지털 센서가 사용된 이후로 지금까지도 계속해서 연구되고 있다. 주관적이며 시각적인 화질의 개선, 정량적으로 표현할 수 있는 객관적 측정 지표의 향상, 하드웨어 성능에 구애받지 않고 사용할 수 있는 알고리즘 계산량의 최적화 등과 같은 관점에서의 접근이 이루어지고 있다.

하지만 임의의 영상이 주어지고 열화 함수에 대한 정보를 알고 있더라도, 열화된 영상으로부터 주어진 영상으로의 완전 복원은 거의 불가능한 일이다. 특히 크기 변환에서 발생하는 생략되는 화소값에 대한 추정은 정확한 복원이 더욱 어렵다. 이런 생략 정보의 불완전한 추정이 복원 영상에서의 부자연스러운 형태로 표현되게 된다. 윤곽선 부근에서의 흐려짐 현상이나 블록 현상, 번짐 현상 등이 특히 심하게 나타나게 되며, 의도치 않은 인공물의 발생도 야기하게 된다. 이런 문제점들을 해결하기 위한 많은 연구가 이루어지면서 나타나는 다른 문제는 주관적 관점에서의 화질 저하 문제다. 흐려짐 등의 열화를 제거하기 위한 시도가 특정 부분에서는 어느 정도 효과가 발생했지만, 불필요한 영역에 대한 부적절한 사용으로 인해서 결과 영상에서는 오히려 주관적 화질이 저하되는 부작용이 발생하기도 한다. 즉, 객관적 측정에서는 향상되었지만, 주관적 관점에서는 오히려 열화가 더해지는 문제점이 발생한다. 또 화질 개선의 측면과는 별도로 열화 현상의 제거를 위한 과도한 처리로 인해서 높은 계산복잡도를 가지는 방법들이 제안되는 경우들도 있다. 어느 정도의 화질 개선이 보장되지만 과도한 연산량으로 인해서 실제 응용 환경에서는 사용하기 힘든 결과가 발생한다.

본 논문에서는 기존의 영상 보간법이나 초해상도 기술들보다 화질의 개선을 추구하면서도, 일반적인 영상 보간 함수가 가지는 수준의 계산복잡도로 동작할 수 있는 영상 개선 방법을 목표로 한다. 제안하는 방법에서는 생략된 화소값의 추정을 통해서 손실된 영상의 디테일한 정보들을 획득하고, 이것을 복원된 영상에 적용하여 화질 개선을 유도한다. 그리고 계산 복잡도와 실제 응용성을 고려하여 기존의 낮은 계산량을 가지는 방법을 기반으로 하여 손실 정보를 추정한다. 이런 관점에서 본 논문에서는 개선된 자가 열화 복원(improved self degradation restoration, ISDR) 기법을 이용한 영상 개선 방법을 제안한다. 실험을 통해서 비교 방법들보다 객관적인 화질 개선을 이루어내고, 주관적 화질에서도 충분히 우위를 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 여러 방법들과의 동작 속도 비교를 통해서 제안한 방법이 실제 응용 환경에서 사용할 수 있을 수준으로 빠르게 동작하는 것을 확인하였다.

제안하는 방법은 영상 복원에서 사용되는 목적함수를 새롭게 하는 것이 아니라, 기존의 목적함수로 얻어낼 수 없는 값을 추정하는 것을 목표로 한다. 즉, 기존의 목적함수를 사용하여 복원된 영상에 추가적인 정보를 더하여 기존의 목적함수만 사용한 결과보다 더욱 개선된 결과를 얻어내는 것이다. 여기에서 추가적인 정보를 추정하기 위해서 본 논문에서 제안한 ISDR을 사용하게 된다.

