

확률적 접근법을 이용한 초해상도 영상복원

Super Resolution Reconstruction Using Stochastic Approach

박재민*, 권혁종**, 김병국**

Jae-min Park*, Hyuk-jong Kown**, Byung-guk Kim***

* 인하대학교 지리정보공학과 박사과정(jaemin@inhaian.net)

** (주)웨이버스 기술본부(aau007@paran.com)

*** 인하대학교 지리정보공학과 교수(byungkim@inha.ac.kr)

요 약

고해상도 영상은 원격탐사, 의료영상 등 다양한 분야에서 사용되며, 향후에 많은 수요가 예상된다. 초해상도 영상복원은 동일한 지역을 촬영한 여러 장의 저해상도 영상을 이용하여 고해상도 영상으로 복원하는 소프트웨어적인 영상 해상도 향상 방법이며, 공간 영역과 주파수 영역의 초해상도 영상복원으로 구분된다. 본 연구에서는 공간 영역에서 확률적 접근법을 이용하여 CCD 영상의 초해상도 영상복원을 수행하였다.

1. 서 론

고해상도 영상은 원격탐사, 군사감시, 의료영상 등 다양한 분야에서 사용되며, 고해상도(High resolution)는 영상 화소의 밀도가 높음을 의미한다. 디지털 영상은 아날로그 실세계를 디지털로 바꾸는 영상의 기록 과정에서 센서의 물리적인 한계, 잡음 등으로 인해 저해상도 영상으로 기록된다.

영상의 해상도 향상을 위해서는 센서의 화소 크기를 축소하는 하드웨어적인 방법이 있으나, 비용측면을 고려하여 소프트웨어적으로 영상 해상도를 향상시키는 방법이 필요하다. 기존에는 저해상도 영상을 고해상도 영상으로 확대하기 위해 최근린 이웃 보

간법(Nearest neighbor), 공일차 보간법(Bilinear), 공이차 보간법(Bicubic) 등이 많이 사용되었다. 하지만 보간법은 단순히 단일 영상의 크기 확대를 위해 많이 사용되는 영상처리 과정이며, 저해상도 영상의 표본화 과정에서 고주파 요소의 유실이나 저하에 대한 정보를 다룰 수가 없다.

2. 초해상도 영상복원

동일한 지역을 촬영한 여러 장의 영상자료가 존재하는 경우에 영상처리 과정을 통해 저해상도 영상의 해상도 향상이 가능하며, 이와 같은 기법을 초해상도(Super Resolution) 방법이라고 한다. 이는 저해상

도 영상의 기록과정에서 생기는 블러링, 앨리어싱, 부가적인 잡음 등의 요소들을 최소화하는 과정으로 일반적으로 공간영역 초해상도와 주파수영역 초해상도로 구분된다.

2.1 주파수 영역 초해상도

고해상도 영상은 일반적으로 같은 종류의 저해상도 영상에 비해 영상의 세밀한 부분을 표현해주는 고주파 성분을 더 많이 포함하고 있다. 영상의 표본화 과정에서는 이 고주파 성분이 감소되고, 주파수 겹침 현상(앨리어싱, Aliasing)이 발생하여 영상의 해상도에 영향을 준다. 주파수 영역(Frequency Domain) 초해상도는 Landsat 4 영상의 해상도 향상을 목적으로 처음 연구가 시도되었으며, 영상의 기록 과정의 불충분한 표본화(Under sampling)에 의해 발생하는 저해상도 영상에 존재하는 앨리어싱을 제거하여 고해상도 영상을 얻는 방법이다. 푸리에 변환의 특성을 이용하며, Weighted Least Square, Recursive Least Square를 사용하여 해를 구하는 방법들이 있다.^[2]

2.2 공간 영역 초해상도

공간 영역(Spatial Domain) 초해상도 영상복원은 영상의 화소 기반의 복원 방법으로 주파수 영역 초해상도에 비해 성능이 우수하며, 최근에는 일반적으로 많이 사용된다. 공간 영역 초해상도 영상복원에는 Interpolation of Nonuniformly-Spaced Sample, Iterative Back-Projection 방법, 확률적 방법, Set Theoretic Methods, Hybrid 방법 등이 있으며, 주파수 영역 초해상도와 비교하면 다음과 같다.

