

# 하위 레벨 보간과 손실 정보 추정을 이용한 위성 영상 복원

김원희\*, 김종남\*

\*부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

e-mail : whkim07@pknu.ac.kr

## Satellite Image Reconstruction Using Low Level Interpolation and Loss Information Estimation

Won-Hee Kim\* and Jong-Nam Kim\*

\*Dept. of Computer Multimedia Engineering, PuKyong Nat'l Univ.

### 요 약

영상 복원은 다양한 영상 처리의 분야의 기반기술로 사용되는 기술로서, 복원 과정에서의 번짐현상(블러링)으로 인한 화질 저하가 발생하는 문제점이 있다. 위성 영상과 같이 영상이 의미하는 내용의 중요도가 높은 분야에서는 화질 저하를 최소화하는 영상 복원 기술이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 하위 레벨 해상도 보간과 손실 정보 추정을 이용한 위성 영상 복원 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 하위 레벨 해상도 보간을 통해서 복원 과정에서 발생하는 손실 정보를 추정하고, 추정한 손실 정보를 복원된 영상에 적용하여 최종적으로 영상 복원 결과를 향상시킨다. 동일한 위성 영상을 이용한 비교 실험에서 기존의 방법들보다 주관적 화질 개선이 뚜렷함을 알 수 있었고, 객관적 화질 비교인 PSNR에서도 2.68~4.22dB의 향상된 결과를 나타내었다. 제안하는 방법은 위성 영상 분석을 비롯하여 영상 복원을 이용하는 다양한 응용 환경에서 유용하게 사용될 수 있다.

### 1. 서론

영상 해상도 향상은 저해상도의 영상을 고해상도의 영상으로 변화하는 기술을 의미한다[1]. 실험 환경에서의 고해상도 영상은 고성능 영상 획득 센서를 통해서 얻어진 영상을 의미하고, 이 고해상도 영상을 잡음이나 축소를 통하여 훼손시킨 영상을 저해상도 영상으로 정의할 수 있다. 반면 실제 환경에서는 주관적 인식이 용이한 영상이 고해상도 영상이 되며, 주관적으로 인식이 난해한 영상을 저해상도 영상으로 정의할 수 있다. 이런 영상 해상도 향상 기술은 다양한 영상처리 분야의

기반기술로 사용되어 왔으며 컴퓨터 비전 시스템의 전반에 걸쳐 연구되어 왔다. 특히 위성, 항공, 의료, 군사, 보안 분야에서 필수적으로 사용되고 있으며, 최근 들어 일반 사용자들도 이런 기술의 사용이 증가되고 있다. 이와 같이 여러 응용 분야에서 영상 보간의 다양한 기법들이 활발히 연구되고 있으며, 앞으로도 더욱 향상된 화질의 영상을 생성하는 영상 보간법들이 요구되므로 성능이 좋은 영상 보간법의 사용이 중요하다[2].

영상 해상도 향상 기술에서 저해상도 영상을 고해상도 영상으로 완전 복원하는

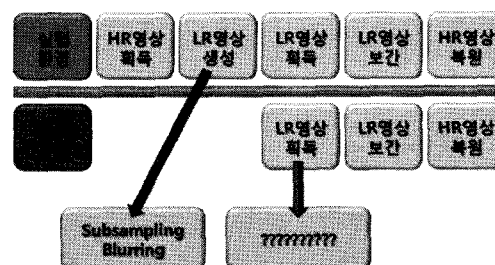
것은 매우 어려운 일이다[3]. 이것은 고해상도 영상이 저해상도 영상으로 변환될 때의 손실 정보를 완전히 추정하기 힘들기 때문이다. 이런 보간 과정에서의 손실 정보 때문에 영상의 완전복원이 힘들다. 이런 손실 정보 때문에 복원된 영상에서는 흐려짐 현상과 같은 인공물이 발생하게 된다. 영상 보간의 대표적인 방법으로는 0차보간(zero order interpolation), 선형보간(linear interpolation), 3차회선보간(cubic convolution interpolation), 스플라인보간(spline interpolation) 등이 있다. 비교적 계산복잡도가 낮아서 많은 응용 분야에서 사용되지만 보간된 영상의 화질 개선 정도가 낮고 흐려짐 현상을 유발한다. 이런 단점을 보완하기 위해서 최근 들어 적응적인 보간법들이 연구되고 있다.