제안한 자가 열화 복원 기법은 독립성(independency), 유연성(flexibility), 확장성(expandability), 실용성(practicality)을 갖추고 있다. 독립성은 SDR이 특정 복원 함수나 특성 실험 영상에 종속적으로 동작하는 것이 아님을 의미하고, 유연성은 복원 함수의 종류와 관계없이 일정한 성능 향상이 나타나는 것을 뜻한다. 확장성은 대부분의 복원 기법과 어울려서 사용될 수 있는 특징을 설명하는 것이고, 실용성은 낮은 계산복잡도를 기반으로 다양한 응용분야에서 활용될 수 있음을 의미한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 영상 해상도 개선을 위한 기존의 연구들을 분석하였고, 3장에서는 제안하는 기법을 설명하고 있다. 4장에서는 제안한 방법의 실험 결과 및 분석을 기술하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

영상의 크기 변환이나 해상도 변환에 있어서 획득 영상을 더 좋은 영상으로 만들고자 하는 연구와 노력은 지금까지도 계속되고 있다. 다양한 분야에서 여러 필요에 따라 다양한 학문적 관점에서 접근이 이루어졌다. 이런 연구들은 처리 영역, 획득 영상의 개수, 입력 영상의 연속성, 기반 이론 등 다양한 관점으로 분류할 수 있으며 여러 가지 명칭으로 분류되어진다[4]. 처리 영역으로는 공간 영역에서의 방법과 변환 영역에서의 방법, 두 영역의 처리를 혼용한 방법들로 구분할 수 있다. 획득 영상 개수를 기준으로 단일 획득 영상 기반의 방법, 다중 획득 영상 기반의 방법, 단일 획득 영상으로부터 임의의 생성된 다중 영상을 이용하는 방법 등으로 분류할 수 있다. 연속된 프레임 입력이 발생하는 경우 하나의 결과 영상을 위해서 단일 프레임만 사용되는 방법, 연속된 여러 프레임이 사용되는 방법, 연속된 여러 프레임이 사용되면서 동시에 여러 개의 결과 영상을 생성하는 방법 등으로 나눌 수 있다. 이 외에도 결정론, 통계학, 학습, 패턴 인식, 영상 처리 등의 다양한 분야의 이론을 이용한 연구가 이루어지고 있다.

가장 간단한 영상 개선의 방법으로는 보간법이 있다[5]. 보간법은 샘플링 과정에서 선택되지 못한 위치의 값을 추정하는 기법으로 구현이 용이하여 실제 응용 환경에서 자주 사용된다. 최근접 이웃 화소 보간법은 최단 인접 원본 화소의 값을 그대로 할당 받지 못한 좌표의 화소값으로 사용한다. 선형 보간법은 인접한 원본 화소들의 선형 가중치 결합을 통해서 출력화소의 값을 추정한다. 회선 보간법은 다수의 인접 원본 화소들의 값을 해로 이용하는 다항식에 추정하고자 하는 위치의 값을 입력으로 한 결과 값을 출력 화소값으로 사용한다. 이 외에도 스플라인 보간법이나 삼각 보간법 등의 다양한 전통적인 영상 보간 함수들이 존재한다. 보간법은 보간 함수의 선형적 특성으로 인해서 결과 영상에서 인공물이나 흐려짐 현상이 발생하는 한계가 있다. 이런 문제점들은 국부적이며 비선형적 접근을 통해서 해소되고 있지만 비교적 좋은 성능을 나타내는 회선 보간법이나 스플라인 보간법의 성능을 크게 개선하지는 못하고 있다. 적응적인 보간법에는 적응적선형보간법, 적응적회선보간법, 적응적삼각보간법, 이동선형보간법, 적응매개변

수왜곡거리방법, 최소평균자승오차방법 등이 있다[6]. 이 외에도 보간법에 웨이블릿 변환, 퍼지 이론, 윤곽선 정보, 상관계수 등의 다양한 방법을 적용한 연구가 계속되고 있다[7].

