

## 에지 방향 정보 기반 인공위성영상 융합

\*진보라 \*\*조남익

서울대학교 전기컴퓨터 공학부

\*idealgod@ispl.snu.ac.kr \*\*nicho@snu.ac.kr

## Satellite image fusion using edge-orientations

\*Bora Jin \*\*Nam-Ik Cho

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

## 요약

본 논문에서는 고해상도 펜크로메틱 영상과 저해상도 다중분광 영상을 융합하기 위하여 고해상도 펜크로메틱 영상에서 MRF 모델링을 기반으로 에지 방향 정보를 추출하는 방식과 추출된 에지 방향 정보 및 고해상도 펜크로메틱 영상의 기울기 정보를 이용하여 위성영상을 융합하는 방법을 제안한다. 에지 방향 추출은 레이블링(labeling) 문제로 다루어 처리하는데, 이는 MRF 모델링을 통하여 에너지 함수를 설계하고 최소화시킴으로써 풀 수 있다. 또한 고해상도 다중분광 영상 합성 시, 저해상도 다중분광영상의 픽셀 값을 경계조건으로 하고 펜크로메틱의 기울기 및 에지 정보를 이용하여 선형방정식을 세워서 풀어 내는데, 이를 통하여 색상왜곡을 줄일 수 있으며 영상의 세부 부분을 더 잘 표현할 수 있다. 실험 결과, 제안하는 방법이 기존 방식에 비하여 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

## 1. 서론

인공위성영상 융합은 밝기 정보를 제공하는 고해상도 펜크로메틱 (high resolution panchromatic) 영상과 R, G, B, 또는 근적외선(NIR) 등의 색상 정보를 제공하는 저해상도 다중분광 (low resolution multispectral) 영상을 융합하여 고해상도의 다중분광(high resolution multispectral) 영상을 합성시키는 과정이다. 이는 인공위성의 영상취득 시스템의 여러 물리적인 제약을 해결하기 위하여 필요한 단계이며 최근까지도 많은 연구가 진행되고 있다.[1-2]

이러한 위성영상 융합방식에는 대표적으로 IHS (Intensity hue saturation) 기반 방식[3], 웨이블릿(Wavelet) 기반 방식[4]이 있다. IHS 방식은 저해상도 R, G, B 채널 영상을 각각 고해상도 펜크로메틱 영상 P와 동일한 크기로 보간한 후 이 RGB채널을 IHS성분으로 변환시키고, I성분을 P 영상으로 교체하여 RGB 공간으로 역변환 시킴으로써 고해상도의 컬러영상을 얻는데, 이 방식은 단순하고 계산량이 적어 많이 사용되고 있다. 또한 웨이블릿 기반 방식은 P 영상을 입력영상을 하여 웨이블릿 필터에 통과시켜 얻은 결과영상을 입력영상에서 빼주는 과정을 반복하여 웨이블릿 평면으로 분해시켜 이를 이용하고 있다. 구체적으로 P 영상의 웨이블릿 평면으로 저해상도 다중분광영상의 웨이블릿 평면을 대체하거나(substitution 방식), P 영상의 웨이블릿 평면을 저해상도 다중분광영상에 더해줌으로써(additive 방식) 고해상도 다중분광 영상을 얻는다. 이러한 웨이블릿 방식의 경우 계산량은 IHS 방식에 비해 많은 편이나 더 우수한 성능을 나타내고 있어 이를 기반으로 하여 수정된 방식이 많이 제안되고 있다. 그럼에도 불구하고 IHS 방식이나 웨이블릿 기반 방식 같은 기존 방식의 경우 P영상이 RGB의

밝기 영상과 그대로 일치하지 않기 때문에 색상정보를 왜곡시키는 문제점이 있고, 고해상도 영상이 보다 세부적인 부분도 표현할 수 있도록 하기 위해서 여전히 개선이 필요하다. 이에 따라 기존 방식과 전혀 다른 방식의 융합방식도 시도되고 있는데, 특히 [5]에서는 저해상도 다중분광 영상의 정보를 그대로 사용하기 위해 기울기 필드에서 Poisson 방정식을 이용한 융합방식이 제안되기도 하였다.