본 논문에서는 위에서 언급한 문제를 해결하기 위한 영상 복원 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 영상 보간 과정에서 필연적으로 발생하는 손실 정보를 추정하고, 이 손실 정보를 보간된 영상에 적용하여 화질이 개선된 복원 영상을 얻을 수 있다. 손실 정보를 추정하기 위하여, 획득한 저해상도 영상의 하위 레벨 보간 과정에서 손실 정보를 계산하고 이 손실 정보를 보간하여 저해상도 영상을 보간한 영상에 적용한다. 손실 정보를 적용하는 과정에서 손실 정보가 잡음으로 사용되지 않기 위하여 가중치를 적용한다. 실험을 통해서 제안한 방법이 기존의 방법보다 주관적 및 객관적으로 화질의 향상이 발생한 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 영상 해상도 향상과 관련된 기존의 연구에 대해서 기술하였고, 3장에서는 제안하는 영상 해상도 향상 알고리즘을 설명하였다. 4장에서는 실험결과 및 분석을 서술하였고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 에이전트 개발도구의 요구사항

영상 해상도 향상은 실험 환경과 실제 환경에서 다르게 적용된다. 그림 1에서와 같이 실험 환경에서는 고해상도 영상이 확보되어 있으며, 저해상도 영상의 생성이 고해상도 영상의 축소와 잡음추가를 통해서 이루어진다. 이런 사전 정보들을 통해서 비교적 정확하게 원본 영상으로의 복원이 가능하게 된다. 반면 실제 환경에서는 획득된 저해상도 영상에 대한 사전 정보가 없기 때문에 해상도 향상의 정도를 객관적으로 측정하기 힘들다. 기존의 연구에서는 실험 환경에서 손실 정도를 계산하고 이를 토대로 복원 모델을 생성하여 생성된 모델을 실제 환경의 영상 복원에 적용하여 왔다[4]. 제안하는 방법도 실험 환경에서의 영상 해상도 향상 방법에 초점을 두고 있다.



(그림 1) 영상 해상도 향상의 개념도

기존의 영상 복원 및 영상 해상도 향상을 위한 방법으로 보간법이 대표적으로 사용된다. 고전적인 보간 방법으로는 0차보간(zero order interpolation), 선형보간(linear interpolation), 3차회선보간(cubic convolution interpolation), 스플라인보간(spline interpolation) 등이 있다. 고전적인 보간 방법들은 비교적 계산복잡도가 낮아서 많은 응용 분야에서 사용되지만 보간된 영상의 화질 개선 정도가 낮고 흐려짐 현상을 유발한다[5].

이런 단점을 보완하기 위해서 최근 들어 적응적인 보간법들이 연구되고 있다. 적응적 보간법은 각각의 화소마다 매개변수를 달리하여 적응적으로 보간을 수행하는 방법이다. 적응적 보간법의 대표적인 방법으로는 적응 매개변수 왜곡거리(warped distance) 방법, 이동 선형보간법(shifted linear interpolation), 최소 평균자승 에러(minimum mean square error) 방법, 적응적 3차 회선 보간법(adaptive cubic convolution interpolation) 방법 등이 있다. 비교적 화질 개선 정도는 높지만 계산량이 많이 소모되는 단점이 있다[6].

이외에도 초해상도(super resolution) 기술이 영상 복원이 이용된다. 초해상도 기술은 다수개의 저해상도 영상의 정보를 이용해서 고해상도 영상으로 재생성하는 기술이다. 최근에는 하나의 저해상도로부터 고해상도 영상을 생성해내는 초해상도 기술이 연구되고 있다.

### 3. 제안하는 에러추정 및 영상복원 방법

기존의 영상 복원 방법에서는 흐려짐 현상으로 인한 화질 열화가 대표적인 문제로 지적되었다. 이런 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 하위 레벨 보간을 이용한 에러 추정 및 영상 해상도 향상 방법을 제안한다.

제안하는 해상도 향상 알고리즘은 손실 정보 계산, 손실 정보 추정, 손실 정보 적용의 3가지 요소로 구성된다. 본 논문에서 손실 정보는 에러(error)와 동일한 의미로 사용된다.