보간법이 단일 영상을 이용하는 방법이라면 초해상도 기술은 다중 획득 영상을 이용하는 방법에 포함된다[8]. 초해상도 기술은 동일한 장면에 대한 일치하지 않은 여러 장의 영상들로부터 하나의 고해상도 영상을 복원하는 기법이다. 센서를 이용한 영상 획득이 용이해지고 영상의 고해상도 표현에 관심을 갖게 되면서 영상의 고해상도 표현을 위한 초해상도 기술이 활발히 연구되었다. IBP(iterative back projection) 기법은 모의 영상으로부터 윤곽선 영역을 추정하고 여러 관찰 영상들로부터 얻어진 윤곽선 영역을 조합하는 과정을 반복하여 고해상도 영상을 생성한다. 윤곽선 정보의 조합을 반복 역 투영을 이용하여 관찰 영상과 모의 영상 간의 차이를 줄여서 고해상도 영상을 추정하는 방법이다[9]. Robust SR(super resolution) 기법은 IBP의 반복 투영에서 얻어진 윤곽선 정보의 중간값을 이용하여 결과 영상을 추정한다. POCS(projections onto convex sets) 방법은 복원된 영상 영상이 가지는 특징을 관측 영상의 제한 조건으로 이용하여 고해상도 영상을 추정하는 방법으로 사전 정보들이 제한 집합들로 정의되어야 한다. PG(papoulis gerchberg) 방법은 변환 영역에서의 방법으로 고해상도 영상의 고주파성분만을 제거하여 할당받지 못한 위치의 값들을 추정하는 방법이다[10]. 다른 변환 영역의 기법으로는 DFT, DCT, 웨이블릿 변환을 이용한 초해상도 기술이 다양하게 연구되었다. 이런 전통적인 초해상도 기술은 다양한 방법으로 개선된 연구 결과들의 기반 기술이 되고 있다. 특히 링 현상이나 인공물 발생과 같은 문제점들을 해결하기 위한 개선된 IBP나 POCS 방법의 연구가 많이 이루어졌다. 이 외에도 ML(maximum likelihood) 추정 기법과 MAP(maximum a posterior) 추정 기법으로 대표되는 정규화 기반의 초해상도 기술이나 훈련 영상 집합을 이용하는 학습 기반의 초해상도 알고리즘들이 연구되어 왔다[11].

위에서 언급한 연구들이 정지 영상의 해상도 개선을 목적으로 하는 접근이라면, 비디오 데이터를 위한 초해상도 기술 역시 다양하게 연구되고 있다[12]. 연속된 프레임 입력을 처리하는 비디오 데이터 초해상

도 기술은 슬라이딩 윈도우 기법의 접근법, 동시적 접근법, 순차적 접근법 등으로 구분할 수 있다. 또한 최근에는 단일 관찰 영상만을 이용하는 단일 영상 초해상도 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

오랫동안 다양하게 연구되어 온 영상 개선은 결과 영상의 주관적 및 객관적 향상과 낮은 계산복잡도를 목표로 한다. 여전히 결과 영상에서는 인공물이나 흐려짐과 같은 현상들이 남아있으며, 알고리즘에 따라서 지나치게 높은 계산복잡도를 요구하는 경우도 있다. 또한 실제 적용에 있어서 단순한 보간 함수 보다 낮은 성능을 보이는 경우도 존재한다. 따라서 이러한 문제점들을 해소하기 위한 연구가 계속해서 이루어지고 있다.

3. 개선된 자가 열화 복원 기법을 이용한 영상 개선 방법

3.1 영상 복원

본 논문에서는 영상 크기 변환에서 발생하는 생략된 화소들의 정보를 추정하는 것을 목표로 한다. 일반적인 보간 함수를 사용하게 되면 윤곽선 영역에서 소실되는 정보들을 제대로 추정할 수 없다. 또한 평탄한 영역에서도 세부적인 디테일들을 정확하게 추정하는 것에 한계가 발생한다. 열화된 영상 X 에 복원 함수 α 를 사용하여 얻은 결과 $\bar{Y}$ 는 원본 영상 Y 와 완전히 일치하게 복원되지 않는다(식 (1)). 따라서 원본 영상이 있다는 가정 하에 원본 영상과 복원 영상 간에는 β 로 정의되는 차이 값들이 존재하게 된다(식 (2)). 제안하는 방법은 차이 β 에 근사할 수 있는 $\tilde{\beta}$ 를 생성하여 복원 영상에 더해줌으로써 $\bar{Y}$ 보다 더 원본 영상에 근접한 영상을 생성하게 된다(식 (3)). 따라서 본 논문의 초점은 α 에 해당하는 복원 함수나 보간 함수가 아닌 $\tilde{\beta}$ 에 해당하는 차이값 또는 손실 정보를 정확하게 추정하는데 있다.

