



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년09월29일

(11) 등록번호 10-2160687

(24) 등록일자 2020년09월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 5/50 (2006.01) *G06T 5/00* (2019.01)
G06T 5/20 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G06T 5/50 (2013.01)
G06T 5/002 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0059334

(22) 출원일자 2019년05월21일

심사청구일자 2019년05월21일

(56) 선행기술조사문헌

KR101252680 B1

KR101750390 B1

KR1020160106439 A

(73) 특허권자

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)

(72) 발명자

전광길

인천광역시 연수구 경원대로119번길 21, 114동
904호(동춘동, 연수2차풍림아파트)

(74) 대리인

특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 3 항

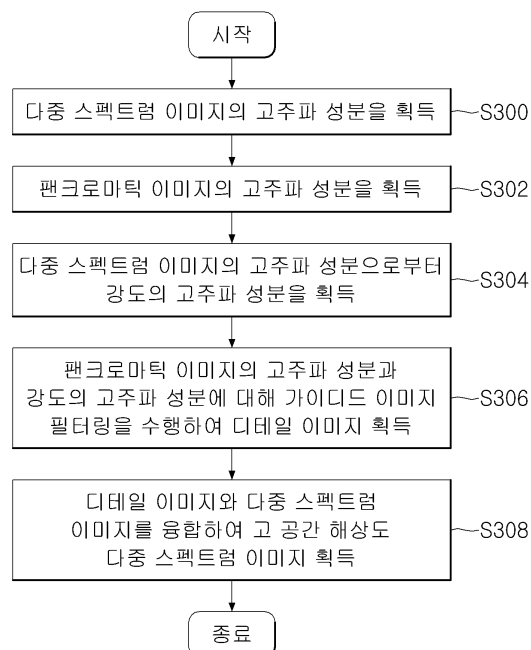
심사관 : 김광식

(54) 발명의 명칭 항공 이미지 융합 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은, (A) 양방향 필터링에 기반하여 다중 스펙트럼(MS: multispectral) 이미지로부터 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계; (B) 양방향 필터링에 기반하여 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지로부터 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계; (C) 상기

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3

다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분에 적응형 강도-색조-채도(AIHS: adaptive intensity-hue-saturation) 기반 방법을 적용하여 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분의 근사치인 강도(intensity)의 고주파 성분을 획득하는 단계; (D) 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분과 상기 강도의 고주파 성분에 대한 가이드드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)에 기반하여 디테일 이미지를 획득하는 단계; 및 (E) 상기 다중 스펙트럼(MS) 이미지와 상기 디테일 이미지를 융합하여 고 공간 해상도 다중 스펙트럼(HMS: high spatial resolution multispectral) 이미지를 생성하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G06T 5/20 (2013.01)

G06T 2207/10032 (2013.01)

G06T 2207/20028 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

- (A) 양방향 필터링에 기반하여 다중 스펙트럼(MS: multispectral) 이미지로부터 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계;
- (B) 양방향 필터링에 기반하여 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지로부터 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계;
- (C) 상기 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분과 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분의 근사치인 강도(intensity)의 고주파 성분을 획득하는 단계;
- (D) 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분과 상기 강도의 고주파 성분과에 대한 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)에 기반하여 디테일 이미지를 획득하는 단계; 및
- (E) 상기 다중 스펙트럼(MS) 이미지와 상기 디테일 이미지를 융합하여 고 공간 해상도 다중 스펙트럼(HMS: high spatial resolution multispectral) 이미지를 생성하는 단계를 포함하며,

상기 단계 (C)는,

$$\min_{\alpha_1, \dots, \alpha_N} \left\| PAN^H - \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H \right\|^2 \quad s.t. \alpha_1 \geq 0, \dots, \alpha_N \geq 0 \quad I^H = \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H$$

최적화 함수를 만족하는, 를

구함으로써 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분의 근사치인 강도(intensity)의 고주파 성분(I^H)을 획득하는 단계를 포함하고,

MS_i^H 는 상기 다중 스펙트럼 이미지의 i 번째 대역의 고주파 성분을 나타내며, PAN^H 는 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분을 나타내고, α_i 는 상기 다중 스펙트럼 이미지의 i 번째 밴드의 적응 계수이며, N 은 양의 정수인, 다중 스펙트럼 이미지와 팬크로마틱 이미지를 포함하는 항공 이미지 융합 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 단계 (D)는,

- (D-1) 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분과 상기 강도의 고주파 성분과에 대해 제1 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)을 적용하는 단계;
- (D-2) 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분에서 제1 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력을 감산하여 제1 디테일(detail) 이미지를 획득하는 단계;
- (D-3) 상기 제1 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력과 상기 강도의 고주파 성분과에 대해 제2 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)을 적용하는 단계;
- (D-4) 상기 제1 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력에서 상기 제2 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력을 감산하여 제2 디테일(detail) 이미지를 획득하는 단계; 및
- (D-5) 상기 제1 디테일 이미지와 상기 제2 디테일 이미지를 병합하여 최종 디테일 이미지를 획득하는 단계를 포함하는, 다중 스펙트럼 이미지와 팬크로마틱 이미지를 포함하는 항공 이미지 융합 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 단계 (A)는,

(A-1) 양방향 필터링에 기반하여 다중 스펙트럼(MS: multispectral) 이미지로부터 상기 다중 스펙트럼 이미지의 저주파 성분을 획득하는 단계; 및

(A-2) 상기 다중 스펙트럼(MS: multispectral) 이미지에서 상기 다중 스펙트럼 이미지의 저주파 성분을 감산하여 상기 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계를 포함하고,

상기 단계 (B)는,

(B-1) 양방향 필터링에 기반하여 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지로부터 팬크로마틱 이미지의 저주파 성분을 획득하는 단계; 및

(B-2) 상기 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지에서 상기 팬크로마틱 이미지의 저주파 성분을 감산하여 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계를 포함하는, 다중 스펙트럼 이미지와 팬크로마틱 이미지를 포함하는 항공 이미지 융합 방법.

청구항 4

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 항공 이미지 융합 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 위성 이미지와 같은 항공 이미지는 지구의 표면 구조와 내용을 묘사하는 지도, 환경 모니터링, 농업 재해 탐지 등의 많은 응용 분야에서 널리 사용된다. 그러나 전자기 스펙트럼의 상이한 부분들을 추출할 때 몇 가지 한계 때문에 인공위성 센서는 높은 공간 해상도 이미지 및 높은 스펙트럼 해상도 이미지를 동시에 제공할 수 없다 (Zhang 2004; Simone 외. 2002; Wu 외 2016). 따라서, 다중 스펙트럼(MS: multispectral) 이미지와 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지를 융합하는 많은 방법이 제안되었으며, 이는 팬샤프닝으로 명명된다.

[0003] 팬샤프닝은 위성 이미지의 시각적 인식을 향상시킬 수 있다. 보완 정보는 두 가지 다른 해상도의 위성 이미지에서 가져온 것이므로 병합할 수 있다. 또한 팬샤프닝(panharpening)에 대한 많은 응용 분야는 스마트 시티의 스트리트 뷰 이미지(Gebru 외 2017, Javidnia and Corcoran 2017, Chen 등 2016, Tao 외 2018)와 스마트 환경에서의 위성 지도 시각화(Miao 외 2016, Ferster and Coops 2016)와 같은 극한의 이미징 환경을 해결하기 위한 것이다. 현재 센싱 데이터는 날씨 예보 시 IoT 시스템을 사용하여 매우 유용해졌다.

[0004] 일반적으로, MS 이미지의 해상도를 향상시키는 두 가지 방법이 있다. 하나는 광 디바이스를 재발명하고 하드웨어 장비를 업데이트하는 것이다. 그러나 이 방법은 비용이 많이 들 뿐만 아니라 실현하기도 어렵다. 그러므로 더 많은 연구 관심이 팬샤프닝과 같은 지능형 알고리즘으로 바뀌었다. 이 과정에서 공간 디테일 향상과 융합된 이미지의 스펙트럼 일관성을 조화시키는 것이 고해상도 다중 스펙트럼(HMS) 이미지를 얻는 핵심 단계이다.

[0005] 최근에는 MS 이미지의 공간 해상도를 높이기 위해 수많은 팬샤프닝 방법이 제시되었다. 이러한 방법들(Liu and Liang 2016; Ghassemian 2016; Rahmani et al. 2010; Alparone et al. 2007, Jameel et al. 2016)은 일반적으로 두 단계로 나뉘어진다. (1) PAN 이미지로부터 디테일 정보를 추정한다. (2) 원래의 PAN 이미지로부터 PAN의 근사 이미지를 빼서 추출할 수 있는 디테일 정보를 전송하여 해당 MS 이미지를 선명하게 한다. 성분 치환(CS) 방법(Rahmani et al. 2010; Tu et al. 2001; Leung et al. 2014; Aiazzi et al. 2007) 및 다중 분해능 분석(MRA: multi-resolution-analysis) 방법(Nunez et al. et al. 1999; Upla et al. 2013; Jin et al. 2014; Choi et al. 2005; Jian et al. 2018)은 PAN 이미지의 근사를 계산하는 두 가지 고전적인 방법이다.

[0006] 성분 치환(CS) 방법은 간단하고 효율적이기 때문에 자주 사용된다. 이 클래스에 속하는 방법은 스펙트럼 정보

및 스펙트럼 특징이 서로 독립적일 수 있는 새로운 공간으로의 MS 이미지의 변환에 기초한다. 이러한 조건에서, MS 이미지의 공간 해상도는 PAN 정보의 성분 대체에 의해 향상될 수 있다. 몇 가지 잘 알려진 방법은 IHS(intensity-hue-saturation) 변환(Tu et al. 2001), IHS의 다양한 버전(Rahmani et al. 2010; Leung et al. 2014), 주성분 분석(PCA: principle component analysis)(sun et al. 2006), 그리고 그램-슈미트(GS: Gram-Schmidt)(Aiazzi et al. 2007)이다. CS 방법의 일반적인 표현은 다음과 같이 작성될 수 있다.

수학식 1

$$HMS_i = MS_i + w_i(PAN - APP), i = 1, \dots, N$$

여기서 HMS_i 는 팬샤프닝 결과를 나타낸다. w_i 는 주입 이득 계수이다. MS_i 는 MS 이미지의 i 번째 대역을 나타낸다. N 은 MS 이미지의 밴드들의 수이다. APP 는 다음과 같이 정의될 수 있는 PAN 이미지의 근사치이다.

수학식 2

$$APP = \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i$$

여기서 α_i 는 매핑 변환의 i 번째 대역 가중 계수이다.

가장 대표적인 CS 방법으로서 HIS-기반 방법(Tu et al. 2001)($w_i=1$, $\alpha_i=1/N$, $N=3$)은 강도 성분(APP)과 PAN 이미지 사이의 차이를 MS 이미지의 누락된 고주파 디테일로서 직접적으로 간주한다. 그러나 이 방법으로 얻은 결과는 종종 심각한 스펙트럼 왜곡을 일으킨다. 따라서 융합된 이미지의 스펙트럼 왜곡을 제거하기 위해 Rahmani et al.(Rahmani et al., 2010)은 적응형 IHS(AIHS) 기반의 방법을 제안하는데, 이것은 PAN 이미지의 에지들을 사용하여 MS 밴드의 선형 조합 계수(α_i)를 계산한다. 적응 계수 α_i 를 계산하는 방법은 후술하기로 한다.

또 다른 CS 기법은 PCA-기반 방법이다(Sun et al. 2006). HIS-기반 방법과 유사하게 PCA는 다차원 이미지 공간을 2차원 평면(새로운 벡터 공간)으로 회전시킨다. 그런 다음, 새로운 벡터 공간의 공분산 행렬의 고유 벡터를 계산함으로써 MS 이미지의 다른 구성 요소가 재정렬된다. 마지막으로, MS 이미지의 첫 번째 주요 구성 요소가 PAN 이미지로 대체된다. 그러나 첫 번째 주성분의 스펙트럼 특성은 PAN 이미지와 정확히 일치하지 않는다. 따라서, MS 이미지의 일부 스펙트럼 정보가 손실되어 융합된 이미지의 스펙트럼 왜곡이 발생한다.

GS 기반 방법은 또한 전형적인 CS 방법이다. 이 방법은 선형 대수학 및 다변수 통계에 대한 지식을 사용한다. (Aiazzi et al. 2007)에 따르면, GS 기반 방법의 주요 동작은 다음과 같이 요약될 수 있다: (1) PAN 이미지와 동일한 스케일로 MS 이미지를 업샘플링한다; (2) 각 MS 이미지 밴드로부터 대응하는 평균값을 감산하는 단계; (3) 공통 IHS 변환을 이용하여 저해상도 버전 강도(I_L)를 생성하는 단계; (4) 히스토그램 매칭에 의해 I_L 과 PAN 이미지 간의 차이(디테일 정보)를 획득하는 단계; (5) 상기 MS 이미지에 주입된 디테일 정보에 대한 가중 계수를 계산하는 단계를 포함한다. 사실, GSA-기반 방법은 IHS-변환의 가중 계수들을 적응적으로 선택하는 GS 방법의 확장이다. 이러한 CS 방법이 계산 부하를 줄일 수는 있지만 때때로 스펙트럼 왜곡이 발생한다.

