

담금질 모사기법을 이용한 성분대입기반 영상융합 알고리즘의 평가

The comparative analysis of component-substitution based image fusion algorithm by simulated annealing

최재완*, 김혜진, 김용일

Jaewan Choi, Hyejin Kim, Yongil Kim

서울대학교 공과대학 건설환경공학부

choijw11@snu.ac.kr

요 약

영상 융합은 센서의 자료 저장 능력과 센서에 들어오는 방사에너지 감지의 한계를 해결하고 고해상도의 멀티스펙트럴 영상을 생성할 수 있다는 측면에서 중요한 의의를 지닌다. 특히, 성분대입(component-substitution) 기반의 영상융합 기법은 대용량의 자료를 빠르게 처리할 수 있고, 융합된 영상의 분광왜곡이 적다는 장점을 지니고 있다. 본 연구에서는 최적화기법 중의 하나인 담금질 모사기법(Simulated Annealing, SA)을 이용하여 다양한 성분대입 기반 영상융합 알고리즘들을 분석 및 평가하였다. 담금질 모사기법은 원하는 목적함수가 지역적 최소값이 아닌 광역적 최소값에 수렴이 가능하도록 하는 기법으로 다양한 분야에서의 광역 최적화 기법에 사용된다. 융합 기법의 최적화된 변수를 추출하기 위하여 인위적으로 공간해상도를 낮춘 위성영상을 입력자료로, 원 멀티스펙트럴영상을 참조자료로 사용하였으며, 두 영상간의 분광유사 척도를 담금질 모사 기법의 목적함수로 구성하였다. 이를 통해 해당 목적함수의 광역적 최소값을 추출하고, 최종적으로 해당 영상에 융합 기법 별 최적화된 변수를 결정하였다. 제안된 최적화 변수의 평가를 위하여 IKONOS 위성영상에 융합을 적용하고, 알고리즘별 분광왜곡량을 비교하였으며 이를 통하여 고해상도 위성영상에 가장 적합한 성분대입 기반 영상융합 기법 및 그에 따른 최적화 변수를 도출할 수 있었다.

1. 서론

IKONOS-2, Quickbird 등과 같은 상업용 고해상도 원격탐사 위성은 높은 공간해상도를 가지는 흑백(panchromatic) 영상과 다양한 분광대를 가지는 멀티스펙트럴(multispectral) 영상을 동시에 제공하고 있다. 우리나라에서도 2007년에 발사된 다목적실용위성 2호(KOMPSAT-2)의 영상이 공급됨에 따라 고해상도 위성영상의 활용에 대한 연구가 더욱 활발하게 진행

되고 있다. 원격탐사 위성영상의 공간, 분광 해상도가 높아지면 더 많은 적용가능성을 갖게 되지만, 원격탐사 위성의 센서의 한계에 의해서 실제적으로 높은 공간해상도를 가지는 멀티스펙트럴 영상을 취득하기 어렵기 때문에 그 활용분야가 제한된다(Y.Zhang, 2004). 이러한 점에서 영상 융합(image fusion)은 중요한 의의를 지니며 이에 따라 다양한 기법들이 연구되어 왔다. 최근, IHS 융합, PCA 융합 등 여러 융합기법들이 일반화된 성분대입

(Generalized Component - Substitution) 기반의 융합모델이나 일반적인 영상융합기법구조 (General image fusion framework)로 단순화시킬 수 있고, 대용량 위성영상에 효과적으로 적용할 수 있음이 증명되었다(W. Dou, 2007). 본 연구에서는 대표적 최적화 기법 중의 하나인 담금질 모사(simulated annealing) 기법을 사용하여 이러한 성분대입 기반의 융합모델의 변수를 추출하고, 이를 이용하여 다양한 융합모델의 비교평가를 통하여 최적화된 융합기법을 제안하고자 한다.

2. 일반화된 성분대입 기반 융합기법

2.1. 성분대입 기반 융합기법

성분대입 기반 융합기법은 다음과 같은 과정을 통해서 이루어진다.