$$Y \neq \bar{Y} = \alpha X \quad (1)$$

$$\beta = Y - \bar{Y} \quad (2)$$

$$Y \approx \tilde{Y} = \alpha X + \tilde{\beta}, \quad (\beta \approx \tilde{\beta}) \quad (3)$$

3.2 제안하는 방법

본 절에서는 제안하는 영상 개선 방법을 기술하고 있다. 제안하는 방법은 계산복잡도가 낮으면서도 기

존의 방법들보다 개선된 결과 영상을 생성하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서 자가 열화 복원 기법을 사용하여 영상의 크기 변환에서 소실된 화소값들을 추정한다. 자가 열화 복원 기법은 획득 영상을 열화-복원 과정을 통해서 복원 영상을 생성하여 획득 영상과의 차이를 계산하고, 이 차이로부터 손실된 화소값들을 추정하는 개념이다.

$$L_{i(P,N)} = a(F - rdF)_{i(P,N)} \quad (4)$$

본 논문에서 제안하는 자가 열화 복원(SDR) 기법은 식 (4)로 표현될 수 있다. L 은 추정된 손실 정보, L_P 는 양의 손실, L_N 은 음의 손실, F 는 입력영상, a 는 추정 함수, r 은 복원 함수, d 는 열화 함수를 각각 나타낸다. 즉, 추정된 손실 정보는 입력 영상과 입력 영상을 열화하여 다시 복원한 영상의 차이에 추정 함수를 적용하여 계산할 수 있다. 이와 같이 하나의 입력 영상을 통해서 각각 양과 음의 2개의 손실을 추정해낼 수 있다. 이런 방식을 단순 자가 열화 복원(simple SDR, SSDR)이라고 정의할 수 있다.

SSDR에서는 하나의 $L_{(P,N)}$ 쌍이 존재하게 된다. 이것은 식 (3)은 $\tilde{\beta}$ 에 해당하는 것으로 손실 정보의 추정이 정확할수록 결과 영상의 화질은 개선된다. 일반적으로 정보의 손실은 윤곽선 부분에서 많이 발생하게 된다. 따라서 추정된 L 에서 윤곽선 부근의 값을 보충하기 위하여 샤프닝을 수행한다. 본 논문에서는 샤프닝을 통해서 개선된 손실 정보 추정이 가능하도록 제안하고 있으며, 이 과정은 식 (5)로 나타내고 있다. s 는 샤프닝 처리를 나타낸다.

$$L_{i(P,N)} = sa(F - rdF)_{i(P,N)} \quad (5)$$

하지만 한 쌍의 L 에서 얻어낼 수 있는 정보의 양은 한계가 있다. 따라서 다양한 손실 정보 쌍을 가지기 위해서 SSDR을 여러 번 수행한다. 다중으로 수행된 SSDR의 결과는 손실 정보 집합으로 정의된다. 이렇게 얻어진 손실 집합은 획득 영상을 보간한 영상과 결합하여 최종적으로 복원된 결과 영상을 생성한다. 결합하는 과정에서는 결합 가중치가 사용되는데, 손실 집합의 강도를 적절히 조절하여 보간 영상과 결합하는 것이 중요하다. 가중치가 높게 설정되면 추정 손실 정보는 영상으로 잡음으로 작용하며 화질 저하로 표현된다.

