

논문 2012-50-4-17

고해상도 위성영상을 위한 국소영역 공간해상도 향상 기법

(Enhancement of Spatial Resolution to Local Area for High Resolution Satellite Imagery)

강 지 윤**, 김 인 철*, 김 재 희**, 박 중 원***

(Ji-Yun Kang, Ihn-Cheol Kim, Jea-Hee Kim, and Jong Won Park)

요 약

고해상도 위성영상은 기상관측, 지형관측, 원격탐사, 군사시설감시, 문화재보호 등 많은 분야에서 이용된다. 위성영상은 동일한 위성영상 시스템에서 획득한 영상이라 할지라도 하드웨어(광학장치, 위성의 운용고도, 영상 센서 등)의 조건에 따라서 해상도가 저하된 영상들이 발생한다. 따라서 위성이 발사된 이후에는 이러한 해상도가 저하된 영상들의 해상도 향상을 위해서 영상시스템의 하드웨어를 변경하는 것은 불가능하므로 위성영상 자체를 이용하여 해상도를 향상시키는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 저해상도 위성영상을 이용하여 해상도를 향상시키는 방법으로 SR(Super Resolution) 알고리즘을 사용하였다. SR 알고리즘은 다수의 저해상도 영상들의 정합을 통해 영상의 해상도를 향상시키는 알고리즘이다. 하지만 위성영상에서는 동일 지역에 대한 여러 장의 영상을 획득하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 어파인 변환(Affine Transform) 및 투영 변환(Projection Transform)을 적용 후 영상에 대한 기하학적 변화를 보정하여 SR 알고리즘을 수행하였다. 그 결과 SR 알고리즘만 적용한 영상보다 어파인 변환과 투영 변환을 거친 후 SR 알고리즘을 적용한 영상에서 해상도가 확실하게 더 증가되는 것을 확인하였다.

Abstract

The high resolution satellite images are used in many fields such as weather observation, remote sensing, military facilities monitoring, cultural properties protection etc. Although satellite images are obtained in same satellite imaging system, the satellite images are degraded depending on the condition of hardware(optical device, satellite operation altitude, image sensor, etc.). Due to the fact that changing the hardware of satellite imaging system is impossible for resolution enhancement of these degraded satellite after launching a satellite, therefore the method of resolution enhancement with satellite images is necessary. In this paper the resolution is enhanced by using a Super Resolution(SR) algorithm. The SR algorithm is an algorithm to enhance the resolution of an image by uniting many low resolution images, so an output image has higher resolution than using other interpolation methods. But It is difficult to obtain many images of the same area. Therefore, to solve this problem, we applied SR after by applying the affine and projection transform. As a results, we found that the images applied SR after affine and projection transform have higher resolution than the images only applied SR.

Keywords : Super Resolution, Image Registration, Satellite Imagery, Spatial Resolution Enhancement

I. 서 론

고해상도 위성영상은 기상관측, 지형관측, 원격탐사,

군사시설감시, 문화재보호 등 많은 분야에서 사용된다. 위성영상의 공간 해상도는 광학장치, 위성의 운용고도, 영상 센서 등 위성영상시스템에 의해 결정되며, 이미 발사된 위성영상의 공간 해상도를 향상시키기 위해서 위성영상 시스템의 하드웨어를 변경하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 기존 저해상도의 영상으로부터 해상도를 향상시킬 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 해

* 정희원, ** 학생회원, *** 정희원, 충남대학교 정보통신 공학과

(Department of Information Communications Engineering, ChungNam National University)

접수일자: 2012년11월7일, 수정완료일: 2013년3월18일

상도 향상을 위한 대표적인 방법이 SR(Super Resolution) 알고리즘이다.