손실 정보 계산 과정에서는 하위 레벨 보간을 이용해서 획득한 저해상도 영상의 손실 정보를 계산한다. 본 연구는 실험 환경에서의 영상 복원에 목표를 두고 있기 때문에 원본 고해상도 영상의 정보도 사전에 확보하고 있다고 가정한다. 아래의

식 (1)과 같이 원본 고해상도 영상을 정의할 수 있다.

$$I_H : \text{high resolution image} \quad (1)$$

사전 확보된 고해상도 영상으로부터 임의로 훼손시킨 저해상도 영상을 아래의 식 (2)와 같이 생성할 수 있다.

$$I_L = S_X I_H + N \quad (2)$$

식 (2)를 통해서 얻어진 실험 환경의 저해상도 영상  $I_L$ 을 고해상도 영상  $I_H$ 와 가장 유사한 영상으로 만드는 것이 본 연구의 목표이다. 하지만 고해상도 영상이 서브샘플링 함수  $S$ 가 적용되면서 저해상도 영상으로 만들어질 때 손실되는 영상 정보들이 존재한다. 비록  $S$ 함수를 사전에 알고 있다고 하더라도 고해상도 영상으로의 완전복원은 아주 어려운 일이다. 이런 손실되는 영상 정보들을 추정하기 위한 과정으로 아래의 식 (3)과 같이 한 단계의 서브샘플링을 실시한다. 그 다음 과정으로 특정 복원 함수를 사용하여  $I_L$ 과 같은 크기의 영상으로 보간을 실시한다. 그리고 최종적으로 식 (5)와 같이 저해상도 영상과 복원된 저해상도 영상의 에러를 계산할 수 있다.

$$I_{LL} = S_2 I_L \quad (3)$$

$$I_{RL} = R_2 I_{LL} \quad (4)$$

$$I_{EL} = I_L - I_{RL} \quad (5)$$

식 (3)에서 (5)를 통해서 얻어진 에러  $I_{EL}$ 은 정확하게 주어진 저해상도 영상으로부터 정확하게 계산할 수 있는 정보이다. 즉, 주어진 저해상도 영상의 한 단계 서브샘플링과 다시 보간을 통해서 얻어진 복원된 저해상도 영상과 저해상도 영상의

차이를 통해서 손실 정보 계산을 할 수 있다.

다음으로는 계산된 손실 정보를 토대로 실제 복원해야 할 영상의 손실 정보를 추정하는 과정이다. 계산된 손실 정보  $I_{EL}$ 은 식 (6)과 같은 보간 과정을 통해서 고해상도 영상 복원 과정의 손실 정보로 추정할 수 있다.

$$I_{EH} = R_X I_{EL} \quad (6)$$

즉 추정된 에러  $I_{EH}$ 는 계산된 손실 정보  $I_{EL}$ 을 보간 하여 계산된 정보로 정의할 수 있다.

마지막으로는 추정된 에러를 복원 영상에 적용하는 과정으로 저해상도 영상으로부터 복원된 고해상도 영상은 아래의 식 (7)과 같이 정의된다.

$$I_{RH} = R_X I_L \quad (7)$$

이때  $I_{RH}$ 는 식 (4)의  $I_{RL}$ 과 같이 보간으로 인한 정보 손실이 발생한 복원 영상이다. 따라서 이 복원 영상에 앞서 추정된 에러  $I_{EH}$ 를 적용하게 되면 보다 더 정확한 복원 영상을 얻을 수 있게 된다. 이 과정을 아래의 식 (8)에 나타내었다.

$$I_{HH} = I_{RH} + I_{EH} \quad (8)$$

여기에서  $I_{HH}$ 는 복원된 고해상도 영상에 손실 정보를 적용한 최종적인 복원영상이다. 이와 같은 손실 정보 적용을 통해서 일반적인 복원 보다 더 정확한 복원 영상을 얻을 수 있다. 대부분의 손실 정보는 고주파수 영역으로 영상에서 윤곽선 정보를 많이 포함하고 있다. 따라서 에러를 더해줌으로써 복원된 영상의 윤곽선 정보가 명확하게 되어 전체적인 영상 해

상도가 향상되게 된다.

하지만 추정된 손실 정보  $I_{EH}$ 를 그대로 적용하게 되면 저주파수 대역의 정보들이 그대로 더해지게 되어 전체적인 영상 밝기가 상승하게 되어 화질의 열화가 발생하게 된다. 이런 단점을 해결하기 위해서 추정된 손실 정보에 적정의 가중치를 적용한다. 이 과정을 아래의 식 (9)에 나타내었다.