그림 1에서는 제안한 ISDR을 이용한 영상 개선 기법의 전체 과정을 설명하고 있다. 획득 영상의 열

그림 1. ISDR의 흐름도

화를 거쳐서 열화 영상을 생성하고, 열화 함수는 부표본화를 사용한다. 이렇게 얻어진 열화 영상은 복원 과정을 통해서 복원 영상으로 만들어지는데, 복원 함수는 선형 보간을 이용한다. 이렇게 생성된 복원 영상은 획득 영상과의 차이를 계산하고, 양수 값을 가지는 부분과 음수 값을 가지는 부분으로 분리한다. 이와 같이 분리된 차이들은 추정 함수를 통해서 추정 손실 정보를 생성하는데, 여기에서 추정 함수는 선형 보간을 이용한다. 마지막으로 추정 손실 정보에 샤프닝 처리를 하여 최종적인 추정 손실을 생성한다. 이 과정을 다중으로 수행하여 얻어진 여러 개의 추정 손실들을 이용해서 손실 집합을 생성하고, 이 손실 집합은 획득 영상을 보간한 영상과 결합한다. 결합하는 과정에서는 결합 가중치가 사용된다.

다음 장에서는 제안한 방법의 성능 평가 결과를 알아보고, 제안한 자가 열화 복원 기법을 이용한 손실 추정이 얼마나 영상 개선에 영향을 주는지 확인해 본다.

4. 실험 결과 및 분석

본 장에서는 제안한 방법의 성능을 평가하고 실험 결과를 분석한다. 제안한 방법의 성능 평가는 다음의 실험 환경에서 이루어졌다. 실험은 전통적으로 영상 처리에서 사용되는 고전 영상 8개를 실험 영상으로 사용하였다. 각각 baboon, barbara, boat, elaine,

goldhill, lena, oldmill, peppers 영상으로 그림 2에 나타내었다. 실험을 위해서 원본 영상에 표준 편차 1의 가우시안 블러를 적용하고, 가로와 세로로 각각 1/2씩 표본화를 수행하였다. 실험에서 사용된 손실 집합의 가중치는 0.1이고, 추정 함수와 복원 함수는 linear 보간 함수, 열화 함수는 가로와 세로로 2:1의 다운샘플 함수를 각각 사용하였다. 객관적 성능 평가는 PSNR을 이용하였고, 주관적 성능 평가는 영상의 전체적인 선명도와 윤곽선의 뚜렷한 정도로 측정하였다. 제안한 방법은 MATLAB 8.0 버전으로 구현되었고, Intel Core2 2.4GHz와 4G RAM으로 구성된 컴퓨터에서 실험이 수행되었다. 비교 방법으로는 bilinear interpolation, ICBI(iterative curvature based interpolation)[13], INEDI(improved new edge directed interpolation)[7], IBP(iterated back projection)[9], NC(structure adaptive normalized convolution)[14]이 각각 사용되었다.

실험은 객관적 화질 평가, 주관적 화질 평가, 알고리즘의 동작 속도, 보간 함수와의 비교 등 4가지로 이루어졌다. 먼저 실험 1에서는 PSNR을 이용하여 객관적 화질을 측정하였다. 그 결과는 아래의 표 1에 나타내었다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯이, 제안한 SDR기반의 방법이 다른 방법들과의 비교에서 가장 높은 PSNR을 나타내는 것을 알 수 있다. 영상과 비교 방법에 따라 차이는 있지만 평균 0.5~1.8dB의 PSNR 이득이 발생하였다. IBP 방법이 전체적으로

그림 2. 실험 영상

표 1. 실험 1의 결과(단위: dB)

	bilinear	ICBI[13]	INEDI[7]	IBP[9]	NC[14]	ISDR
baboon	22.96	23.09	23.22	22.89	22.75	23.56
barbara	25.02	24.99	24.94	24.73	24.88	25.53
boat	29.80	30.47	30.60	28.72	29.74	30.98
elaine	32.42	32.87	32.71	31.39	32.27	33.02
goldhill	30.53	31.01	30.89	29.76	30.55	31.40
lena	32.42	33.46	33.47	30.73	32.45	33.78
oldmill	24.05	24.39	24.80	23.42	23.91	25.24
peppers	31.59	32.27	32.25	30.60	31.34	32.58
average	28.60	29.07	29.11	27.78	28.49	29.51

가장 낮은 PSNR을 보이며, ICBI와 INEDI는 거의 유사한 수준의 PSNR을 가진다. 실험 1을 통해서 제안한 방법의 손실 정보 추정치가 다른 비교 방법들보다 정확한 것을 검증할 수 있었고, 객관적 화질 비교에서 제안한 방법이 우위에 있음을 증명할 수 있었다.