Super Resolution(SR) 알고리즘은 다수의 영상들을 정합하여 영상 해상도를 향상 시키는 알고리즘이다. 하지만 위성영상의 경우 위성의 촬영 각도의 변화로 인한 영상의 기하학적 변화 때문에 SR 알고리즘을 그대로 적용하기 어려우므로 기하학적 변화를 보정할 수 있는 과정을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 SR 알고리즘을 적용하기 전 국부영역의 기하학적 변환과정으로써 어파인 변환과 투영변환을 실험을 통하여 국부영역의 기하학적 변환이 가능함을 확인 하였고, 위성영상에 SR 알고리즘 적용이 효과적으로 사용할 수 있는 지 확인해 보려고 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장 관련 연구에서의 세부내용으로는 SR 알고리즘들에 대한 종류 및 장·단점을 언급 하고, 위성영상이 SR 알고리즘에 바로 적용이 불가능함을 설명한다. 그리고 위성영상 등록 방법과 위성영상의 국소영역 생성 방법에 대해 설명한다. 그리고 III장에서는 두 가지 실험을 통해 성능을 평가 하였으며, 결론에 대해서는 IV장에서 기술한다.

II. 관련 연구

1. Super Resolution

SR 알고리즘은 유사한 사물이나 지역에 대하여 촬영한 다수의 저해상도 영상을 평균화 방법을 통해 노이즈를 상쇄하여 단일의 고해상도 영상을 획득하는 알고리즘이다. 영상 등록은 다수의 저해상도 영상들 간의 이동(shift), 회전(rotation) 그리고 크기변환(scale)에 관한 정보를 수집하는 단계이며, 영상 재구성 단계는 영상 등록에 의해 수집된 영상 정보로부터 영상 간의 차이를 계산하여 단일의 고해상도 영상을 만드는 단계이다. 영상 재구성의 방법에는 주파수 영역에 의한 방법과 공간 영역에 의한 방법이 있다.^[2]

가. 주파수 영역 접근 방법

주파수 영역(Frequency Domain)에서 고해상도 영상은 저해상도 영상에 비해 고주파 성분을 더 많이 포함하고 있는 영상을 말한다. 영상의 표본화 과정에서는 고주파 성분이 감소되고, 주파수 중첩 현상이 발생하여 영상의 해상도에 영향을 준다. 주파수 영역에서 SR의

대표적인 방법 중 PG(Papoulis-Gerchberg)^[3] 방법은 원본 영상에 대한 불충분한 표본화에 의해 발생하는 앨리어싱을 제거하기 위해 이상적인 저역통과 필터를 사용하여 고해상도 영상을 얻는 방법이다. 그러나 저역통과 필터를 사용하기 때문에 링잉(ringing) 현상이 나타나는 단점을 가지고 있다.

나. 공간 영역 접근 방법

공간 영역(Spatial Domain)에서 SR 방법은 저해상도 영상들의 픽셀들을 고해상도 영상 픽셀 격자에 직접적으로 매칭 시킴으로써 해상도의 향상을 이루는 방법이다. 공간 영역에서 대표적인 SR 방법에는 IBP(Iterative back projection)^[4], RSR(Robust Super Resolution)^[5], POCS(Projection onto convex sets)^[6] 그리고 SANC(Structure adaptive normalize convolution)^[7] 방법이 있다.

IBP와 RSR 방법은 각 영상의 에지 성분의 합과 중간 값을 이용하여 고해상도 영상을 얻는 방법이므로 각 영상의 에지의 특성을 잘 보존할 수 있지만 노이즈가 강조되고 영상에 왜곡이 발생하는 단점이 있다. POCS 방법은 고주파 영역에서의 상관성이 높은 특성을 이용하여 영상을 주파수 영역으로 변환한 뒤, 저해상도 영상들 간의 투영을 통해 왜곡을 보정하는 방법이다. POCS 방법은 Bilinear 보간법을 사용함으로 계산량이 적고 구현이 쉬운 장점이 있는 반면에 영상의 특징을 고려하지 않기 때문에 왜곡이나 에지가 없는 부분에 에지가 발생하는 단점이 있다. SANC는 영상의 구조정보를 이용하여 고해상도 영상을 얻는 방법이므로 각 영상의 에지를 잘 보존할 수 있는 장점이 있지만 계산량이 많고, Nearest neighbor 보간법을 사용하기 때문에 앨리어싱이 나타나는 단점이 있다. 위와 같은 SR 알고리즘의 실험 결과는 IV장에서 확인 할 수 있다.