스펙트럼 왜곡을 해결하기 위해 다중 해상도 분석(MRA: multi-resolution-analysis)을 기반으로 하는 다양한 팬샤프닝 방법이 제시된다. MRA-기반 방법은 전형적으로 라플라시안 피라미드(LP: Laplacian pyramid)(Aiazzi et al. 1999), 웨이블릿 변환(WT: wavelet transform)(Nunez et al. 2014), 그리고 컨투어렛 변환(CT: contourlet transform)(Upla et al. 2013; Jin et al. 2014) 등을 포함한다. PAN 이미지와 그것의 저주파 버전의 차이를 계산하여 MS 이미지의 누락된 디테일 정보를 얻을 수 있는데, 이는 반복적인 웨이블릿 분해에 의해 얻어질 수 있다. 그러나 이러한 방법의 결과로 인해 공간 흐려짐 현상이 생겨, 융합된 이미지의 품질이 저하될 수 있다.

수학식 1에 의하면, PAN 이미지와 그 근사치 사이의 더 큰 상관 관계는 융합된 이미지의 낮은 왜곡을 유도할 것

이다(Thomas et al. 2008). 그러나 PAN 이미지와 그 근사치의 경우, 주된 차이는 고주파 부분에 있다(Song et al. 2016). 따라서 처리 과정에서 저주파 부분의 영향을 제거할 수 있다. 수학식 1은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다:

수학식 3

$$HMS_i = MS_i + w_i(PAN^H - APP^H), i = 1, \dots, N$$

여기서 HMS_i 는 팬샤프닝 결과를 나타낸다. MS_i 는 MS 이미지의 i번째 대역을 나타낸다. PAN^H 는 PAN 이미지의 고주파 성분(HFC)이다. w_i 는 주입 이득 계수이다. N은 MS 이미지의 밴드들의 수이다. APP^H 는 다음과 같이 주어질 수 있는 PAN 근사화의 HFC이다.

수학식 4

$$APP^H = \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H$$

여기서 α_i 는 i번째 대역 가중 계수이다. MS_i^H 는 MS 이미지의 HFC이다. 따라서, 기존의 팬샤프닝 방법에 대한 두 가지 개선점이 여전히 존재한다. (1) PAN 이미지 및 MS 이미지의 저주파수 성분(LFC)을 효과적으로 제거하는 방법. (2) 디테일 이미지들을 정확하게 추출하기 위해 APP^H 와 PAN^H 간의 불일치를 줄이는 방법.

선행기술문헌

비특허문헌

- (비특허문헌 0001) [1] Aiazzi B, Alparone L, Barducci A, Baronti S, Pippi I (1999) Multispectral fusion of multisensor image data by the generalized Laplacian pyramid. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999. IGARSS'99 Proceedings. IEEE 1999 International, 1999. IEEE, pp 1183-1185
- (비특허문헌 0002) [2] Aiazzi B, Baronti S, Selva M (2007) Improving component substitution pansharpening through multivariate regression of MS + Pan data. IEEE Trans Geosci Remote Sens 45(10):3230-3239
- (비특허문헌 0003) [3] Alparone L, Wald L, Chanussot J, Thomas C, Gamba P, Bruce LM (2007) Comparison of pansharpening algorithms: Outcome of the 2006 GRS-S data-fusion contest. IEEE Trans Geosci Remote Sens 45(10):3012-3021
- (비특허문헌 0004) [4] Alparone L, Aiazzi B, Baronti S, Garzelli A, Nencini F, Selva M (2008) Multispectral and panchromatic data fusion assessment without reference. Photogram Eng Remote Sensing 74(2):193-200
- (비특허문헌 0005) [5] Chen H-T, Eddy D, Chen R-L, Chou C-L (2016) Speed-adaptive street view image generation using driving video recorder. In: Multimedia and Expo (ICME), 2016 IEEE International Conference on, 2016. IEEE, pp 1-6
- (비특허문헌 0006) [6] Choi M, Kim RY, Nam M-R, Kim HO (2005) Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transform. IEEE Geosci Remote Sens Lett 2(2):136-140
- (비특허문헌 0007) [7] Ferster CJ, Coops NC (2016) Integrating volunteered smartphone data with multispectral remote sensing to estimate forest fuels. Int J Digital Earth 9(2):171-196

- (비특허문헌 0008) [8] Garzelli A, Nencini F, Capobianco L (2008) Optimal MMSE pansharpening of very high resolution multispectral images. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 46(1):228-236
- (비특허문헌 0009) [9] Gebru T, Krause J, Wang Y, Chen D, Deng J, Aiden EL, Fei-Fei L (2017) Using deep learning and google street view to estimate the demographic makeup of the us. *arXiv preprint arXiv:170206683*
- (비특허문헌 0010) [10] Ghassemian H (2016) A review of remote sensing image fusion methods. *Information Fusion* 32:75-89
- (비특허문헌 0011) [11] He K, Sun J, Tang X (2013) Guided image filtering. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 35(6):1397-1409
- (비특허문헌 0012) [12] Jameel A, Riaz MM, Ghafoor A (2016) Guided filter and IHS-based pan-sharpening. *IEEE Sens J* 16(1):192-194
- (비특허문헌 0013) [13] Javidnia H, Corcoran P (2017) Real-time automotive street-scene mapping through fusion of improved stereo depth and fast feature detection algorithms. In: *Consumer Electronics (ICCE), 2017 IEEE International Conference on*, 2017. IEEE, pp 225-228
- (비특허문헌 0014) [14] Jian L, Yang X, Zhou Z, Zhou K, Liu K (2018) Multi-scale image fusion through rolling guidance filter. *Future Gen Comput Syst* 83:310-325
- (비특허문헌 0015) [15] Jin B, Kim G, Cho NI (2014) Wavelet-domain satellite image fusion based on a generalized fusion equation. *J Appl Remote Sens* 8(1):080599
- (비특허문헌 0016) [16] Kalpoma KA, Kawano K, Kudoh J-i (2013) IKONOS image fusion process using steepest descent method with bi-linear interpolation. *Int J Remote Sens* 34(2):505-518
- (비특허문헌 0017) [17] Kaplan NH, Erer I (2014) Bilateral filtering-based enhanced pansharpening of multispectral satellite images. *IEEE Geosci Remote Sens Lett* 11(11):1941-1945
- (비특허문헌 0018) [18] Leung Y, Liu J, Zhang J (2014) An improved adaptive intensity-hue-saturation method for the fusion of remote sensing images. *IEEE Geosci Remote Sens Lett* 11(5):985-989
- (비특허문헌 0019) [19] Liu J, Liang S (2016) Pan-sharpening using a guided filter. *Int J Remote Sens* 37(8):1777-1800
- (비특허문헌 0020) [20] Miao Z, Shi W, Samat A, Lisini G, Gamba P (2016) Information fusion for urban road extraction from VHR optical satellite images. *IEEE J Select Topics Appl Earth Obs Remote Sens* 9(5):1817-1829
- (비특허문헌 0021) [21] Nunez J, Otazu X, Fors O, Prades A, Pala V, Arbiol R (1999) Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 37(3):1204-1211
- (비특허문헌 0022) [22] Rahmani S, Strait M, Merkurjev D, Moeller M, Wittman T (2010) An adaptive IHS pan-sharpening method. *IEEE Geosci Remote Sens Lett* 7(4):746-750
- (비특허문헌 0023) [23] Simone G, Farina A, Morabito FC, Serpico SB, Bruzzone L (2002) Image fusion techniques for remote sensing applications. *Inf Fusion* 3(1):3-15
- (비특허문헌 0024) [24] Song Y, Wu W, Liu Z, Yang X, Liu K, Lu W (2016) An adaptive pansharpening method by using weighted least squares filter. *IEEE Geosci Remote Sens Lett* 13(1):18-22
- (비특허문헌 0025) [25] Sun J, Jiang Y, Zeng S (2006) A study of PCA image fusion techniques on remote sensing. In: *International conference on space information technology, 2006. International Society for Optics and Photonics*, p 59853X
- (비특허문헌 0026) [26] Tao F, Yang X, Wu W, Liu K, Zhou Z, Liu Y (2018) Retinex-based image enhancement framework by using region covariance filter. *Soft Comput* 22(5):1399-1420
- (비특허문헌 0027) [27] Thomas C, Ranchin T, Wald L, Chanussot J (2008) Synthesis of multispectral

images to high spatial resolution: a critical review of fusion methods based on remote sensing physics. IEEE Trans Geosci Remote Sens 46(5):1301-1312

(비특허문헌 0028) [28] Tomasi C, Manduchi R (1998) Bilateral filtering for gray and color images. In: Computer Vision, 1998. Sixth International Conference on, 1998. IEEE, pp 839-846

(비특허문헌 0029) [29] Tu T, Su S-C, Shyu H-C, Huang PS (2001) A new look at IHS-like image fusion methods, Information

(비특허문헌 0030) [30] Upla KP, Gajjar PP, Joshi MV (2013) Pan-sharpening based on Nonsubsampled Contourlet Transform detail extraction. In: Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG), 2013 Fourth National Conference on, 2013. IEEE, pp 1-4

(비특허문헌 0031) [31] Wald L (2000) Quality of high resolution synthesised images: is there a simple criterion? In: Third conference" Fusion of Earth data: merging point measurements, raster maps and remotely sensed images", 2000. SEE/URISCA, pp 99-103

(비특허문헌 0032) [32] Wang Z, Bovik AC (2002) A universal image quality index. IEEE Signal Process Lett 9(3):81-84

(비특허문헌 0033) [33] Wu W, Yang X, Liu K, Liu Y, Yan B (2016) A new framework for remote sensing image super-resolution: sparse representationbased method by processing dictionaries with multi-type features. J Syst Architect 64:63-75

(비특허문헌 0034) [34] Yang Y, Wan W, Huang S, Yuan F, Yang S, Que Y (2016) Remote sensing image fusion based on adaptive IHS and multiscale guided filter. IEEE Access 4:4573-4582

(비특허문헌 0035) [35] Yuhas RH, Goetz AF, Boardman JW (1992) Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm

(비특허문헌 0036) [36] Zhang Y (2004) Understanding image fusion. Photogramm Eng Remote Sens 70(6):657-661

발명의 내용

해결하려는 과제

[0021] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 다중 스펙트럼 이미지와 팬크로마틱 이미지의 융합 시, 스펙트럼 왜곡에 의한 영향을 효과적으로 줄일 수 있고 다중 스펙트럼 이미지의 누락된 디테일을 획득할 수 있어 고 공간 해상도의 다중 스펙트럼 이미지를 획득할 수 있는 항공 이미지 융합 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0022] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은,
- [0023] (A) 양방향 필터링에 기반하여 다중 스펙트럼(MS: multispectral) 이미지로부터 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계;
- [0024] (B) 양방향 필터링에 기반하여 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지로부터 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계;
- [0025] (C) 상기 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분에 적응형 강도-색조-채도(AIHS: adaptive intensity-hue-saturation) 기반 방법을 적용하여 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분의 근사치인 강도(intensity)의 고주파 성분을 획득하는 단계;
- [0026] (D) 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분과 상기 강도의 고주파 성분에 대한 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)에 기반하여 디테일 이미지를 획득하는 단계; 및
- [0027] (E) 상기 다중 스펙트럼(MS) 이미지와 상기 디테일 이미지를 융합하여 고 공간 해상도 다중 스펙트럼(HMS: high

spatial resolution multispectral) 이미지를 생성하는 단계를 포함한다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법에 있어서, 상기 단계 (D)는,

[0029] (D-1) 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분과 상기 강도의 고주파 성분에 대해 제1 가이드드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)을 적용하는 단계;

[0030] (D-2) 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분에서 제1 가이드드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력을 감산하여 제1 디테일(detail) 이미지를 획득하는 단계;

[0031] (D-3) 상기 제1 가이드드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력과 상기 강도의 고주파 성분에 대해 제2 가이드드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)을 적용하는 단계;

[0032] (D-4) 상기 제1 가이드드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력에서 상기 제2 가이드드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력을 감산하여 제2 디테일(detail) 이미지를 획득하는 단계; 및

[0033] (D-5) 상기 제1 디테일 이미지와 상기 제2 디테일 이미지를 병합하여 최종 디테일 이미지를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0034] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법에 있어서, 상기 단계 (A)는,

[0035] (A-1) 양방향 필터링에 기반하여 다중 스펙트럼(MS: multispectral) 이미지로부터 상기 다중 스펙트럼 이미지의 저주파 성분을 획득하는 단계; 및

[0036] (A-2) 상기 다중 스펙트럼(MS: multispectral) 이미지에서 상기 다중 스펙트럼 이미지의 저주파 성분을 감산하여 상기 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계를 포함하고,

[0037] 상기 단계 (B)는,

[0038] (B-1) 양방향 필터링에 기반하여 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지로부터 팬크로마틱 이미지의 저주파 성분을 획득하는 단계; 및

[0039] (B-2) 상기 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지에서 상기 팬크로마틱 이미지의 저주파 성분을 감산하여 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분을 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0040] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법에 있어서, 상기 단계 (C)는,

[0041] 최적화 함수
$$\min_{\alpha_1, \dots, \alpha_N} \left\| PAN^H - \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H \right\|^2 \quad s.t. \alpha_1 \geq 0, \dots, \alpha_N \geq 0$$
 를 만족하는,
$$I^H = \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H$$

를 구함으로써 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분의 근사치인 강도(intensity)의 고주파 성분(I^H)을 획득하는 단계를 포함하고,

[0042] MS_i^H 는 상기 다중 스펙트럼 이미지의 i번째 대역의 고주파 성분을 나타내며, PAN^H 는 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분을 나타내고, α_i 는 상기 다중 스펙트럼 이미지의 i번째 밴드의 적응 계수이며, N은 양의 정수일 수 있다.