따라서 본 논문에서는 고해상도 펜크로메틱 영상과 저해상도 다중분광 영상을 융합하기 위하여 고해상도 펜크로메틱 영상에서 MRF 모델링을 기반으로 에지 방향 정보를 추출하는 방식과 추출된 에지 방향 정보 및 고해상도 펜크로메틱 영상의 기울기 정보를 이용하여 위성영상을 융합하는 방법을 제안한다. 구체적으로, 에지 정보 추출을 위해서는 에지 방향을 구하는 문제를 레이블링(labeling) 문제로 다루어 처리하는데, 즉 MRF 모델링을 통하여 에너지 함수를 설계하고 최소화시킴으로써 문제를 해결한다. 또한 합성된 고해상도 다중분광영상이 P영상의 기울기 값을 따르되, 에지 방향으로 픽셀 값의 차이가 적도록 선형 방정식을 세우고 이를 풀어낸다. 이때 저해상도 다중분광영상의 픽셀 값이 샘플링된 것으로 보고 이를 경계조건으로 이용함으로써 색상 왜곡을 줄일 수 있으며[5], 동시에 영상의 해상도도 높일 수 있다. 이는 제안한 알고리즘으로 실험한 결과를 통해 확인할 수 있다.

## 2. 제안하는 알고리즘

고해상도 펜크로메틱 영상(P 영상)의 에지 방향 정보 추출을 위해서는 각각의 픽셀  $p = (p_x, p_y)$ 를 통과하는 에지를 한 쌍의 픽셀  $(p_U, p_L)$ 로 정의하고 이를 구하는 레이블링(labeling)문제로 처리한다.

즉 MRF 모델링을 기반으로 다음과 같은 에너지 함수를 설계하고 이를 최소화시킴으로써 문제를 해결한다.

$$E(f) = \sum_{\mathbf{p} \in M} D(f_{\mathbf{p}}) + \lambda \sum_{\mathbf{p}, \mathbf{q} \in B} V(f_{\mathbf{p}}, f_{\mathbf{q}})$$

위 식에서  $D(f_{\mathbf{p}})$ 는 데이터 항(data term),  $M$ 은 모든 픽셀의 집합, 이웃한 픽셀의 레이블을 유사하도록 해주는  $V(f_{\mathbf{p}}, f_{\mathbf{q}})$ 는 스무드 항(smoothness term)을 뜻하고 위, 아래, 좌, 우 네 개의 픽셀을 각각의 이웃 항으로 정의한다. 데이터 항은 각각의  $\mathbf{p}$  에서 예지를 구성하는 픽셀( $\mathbf{p}_U, \mathbf{p}_L$ )에 대하여 이들을 중심으로 하는 패치 영역에서의 밝기와 기울기 값이 서로 그리고  $\mathbf{p}$ 와 얼마나 일치하는지를 나타내는 척도이다. 이들은 밝기  $I_{\mathbf{p}}(x, y)$ 와 기울기  $G(x, y)$ 의 편차제곱합의 가중치 결합을 이루며 다음과 같다.

$$D(f_{\mathbf{p}}) = w_1 D_1(f_{\mathbf{p}}) + w_2 D_2(f_{\mathbf{p}})$$

$$D_1(f_{\mathbf{p}}) = \sum_m \sum_n [(I_{\mathbf{p}}(p_x + m, p_y + n) - I_{\mathbf{p}}(p_{Ux} + m, p_{Uy} + n))^2 + (I_{\mathbf{p}}(p_x + m, p_y + n) - I_{\mathbf{p}}(p_{Lx} + m, p_{Ly} + n))^2 + (I_{\mathbf{p}}(p_{Ux} + m, p_{Uy} + n) - I_{\mathbf{p}}(p_{Lx} + m, p_{Ly} + n))^2]$$

$$D_2(f_{\mathbf{p}}) = \sum_m \sum_n [(G(p_x + m, p_y + n) - G(p_{Ux} + m, p_{Uy} + n))^2 + (G(p_x + m, p_y + n) - G(p_{Lx} + m, p_{Ly} + n))^2 + (G(p_{Ux} + m, p_{Uy} + n) - G(p_{Lx} + m, p_{Ly} + n))^2]$$

또한  $V(f_{\mathbf{p}}, f_{\mathbf{q}})$ 는 인접한 픽셀끼리 유사한 예지 방향성을 갖도록 해 줌과 동시에 예지가 교차할 경우 패널티를 주는  $T(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ 를 포함하고 있다.

$$V(f_{\mathbf{p}}, f_{\mathbf{q}}) = T(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \times \min(\sqrt{(p_{Ux} - p_{Lx})^2 + (p_{Uy} - p_{Ly})^2})$$

이와 같이 정의된 에너지 함수는 Graph cuts[6]를 통하여 최소화시키고 각각의 픽셀에 대한 예지 방향을 구할 수 있다.