2. 위성영상의 특성

위성영상은 영상획득 시 위성의 자세변화나 지구의 자전, 태양 각, 계절 그리고 시간 등의 다양한 원인으로 인한 영상의 왜곡 및 픽셀값의 변화가 발생하게 된다. 그림 1(a)~(e)는 동일한 위치의 지상 물체를 촬영한 위성영상이고, (f)는 획득된 각각의 위성영상에 대한 pixel 값과 거리 측정 방법으로써 A~D는 물체의 크기이고, E 좌표의 측정된 pixel값이다. 표 1은 그림 1의 (a)~(e)

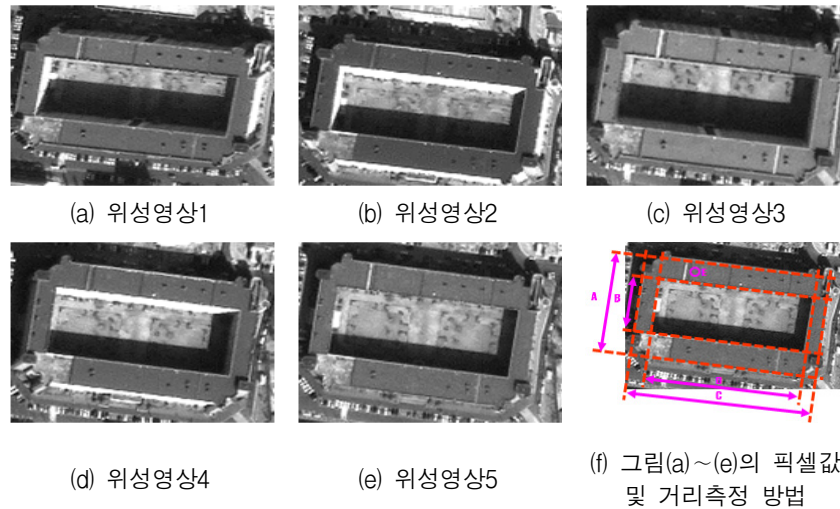


그림 1. 위성 촬영 각과 태양 각의 변화에 따른 동일 지역에 대한 위성영상
Fig. 1. satellite imagery about same area for the satellite angle and solar angle.

표 1. 그림 1에 대한 픽셀값과 픽셀 크기
Table 1. pixel value and size about Fig. 1.

구분	위성 영상1	위성 영상2	위성 영상3	위성 영상4	위성 영상5
A	212.17	216.22	217.743	217.69	217.70
B	294.55	292.70	297.94	293.89	289.28
C	349.59	351.07	347.08	346.80	320.19
D	125.00	124.27	116.34	122.52	122.32
E	108	76	139	104	120

각각의 위성영상에 대해 pixel 값과 거리를 측정하여 나타낸 표이다.

표 1을 확인해 보면 위성영상1 ~ 위성영상5의 거리 값과 pixel값이 다르므로 SR 알고리즘을 적용이 불가능하다. 그러므로 본 논문에서는 영상 등록(image registration)을 통해 기하보정을 한 후에 SR 알고리즘을 적용한다.

3. 영상 등록 (Image Registration)

영상 등록은 다른 촬영 위치, 다른 시간에 촬영된 둘 이상의 영상에서 동일 영역을 하나의 좌표계로 표현하는 방법으로서 여러 가지 데이터의 조합을 이용하는 SR에 있어 매우 중요한 전처리 과정이다.

영상 기하보정은 사용자가 직접 기준 영상과 기하보정을 수행할 영상으로부터 특징(Feature)을 추출하여 각기 다른 영상 사이의 기하학적 관계를 추정하는 기법

으로 어파인 변환^[8]과 투영 변환^[9]이 있다.