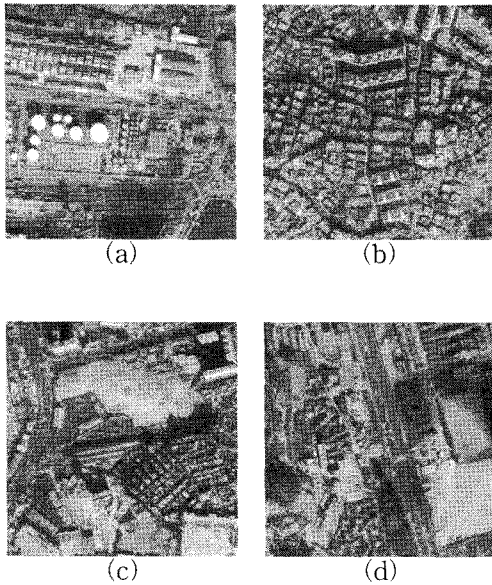
$$I_{HH} = I_{RH} + \alpha I_{EH} \quad (0 < \alpha < 1) \quad (9)$$

수식에서  $\alpha$ 는 가중치를 의미하며 가중치가 0인 경우는 손실 정보를 적용하지 않은 상태를 의미하며, 1인 경우는 식 (8)과 동일한 상태를 의미한다. 이와 같은 가중치 적용을 통해서 윤곽선 부분을 살리면서도 저주파 대역의 정보들의 잡음화를 최소화 할 수 있다.

가중치의 적용을 달리하여 실험한 결과 영상에 따라 다르게 나타나지만 대체적으로 0.3~0.7에서 가장 높은 PSNR을 나타내는 것을 알 수 있다. 하지만 가중치가 적용됨으로 해서 윤곽선 영역의 정보가 다소 손실되는 단점이 있으므로 응용 환경에 따라서 가중치의 적용정도를 달리 할 필요성이 있다.

#### 4. 실험 결과 및 분석

본 장에서는 제안한 방법을 기존의 연구와 비교 실험하여 제안한 방법의 우수성을 나타낸다. 제안한 방법의 성능 평가를 위한 실험 환경은 다음과 같다. 실험은 2.4GHz의 CPU와 2GB의 RAM으로 구성된 PC에서 수행되었으며 MATLAB 7.5를 이용하여 실험 프로그램이 구현되었다. 실험 데이터로 1000×1000의 gray scale의 위성 영상 4개가 사용되었으며, 그림 2에서 실험 영상을 나타내었다.



(그림 2) 실험에 사용된 데이터

실험에서는 주관적 화질과 객관적 화질을 각각 비교하였다. 주관적 화질 비교는 복원된 영상의 윤곽선 및 문자의 인식 정도를 척도로 사용하였으며, 객관적 화질 비교는 PSNR(peak signal to noise ratio)를 사용하였다. PSNR은 두 영상 데이터의 화질을 비교하기 위해서 일반적으로 사용되는 척도로서,  $M \times N$ 의 해상도와 0~255의 밝기 범위를 가지는 영상의 PSNR은 아래의 식 (1)과 같이 정의된다. 수식에서  $f(i,j)$ 는 원본 영상,  $f'(i,j)$ 는 보간된 영상을 각각 나타낸다.

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

실험에서 bilinear interpolation을 비교 방법으로 사용하였는데, 이것은 제안한 방법의 보간 커널을 오직 bilinear 함수만 사용하기 때문이다. 보간 커널은 MATLAB

7.5의 함수를 사용하였다. 기존의 연구들을 살펴보면 동일한 실험 조건에서도 PSNR이 상이하게 나타나는 경우가 종종 있다. 이것은 연구자의 개인적 성향에 따른 보간 함수 구현으로 인한 차이로 분석된다. 따라서 실험의 정확성을 높이고 객관적 비교를 위해서 본 논문에서는 MATLAB 함수를 이용하였다. 실험 데이터는 bilinear 커널을 이용해서 500×500 크기의 실험 영상을 획득하였다.