다음 실험 2에서는 주관적 화질을 비교하였다. 비교 방법 중 bilinear interpolation과 ICBI 방법과 제안한 방법의 주관적 화질을 평가하였다. 그림 2에서와 같이 제안한 방법의 결과 영상의 가시적 선명도가 가장 높음을 알 수 있다. 문자열이 존재하는 부분의 윤곽선이나 흑백의 경계 영역에서 윤곽선이 도드라지게 표현되는 것을 알 수 있다. 또한 우측영의 확대 영상에서 확인할 수 있듯이 어둡고 밝은 부분의 편차가 훨씬 높게 생성되고 있으며, 윤곽선의 형태도 비교적 확실하게 드러나는 것을 알 수 있다. 실험 2를 통해서 제안한 방법의 결과가 사람의 시각적, 주관적

관점에서도 개선된 영상임을 검증할 수 있었다.

다음 실험 3에서는 알고리즘의 동작속도를 측정하여 비교하였다. 표 3의 결과에서 확인할 수 있듯이 제안하는 방법은 비교 방법들보다 월등히 적은 동작시간을 가지는 것을 알 수 있다. IBP의 경우 동작시간은 비교적 빠르지만 그 성능이 낮음을 위의 표에서 알 수 있고, 나머지 방법들은 최소 10배 이상 실행속도가 소요되는 것을 알 수 있다. 실험 3을 통해서 제안한 방법이 낮은 계산복잡도를 가지는 것을 확인할 수 있었고, 알고리즘의 동작속도에서 비교 방법들보다 월등히 빠른 것이 검증할 수 있었다.

다음 실험 4에서는 보간 함수와의 성능을 비교하였다. 비교 보간 방법으로는 bilinear, bicubic, spline 3가지 보간 커널을 사용하였고, 그 결과를 표 4에서 나타내고 있다. 보간 함수만 사용한 경우보다 제안한 방법이 평균 0.9dB 이상 높은 PSNR을 나타낸다. 이

표 2. 실험 2의 결과

bilinear
ICBI
ISDR

표 3. 실험 3의 결과(단위: 초)

	bilinear	ICBI[13]	INEDI[7]	IBP[9]	NC[14]	ISDR
runtime	0.03	23	202	3	50	0.25

표 4. 실험 4의 결과(단위: dB)

image	bilinear	ISDR-BL	bicubic	ISDR-BC	spline	ISDR-SP
baboon	22.96	23.56	23.24	23.87	23.40	23.98
barbara	25.02	25.53	25.18	25.65	25.21	25.59
boat	29.80	30.98	30.49	31.69	30.83	31.89
elaine	32.42	33.02	32.81	33.33	32.97	33.41
goldhill	30.53	31.40	31.02	31.88	31.25	32.03
lena	32.42	33.78	33.34	34.79	33.81	35.21
oldmill	24.05	25.24	24.74	26.08	25.16	26.47
peppers	31.59	32.58	32.41	33.57	32.81	34.00
average	28.60	29.51	29.16	30.11	29.43	30.32
gain		0.91		0.95		0.89

것은 이득을 본 0.9dB가 제안한 ISDR을 통해서 향상된 것을 의미하며, 이것은 순수 ISDR의 성능을 나타내는 것이다. 또한 실험 4를 통해서 제안한 기법이 특정한 보간 커널에서만 동작하는 것이 아님을 알

수 있으며, 어떤 보간 함수와도 어울려 사용될 수 있음을 증명하였다. 보간 함수나 실험 영상에 종속적이지 않게 동작하는 것을 보여주고 있다.