가. 어파인 변환

어파인 변환은 이동(translation), 회전(Rotation) 그리고 크기변환(scale)의 왜곡을 보정할 수 있다. 어파인 변환은 식 (1)과 같이 간단하게 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (2)는 어파인 변환의 오차를 줄이기 위해 최소제곱법(least squares method)을 사용하여 어파인 변환 파라미터를 결정하는 공식이다.

$$\begin{aligned} Err_x &= \sum_{i=1}^n \{x' - a_1x + a_2y + a_5\}^2 \\ Err_y &= \sum_{i=1}^n \{y' - (a_3x + a_4y + a_6)\}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

영상의 이동, 크기변환 등의 왜곡이 포함된 위성영상의 보정을 위해 식 (2)를 이용하여 어파인 파라미터를 구하였다. 먼저 그림 2와 같이 동일한 지역이 포함된 512×512 크기의 IKONOS 1m급 Panchromatic 5장에서 SR 알고리즘을 적용할 국소 영역은 자연에 영향을 적게 받는 건물의 지붕부분을 선택 하였고 건물의 12개의 모서리 점들을 수동으로 추출하였다. 다음으로 그림 2(a)를 기준 영상으로 설정하여 (b)~(f)에서도 각각 12개의 모서리 점들을 최소제곱법을 이용하여 표 2와 같

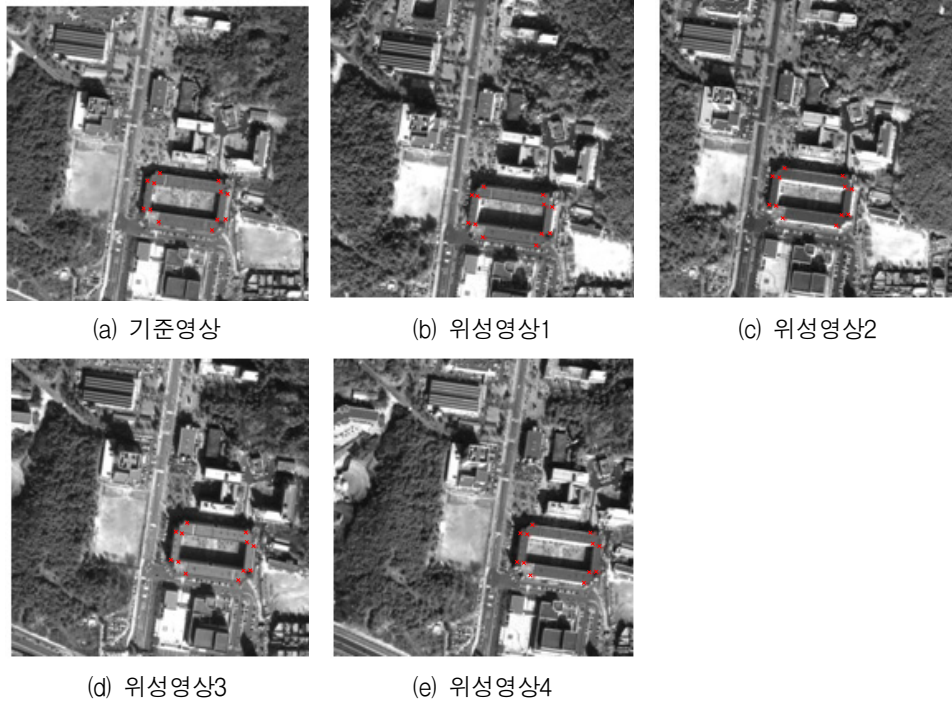


그림 2. (a) 기준영상의 모서리 점 (b)-(e) 각 영상의 모서리 점
 Fig. 2. (a) corner points of reference image. (b)-(e) corner points of each image.

표 2. 그림 2에 대한 어파인 변환 파라미터 값
 Table 2. affine parameters of Fig. 2.

영상 \ 파라미터	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
위성영상1	1.0004	-0.0016	1.0774	0.0015	0.9897	35.8506
위성영상2	0.9979	-0.0004	-42.9559	-0.00015	0.9823	6.1308
위성영상3	1.0010	0.0040	42.5489	-0.0027	0.9916	-2.1786
위성영상4	0.9987	0.0024	84.4041	0.0013	0.9876	0.3054

표 3. 어파인 변환 파라미터의 평균제곱근오차
 Table 3. RMSE of affine transform parameters.

구분	위성영상1	위성영상2	위성영상3	위성영상4
RMSE _x	0.5272	0.5104	0.6132	0.4986
RMSE _y	0.7884	0.5069	0.9044	0.5064

이 어파인 변환 파라미터를 구하였다.