2.3 관측방정식 모델

디지털 영상의 기록과정에서는 자연적인 공간해상도 손실인 열화 현상이 발생하며, 영상의 기하학적 왜곡, 광학/동적 블러링, 불충분한 표본화, 부가적인 잡음에 의해 저해상도 영상으로 기록된다.

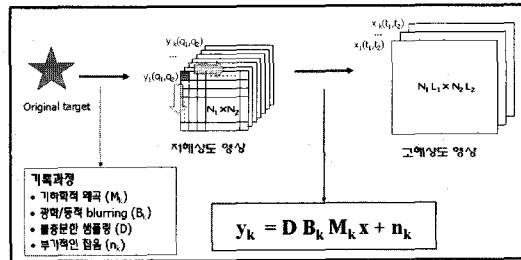


그림 1. 초해상도 관측방정식의 성립

초해상도 영상복원은 이러한 여러 장의 저하된 저해상도 영상을 이용하여 고해상도 영상으로 복원하는 과정으로 다음 행렬 형태의 관측방정식으로 표현할 수 있다.

$$y_k = DB_k M_k x + n_k \quad (1)$$

y_k 는 여러 장의 저해상도 영상, x 는 복원 과정을 통해 얻게 되는 미지의 고해상도 영상을 의미한다.

3. 확률적 접근법을 이용한 초해상도 영상복원

3.1 Stochastic method

초해상도 영상복원 과정은 전형적인 ill-posed 역변환 문제이기 때문에, 표본화 과정의 사전 정보(Priori knowledge)에 대한 고려가 필요하다. 이러한 ill-posed 문제의 해결을 위해서 확률적인 방법이 사용되며, 역변환 문제를 해결하기 위해 통계학적 추정기법들이 사용된다. 특히 베이즈

(Bayesian) 방법이 ill-posed 역변환 문제에 적합한 솔루션으로 알려져 있다.^[3]

3.2 MAP(Maximum A Posteriori)

베이지 추정법(Bayesian estimation)에 기초한 확률적 접근법을 이용한 초해상도 영상복원은 솔루션의 사전 정보를 모델링하기 편리한 것으로 알려져 있다.^[2] 베이지 추정법은 일반적으로 원영상의 사후(Posteriori) 확률 밀도 함수가 수립되었을 경우에 사용되며, 본 연구에서 사용된 MAP(Maximum A Posteriori) 기법은 사후 확률이 최대가 될 때의 해를 의미한다.

$$y_k = Hx + n_k \quad (2)$$

식(2)는 초해상도 영상복원 과정의 일반적인 관측 모델이며, y_k 는 저해상도 영상, H 는 영상 저하 모델, x 는 미지의 고해상도 영상, n_k 는 부가적인 잡음이다.

$$x_{MAP} = \arg \max P(x | y_1, \dots, y_k) \quad (3)$$

MAP를 이용한 해는 식(3)에 사후 확률밀도 함수 $P(x|y_k)$ 가 최대가 되는 해를 구해야 한다.

$$x_{MAP} = \arg \max \{ \ln P(y_1, \dots, y_k | x) + \ln P(x) \} \quad (4)$$

식(3)을 베이지 정리를 이용하여 표현하면, 식(4)와 같이 표현된다. 여기에 사전 영상 모델 $P(x)$ 와 $P(y_k|x)$ 는 HR 영상 x 와 노이즈(n_k)의 통계정보와 관련된 사전 정보에 의해 정의된다. MAP는 사전 제약조건($P(x)$ 로 표현된 사전정보)을 반드시 가지므로 정

규화(안정화)된 초해상도 추정치를 제공한다. 영상의 사전정보 모델링을 위해서는 Markov Random Field(MRF) 방법이 자주 사용된다.

$$P(y_1, \dots, y_k | x) = f_n(y_k - Hx) \quad (5)$$

$$P(x) = \frac{1}{Z} \exp\{-U(x)\} \\ = \frac{1}{Z} \exp\{-\sum \varphi_c(x)\} \quad (6)$$