발명의 효과

[0043] 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 다중 스펙트럼 이미지와 팬크로마틱 이미지의 융합 시, 스펙트럼 왜곡에 의한 영향을 효과적으로 줄일 수 있고 다중 스펙트럼 이미지의 누락된 디테일을 획득할 수 있어 고 공간 해상도의 다중 스펙트럼 이미지를 획득할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0044] 도 1은 양방향 필터를 도시한 도면.
 도 2는 가이드드 이미지 필터를 도시한 도면.
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법의 흐름도.
 도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법의 상세 흐름도.
 도 5는 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법이 수행되는 장치의 블록도.
 도 6은 본 발명의 일 실시예에서 사용되는 위성 이미지들(열화된 이미지들)을 도시한 도면으로서, 도 6a, 도 6b는 월드뷰-2 이미지, 도 6c, 도 6d는 플레이아데스 이미지, 그리고 도 6e는 콰이퍼드 이미지를 도시한 도면.
 도 7은 매개 변수 δ_s 의 선택을 도시한 도면.
 도 8은 매개 변수 δ_r 의 선택을 도시한 도면.
 도 9는 월드뷰-2 위성 이미지의 팬샤프닝 결과를 도시한 도면으로서, 도 9a는 MS 이미지, 도 9b는 PAN 이미지, 도 9c는 기준 이미지, 도 9d는 AIHS 방법, 도 9e는 BFLP 방법, 도 9f는 AWLS 방법, 도 9g는 GSA 방법, 도 9h는 PCA 방법, 도 9i는 BDSB 방법, 도 9j는 본 발명에 의한 방법을 적용한 팬샤프닝 결과 이미지.
 도 10은 월드뷰-2 위성 이미지의 팬샤프닝 결과를 도시한 도면으로서, 도 10a는 MS 이미지, 도 10b는 PAN 이미지, 도 10c는 기준 이미지, 도 10d는 AIHS 방법, 도 10e는 BFLP 방법, 도 10f는 AWLS 방법, 도 10g는 GSA 방법, 도 10h는 PCA 방법, 도 10i는 BDSB 방법, 도 10j는 본 발명에 의한 방법을 적용한 팬샤프닝 결과 이미지.
 도 11은 플레이아데스 위성 이미지의 팬샤프닝 결과를 도시한 도면으로서, 도 11a는 MS 이미지, 도 11b는 PAN 이미지, 도 11c는 기준 이미지, 도 11d는 AIHS 방법, 도 11e는 BFLP 방법, 도 11f는 AWLS 방법, 도 11g는 GSA 방법, 도 11h는 PCA 방법, 도 11i는 BDSB 방법, 도 11j는 본 발명에 의한 방법을 적용한 팬샤프닝 결과 이미지.
 도 12는 플레이아데스 위성 이미지의 팬샤프닝 결과를 도시한 도면으로서, 도 12a는 MS 이미지, 도 12b는 PAN 이미지, 도 12c는 기준 이미지, 도 12d는 AIHS 방법, 도 12e는 BFLP 방법, 도 12f는 AWLS 방법, 도 12g는 GSA 방법, 도 12h는 PCA 방법, 도 12i는 BDSB 방법, 도 12j는 본 발명에 의한 방법을 적용한 팬샤프닝 결과 이미지.
 도 13은 콰이퍼드 위성 이미지의 팬샤프닝 결과를 도시한 도면으로서, 도 13a는 MS 이미지, 도 13b는 PAN 이미지, 도 13c는 기준 이미지, 도 13d는 AIHS 방법, 도 13e는 BFLP 방법, 도 13f는 AWLS 방법, 도 13g는 GSA 방법, 도 13h는 PCA 방법, 도 13i는 BDSB 방법, 도 13j는 본 발명에 의한 방법을 적용한 팬샤프닝 결과 이미지.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0045] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다.
- [0046] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합되는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.
- [0047] 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다.
- [0048] 또한, "제1", "제2", "일면", "타면" 등의 용어는, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다.
- [0049] 이하, 본 발명을 설명함에 있어, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- [0050] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.
- [0051] 고 공간 해상도 다중 스펙트럼(HMS: High spatial resolution multispectral) 이미지는 거주 환경의 잠재적 재난을 분석할 수 있는 충분한 정보를 제공할 수 있다. 그러나 오리지널(original) 다중 스펙트럼(MS: Multispectral) 이미지는 공간 해상도가 낮고 스펙트럼 해상도가 높지만 오리지널 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지는 반대 속성을 갖는다. 팬샤프닝(pansharpening)은 다중 스펙트럼 이미지의 스펙트럼을

유지하고 PAN 이미지의 디테일을 동시에 주입하여 HMS 이미지를 얻는 것을 목표로 한다.

- [0052] 본 발명의 일 실시예에서는 새로운 팬샤프닝 처리 방법을 제시한다. 먼저 PAN 이미지와 MS 이미지의 저주파 성분(LFC: low-frequency-component)을 얻기 위해 양방향 필터(BF: Bilateral Filter)를 사용한다. 그러면 PAN 이미지와 MS 이미지의 고주파 성분(HFC: high-frequency-component)이 쉽게 얻어진다. 둘째, 적응형 강도-색조-채도(AIHS: adaptive intensity-hue-saturation) 기반 방법을 적용하여 강도(intensity)의 HFC를 생성한다. 마지막으로, 이중 스케일 가이드 이미지 필터(GIF: guided image filter)를 사용하여 강도의 HFC와 PAN의 HFC 간의 차이를 계산하여 디테일 이미지를 얻는다. 그런 다음 이러한 디테일 이미지가 오리지널 MS 이미지에 주입되어 HMS 이미지가 생성된다. 제안된 본 발명의 방법은 다양한 위성 데이터 세트를 테스트하는 데 적용되며 기존 방법보다 시각 품질과 객관적인 지표의 관점에서 더 좋은 효과를 낸다.
- [0053] 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 새로운 성분-치환(CS: component-substitution) 기반의 팬샤프닝 방법을 제안한다.
- [0054] (1) 저주파 부분의 영향을 제거하기 위해 PAN 이미지와 MS 이미지의 LFC를 얻기 위해 양방향 필터(BF: bilateral filter)를 제시한다. 위에서 언급했듯이 디테일 추출은 PAN 이미지의 HFC와 그 근사값의 차이에 의존한다(Song et al. 2016). BF는 이미지를 다듬을 때 원본 이미지의 에지 정보를 보존할 수 있다.
- [0055] (2) 강도 채널의 HFC와 PAN 이미지들 사이의 불일치를 줄이려면 APP^H 와 PAN^H 간의 상관 관계를 향상시키는 것이 좋다(Thomas et al. 2008). APP^H 를 만들기 위해 적응형 강도-색조-채도(AIHS) 기반의 방법을 사용한다. AIHS 기반 방법은 근사(APP^H)를 얻기 위해 적응적으로 최상의 가중 계수(α_i)를 찾을 수 있다.
- [0056] (3) 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법에서는 GIF의 결과가 입력 이미지의 근사이기 때문에 APP^H 가 PAN^H 를 최대한 근사화하도록 하기 위해 이중 스케일 가이드 이미지 필터(GIF: guided image filter)를 사용한다. 이 프로세스는 정확한 디테일 이미지들을 얻기 위해 PAN^H 와 APP^H 간의 불일치를 추가로 최소화할 수 있다.
- [0057] (4) 디테일 이미지들은 MS 이미지로 전송되어 HMS 이미지를 얻는다. 실험 결과는 본 발명의 방법이 스펙트럼 왜곡을 효과적으로 줄이고 국부적인 인공물을 회피할 수 있음을 보여준다.
- [0058] 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 다음 세 가지를 제공한다.
- [0059] 1. 양방향 필터(BF)는 PAN 이미지 및 MS 이미지의 LFC를 계산하는 데 사용된다.
- [0060] 2. AIHS 기반의 방법은 PAN 이미지의 HFC의 근사를 추정하는데 사용된다.
- [0061] 3. 이중 스케일 GIF는 MS 이미지의 누락된 디테일을 얻기 위해 수행된다.
- [0063] 양방향 필터
- [0064] 양방향 필터(BF: Bilateral filter)는 이미지를 부드럽게 할 때 모서리를 보존하는 특성을 갖는 비선형 필터이다. 이 필터는 이미지의 다중 스케일 분해 및 이미지 노이즈 제거를 비롯한 다양한 이미지 처리 영역에 적용할 수 있다. 가중치가 적용된 최소 제곱(WLS: weighted least filter) 필터와 같은 다른 가장자리 보존 필터와 비교할 때, BF는 공간 및 범위 영역의 가장자리를 동시에 보존할 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 공간 및 범위 커널은 이들 화소들 사이의 가우시안 가중치 및 이들 화소의 강도 값들 사이의 가우시안 가중치를 각각 연산함으로써 획득될 수 있다. 그런 다음 두 개의 가우시안 커널을 곱하여 양방향(bilateral) 커널을 얻는다. 마지막으로 입력 이미지는 양방향 커널을 사용하여 평활화된다.
- [0065] 따라서, 공간 커널이 결과 이미지에 기여하는 공간 정보를 결정하고 범위 커널이 결과의 에지 정보를 제어하기 때문에 공간 및 범위 커널을 조정하여 흐림과 선명화 간의 균형을 이룰 수 있다. 본 발명에서는 PAN과 MS 이미지의 저주파수 성분(LFC)을 얻기 위해 BF를 저역 통과 필터로 채택했다. BF는 수학적식이 다음과 같이 표현되며, Tomasi and Manduchi 1998에 설명되어 있다.

수학식 5

$$I_{out}(p) = \frac{1}{U} \sum_{q \in S} w_{\delta_s}(p, q) w_{\delta_r}(I_{in}(p), I_{in}(q)) I_{in}(q)$$

[0066]

[0067] 여기서, $I_{out}(p)$ 는 중심 화소 p에서의 출력 화소 강도이다. $U = \sum_{q \in S} w_{\delta_s}(p, q) w_{\delta_r}(I_{in}(p), I_{in}(q))$ 는 정규화 요소이다. $w_{\delta_s}(p, q)$ 는 공간 가중치고, $w_{\delta_r}(I_{in}(p), I_{in}(q))$ 는 범위 가중치다. I_{in} 은 입력 이미지를 나타낸다. $I_{in}(p)$ 는 중심 화소 p에서의 화소 강도를 나타내고, $I_{in}(q)$ 는 인접 화소 S에서의 강도를 나타낸다. δ_s 와 δ_r 은 각각 공간 가우시안 커널과 범위 가우시안 커널의 표준 편차이다. δ_s 와 δ_r 의 값이 높을수록 더 흐리게 효과가 나타난다. 가우시안 커널 w_{δ} 는 다음과 같이 주어진다.

수학식 6

$$w_{\delta}(x, y) = \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\|x - y\|^2}{2\delta^2}\right)$$

[0068]

[0069] 본 발명에서 양방향 필터링의 연산자는 다음과 같이 정의될 수 있다.

수학식 7

$$I_{out} = BF(I_{in}, \delta_s, \delta_r)$$

[0070]

[0071] 여기서 $BF(\cdot)$ 는 양방향 필터 함수를 나타낸다. δ_s 와 δ_r 매개 변수를 변경하여 입력 이미지의 상이한 흐릿한 버전을 얻을 수 있다.

[0073] 가이드드 이미지 필터

[0074] 가이드드 이미지 필터(GIF: Guided Image Filter)는 에지 보존 평활화 필터뿐만 아니라 로컬 선형 모델 기반 필터이고, He 등(2013)이 처음 제안하였다. 이 필터는 이미지 융합 및 디테일 향상과 같은 많은 이미지 처리 상황에 적용할 수 있다. GIF는 출력 이미지가 로컬 윈도우에서 가이드드 이미지의 선형 표현이라고 가정한다. PAN의 HFC와 강도 이미지의 불일치를 줄이기 위해 PAN의 HFC는 로컬 윈도우에서 강도 이미지의 HFC로 국부적으로 그리고 선형적으로 표현되어야 한다고 가정한다. 따라서 GIF는 이 필터링 프로세스에 매우 적합하며 두 제약 조건 간의 절충안이다. 하나는 출력 이미지와 가이드드 이미지의 선형 관계이다(수학식 8 참조). 다른 하나는 필터링 출력이 입력 이미지와 가능한 유사해야 한다는 것이다(수학식 9 참조). 이 두 가지 제약 조건의 균형을 유지하면 스펙트럼 왜곡을 효과적으로 억제할 수 있다.

[0075] 도 2에 가이드드 이미지 필터가 도시되어 있다. GIF의 프로세스는 가이드드 이미지에 의해 이미지를 필터링하는 지역 통과 필터와 유사하다는 것을 알 수 있다. 필터링 출력(I_{out})은 노이즈(n(q))를 제거한 필터링 입력(I_{in})의 근사치이다. 동시에 가이드드 이미지 필터는 가이드드 이미지(G)에서 에지 또는 구조 정보를 잘 보존

할 수 있다.