다음으로 최소제곱법을 이용하여 구한 어파인 변환 파라미터들의 정확도를 분석하기 위해 평균제곱근오차(RMSE:root mean square error)를 사용하였다. RMSE ≤ 1이면 어파인 변환에 의해 영상을 정합가능한데, 표 2의 값과 식 (2), (3)으로부터 RMSE를 구했을 때 표 3과 같이 RMSE ≤ 1인 것을 확인하였고, 따라서 어파인 변환을 이용하여 영상을 정합할 수 있다는 것을 확인하

였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Err_{x \text{ or } y}} \tag{3}$$

나. 투영 변환

투영 변환은 어파인 변환과 달리 이동, 크기변환 뿐만 아니라 회전과 투영 왜곡까지 보정 할 수 있다. 투영 변환의 공식은 식 (4)와 같다. 투영변환 또한 어파인 변환과 같이 변환의 오차를 줄이기 위해 최소제곱법을 사용하여 투영 변환 파라미터를 결정한다.

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$x' = \frac{x_p}{z_p} = \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32}y + 1}$$

$$y' = \frac{y_p}{z_p} = \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32}y + 1} \tag{4}$$

그림 2의 각 영상에서 추출된 12개의 특징들을 이용하여 표 4와 같이 투영 변환 파라미터를 구하였다.

최소제곱법을 이용하여 구한 투영 변환의 파라미터들의 정확도를 분석하기 위해 평균제곱근오차를 사용하

였고, 오차가 표 5와 같이 subpixel 이하로 나타나는 것을 확인하였다. 즉, 투영 변환을 이용하여 영상을 정합할 수 있다는 것을 확인하였다.

표 4. 그림 2에 대한 투영 변환 파라미터
Table 4. projection parameters of Fig. 2.

영상 파라미터	위성영상1	위성영상2	위성영상3	위성영상4
a_{11}	0.9602	1.0520	0.9543	0.9543
a_{12}	0.0032	0.0051	0.0365	0.0367
a_{13}	6.0160	52.291	43.540	43.5398
a_{21}	0.0261	0.0287	0.0426	0.0426
a_{22}	0.9779	1.0207	1.0178	1.0178
a_{23}	9.7545	4.5483	0.5541	0.5541
a_{31}	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
a_{32}	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001

표 5. 투영 변환 파라미터의 평균제곱근오차
Table 5. RMSE of projection transform parameters.

구분	위성영상1	위성영상2	위성영상3	위성영상4
RMSE _x	0.5185	0.4028	0.5376	0.4130
RMSE _y	0.7975	0.4996	0.9094	0.4990

III. 실험

본 논문에서는 실험으로 실제 위성에서 서로 다른 시간에 획득한 5장의 영상을 이용한 실험을 하였다. 위성 영상은 같은 대상이라도 촬영 각이 달라 완벽하게 동일한 장면의 영상을 획득하기 어려우므로 본 논문에서는 국소영역 영상을 이용하였다. 또한 위성영상은 촬영 각과 태양 각에 변화로 인한 기하학적 왜곡이 포함되어 있으므로 III장에서 계산한 어파인 변환 파라미터와 사영 변환 파라미터를 이용하여, 건물의 지붕부분인 국소