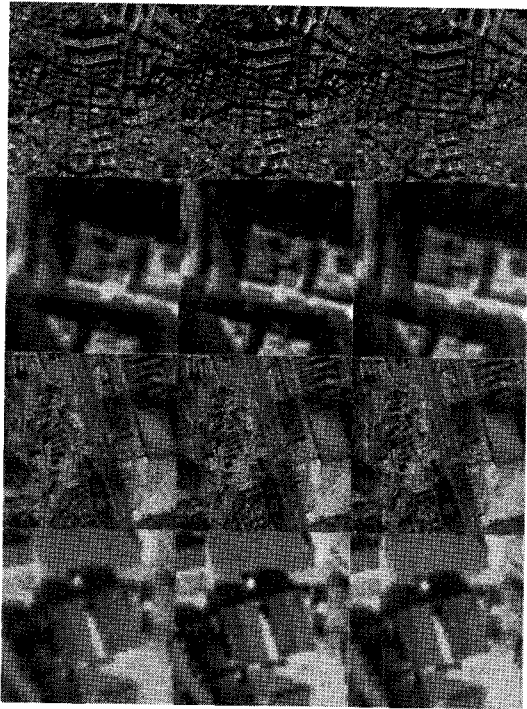
실험 1에서는 객관적 화질 비교를 수행하여 실험결과를 표 1에 나타내었다. 표에서 사용된 BIL은 bilinear interpolation, PRO1은 가중치를 적용하지 않은 제안한 방법, PRO2는 가중치를 적용한 제안한 방법을 각각 의미한다. 먼저 4개 영상의 평균 PSNR을 비교하면 PRO2가 BIL보다 3.345dB 향상된 것을 알 수 있다. 세부적으로 살펴보면 (b)영상에서 4.2203dB가 개선되어 개선정도가 가장 높았고, (c)영상이 2.6882dB로 개선정도가 가장 낮았다.

<표 1> 객관적 화질비교 결과(단위 : dB)

	BIL	PRO1	PRO2	개선
(a)	30.0698	30.9590	33.2094	3.1396
(b)	31.4601	31.2877	35.6804	4.2203
(c)	27.9819	29.5430	30.6701	2.6882
(d)	35.0395	35.0740	39.2210	4.1815
평균	30.4988	31.2614	33.8438	3.3450

실험 2에서는 주관적 화질 비교를 수행하여 실험결과를 그림 2에 나타내었다. 그림에서와 같이 제안한 방법 PRO1, PRO2는 비교방법 BIL보다 주관적 화질이 향상된 것을 확인할 수 있다. 확대영상에서 제안한 방법들의 윤곽선 정보나 전체적인 인식 정도가 높아짐을 알 수 있다.

실험 1과 2를 통해서 제안한 방법의 영상 해상도 향상 정도가 기존의 방법들보다 높음을 검증할 수 있었다.



(그림 3) 주관적 화질비교

(좌측부터 : BIL, PRO1, PRO2, 상단부터 :  
(a)영상, (b)영상(확대), (d)영상, (d)영상(확대))

## 5. 결론

본 논문에서는 영상을 확대하는 과정에서 발생하는 영상의 흐려짐을 개선할 수 있는 기술을 제안하였다. 제안한 방법은 하위 레벨 보간을 이용해서 보간 과정에서 발생할 수 있는 손실 정보를 추정하였고, 추정된 손실 정보에 가중치를 적용하여 잡음으로 사용될 수 있는 요소를 제거하였다. 가중치를 적용한 손실 정보를 보간된 영상에 더하여 최종적으로 개선된 보간 영상을 생성한다. 제안한 방법을 기존의 방법들과 비교한 실험을 통해서 최대 4.22dB의 PSNR이 향상된 것을 알 수 있었고, 주관적 화질 비교에서도 더 우수함을 확인하였다. 제안한 방법은 영상 확대를 이용하는 다양한 멀티미디어 시스템에서 유용하게 사용될 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업, 중소기업청의 산학연공동기술개발지원사업(선도형)으로 수행된 연구결과임.

- [1] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview," *Signal Processing Magazine IEEE*, Vol. 20, Issue 3, pp. 21-36, May, 2003.
- [2] S. Dai, M. Han, Y. Wu, and Y. Gong, "Bilateral Back-Projection for Single Image Super Resolution," *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 1039-1042, Jul. 2007.
- [3] R. Hardie, "A Fast Image Super-Resolution Algorithm Using an Adaptive Wiener Filter," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 16, Issue 12, pp. 2953-2964. Dec. 2007.
- [4] H. Shen, L. Zhang, B. Huang, and P. Li, "A MAP Approach for Joint Motion Estimation, Segmentation, and Super Resolution," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 16, Issue 2, pp. 479-490, Feb. 2007.
- [5] 박대현, 유재욱, 김윤, "부화소 기반의 적응적 보간법을 통한 영상 확대," *대한전자공학회논문지*, 제45권, 제6호, pp. 542-549, Nov. 2008.
- [6] Y. Bai and H. Zhuang, "On the Comparison of Bilinear, Cubic Spline, and Fuzzy Interpolation Techniques for Robotic Position Measurements," *Instrumentation and Measurement IEEE Transactions on*, Vol. 54, Issue 6, pp. 2281-2288, Dec. 2005.