- (1) 멀티스펙트럴 영상을 식 (1)과 같은 선형변환을 통해 다른 특징공간(feature space)로 변형시킨다.
- (2) 변환된 특징공간의 첫 번째 성분을 흑백영상으로 대체시킨다.
- (3) 식(2)와 같이 조정된 특징공간의 역 선형변환을 통해 고해상도 멀티스펙트럴 융합영상을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} I^l \\ V_{C_2} \\ \vdots \\ V_{C_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{21} & \cdots & c_{n1} \\ c_{12} & c_{22} & \cdots & c_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{1n} & c_{2n} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{MS_1}^l \\ V_{MS_2}^l \\ \vdots \\ V_{MS_n}^l \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} V_{MS_1}^h \\ V_{MS_2}^h \\ \vdots \\ V_{MS_n}^h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} & \cdots & w_{n1} \\ w_{12} & w_{22} & \cdots & w_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1n} & w_{2n} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I^h \\ V_{C_2} \\ \vdots \\ V_{C_n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서

c_{ii}, w_{ii} : 선형변환의 계수

$V_{MS_i}^l$: 원 멀티스펙트럴 영상의 i 번째 밴드

$V_{MS_i}^h$: 융합 영상의 i 번째 밴드

I^l, V_{C_i} : 선형변환 결과의 첫 번째 성분 및 i 번째 성분이다.

2.2. 일반화된 성분대입 기반 융합기법

성분대입 기반 융합기법은 행렬연산을 이용한 2번의 선형변환을 수행하기 때문에 많은 연산시간을 소비하며, 이로 인해 대용량의 영상자료에는 효과적으로 쓸 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 이를 위해 W. Dou(2007)은 성분대입 기반의 융합 기법이 식 (3)과 같은 단순 선형변환으로 변형할 수 있음을 증명하였다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_{MS_1}^h \\ V_{MS_2}^h \\ \vdots \\ V_{MS_n}^h \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} & \cdots & w_{n1} \\ w_{12} & w_{22} & \cdots & w_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1n} & w_{2n} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I^l + (I^h - I^l) \\ V_{C_2} \\ \vdots \\ V_{C_n} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} & \cdots & w_{n1} \\ w_{12} & w_{22} & \cdots & w_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1n} & w_{2n} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I^l \\ V_{C_2} \\ \vdots \\ V_{C_n} \end{bmatrix} \\ &\quad + \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{12} \\ \vdots \\ w_{1n} \end{bmatrix} (I^h - I^l) \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)은 다시 정리하면, 식(4)와 같은 단순 선형식으로 구성할 수 있다.

$$V_{MS}^h = V_{MS}^l + \overline{W}\delta \quad (4)$$

여기서,

\overline{W} : 선형식의 계수

δ : 멀티스펙트럴영상에 주입될 공간 세부 정보이다.

특히, Wang(2005)이 제안한 일반적인 영상융합 구조(general image fusion framework)에서는 선형식의 계수를 각각의 화소에 다르게 적용되도록 멀티스펙트럴 영상과 이와 동일한 공간해상력을 가지는 흑백영상간의 비를 조정계수로 산정

하였는데, 이를 일반화된 성분대입 기반 융합기법에 적용하여 세분화하면 다음과

같이 일반화시킬 수 있다.

$$V_{MS}^h = V_{MS}^l + \overline{W}\alpha\delta \quad (5)$$

여기서,

α : 융합의 조정변수이며, 각 화소에 따라 다른 값을 가진다.

따라서, 일반화된 성분대입 기반 융합기법을 영상에 적용할 때, 최적화된 \overline{W} 를 산정하고, 융합에 필요한 공간적 세부정보 및 융합의 조정계수를 조정하는 방법에 따라서 다른 융합결과를 얻을 수 있다.

3. 담금질 모사기법

담금질 모사기법(M. M. Ali, 2002)은 유전 알고리즘(genetic algorithm)과 더불어 다양한 분야에 적용되고 있는 대표적 최적화 기법 중의 하나이다.

표 1. 담금질 모사기법의 절차

- a. 초기 온도 T_0 와 냉각일정을 결정한다.
- b. 임의의 X_i 를 선택하고, 이를 이용하여 목적함수 값 $E(X_i)$ 를 계산한다.
- c. 디자인 벡터 X_i 를 조정하여 새로운 X_{i+1} 를 생성하고 $E(X_{i+1})$ 를 계산한다.
- d. $E(X_{i+1}) \leq E(X_i)$ 인 경우, X_{i+1} 를 새로운 해로 설정한다.
- e. $E(X_{i+1}) > E(X_i)$ 일 경우, 현재 온도에서의 볼츠만 확률 $\exp(-\Delta/T)$ 가 임의의 확률보다 클 때에만 X_{i+1} 를 새로운 해로 설정한다.
(여기서, $\Delta = E(X_{i+1}) - E(X_i)$)
- f. 냉각 일정에 따라서 시스템 온도를 낮춘다.
- g. 정지 규칙을 만족할 때까지 c부터 f까지의 과정을 반복한다.