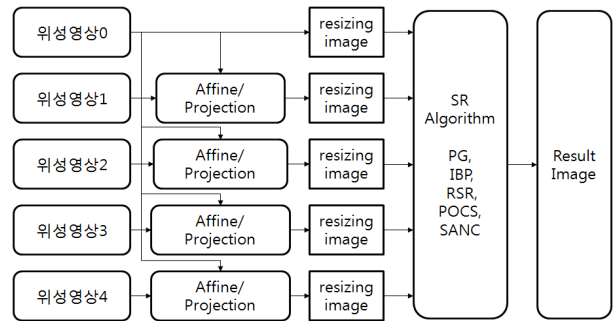
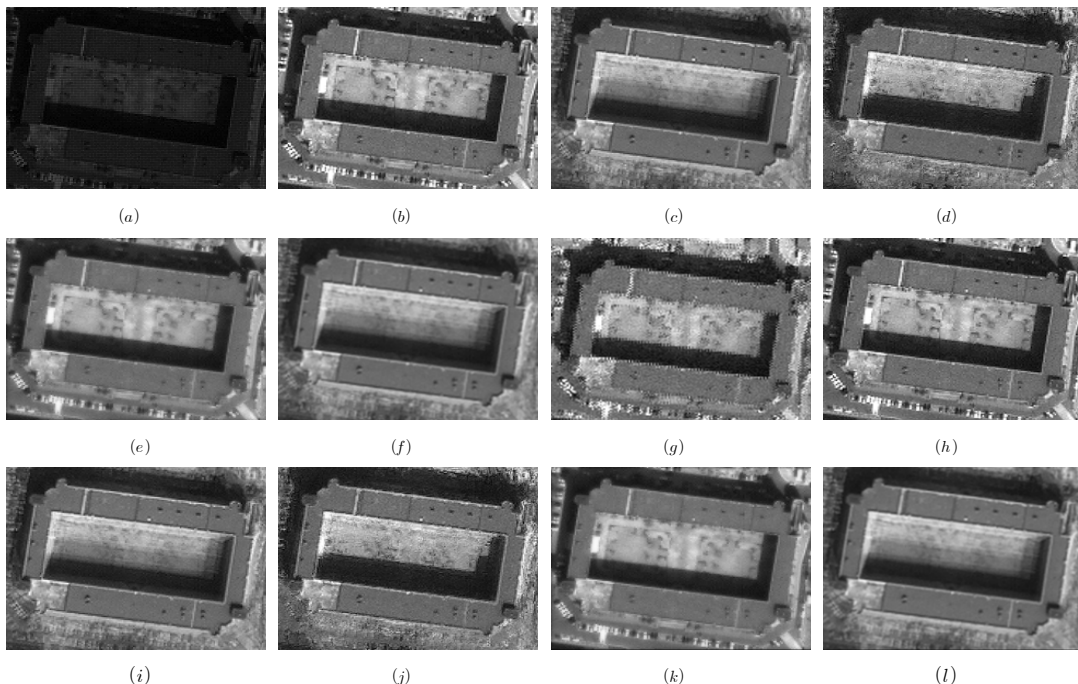


그림 3. 실험을 위한 흐름도
Fig. 3. Flowchart for the experiment.



어파인 변환 결과 영상을 이용한 확대 결과 (a) PG, (b) Bilinear, (c) IBP, (d) RSR, (e) POCS, (f) SANC
사영 변환 결과 영상을 이용한 확대 결과 (g) PG, (h) Bilinear, (i) IBP, (j) RSR, (k) POCS, (l) SANC

그림 4. 실제 위성영상을 이용한 결과 영상
Fig. 4. Result Image using real Satellite Image.

영역 영상에 대하여 왜곡을 보정한 후 SR 알고리즘을 적용하였다. 그림 3은 실험의 흐름도를 보여주고 있다.

5장의 위성영상에 SR 알고리즘을 적용한 결과 영상은 기준 상이 없기 때문에 PSNR과 SSIM 비교가 불가하므로 Bilinear 보간법을 적용한 영상을 기준 영상으로 선정하여 비교하였다.

그림 4의 (a)~(f)는 어과인 변환 결과 영상에 PG, Bilinear 보간법, IBP, RSR, POCS, SANC를 적용한 결과 영상이고 (g)~(l)은 사영 변환 결과 영상에 SR을 적용한 결과 영상이다. Bilinear 보간법이 적용된 영상에 비해 SR이 적용된 영상은 지붕 부분의 검은 무늬가 뚜렷하게 나타났으며 에지 부분 또한 뚜렷하게 표현 되는 것을 확인 할 수 있다.