일반적으로 잡음은 정규분포로 가정되기 때문에, 식(5)와 같이 자연 로그를 제거한 밀도 함수로 표현할 수 있다. MRF를 이용하여 $P(x)$ 는 식(6)과 같이 Gibbs 확률 밀도 형태로 정의되며, Z 는 정규화 상수, $U(x)$ 는 에너지 함수, φ_c 는 영상 픽셀 값의 포텐셜 함수이다. 사전확률 $P(x)$ 가 최대가 되는 확률 변수 x_{MAP} 를 추정하고, 이를 통해 미지의 고해상도 영상 x 를 구한다.

4. 실험

초해상도 구현 실험을 위해 아래와 같은 사양의 CCD 카메라를 이용하였다.

- CCD Camera : UNIQ UC 900
- Frame grabber : imagination pxd-1000

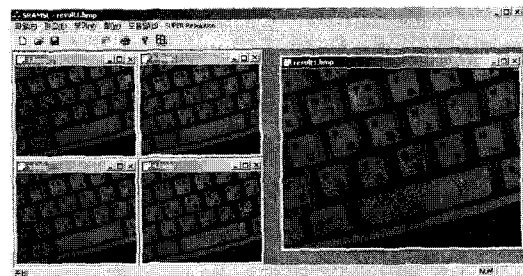


그림 2. 초해상도 구현 S/W(MAP 적용)

촬영된 동일 지역의 영상에 임의로 해상도를 저하시켜 MAP 알고리즘을 적용하여 초해상도를 구현하였다.



그림 3. Nearest neighbor

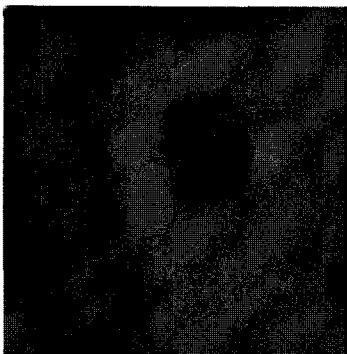


그림 4. Bicubic

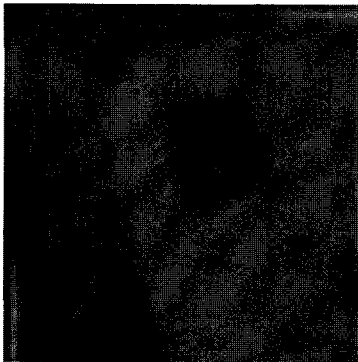


그림 5. MAP

MAP 알고리즘을 적용한 그림 5의 결과와 그림 3, 4의 일반적인 보간법을 사용한 영상 확대 결과를 비교하였다. 그 결과 보간법을 이용한 결과와 확연한 차이는 없지만, MAP 알고리즘을 적용한 결과가 영상의 품질이 약간 우수한 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문을 통해 공간 영역에서 확률적인 방법을 이용하여 초해상도 영상복원을 수행하였다. 그 결과 일반적인 보간법의 결과와 큰 차이를 보이지는 않았지만, MAP 알고리즘을 적용한 초해상도 영상의 해상도 향상이 일어났음을 확인할 수 있었다. MAP 알고리즘의 보완이 필요하며, 선택된 MAP 알고리즘 이외에 공간 영역 및 주파수 영역의 다른 초해상도 알고리즘을 복합적으로 사용하면 더욱 우수한 해상도 향상이 이루어지리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소 영상정보특화센터(IIRC)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. R. C. Gonzalez et al., Digital Image Processing 2nd ed., 2002
2. Moon-ki Kang et al, Super-Resolution Image Reconstruction : A Technical Overview, IEEE Signal Processing Magazine, 2003.5
3. Sean Borman, Topics in Multiframe Superresolution Restoration, Dissertation of Ph.D., 2004.4
4. R. R. Schultz and R. L. Stevenson, A Bayesian approach to image expansion for improved definition, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 3, no. 3, pp. 233 - 242, 1994.