[0076] 수학적으로, 입력 이미지 I_{in} 및 가이드 이미지 G 가 주어지면, 출력 이미지 I_{out} 은 윈도우 n_p 에서 화소 p 에서의 G 에 의해 선형적으로 변환될 수 있다. 이것은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

$$I_{out}(q) = a_p G(q) + b_p \quad \forall q \in n_p$$

[0077]

[0078] 여기서 n_p 는 $(2r+1) \times (2r+1)$ (필터 반경 r 의 사각형 윈도우)의 크기이다. 필터 반경 r 은 흐림 정도를 제어하고, 작은 r 값은 선명한 결과를 가져올 것이다. a_p 와 b_p 는 윈도우 n_p 에서 상수인 선형 계수이다. I_{in} 과 I_{out} 사이의 제곱 차이 $E(a_p, b_p)$ 를 최소화함으로써 이들 상수들이 추정될 수 있다.

수학식 9

$$E(a_p, b_p) = \sum_{q \in n_p} \left((a_p G(q) + b_p - I_{in}(q))^2 + \gamma a_p^2 \right)$$

[0079]

[0080] 여기서 γ 는 모서리 보존 효과를 얻기 위한 중요한 매개 변수인 조절 요소이다. 보다 구체적으로, 로컬 윈도우의 분산이 매개 변수 γ 보다 훨씬 작은 경우, 이 윈도우의 화소들은 평활화되지만, 이들 화소들은 보존된다. a_p 와 b_p 는 다음과 같이 선형 회귀에 의해 직접 계산될 수 있다:

수학식 10

$$a_p = \frac{\frac{1}{|n|} \sum_{q \in n_p} I_{out}(q) I_{in}(q) - \mu_p \overline{I_{in_p}}}{\delta_p^2 + \gamma}$$

[0081]

수학식 11

$$b_p = \overline{I_{in_p}} - a_p \mu_p$$

[0082]

[0083] 여기서, G 의 로컬 윈도우 n_p 에서, δ_p^2 는 분산을 나타내고, μ_p 는 평균을 나타내며, $|n|$ 는 화소들의 수를 나타낸다. 그리고 $\overline{I_{in_p}}$ 는 윈도우 n_p 에서 I_{in} 의 평균을 나타낸다.

[0084] 상이한 윈도우들에서 계산된 출력 이미지 I_{out} 의 다양한 값을 피하기 위해, 획득된 모든 a_p 와 b_p 의 값들이 먼

저 평균화된다. 따라서 최종 가이드드 이미지 필터는 다음과 같이 다시 제작성될 수 있다.

수학식 12

$$I_{out}(q) = \overline{a_p}G(q) + \overline{b_p}$$

$$\overline{a_p} = (1/|n|) \sum_{q \in n_p} a_p$$

상기에서 이다.

본 발명에서, 하기 수학식은 가이드드 필터링 프로세스를 나타내기 위하여 정의된다.

수학식 13

$$I_{out} = GIF(I_{in}, G, r, \gamma)$$

여기서 $GIF(\cdot)$ 는 가이드드 이미지 필터 함수를 나타낸다.

AIHS 기반 방법

전통적인 IHS(intensity-hue-saturation) 기반 융합 방법은 종종 다음과 같이 작성된다.

수학식 14

$$F_i = MS_i + w_i(P - I)$$

여기서 F_i 는 최종 HMS 이미지를 나타낸다. MS_i 는 MS 이미지의 i번째 밴드를 나타낸다. w_i 는 각 대역의 이득 계수이다. P는 PAN 이미지이다. I는 다음과 같이 MS 이미지의 선형 변환을 통해 계산된 강도 채널을 나타낸다.

수학식 15

$$I = \sum_{i=1}^n \alpha_i MS_i$$

여기서, n은 MS 이미지의 스펙트럼 대역들의 수를 나타낸다. α_i 는 알고리즘의 종류에 따라 계산될 수 있는 가중치 계수를 나타낸다. I 성분을 PAN 이미지(P)의 근사치에 가깝게 만들기 위해서, Rahmani et al. (2010)은 다음과 같은 문제를 최적화함으로써 해결 방법을 제시했다(Kalpoma et al., 2013).

화학식 16

$$\min_{\alpha_1, \dots, \alpha_n} \left\| P - \sum_{i=1}^n \alpha_i MS_i \right\|^2 \quad s.t. \quad \alpha_1 \geq 0, \dots, \alpha_n \geq 0$$

[0097]

[0098]

여기서 수학식 16은 이미지 계수 α_i 를 적응적으로 결정할 수 있다.

[0100]

본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법

[0101]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법의 흐름도이고, 도 5는 도 3의 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법이 적용되는 장치를 도시한 도면이다.

[0102]

도 3 및 도 5를 참조하면, 단계 S300에서 고주파 성분 획득부(500)는 양방향 필터링에 기반하여 다중 스펙트럼(MS: multispectral)(MS) 이미지로부터 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분(MS^H)을 획득하고, 단계 S302에서 고주파 성분 획득부(500)는 양방향 필터링에 기반하여 팬크로마틱(PAN: panchromatic) 이미지로부터 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분(PAN^H)을 획득한다.

[0103]

단계 S502에서 강도 고주파 성분 획득부(502)는 상기 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분(MS^H)에 적응형 강도-색조-채도(AIHS: adaptive intensity-hue-saturation) 기반 방법을 적용하여 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분의 근사치인 강도(intensity)의 고주파 성분(I^H)을 획득한다.

[0104]

단계 S504에서 디테일 이미지 획득부(504)는 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분(PAN^H)과 상기 강도의 고주파 성분(I^H)에 대한 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)에 기반하여 디테일 이미지(D)를 획득한다.

[0105]

단계 S506에서 이미지 융합부(506)는 상기 다중 스펙트럼(MS) 이미지와 상기 디테일 이미지(D)를 융합하여 고공간 해상도 다중 스펙트럼(HMS: high spatial resolution multispectral) 이미지(HMS)를 생성한다.

[0106]

상기 단계 S304는, 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분(PAN^H)과 상기 강도의 고주파 성분(I^H)에 대해 제1 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)을 적용하는 단계, 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분(PAN^H)에서 제1 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력을 감산하여 제1 디테일(detail) 이미지를 획득하는 단계, 상기 제1 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력과 상기 강도의 고주파 성분(I^H)에 대해 제2 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)을 적용하는 단계, 상기 제1 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력에서 상기 제2 가이드 이미지 필터링(dual-scale guided image filter)의 출력을 감산하여 제2 디테일(detail) 이미지를 획득하는 단계, 및 상기 제1 디테일 이미지와 상기 제2 디테일 이미지를 병합하여 최종 디테일 이미지(D)를 획득하는 단계를 포함한다.

[0107]

또한, 상기 단계 S300은, 양방향 필터링에 기반하여 다중 스펙트럼 이미지(MS)로부터 상기 다중 스펙트럼 이미지의 저주파 성분(MS^L)을 획득하는 단계, 및 상기 다중 스펙트럼 이미지(MS)에서 상기 다중 스펙트럼 이미지의 저주파 성분(MS^L)을 감산하여 상기 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분(MS^H)을 획득하는 단계

를 포함한다.

[0108] 또한, 상기 단계 S302)는, 양방향 필터링에 기반하여 팬크로마틱 이미지(PAN)로부터 팬크로마틱 이미지의 저주파 성분(PAN^L)을 획득하는 단계, 및 상기 팬크로마틱 이미지(PAN)에서 상기 팬크로마틱 이미지의 저주파 성분(PAN^L)을 감산하여 상기 팬크로마틱 이미지(PAN)의 고주파 성분(PAN^H)을 획득하는 단계를 포함한다.

[0109] 또한, 상기 단계 S304는, 최적화 함수
$$\min_{\alpha_1, \dots, \alpha_N} \left\| PAN^H - \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H \right\|^2 \quad s.t. \alpha_1 \geq 0, \dots, \alpha_N \geq 0$$
 를 만족하는,

$$I^H = \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H$$

를 구함으로써 상기 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분의 근사치인 강도(intensity)의 고주파 성분(I^H)을 획득하는 단계를 포함한다.

[0110] 상기에서 MS_i^H 는 상기 다중 스펙트럼 이미지(MS)의 i번째 대역의 고주파 성분을 나타내며, PAN^H 는 상기 팬크로마틱 이미지(PAN)의 고주파 성분을 나타내고, α_i 는 상기 다중 스펙트럼 이미지(MS)의 i번째 밴드의 적응계수이며, N은 양의 정수이다.

[0111] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법의 상세 흐름도이다. 도 4를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법을 더 상세히 설명하기로 한다.

[0112] 도 4에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은, (1) MS 이미지(MS)와 PAN 이미지(PAN)의 고주파수 성분(HFC)을 얻는 단계(단계 S400), (2) PAN 이미지(PAN)의 고주파 성분(HFC)의 근사 이미지로서 강도의 고주파 성분(I^H)을 추정하는 단계(단계 S402), (3) 디테일 이미지(D)를 추출하는 단계(단계 S404), 및 (4) 디테일 이미지(D)와 다중 스펙트럼 이미지(MS)를 융합하여 고 공간 해상도 다중 스펙트럼 이미지(HMS)를 생성하는 단계(단계 S405)를 포함한다.

[0113] 하기에 도 4를 참조하여 각 단계에 대해 상세히 설명하기로 한다.

[0114] 오리지널 MS 이미지(MS)와 PAN 이미지(PAN)가 주어진다고 가정하자(오리지널 MS 이미지(MS)와 PAN 이미지(PAN)가 잘 처리되었다고 가정한다).

[0115] 첫째, MS 이미지(MS)와 PAN 이미지(PAN)의 고주파 성분(HFC)은 오리지널 이미지에서 각각 MS 이미지(MS)와 PAN 이미지(PAN)의 해당 저주파 성분(LFC)을 뺀 값이다. 둘째, AIHS 기반의 방법은 PAN 이미지(PAN)의 고주파 성분(HFC)의 근사 이미지로서 강도의 고주파 성분(I^H)을 생성하는데 사용된다. 마지막으로, 이중 스케일 GIF는

PAN 이미지의 고주파 성분(HFC)의 이미지와 강도의 이미지(I^H)의 차이를 계산하여 디테일 이미지(D)를 추정하는 데 사용된다. 그런 다음 고 공간 해상도 다중 스펙트럼 이미지(HMS)를 재구성하기 위해 오리지널 다중 스펙트럼 이미지(MS)와 디테일 이미지(D)를 융합한다. 하기에 이에 대해 상세히 설명한다.

[0117] 다중 스펙트럼 이미지(MS)와 팬크로마틱 이미지(PAN)의 고주파 성분(HFC) 획득

[0118] 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법에서는 일련의 비교 실험을 통해 다른 에지(edge) 보존 필터 보다는 저역 통과 필터로 양방향 필터(BF)를 사용한다. BF는 인간의 시각에 맞춰진 가장자리 디테일을 유지하는데 더 나은 결과를 얻으므로 수학적 7에 의하면, 다중 스펙트럼 이미지(MS)와 팬크로마틱 이미지(PAN)의 저주파 성분(LFC)은 다음과 같이 계산될 수 있다.

수학식 17

$$MS_i^L = BF(MS_i, \delta_s, \delta_r)$$

수학식 18

$$PAN^L = BF(PAN, \delta_s, \delta_r)$$

여기서 $BF(\cdot)$ 는 양방향 필터(BF) 함수(단계 S406, 단계 S408)를 나타낸다. MS_i 와 PAN 은 오리지널 이미지를 나타낸다. δ_s , δ_r 은 각각 양방향 필터(BF)의 공간 표준 편차 및 범위 표준 편차이다. MS_i^L 및 PAN^L 은 각각 다중 스펙트럼 이미지(MS)와 팬크로마틱 이미지(PAN)의 저주파 성분(LFC)을 나타낸다.

따라서 다중 스펙트럼 이미지(MS)와 팬크로마틱 이미지(PAN)의 고주파 성분(HFC)은 각각 오리지널 이미지와 해당 MS_i^L 및 PAN^L 의 차이로부터 쉽게 얻을 수 있다(단계 S409, 단계 S410). 따라서 다음과 같이 MS_i^H , PAN^H 를 얻을 수 있다.

수학식 19

$$MS_i^H = MS_i - MS_i^L$$

수학식 20

$$PAN^H = PAN - PAN^L$$

팬크로마틱 이미지(PAN)의 고주파 성분(HFC)의 근사값 추정

디테일 이미지를 추출하기 위한 기존의 방법은 강도 밴드와 PAN 이미지의 차이를 계산하는 것이다. 그러나 LFC와 함께 디테일 이미지가 유입되어 스펙트럼 왜곡이 발생한다. LFC의 바람직하지 않은 영향을 피하기 위해 강도 및 PAN 이미지의 HFC로부터 디테일 이미지를 직접 산출해야 한다.

수학식 16에 의하면, 강도의 HFC 다음의 최적화 함수를 이용하여 PAN 이미지의 HFC의 근사치에 가까이 계산될 수 있는, 계수-적응 IHS(AIHS) 기반의 방법이 채택되었다(단계 S412).

수학식 21

$$\min_{\alpha_1, \dots, \alpha_N} \left\| PAN^H - \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H \right\|^2 \quad s.t. \alpha_1 \geq 0, \dots, \alpha_N \geq 0$$

여기서 MS_i^H 는 다중 스펙트럼 이미지(MS)의 i번째 대역의 고주파 성분(HFC)을 나타낸다. PAN^H 는 PAN 이미

지(PAN)의 고주파 성분(HFC)을 나타낸다. α_i 는 다중 스펙트럼 이미지(MS)의 i 번째 밴드의 적응 계수이고, N 은 양의 정수이다.

[0131] 따라서, I^H 는 이러한 적응 계수들 $\alpha_1, \dots, \alpha_N$ 을 가지고 PAN^H 의 가장 근사치로서 나타낼 수 있다(단계 S412).