이상의 4가지 실험을 통해서 제안한 방법의 우수

성을 확인할 수 있었다. 객관적 화질 비교를 통해서 원본 영상과의 유사성이 더 높으며, 주관적 화질 비교를 통해서 시각적인 결과의 개선도 뚜렷함을 알 수 있다. 또한 알고리즘의 동작속도 비교를 통해서 제안한 방법이 비교 방법들보다 최소 10배 이상 고속으로 동작하는 것을 검증하였다. 마지막으로 보간 함수와의 비교를 통해서 제안한 방법에 대한 독립성이나 유연성, 확장성 등을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 영상 개선을 위한 간단하면서도 효과적인 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 개선된 자가 열화 복원 기법을 이용하여 영상의 열화 과정에서 발생한 손실을 추정하고, 보간 기법에 적용하여 최종적으로 개선된 결과 영상을 생성한다. 제안한 방법은 비교방법들보다 낮은 계산복잡도를 가지면서도 더 높은 PSNR 결과를 나타내는 것을 실험을 통해서 검증하였다. 이것은 제안하는 방법이 낮은 계산량을 가지면서도 비교적 정확하게 손실 정보를 추정하는 역할을 하는 것으로 분석된다. 향후 더욱 다양한 손실 집합을 추정하는 방법이 계속 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] J.D. van Ouwerkerk, "Image Super-Resolution Survey," *Image and Vision Computing*, Vol. 24, Issue 10, pp. 1039-1052, 2006.

[2] 유훈, "적응적인 선형 보간을 이용한 부화소 기반 영상 확대," 멀티미디어학회논문지, 제9권, 제8호, pp. 1000-1009, 2006.

[3] 정운수, 원철호, 문기영, 김정녀, "비디오 분석기술과 초해상도 영상 복원," 멀티미디어학회지, 제14권, 제3호, pp. 39-47, 2010.

[4] S.C. Park, M.K. Park, and M.G. Kang, "Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 20, Issue 3, pp. 21-36, 2003.

[5] S.H. Hong, R.H. Park, S.J. Yang, and J.Y. Kim, "Image Interpolation using Interpolative

Classified Vector Quantization," *Image and Vision Computing*, Vol. 26, No. 2, pp. 228-239, 2008.

[6] 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.

[7] N. Asuni and A. Giachetti, "Accuracy Improvements and Artifacts Removal in Edge Based Image Interpolation," *Proc. Int. Conf. Computer Vision Theory and Applications*, pp. 58-65, 2008.

[8] J. Tian and K.K. Ma, "A Survey on Super-Resolution Imaging," *Signal, Image and Video Processing*, Vol. 5, Issue 3, pp. 329-342, 2011.

[9] M. Irani and S. Peleg, "Improving Resolution by Image Registration," *Graphical Models and Image Processing*, Vol. 53, Issue 3, pp. 231-239, 1991.

[10] E. Salari and G. Bao, "Super-Resolution using an Enhanced Papoulis-Gerchberg Algorithm," *IET Image Processing*, Vol. 6, Issue 7, pp. 959-965, 2012.

[11] J. Tian and K.K. Ma, "Stochastic Super-Resolution Image Reconstruction," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 21, Issue 3, pp. 232-244, 2010.

[12] M. Protter and M. Elad, "Super Resolution With Probabilistic Motion Estimation," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 18, No. 8, pp. 1899-1904, 2009.

[13] A. Giachetti and N. Asuni, "Fast Artifacts-free Image Interpolation," *Proc. of the British Machine Vision Conf.*, pp. 123-132, 2008.

[14] T.Q. Pham, L.J. Van Vliet, and K. Schutte, "Robust Fusion of Irregularly Sampled Data Using Adaptive Normalized Convolution," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, Vol. 2006, pp. 1-12, 2006.

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

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, 적응신호처리등

김 종 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 4월~현재 부경대학교 IT융합응용공학과 교수
2003년 3월~현재 (주)홈캐스트 사외이사
관심분야: 영상신호처리, 멀티미디어 보안 등