IV. 결 론

위성영상은 촬영 각, 태양 각, 계절 등의 변화로 인해 동일 장면의 다수의 저해상도 영상을 얻을 수 없고, 기하학적 왜곡이 포함되어 있으므로 SR(Super Resolution) 알고리즘을 바로 적용하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 전체적으로 동일한 영상의 획득이 어려우므로 국소 영역 영상을 사용하였다. 실제 위성에서 서로 다른 시간에 획득한 국소 영역 영상에 대해서 어과인 변환과 사영 변환을 이용하여 기하학적 왜곡을 보정한 후 SR을 적용하여 비교하였다. 객관적인 비교가 불가능하기 때문에 Bilinear 보간법을 적용한 결과와 각 SR 적용 결과 영상들과 비교하였다. 그 결과 Bilinear 보간법이 적용된 영상에 비해 SR 알고리즘이 적용된 영상은 지붕 부분의 검은 무늬가 뚜렷하게 나타났으며 에지 부분 또한 뚜렷하게 표현 되는 것을 확인 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 고해상도 위성영상을 위한 국소영역 공간해상도 향상 기법은 위성영상 5장에서 국부영역을 수동으로 모서리 점을 추출하지만 차후 연구에서는 자동으로 모서리 점을 추출 연구와 위성영상을 대상으로 하는 SR algorithm, single frame SR algorithm, 다른 registration 기법들에 대한 연구도 병행되어야 할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] S. M. Park, M. K. Park, M. G. Kang, "Super-Resolution Image Construction: A Technical Overview," *IEEE signal processing magazine*, pp. 21-36, 2003.
- [2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing* 2nd ed., 2002.
- [3] D. Jain. "Superresolution using Papoulis-Gechberg Algorithm," *Digital Video Processing*, 2005.
- [4] M. Irani and S. Peleg, "Improving resolution by image registration," *CVGIP: Graphical Models and Image Proc.*, vol. 53, pp. 231-239, May 1991.
- [5] A. Zomet, A. Rav-Acha, S. Peleg, "Robust Super-Resolution," *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 645-650, 2001.
- [6] A. M. Tekalp, *Digital Video Processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.
- [7] T. Q. Pham, L. J. van Vliet, and K. Schutte, "Robust fusion of irregularly sampled data using adaptive normalized convolution," *EURASIP J. Appl. Signal Process.*, article ID 83268, 2006.
- [8] D. Zwillinger(Ed.), *Affine Transformation*, 4.3.2 in *CRC Standard Mathematical Tables and Formulae* 31st ed, Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 265-266, 1995.
- [9] R. Hartley, A. Zisserman, *Multiple View Geometry in computer vision*, Cambridge Univ. Press, pp. 32-33, 2003.
- [10] F. Li, X. Jia, D. Fraser, and A. Lambert, "Super resolution for remote sensing images based on a universal Hidden Markov Tree model," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, pp. 1270 - 1278, Mar. 2010.
- [11] J. L. Moigne, N. S. Netantahu, R. D. Eastman, *Image Registration for Remote Sensing*, Cambridge Univ. Press, 2011.
- [12] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error measurement to structural similarity," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 13, no. 4, pp. 600 - 612, Apr. 2004.
- [13] B. Girod, What's wrong with mean-squared error, in *Digital Images and Human Vision*(A. B. Watson, ed.), pp. 207-220, the MIT press, 1993.

저 자 소 개



강 지 운(학생회원)
2010년 건양대학교 의공학과
학사 졸업.
2011년 충남대학교 정보통신공학과 석사 과정.

<주관심분야 : 영상처리, 의학영상, 병렬처리 >



김 인 철(정회원)
1981년 단국대학교 전자공학과
학사 졸업.
1985년 단국대학교 전자공학과
석사 졸업.
2010년 충남대학교 정보통신
공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 영상처리, 위성영상 >



김 재 희(학생회원)
1998년 영산대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2006년 울산대학교 교육대학원
전자계산전공
석사 졸업.
2010년 충남대학교 정보통신
공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 영상처리, 병렬 처리 >



박 종 원(정회원)-교신저자
1979년 충남대학교 전자공학과
학사 졸업.
1981년 한국과학기술원 전산학과
석사 졸업.
1991년 한국과학기술원 전산학과
박사 졸업.

1983년~1993년 충남대학교 전산학과 부교수
1994년~현재 충남대학교 정보통신공학과 교수
<주관심분야 : 영상처리, 병렬처리, 의학영상>