수학식 22

$$I^H = \sum_{i=1}^N \alpha_i MS_i^H$$

[0132]

[0133] 여기서 I^H 는 강도(intensity)의 고주파 성분(HFC)을 나타낸다.

[0135] 융합된 이미지 생성

[0136] PAN^H 이미지와 I^H 이미지 간의 차이를 더욱 줄이기 위해, GIF를 사용하여 PAN^H 이미지를 처리하는 새로운 방법이 제안된다. 실제로 GIF는 로컬 선형 근사화를 통해 PAN^H 이미지와 I^H 이미지 간의 차이를 최소화할 수 있다. 수학식 13에 의하면, 가이드 필터링은 우선 로컬 윈도우에서 가이드 이미지 I^H 에 의해 PAN^H 를 선형적으로 나타내며 선형 회귀에 의해 얻어진 회귀 계수를 이용하여 비용 함수를 최소화한다. 이는 최소 제곱 수렴과 유사한 효과를 나타낸다. 따라서 다음과 같이 PAN^H 의 저해상도 버전을 얻을 수 있다.

수학식 23

$$PAN^{H(i)} = GIF(PAN^{H(i-1)}, I^H, r, \gamma), \quad i = 1, 2, \dots, K$$

[0137]

[0138] 여기서 $GIF(\cdot)$ 는 GIF 함수를 나타낸다(단계 S414, 단계 S418). K 는 스케일 계수이다. 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법에서는 필터 크기 r 과 정규화 매개 변수 γ 에 의해 평활도를 결정할 수 있다. 분명히 $PAN^{H(i)}$ 이미지는 $PAN^{H(i-1)}$ 이미지보다 흐려진다. 따라서 불평등 관계를 통해 디테일 이미지가 획득될 수 있다. 디테일 이미지(D)는 다음과 같이 생성된다(단계 S416, 단계 S420).

수학식 24

$$D_i = PAN^{H(i-1)} - PAN^{H(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, K$$

[0139]

[0140] 여기서 $i=1$ 인 경우 $PAN^{H(i-1)}$ 은 오리지널 PAN^H 이미지이다. D_i 는 $PAN^{H(i)}$ 의 두 인접 이미지들 간의 공간적인 디테일이다.

[0141] 단계 S422에서 디테일 이미지들을 더하여 최종 디테일 이미지(D)를 획득한 후, 이러한 디테일 이미지(D)를 원본 MS 이미지와 융합하여(단계 S405) 최종 고 공간 해상도 다중 스펙트럼 이미지(HMS)를 획득한다. 이 단계는 두

부분으로 구성된다. 첫째, 이러한 디테일 이미지들을 합하여(단계 S422) 전체 디테일 이미지(D)를 얻는다.

수학식 25

$$D = \sum_{i=1}^K D_i$$

[0142]

둘째, 전체 디테일 이미지(D)와 오리지널 다중 스펙트럼 이미지(MS)를 융합하여(단계 S405) 다음과 같이 고 공간 해상도 다중 스펙트럼 이미지(HMS)를 생성한다(단계 S405).

수학식 26

$$HMS_i = MS_i + D$$

[0144]

실험 결과 및 분석

[0146]

본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법의 유효성을 검증하기 위해 월드뷰-2(WorldView-2), 플레이아데스(Pleiades) 및 퀵버드(QuickBird)가 포함된 세 가지 형태의 위성 데이터 세트에서 테스트 이미지를 추출한다.

[0147]

플레이아데스 및 퀵버드 위성의 다중 스펙트럼 이미지(MS)(도 6 참조)는 RGB 및 NIR(적색 대역, 녹색 대역, 청색 대역 및 근적외선 대역)의 4개의 스펙트럼 대역을 포함한다. 월드뷰-2(WorldView-2)는 RGB, 적색 에지 밴드(RE), 황색 밴드(Y), 연안 밴드(C), 근적외선 밴드(NIR1) 및 후방 적외선 밴드(NIR2)의 8가지 스펙트럼 밴드로 구성된다. 실험에서는 네 개의 밴드(R, G, B, NIR1)만 사용된다. 실험에서, 이 위성들로부터 선택된 3쌍의 팬크로마틱 이미지(PAN)와 다중 스펙트럼 이미지(MS)가 이용된다. 이미지의 다양성을 위해 이들 이미지들의 장면에는 산지, 초목 지역 및 도시 지역이 포함된다.

[0148]

매개 변수 설정

[0150]

실험에서, 위성에 의해 캡처된 오리지널 다중 스펙트럼 이미지(MS)와 팬크로마틱 이미지(PAN)는 각각 256×256 화소와 1024×1024 화소의 크기이다. 첫째, 오리지널 다중 스펙트럼 이미지(MS)와 팬크로마틱 이미지(PAN)는 다운 샘플링 계수 1/4을 갖는 바이큐빅 보간법에 의해 더 낮은 해상도로 다운샘플링된다. 열화된 다중 스펙트럼 이미지(64×64 화소) 및 팬크로마틱 이미지(256×256 화소)가 입력 이미지로 제공된다. 참조를 위한 실제 HMS 이미지가 없으므로 다운샘플링된 다중 스펙트럼 이미지는 출력 고 공간 해상도 다중 스펙트럼 이미지(HMS)로 원래의 크기로 팬샤프닝되고, 오리지널 다중 스펙트럼 이미지(MS)는 시각적 비교 및 객관적인 측정을 위한 기준 HMS 이미지로 간주된다.

[0151]

실험에서 양방향 필터의 경우 ERGAS 값을 높이고 동시에 SAM 값을 줄이기 위해 공간 표준 편차 δ_s 를 결정하여 고정된 범위 표준 편차 δ_r 을 설정했다. 작은 ERGAS 값은 결과의 전반적인 성능을 나타내므로, 작은 SAM 값은 스펙트럼 각도 왜곡이 적음을 나타낸다. 도 7에서 보듯이 $\delta_s=3.4$ 는 ERGAS와 SAM 값 사이의 상충 관계에 대해 상당히 합리적이다. 범위 표준 편차 δ_r 에 대해서, 적절한 매개 변수를 선택하기 위해 제어 변량 방법이 사용될 수 있다. 도 8에서 ERGAS와 SAM 값은 $\delta_r=0.12$ 로 설정할 때 균형을 이룬다.

[0152]

디테일 이미지 추출 단계에는 GIF에 대한 두 가지 주요 매개 변수가 있다. 하나는 $K=2$ (이중 스케일)로 설정된 PAN^H 이미지의 가이드 필터링을 위한 스케일이다. GIF에 대한 매개 변수는 필터 반경 $r=2$ 및 정규화 계수 $\gamma=0.01$ 이다.

[0153]

(He et al., 2013)에 따르면 첫 번째 실험 도면은 필터 반경 크기 r 및 정규화 매개 변수 γ 를 선택하는 것을 보

[0154]

여준다. 실험 및 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법의 설명에서 필터 반경은 필터링 윈도우 크기를 제어하고 큰 필터링 윈도우는 가이드(guidance) 이미지와 필터 출력 간의 선형 관계를 약화시킨다. 따라서 이 선형 관계를 보장하고 (필터 입력으로 근사화되어야 하는) 필터 출력이 과도 평활화되지 않도록 작은 필터 반경 $r=2$ 를 선택한다. 작은 조절 매개 변수는 이미지에 보존된 작은 텍스처를 결정한다. 이 두 가지 요소를 고려하여 두 개의 작은 매개 변수를 선택한다[He et al. (2013)의 첫번째 실험 도면]. 매개 변수들은 각 테스트 이미지에 대해 동일한 값으로 설정된다.

[0155] 또한 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 6개의 전통적인 팬샤프닝 방법들, 즉, AIHS 방법 (Leung et al. 2014), BFLP 방법(Kaplan and Erer 2014), GSA 방법(Aiazzi et al. 2007), PCA 방법, BDSD 방법(Garzelli et al., 2008) 및 AWLS 방법(Song et al., 2016)과 비교될 것이다. 이들 방법들의 매개 변수들은 저자들에 의해 제공되는데, 이것은 온라인에서 이러한 사용 가능한 방법들을 검색할 수 있기 때문이다.

[0157] 품질 평가

[0158] 기존의 다양한 방법을 정량적으로 비교하기 위해 다양한 팬샤프닝 방법의 객관적인 성능을 평가하기 위하여 6개의 글로벌 메트릭(기준 이미지 포함)과 3개의 메트릭(기준 이미지 없음)을 선택한다. 융합된 결과를 나타내기 위해 F를 사용하고 기준 이미지를 나타내기 위해 R을 사용한다. 이러한 측정 항목은 다음과 같이 정의된다.

[0159] 1. 상관 계수(CC: correlation coefficient)(Alparone et al. 2007)는 F와 R 사이의 관련 정도를 측정한다. F 값은 CC 값이 클 때 R에 가깝다. UIQI에 대한 최대 값은 1이다.

[0160] 2. 스펙트럼 각도 매핑(SAM: spectral angle mapper)(Yuhas et al. 1992)는 F와 R의 벡터들 사이의 스펙트럼 각도의 절대 값을 계산한다. SAM 값이 작으면 스펙트럼 각도 왜곡이 적다. RMSE의 최소값은 0이다.

[0161] 3. 제곱 평균 제곱 오차(RMSE: root mean squared error)는 F와 R 사이의 평균 제곱 편차를 나타낸다. 작은 RMSE는 우수한 성능을 나타낸다.

[0162] 4. 범용 이미지 품질 지수(UIQI: universal image quality indexes)(Wang 및 Bovik 2002)는 F와 R의 유사성을 평가한다. UIQI 값을 높이면 성능이 향상된다.

[0163] 5. 상대적인 차원 없는 합성 종합 오차(ERGAS: relative dimensionless global error in synthesis)(Wald 2000)는 F의 전체 성능을 평가한다. ERGAS 값이 작으면 성능이 좋아진다.

[0164] 6. 상대 평균 스펙트럼 오차(RASE: relative average spectral error)(Yang et al., 2016)는 스펙트럼 평균 성능을 보여준다. 스펙트럼 품질이 높을수록 RASE 값이 낮다.

[0165] 7. 참고가 없는 품질(QNR: quality with no reference)(Alparone et al. 2008)은 공간 왜곡 지수 D_s 와 스펙트럼 왜곡 지수 D_λ 로 구성된다. QNR 값은 공간 지수 및 스펙트럼 지수에 의해 결정된다. 이 세 가지 목표 메트릭들은 기준 이미지없이 계산된다. 작은 공간 왜곡 및 스펙트럼 왜곡은 만족스러운 융합 결과를 제공한다. 그러나 QNR 값이 높을수록 융합 효과가 좋아진다.

[0167] 결과 및 비교

[0168] 실험은 먼저 산지에서 촬영한 월드뷰-2(WorldView-2) 위성 이미지에 대해 수행된다. 도 9a 및 도 9b는 각각 다중 스펙트럼 이미지(MS) 및 팬크로마틱 이미지(PAN)를 도시한 것이다. 도 9c는 기준 HMS 이미지를 보여준다. 도 9d 내지 도 9j는 다양한 방법으로 생성된 결과 HMS 이미지를 보여준다. 도 9h, 도 9i에 도시된 바와 같이, PCA-기반 방법 및 BDSD-기반 방법의 결과는 심각한 스펙트럼 왜곡을 겪는다. 분명히, PCA-기반 방법의 클로즈업 영역에서 초목 색상은 검은 색에 가까우며 암석 표면의 색상은 기준 HMS 이미지보다 밝다(도 9h 참조). AIHS-기반 방법은 스펙트럼 정보면에서 더 나은 효과를 나타내지만, 국소 인공물은 거의 발생하지 않는다(도 9d 참조). 그리고 GSA 기반 방법으로 얻은 결과는 또한 초목 지역에서 명백한 스펙트럼 왜곡을 갖는다(도 9g의 근접 보기 참조). BFLP, AWLS 및 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 시각적 효과가 매우 유사하여 구별하기가 어렵다(도 9e 내지 도 9j 참조). 표 1은 일곱 가지 다른 팬샤프닝 방법의 객관적인 품질 메트릭을 제시한다. 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 기준 이미지가 없는 메트릭을 제외한 대부분의 선택

된 메트릭에서 최상의 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. BDSD-기반 방법은 QNR, D_s 및 D_λ 의 관점에서 좋은 객관적인 메트릭을 가지고 있는데, 이는 고해상도 팬크로마틱 이미지와 업샘플링된 다중 스펙트럼 이미지를 직접 융합하기 때문이다. 일반적으로 객관적인 평가는 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법의 관

점에서 주관적 평가와 일치한다. 따라서 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 기준 HMS 이미지에 더 가까운 좋은 결과를 얻을 수 있는 능력을 가지고 있다고 결론을 내릴 수 있다.