담금질 모사기법은 주로 광역 최적화 기법에 사용되며 기울기 감소 방법(gradient descent method)과는 달리 목적함수 내의

변수를 임의적으로 교란(perturbation)시켜 목적함수가 지역적 최소치를 벗어나 광역적 최소값(global optimal solution)에 수렴하도록 한다. 최적화 기법은 광역적 최소값을 갖도록 하는 목적함수 내의 디자인 벡터 X 를 구하는 것이 목적이다. $E(X)$ 를 목적함수 값이라 하고, T 를 담금질 모사기법 내의 시스템 온도라고 하면 최적화 과정은 표. 1과 같은 절차를 통하여 이루어진다.

4. 실험방법

4.1. 성분대입 기반 영상융합을 위한 목적함수의 설정

최적화된 성분대입 기반 영상융합모델을 추출하기 위하여 총 5개의 성분대입 기반 융합모델을 구성하였다. 각각의 성분대입 기반 영상융합 모델들은 공간 세부 정보와 조정 계수 모델의 형성에 있어서 각기 다른 구조를 가지고 있다. 각각의 구조 및 특징은 표 2와 같다.

4.2. 담금질 모사기법의 설정

각각의 성분대입 기반 영상융합모델의 구조 및 최적화 변수를 추출하기 위하여 먼저, 적당한 목적함수를 설정하여야 한다. 본 연구에서는 각각의 성분대입 기반 융합모델을 이용하여 얻은 융합영상과 원영상간의 분광왜곡량을 목적함수로 설정하였다. 분광왜곡량을 평가하는 척도로는 영상융합결과에 적용되는 대표적인 평가지수인 ERGAS (relative dimensionless global error in synthesis)를 사용하였으며(L. Wald, 2000), 이를 통해 얻은 최종적인 담금질 모사기법의 목적함수는 다음과 같다.

$$E(X_i) = ERGAS(V_{FUSED}^h, V_{MS}^h) \\ = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^4 \frac{RMSE^2(B_j)}{M_i^2}}$$

여기서,

X_i : 융합영상 V_{FUSED}^h 생성 시의 디자인 벡터

$RMSE(B_i)$: 융합영상과 원영상 간의 화소간 거리오차이다.

초기온도 T_0 는 1.0으로 설정하였으며, 냉각일정은 각 온도당 200회의 조정을 수행하고, Δ 가 0.0005미만일 경우를 정지 규칙으로 구성하여 모든 융합구조에 동일하게 담금질 모사기법을 적용하였다.

표 2. 성분대입기반 융합 구조

a. 일반화한 IHS 기반 구조(Jaewan Choi, 2008)
$V_{MS}^h = V_{MS}^l + \overline{W}(V_{PAN}^h - V_I^l)$
b. 일반화한 Brovey 기반 구조(Z. Wang, 2005)
$V_{MS}^h = \frac{\overline{W}V_{MS}^l V_{PAN}^h}{V_I^l}$
c. 일반화한 Tu의 융합방법(T. M. Tu, 2007)
$V_{MS}^h = \frac{V_{PAN}^h(V_{MS}^l + \overline{W}(V_{PAN}^h - V_I^l))}{\overline{W}V_{PAN}^h + (1 - \overline{W})V_I^l}$
d. 일반화한 Li의 융합방법(Junli Li, 2005)
$V_{MS}^h = V_{MS}^l + \overline{W}(V_{PAN}^h - V_{PAN}^l) \frac{V_I^l}{V_{PAN}^l}$
e. 일반화한 W.Dou의 융합구조(W.Dou, 2007)
$V_{MS}^h = V_{MS}^l + \overline{W}(\gamma_1 V_{PAN}^h - V_I^l + \gamma_2)$
여기서,
$V_I^l: \sum_{i=1}^4 \beta_i V_{MS}^l$ 이며, β_i 는 저해상도 흑백영상의 생성을 위한 계수이다.

4.3. 실험방법

영상융합의 결과를 평가하기 위해서는 비

교할 고해상도의 멀티스펙트럴 영상이 존재하여야 한다. 하지만, 이는 실제 존재하지 않기 때문에 해상도를 강제적으로 낮춘 멀티스펙트럴 영상과 흑백영상을 융합하여 원 영상과 동일한 공간해상도의 융합영상을 생성하고, 이를 원영상과 비교평가하였다. 또한, 담금질 모사기법을 이용한 성분대입 기반 영상융합의 최적화변수 추출에 있어서는 목적함수 평가를 위하여 해상도를 낮춘 영상의 해상도를 한번 더 낮춘 멀티스펙트럴 영상과 흑백영상을 사용하였다. 2001년 11월 21에 취득된 대전 지역의 11bit IKONOS 영상을 실험에 사용하였으며, 도심지와 도심과 나대지의 혼합지역 2군데에 실험을 적용하였다.