예지 방향 정보를 얻게 되면, 팬크로매틱 영상의 기울기에 따르면 예지 방향으로의 픽셀차이가 최소화되도록 선형방정식을 세우고 이를 풀어냄으로써 융합된 다중분광 영상을 구한다. 이때 저해상도 R, G, B 채널 영상을 각각 샘플링된 지점에서의 경계조건으로 함으로써 색상 왜곡을 줄이는데, 픽셀 값을 구하기 위한 선형 방정식은 다음과 같다.

$$\text{for } \forall \mathbf{p} = (p_x, p_y) \in M, \quad \min_{\mathbf{p}} f$$

$$f = \sum_{\mathbf{p}} \sum_{\mathbf{q}} (I(\mathbf{p}) - I(\mathbf{q}) - I_{\mathbf{p}}(\mathbf{p}) + I_{\mathbf{p}}(\mathbf{q}))^2$$

$$\mathbf{q} \in N_{\mathbf{p}}, \quad N_{\mathbf{p}} = \{(p_x - 1, p_y), (p_x + 1, p_y), \mathbf{p}_U, \mathbf{p}_L\}$$

### 3. 실험결과

제안하는 알고리즘을 이용한 실험결과는 그림 1과 같다. 실험을 위하여 IKONOS 위성으로부터 취득한 원본 팬크로매틱 영상과 다중스펙트럼 R, G, B 영상을 1/2로 축소하여 영상 융합을 수행한 후, 원본 다중스펙트럼 영상과의 PSNR을 비교하였다. 그림 1에서와 같이 제안하는 방식의 PSNR이 28.4398 dB로, AWRGB 방식[4]의 27.7869 dB나 Poisson 융합 방식[5]의 27.8634 dB보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

### 4. 결론

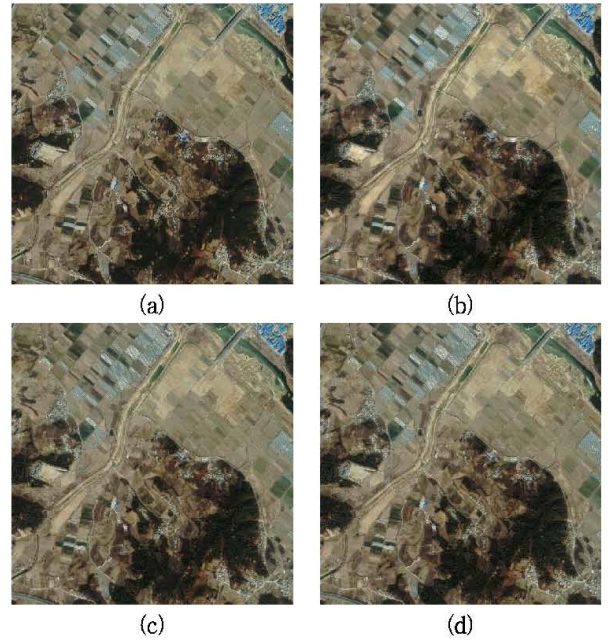


그림 1 위성영상 융합 결과 (a) 원본 다중스펙트럼 영상 (b) AWRGB [4] 결과 (27.7869 dB) (c) Poisson 융합[5] 결과 (27.8634 dB) (d) 제안하는 방식 결과 (28.4398 dB)

본 논문에서는 고해상도 팬크로매틱 영상에서 예지 정보를 추출하고 구한 예지 정보 및 기울기 정보와 저해상도 다중분광 영상의 픽셀 값을 이용하여 위성영상을 융합하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 예지 방향을 이용함으로써 예지부분의 왜곡을 줄이고 다중분광 영상이 각 채널마다 다른 경계조건을 이용하여 영상을 합성함으로써 색상왜곡을 줄일 수 있었다. 실험결과를 통하여 제안하는 알고리즘이 색상정보와 공간해상도 모두 개선시켰음을 확인 할 수 있다.

### 참고문헌

[1] Y. Zhang, "Understanding image fusion," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, Vol. 70, no. 6, pp. 657-661, June 2004.

[2] Z. Wang, D. Ziou, C. Armenakis, D. Li, and Q. Li, "A comparative analysis of image fusion methods," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 43, no. 6, pp. 1391-1402, June 2005.

[3] J. W. Carper, T. M. Lillesand, and R. W. Kiefer, "The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 56, pp. 459-467, 1990.

[4] J. Nunez, X. Otazu, O. Fors, A. Prades, V. Pala, and R. Arbiol, "Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol.37, no.3, pp.1204-1211, May 1999.

[5] J. Wen, Y. Li, and H. Gong, "Remote Sensing Image Fusion on Gradient Field," *International Conference on Pattern Recognition(ICPR)*, 2006.

[6] Y. Boykov, O. Veksler, and R. Zabih, "Fast Approximate Energy Minimization via Graph Cuts," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 11, pp. 1222-1239, Nov. 2001.