표 1

Methods	CC (1)	ERGAS (0)	UIQI (1)	SAM (0)	RASE (0)	RMSE (0)	D_s (0)	D_λ (0)	QNR (1)
AIHS	0.944	1.444	0.939	0.026	6.379	4.468	0.043	0.025	0.932
BFLP	0.948	1.522	0.947	0.028	6.877	4.817	0.037	0.066	0.899
AWLS	0.951	1.390	0.949	0.025	6.169	4.321	0.039	0.026	0.936
GSA	0.951	1.444	0.949	0.025	6.314	4.423	0.040	0.054	0.908
PCA	0.901	2.223	0.842	0.033	9.791	6.858	0.156	0.044	0.807
BDSD	0.935	1.782	0.929	0.031	7.821	5.478	0.019	0.005	0.976
Proposed	0.952	1.386	0.951	0.025	6.151	4.308	0.031	0.033	0.937

[0169]

[0170]

또 다른 예는 도시 지역에서 파생된 월드뷰-2(WorldView-2) 위성 이미지에 대해 수행된다. 도 10에 도시된 바와 같이, BFLP-기반, GSA-기반, PCA-기반 및 BDSD-기반 방법은 다양한 정도의 스펙트럼 왜곡에 직면한다(도 10e, 8g, 8h, 8i 참조). 도 10c의 클로우즈업 뷰에서 잔디 영역과 비교하여, BFLP-기반, GSA-기반 및 BDSD-기반 방법(도 10e, g, i의 클로우즈업 뷰 참조)은 부자연스러운 색을 생성하고, 기준 HMS 이미지보다 밝다. PCA-기반 방법은 공간 해상도와 스펙트럼 해상도 모두에서 성능이 떨어진다(도 10h 참조). 스펙트럼 정보는 AIHS-기반, AWLS-기반 및 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법을 사용하여 잘 보존될 수 있다. 그러나 공간 디테일 정보는 AIHS 기반 방법에 대해 약간의 흐림을 수행한다(도 10d 참조).

[0171]

본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법을 사용하여 얻은 결과의 전체 성능은 기준 이미지에 가장 가깝다(도 10j 참조). 표 2에서 볼 수 있듯이 객관적인 품질은 주관적 평가와 일치한다. 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 CC, ERGAS, UIQI, RASE, RMSE 및 D_s 지수 측면에서 좋은 객관적인 효과를 나타낸다. AWLS-기반 방법은 D_λ 와 QNR에 대해 약간 큰 값을 갖지만 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 여전히 상위 3위 이내를 차지한다. 또한, SAM 값은 이미지의 스펙트럼 유형과 관련되므로 최상의 값을 얻는 방법은 고정되어 있지 않다. 이 예는 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법이 월드뷰-2(WorldView-2) 위성 이미지를 펜샤프닝하는 것에 만족스러운 결과를 생성할 수 있음을 보여준다.

표 2

Methods	CC (1)	ERGAS (0)	UIQI (1)	SAM (0)	RASE (0)	RMSE (0)	D_s (0)	D_λ (0)	QNR (1)
AIHS	0.865	4.642	0.849	0.096	21.768	65.075	0.037	0.012	0.952
BFLP	0.857	4.945	0.842	0.092	21.680	64.809	0.123	0.097	0.792
AWLS	0.874	4.625	0.866	0.098	21.339	63.790	0.032	0.010	0.958
GSA	0.849	5.601	0.843	0.103	24.841	74.260	0.137	0.098	0.779
PCA	0.787	6.295	0.735	0.176	35.816	107.070	0.266	0.151	0.623
BDSD	0.859	5.365	0.856	0.112	24.939	74.552	0.044	0.010	0.947
Proposed	0.875	4.534	0.866	0.098	21.030	62.867	0.026	0.026	0.949

[0172]

[0173]

또한 플레이아데스(Pleiades)에서 파생된 다른 유형의 위성 이미지에 대한 실험도 수행된다. 도 11에 도시된 바와 같이, BFLP-기반 및 PCA-기반 방법은 명백한 스펙트럼 왜곡을 생성한다(도 11e, 도 11h 참조). AIHS-기반 방법은 MS 이미지의 스펙트럼 정보를 어느 정도 보존한다는 것을 알 수 있다. 그러나, PAN 이미지의 공간 디테일 정보는 선명화된 이미지로 잘 전달될 수 없다(도 11d의 클로우즈업 뷰 참조). AWLS-기반, GSA-기반, BDSD-기반 및 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법을 포함한 나머지 방법들은 스펙트럼 및 공간 정보면에서 거의 동일한 성능을 보여준다(도 11f, 도 11g, 도 11i, 도 11j 참조). 표 3은 서로 다른 방법들 간의 객관적인 품질 메트릭을 비교한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 CC, ERGAS, UIQI, RASE,

RMSE 및 D_s 메트릭의 측면에서 바람직한 효과를 나타냄을 알 수 있다. SAM 메트릭이 최상의 것은 아니지만 AWLS-기반 방법에 비해서는 두 번째 순위에 불과하다. 위의 설명과 같이 BDSD-기반 방법은 기존 HMS 이미지없이 D_λ 및 QNR 측면에서 좋은 객관적인 메트릭을 얻을 수 있다.

표 3

Methods	CC (1)	ERGAS (0)	UIQI (1)	SAM (0)	RASE (0)	RMSE (0)	c (0)	D_λ (0)	QNR (1)
AIHS	0.933	6.107	0.932	0.063	23.881	73.493	0.018	0.050	0.933
BFLP	0.895	9.342	0.872	0.068	37.835	116.436	0.124	0.123	0.769
AWLS	0.960	4.696	0.960	0.061	18.659	57.421	0.014	0.032	0.954
GSA	0.944	6.207	0.940	0.074	24.100	74.167	0.069	0.081	0.855
PCA	0.918	8.913	0.797	0.085	34.550	106.326	0.203	0.150	0.677
BDSD	0.941	6.126	0.939	0.088	24.668	75.913	0.034	0.008	0.958
Proposed	0.962	4.599	0.962	0.063	18.241	56.135	0.012	0.048	0.941

정리하자면, 이 예는 플레이아데스(Pleiades) 위성 이미지를 팬샤프닝하는 것과 관련하여 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법이 다른 방법보다 우수함을 보여준다.

또한, 도 12a, 도 12b는 플레이아데스(Pleiades) 위성의 MS 이미지 및 PAN 이미지를 각각 보여준다. BFLP-기반, GSA-기반 및 BDSD-기반 방법의 시각적 결과는 초목 지역의 스펙트럼 왜곡의 정도에 따라 달라진다(도 12e, 도 12g, 도 12i 참조). 붉은 직사각형으로 표시된 확대 영역에서, PCA-기반 방법(도 12h 참조)이 이 예에 대한 공간 디테일을 전혀 향상시킬 수 없다는 것을 알 수 있다. AIHS-기반, AWLS-기반 방법 및 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법에 의해 획득된 결과(도 12d, 도 12f, 도 12j 참조)는 기존 MS 이미지에 매우 유사하게 수행된다. 표 4에 열거된 도 12의 객관적 품질 메트릭은 시각적 비교와 일치한다. BFLP-기반의 방법이 제안된 방법보다 약간 더 나은 SAM 값을 생성하지만, 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 CC, ERGAS, UIQI, RASE, RMSE, D_s 및 QNR과 같은 가장 우수한 품질 메트릭의 의미에서 보다 객관적인 성능을 가

진다. D_λ 의 경우 그것은 이미지 자체의 스펙트럼 특성과 관련되어 있기 때문에 이러한 여러 방법 간에 차이가 있다. 일반적으로, 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법이 시각적 및 객관적인 평가의 관점에서 전통적인 방법보다 우수하다는 결론을 내릴 수 있다.

표 4

Methods	CC (1)	ERGAS (0)	UIQI (1)	SAM (0)	RASE (0)	RMSE (0)	D_s (0)	D_λ (0)	QNR (1)
AIHS	0.914	4.388	0.904	0.076	19.607	48.436	0.046	0.006	0.948
BFLP	0.907	4.868	0.896	0.071	20.929	51.703	0.166	0.123	0.731
AWLS	0.926	4.207	0.922	0.077	18.746	46.309	0.038	0.011	0.952
GSA	0.859	7.007	0.836	0.109	28.171	69.592	0.144	0.105	0.766
PCA	0.820	6.810	0.789	0.195	39.324	97.145	0.162	0.172	0.694
BDSD	0.874	6.358	0.861	0.114	27.729	68.500	0.055	0.013	0.933
Proposed	0.931	3.997	0.928	0.075	17.993	44.450	0.028	0.018	0.954

본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법의 유효성을 검증하기 위해 도시 지역과 관련된 콰버드 이미지가 선택된다. 도 13에 도시된 바와 같이, GSA-기반 및 PCA-기반 방법은 스펙트럼 정보를 심각하게 왜곡시키며(도 13g, 도 13h 참조), 특히 GSA-기반 방법은 어떠한 스펙트럼 정보도 없이 명백하다는 것을 알 수 있다. BDSD-기반 방법은 이 예에서 왼쪽 하단 영역의 공간 디테일을 향상시키는 데 실패한다(도 13i의 클로즈업 보기 참조). BFLP-기반 방법은 기존 이미지와 색이 완전히 다른 결과를 생성한다(도 13e 참조). AIHS-기반, AWLS-기반 방법 및 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법(도 13d, 도 13f, 도 13j 참조)은 서로 가장 유

사하다. 이 예에 대한 객관적인 품질 메트릭 값은 표 5에 제시되어 있다. 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법이 SAM 지수의 관점에서 더 나은 성능을 달성하지는 못했지만(AIHS-기반 방법보다 약간 낮음), 나머지 지수들, 즉 CC, ERGAS, UIQI, RASE 및 RMSE의 관점에서 최상의 효과를 나타낸다. 따라서 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 콰버드 이미지에 대해 최상의 성능을 보여준다.

표 5

Methods	CC (1)	ERGA S(0)	UIQI (1)	SAM (0)	RASE (0)	RMSE (0)	D_s (0)	D_λ (0)	QNR (1)
AIHS	0.803	6.537	0.785	0.107	24.465	13.637	0.113	0.012	0.876
BFLP	0.727	21.329	0.673	0.440	85.199	47.489	0.153	0.264	0.623
AWLS	0.817	6.423	0.809	0.111	24.232	13.506	0.149	0.029	0.826
GSA	0.745	8.976	0.734	0.140	31.200	17.391	0.246	0.115	0.667
PCA	0.604	9.163	0.527	0.174	30.873	17.208	0.187	0.115	0.720
BDSD	0.809	7.114	0.804	0.123	27.814	15.503	0.081	0.007	0.912
Proposed	0.833	6.115	0.825	0.110	23.028	12.836	0.129	0.032	0.844

[0179]

[0180]

본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 이중 스케일 디테일 추출을 이용한 가이드드 이미지 필터를 이용한 새로운 팬샤프닝 방법이다. 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 근사 이미지를 추정하기 전에 입력 이미지의 저주파수 부분의 영향을 제거하기 위하여 양방향 필터를 채택한다. 근사 이미지와 PAN^H 이미지 간의 상관 관계를 넓히기 위해 AIHS-기반 방법을 사용하여 근사 이미지를 구한다. 특히 MS 이미지의 더 많은 누락된 디테일을 얻을 수 있는 이중 스케일 가이드드 이미지 필터로 디테일 이미지들을 추출한다. 기존의 다른 팬샤프닝 방법들과 비교할 때, 본 발명의 일 실시예에 의한 항공 이미지 융합 방법은 주관적 및 객관적 지표 양자의 관점에서 더 잘 수행된다.

[0181]

이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세하게 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함은 명백하다고 할 것이다.

[0182]

본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속하는 것으로, 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

[0183]