5. 실험결과

융합영상과 원영상간의 분광유사도 측정을 위해서 다양한 융합평가 지수를 활용하였다. 색상왜곡의 평가를 위해서 ERGAS, 각 밴드별 평균 상관관계, SAM (Spectral Angle Mapper)의 값을 적용하였다. 각 성분대입 기반 융합 구조별 결과 영상 및 융합평가 지수 결과는 그림 1, 표 3과 같다. 일반화한 Dou의 융합구조와 일반화한 Li의 융합방법이 상대적으로 좋은 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 일반적인 Brovey 기반 구조와 Tu의 융합방법은 상대적으로 Blue 밴드에서 왜곡이 심하게 발생하였다. 시각적 평가에 있어서는 일반화한 W. Dou의 융합구조 기법이 가장 원영상과 유사한 색상을 가지고 있으며 공간적해상도에서도 타 구조와 비슷한 결과를 보임을 확인할 수 있었다.



(a) 저해상도 영상 (b)IHS 기반 융합구조 (c) Brovey 기반 융합구조 (d) Tu기반 융합구조



(e)Li의 융합구조 (f) W. Dou 융합구조 (g) 원 멀티스펙트럴영상

그림 1. 융합결과영상

표 3 융합결과영상의 정량적 평가

		(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
지역1	ERGAS	1.6974	2.0212	1.8872	1.65	1.65
	SAM	1.8234	2.3958	2.0187	1.7813	1.7659
	Corr	0.9475	0.9082	0.9132	0.9495	0.949
지역2	ERGAS	2.5926	3.4786	3.4512	2.5006	2.4543
	SAM	1.9251	2.4283	2.1487	1.8798	1.8675
	Corr	0.9337	0.8966	0.8788	0.9383	0.9405

6. 결론

본 연구에서는 담금질 모사기법을 이용하여 다양한 성분대입기반 융합구조의 성능을 비교평가하였다. 그 결과, 각 융합구조의 최적화된 변수를 효과적으로 추출할 수 있었으며, 이를 통해 각 융합구조별 성능을 평가해 볼 수 있었다. IKONOS 영상을 이용한 실험을 통해 Junli의 융합모델을 기반으로 한 융합방법과 Dou의 융합모델 기반 융합방법이 상대적으로 높은 성능을 보임을 확인하였다. 향후, 다양한 지역 및 위성영상에 대한 추가적인 검증 및 각 최적화 변수의 전역적인 적용 가능성에 대해서 검증이 필요할 것이라고 생각

된다.

감사의 글

본 연구는 한국항공우주연구원의 공공기술연구회 일반사업 위탁 연구과제 성과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Y. Zhang, 2004, Understanding image fusion, Photogramm. Eng. Remote Sens., Vol. 70, No. 6, pp. 653-660.
- W. Dou, Y. Chen, X. Li, and D. Z. Sui, 2007, A general framework for component substitution image fusion: An implementation using the fast image fusion method, Computers & Geosciences, Vol. 33, pp. 219-228.
- Z. Wang, D. Ziou, C. Armenakis, D. Li,

and Q. Li, 2005, A Comparative analysis of image fusion method, IEEE Trans. Geosci. Remote Sen., Vol. 43, No. 6, pp. 1391-1402.

M.M. Ali, A. Torn and S. Viitanen, 2002, A direct search variant of the simulated annealing algorithm for optimization involving continuous variables, Computers & Operations Research, Vol. 29, pp. 87-102.

L. Wald, "Quality of high resolution synthesized images: Is there a simple criterion?," Proc. Int. Conf. Fusion Earth Data, 99-105(2000).

Jaewan Choi, Hyejin Kim, Kiyun Yu, and Yongil Kim, 2008, a new adaptive image fusion technique for IKONOS satellite imagery, electronic imaging 2008, SPIE.

T.M. Tu, W. C. Cheng, C. P. Chang, P. S. Huang, and J. C. Chang, 2007, Best tradeoff for high-resolution image fusion to preserve spatial details and minimize color distortion, IEEE Trans. Geosci. Remote Sen. Letter., Vol. 4, No. 2, pp. 302-306.

Junli Li, J. Luo, D. Ming, and Z. Shen, 2005, A new method for merging IKONOS Panchromatic and Multispectral image data, 2005 IEEE.