S300 : 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분 획득 단계

S302 : 팬크로마틱 이미지의 고주파 성분 획득 단계

S304 : 다중 스펙트럼 이미지의 고주파 성분으로부터 강도의 고주파 성분 획득 단계

S306 : 디테일 이미지 획득 단계

S308 : 고 공간 해상도 다중 스펙트럼 이미지 획득 단계

500 : 고주파 성분 획득부

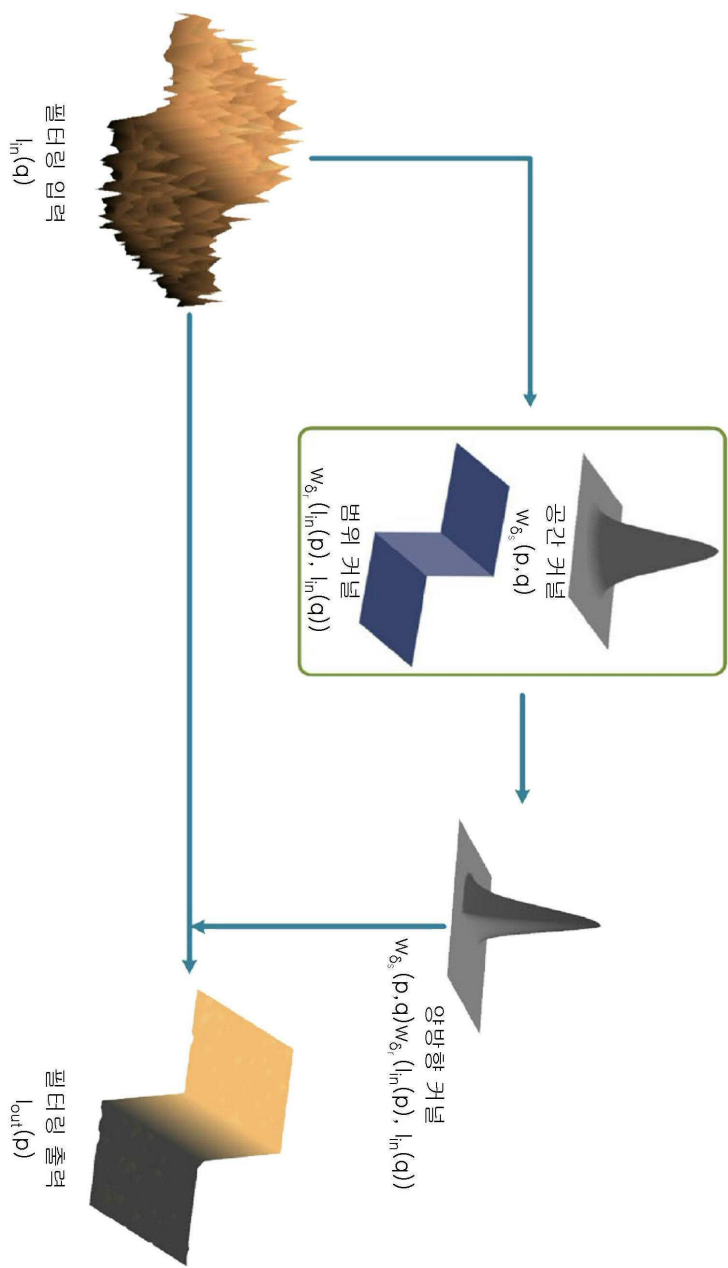
502 : 강도 고주파 성분 획득부

504 : 디테일 이미지 획득부

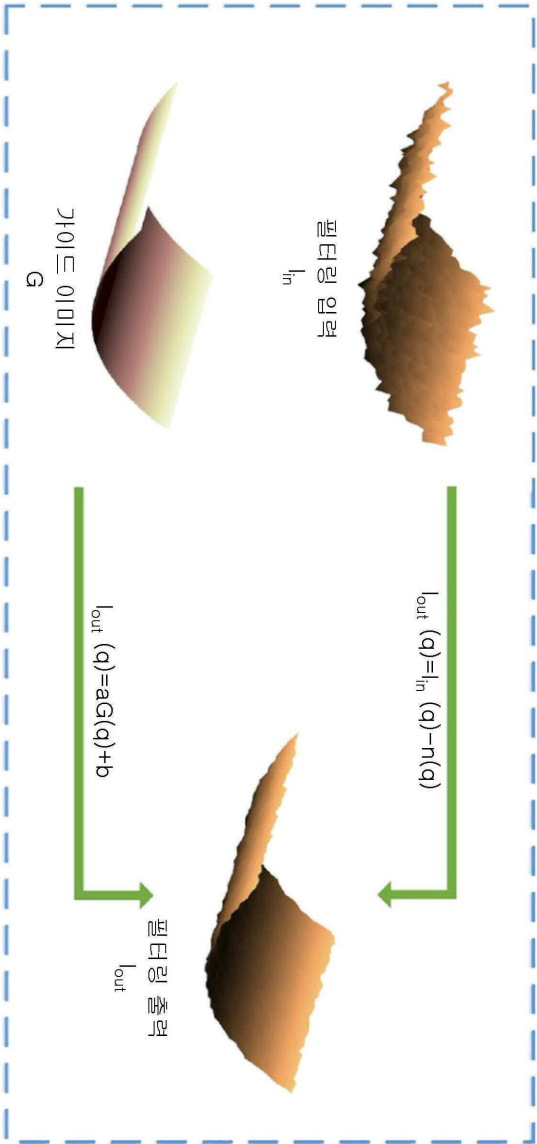
506 : 이미지 융합부

도면

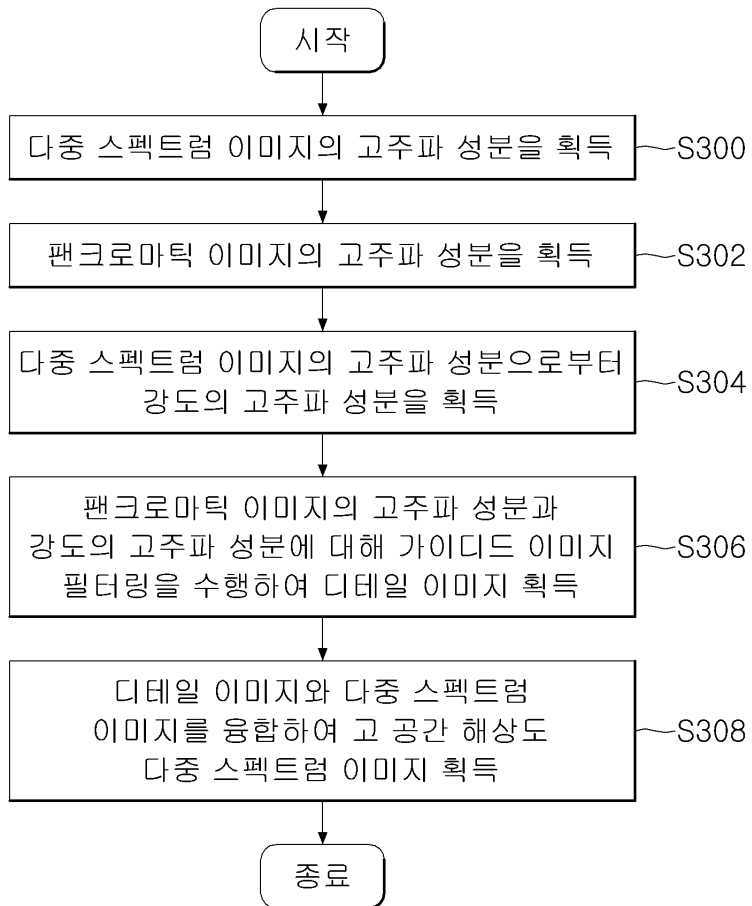
도면1



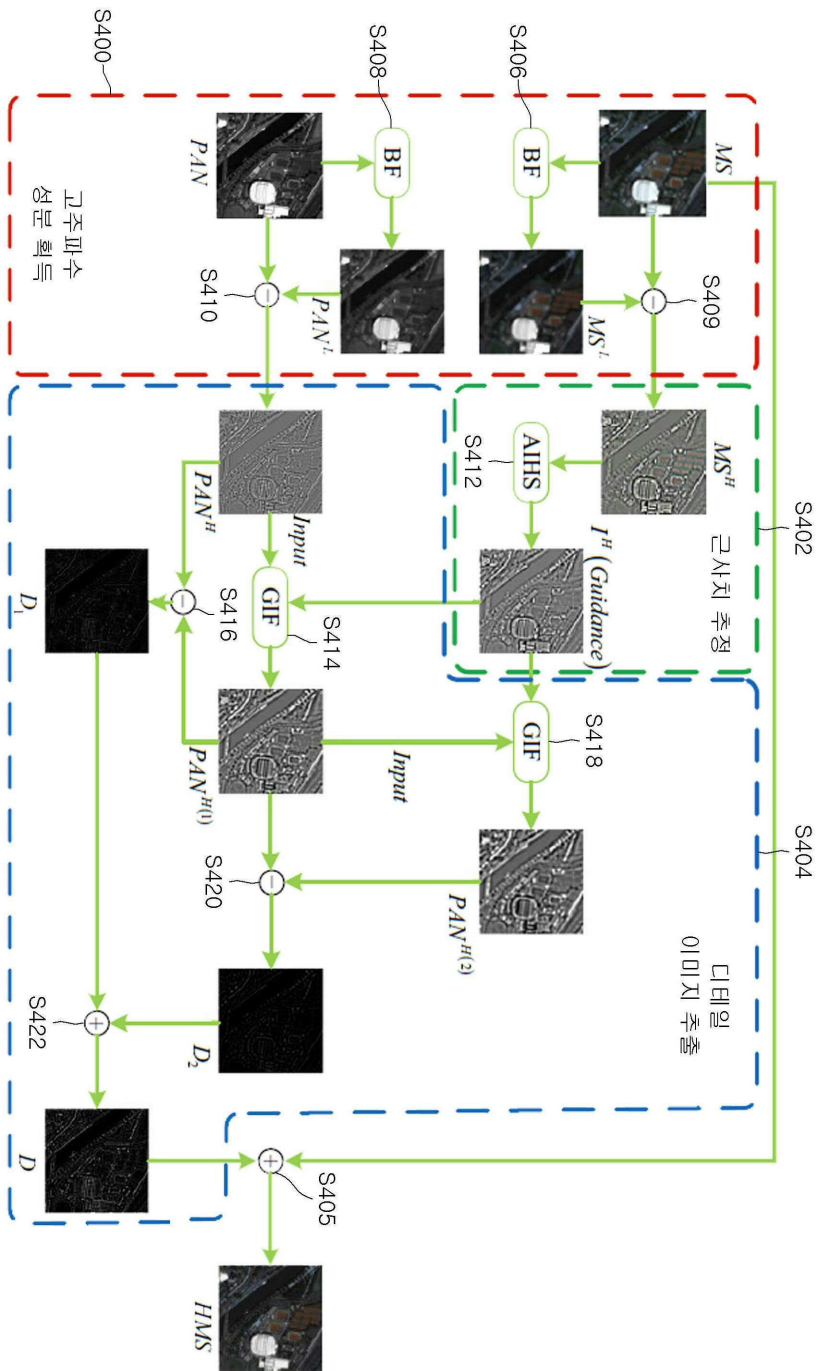
도면2



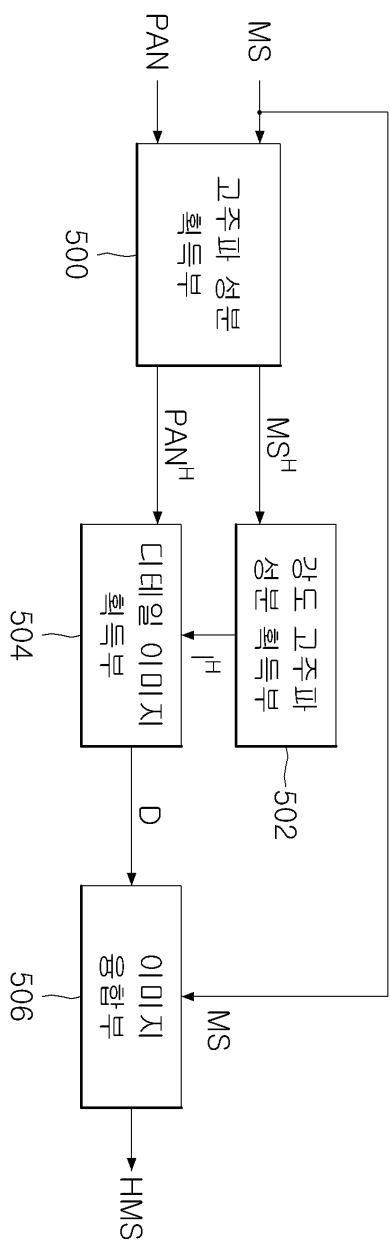
도면3



도면4



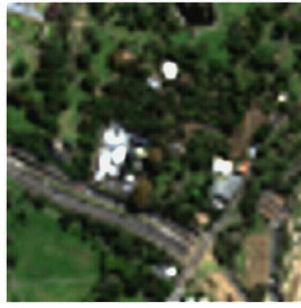
도면5



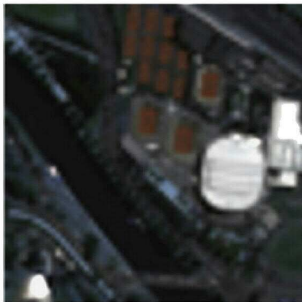
도면6



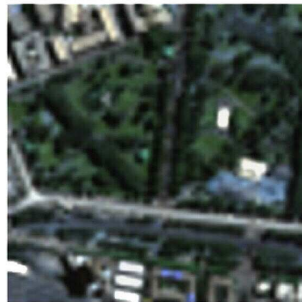
(a)



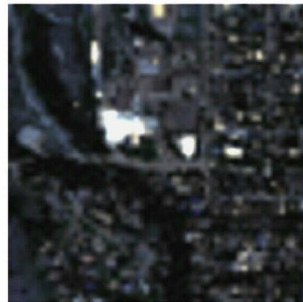
(b)



(c)

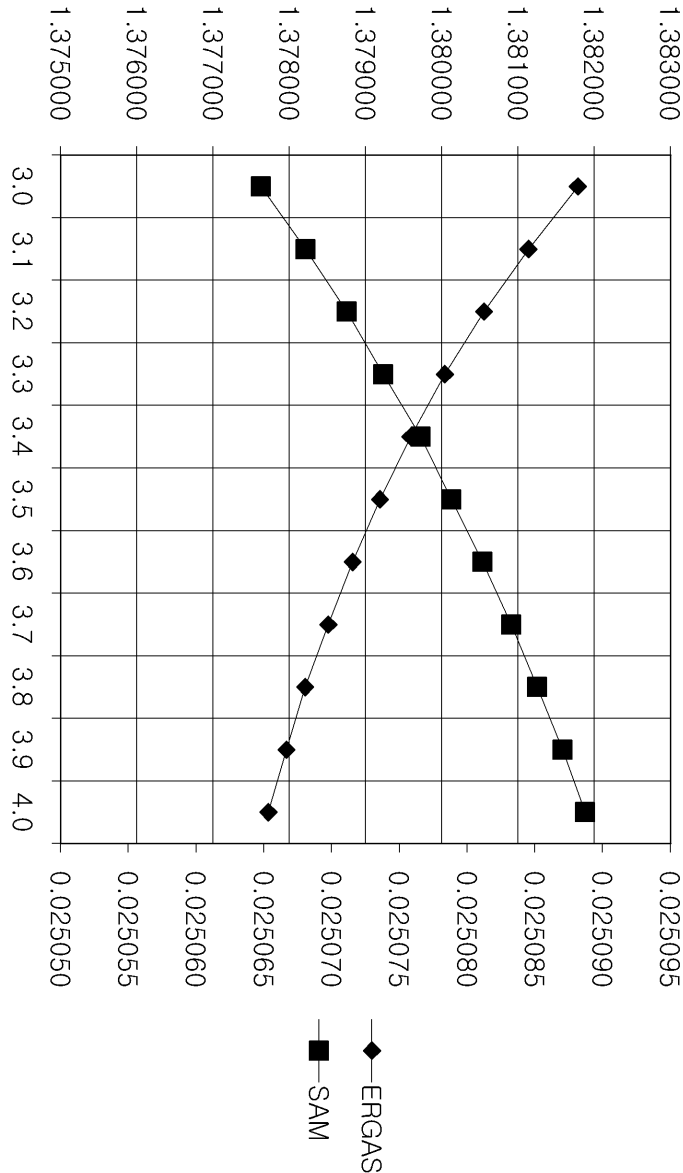


(d)

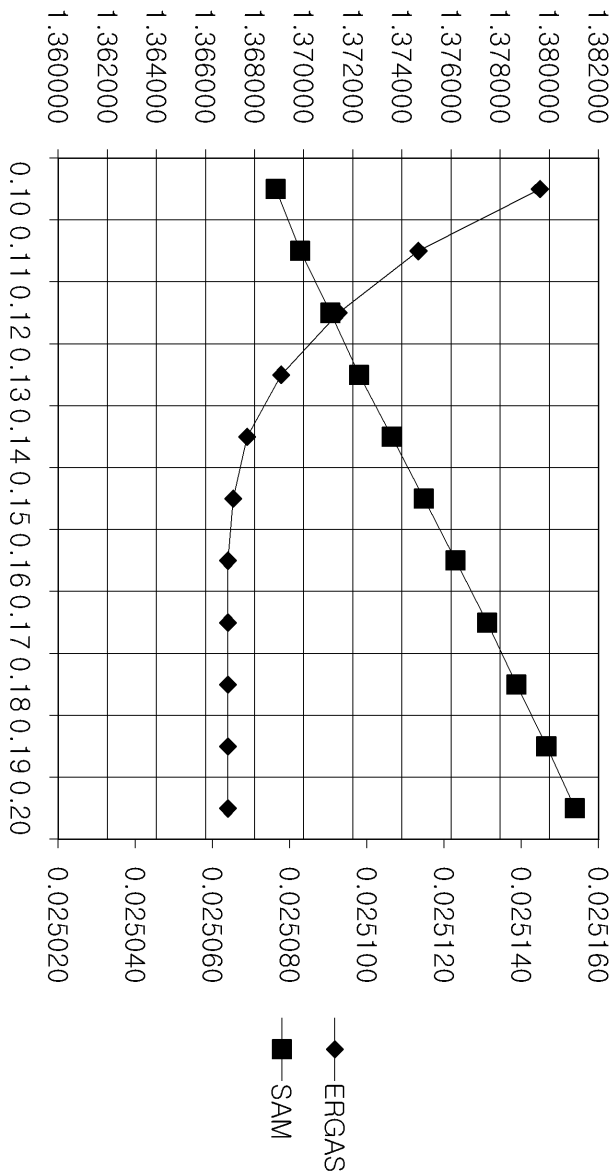


(e)

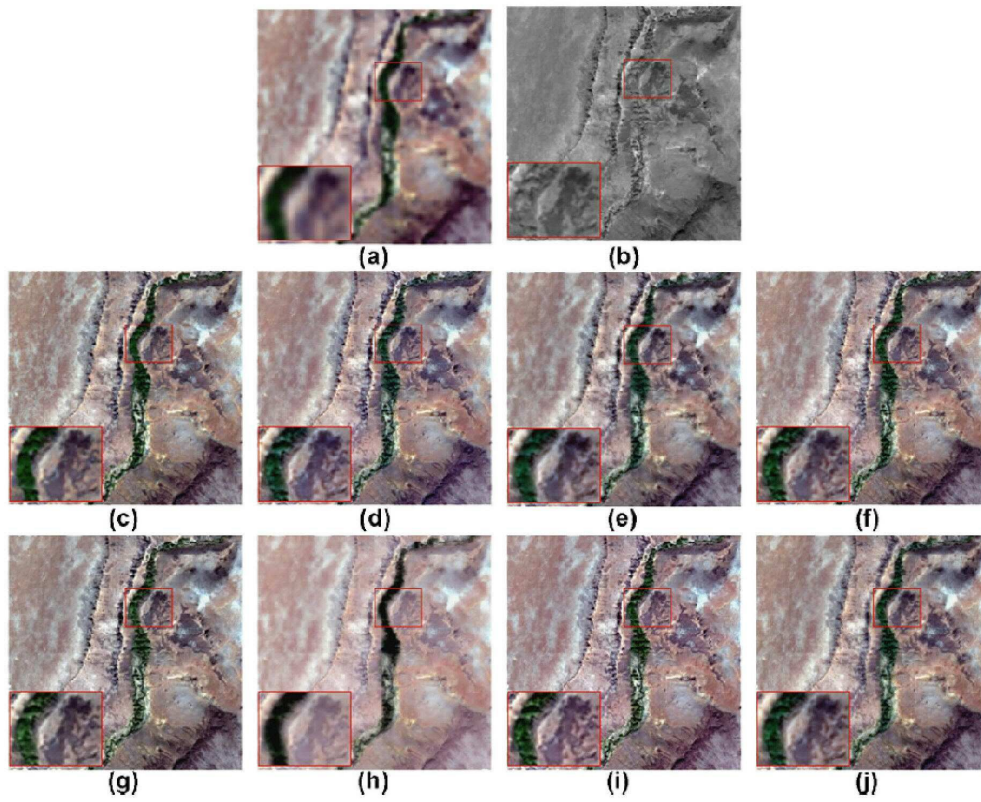
도면7



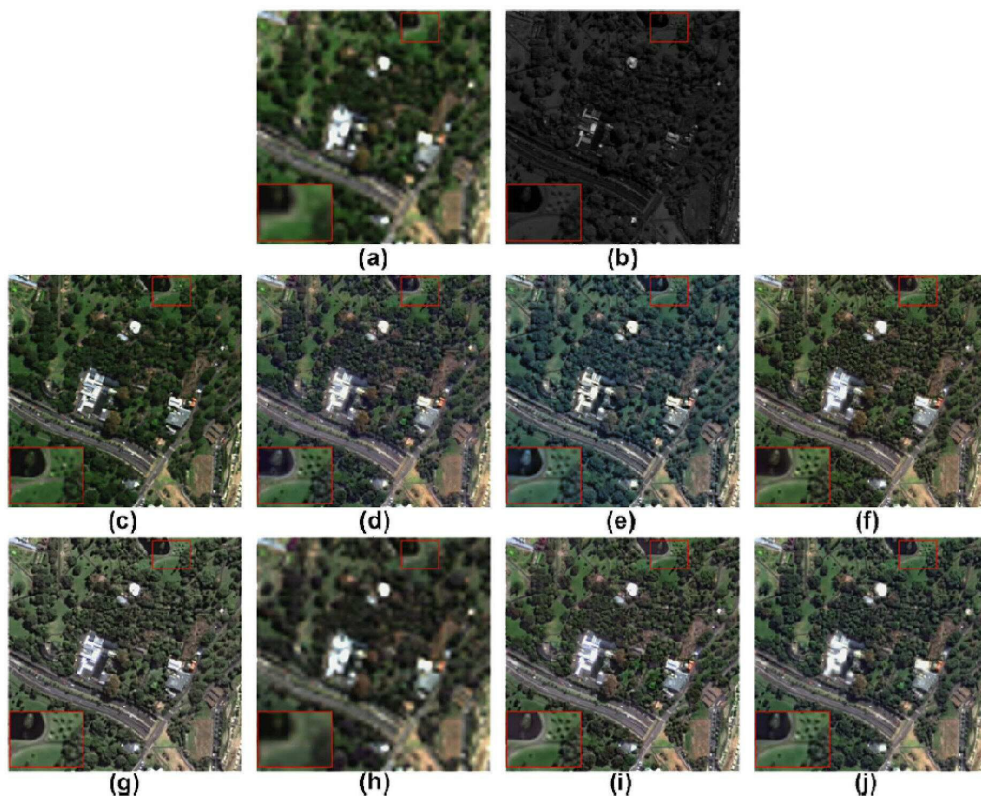
도면8



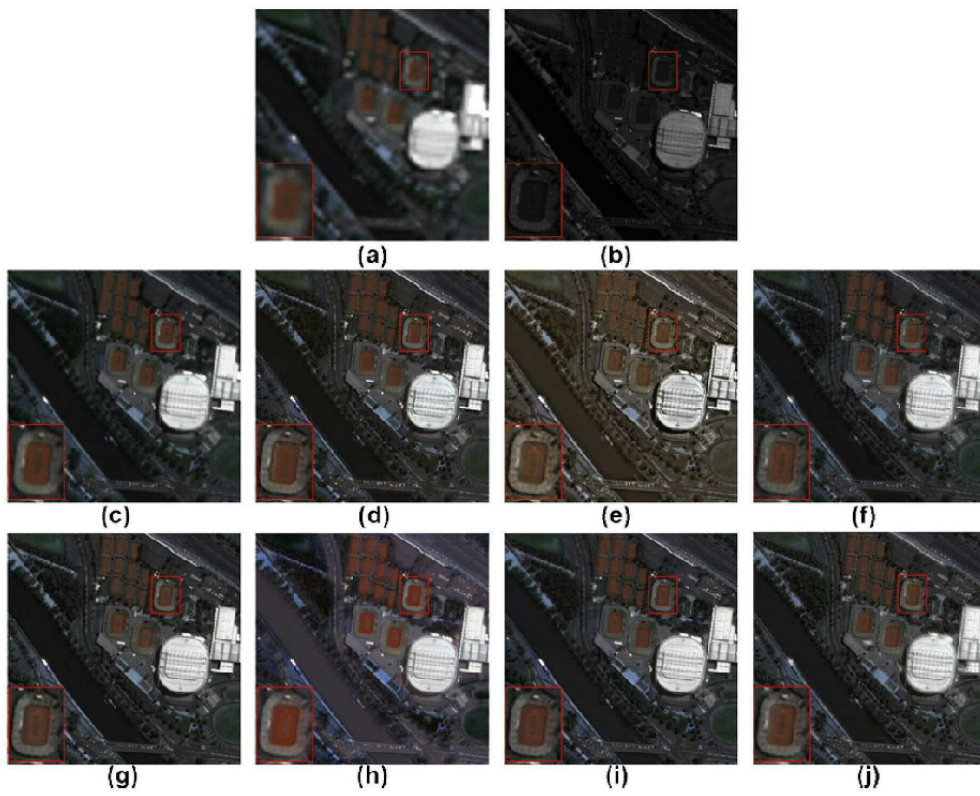
도면9



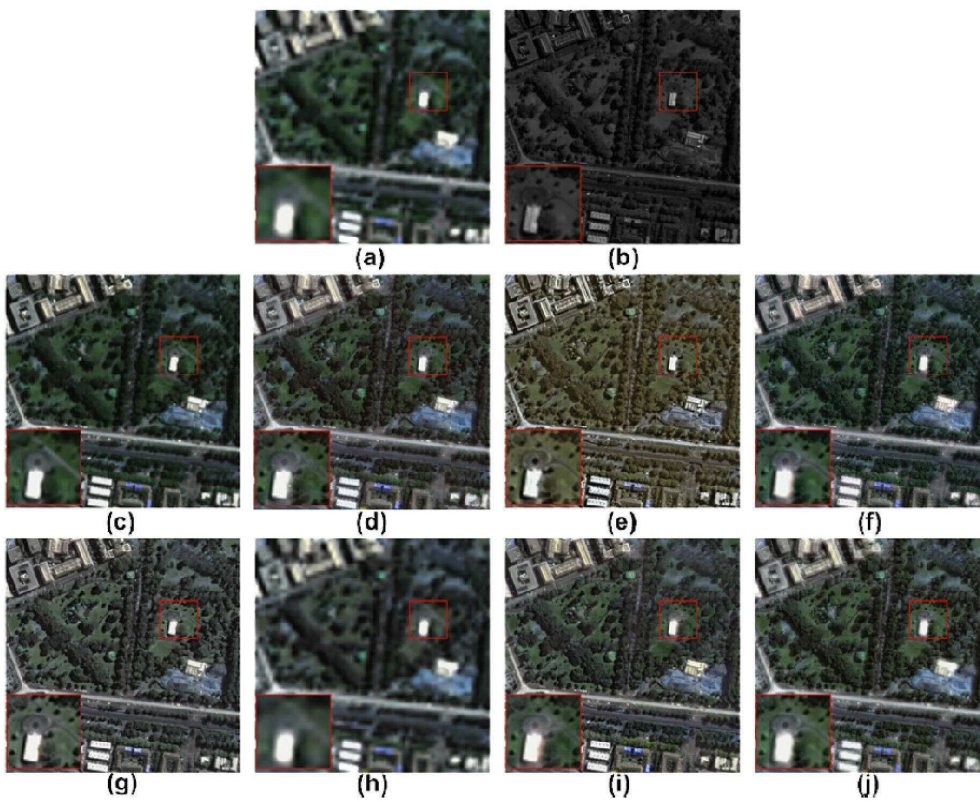
도면10



도면11



도면12



도면13

