NIIRS 추정을 위한 자연표적 기반의 에지분석기법 개발

김재인 · 김태정[†]

인하대학교 영상공학연구소

Development of a Natural Target-based Edge Analysis Method for NIIRS Estimation

Jae-In Kim and Taejung Kim[†]

Image Engineering lab, Inha University

Abstract : As one measure of image interpretability, NIIRS(National Imagery Interpretability Rating Scale) has been used. Unlike MTF(Modulation Transfer Function), SNR(Signal to Noise Ratio), and GSD(Ground Sampling Distance), NIIRS can describe the quality of overall image at user's perspective. NIIRS is observed with human observation directly or estimated by edge analysis. For edge analysis specially manufactured artificial target is used commonly. This target, formed with a tarp of black and white patterns, is deployed on the ground and imaged by the satellite. Due to this, the artificial target-based method needs a big expense and can not be performed often. In this paper, we propose a new edge analysis method that enables to estimate NIIRS accurately. In this method, natural targets available in the image are used and characteristics of the target are considered. For assessment of the algorithm, various experiments were carried out. The results showed that our algorithm can be used as an alternative to the artificial target-based method.

Key Words : NIIRS, ESF, Natural target, Image quality

요약 : NIIRS(National Imagery Interpretability Rating Scale)는 영상의 판독력을 설명하는 품질 지표로 고해상도 위성영상의 품질을 나타내는데 널리 사용되어 왔다. 이는 MTF(Modulation Transfer Function), SNR(Signal to Noise Ratio), 또는 GSD(Ground Sampling Distance)와는 달리 객관적이고, 직관적으로 영상의 전반적인 품질을 설명할 수 있다는 점에서, 그 활용도가 매우 크다고 할 수 있다. NIIRS는 전문 판독가에 의해 육안으로 직접 측정되거나, 영상의 에지 분석(Edge analysis)을 통해 정확하게 추정할 수 있다. 일반적으로 에지 분석에는 품질 측정을 위해 특별히 제작된 인공의 표적이 사용된다. 이 인공표적의 일례로 특정 크기의 반사율 차이를 가지는 흑백 패턴의 천막 형태가 있으며, 이러한 인공표적은 인공위성의 촬영 경로 상에 설치되어 진다. 이 때문에 인공표적을 이용하는 방식은 표적의 설치와 관련하여 많은 비용이 지출될 뿐 아니라, 수시로 수행될 수 없다는 문제점을 가지게 된다. 이에 본 논문에서는 영상에서 쉽게 관측될 수 있는 자연표적들로부터 정확한 NIIRS 추정이 가능한 새로운 방식의 에지 분석법을 제안하였다. 이 방법은 임의의 성질을 가지는 자연표적의 특성을 반영하기 위해 알고리즘의 강인성이 강조되었으며, 다양한 실험들을 통해 성능이 평가되었다. 실험 결과는 제안 알고리즘이 기존 방식의 대안으로서 충분히 활용 가능성을 보여 주었다.

접수일(2011년 9월 14일), 수정일(1차 : 2011년 10월 12일), 게재확정일(2011년 10월 14일).

[†] 교신저자: 김태정(tezid@inha.ac.kr)

1. 서론

인공위성은 그 기술적인 난해함으로 인해 발사 과정에서 의도치 않은 문제가 발생하기 쉬우며, 또한 우주의 환경적인 영향으로 인해 설계 상의 성능을 제대로 발휘하지 못하게 될 가능성이 있다. 그렇기 때문에 위성이 정해진 궤도에 성공적으로 안착되었다 하더라도 이로부터 획득되는 산출물의 품질까지 장담하기는 매우 어려운 일이다. 이러한 이유로 현재 위성의 상태를 파악하고 정확하게 문제점을 조정하기 위한 주기적인 성능검사는 위성의 유지 및 관리적 측면에서 굉장히 중요한 작업이라 할 수 있다.

일반적으로 광학위성의 성능검사는 획득된 영상의 에지 분석(Edge analysis)을 통해 이루어진다. 이 때, 에지 분석을 통해 산출하고자 하는 주요 품질 인자로는 MTF(Modulation Transfer Function), SNR(Signal to Noise Ratio) 등이 있으며, 이를 통해 실제 위성이 나타내고 있는 성능을 파악할 수 있고, 문제가 있을 경우 이에 적합한 후처리 작업을 모색할 수 있게 된다. 보통 이러한 품질 인자들은 에지 분석을 위해 특별히 고안된 인공의 표적으로부터 측정된다. 이 인공표적은 측정하고자 하는 품질인자의 종류와 측정방법에 따라 여러 종류로 분류되며, 여기서 에지 분석에 주로 사용되는 표적은 특정 크기의 반사를 차이를 가지는 흑백 패턴의 천막과 같은 형태로 위성의 촬영 경로 상에 설치되어 진다. 하지만 이런 이유 때문에 인공표적 기반의 방식은 표적의 설치와 관련된 많은 비용이 지출될 뿐 아니라 이로 인해 성능검사 작업이 수시로 수행될 수 없다는 문제점을 가지게 된다(Kim *et al.*, 2010; 김재인 외, 2010). 이에 본 논문에서는 기존 인공표적 기반 방식의 단점을 보완할 수 있는 자연표적 기반의 방식을 제안한다. 이 자연표적 기반의 방식은 영상에서 쉽게 관측될 수 있는 임의의 자연 표적으로부터 품질 인자들을 측정하는 방식으로, 기존 인공표적 방식의 한계를 벗어나 획득된 모든 영상의 품질 평가가 가능하며, 이를 통해 사용자에게 신뢰성 있는 영상품질을 제공해 줄 수 있다는 장점을 가진다. 특히 이 논문에서는 영상의 품질 인자로서 MTF와 SNR을 포함하는 NIIRS(National Imagery Interpretability Rating Scale)의 측정을 중심으로 다루어 진다. 이 NIIRS는 MTF, SNR 또는 GSD(Ground Sampling

Distance)와 같은 개별 품질 인자와는 달리 영상의 전반적인 품질을 표현할 수 있으며, IKONOS나 QuickBird와 같은 고해상도 위성영상의 메타데이터로 제공될 만큼 널리 활용되고 있는 영상의 품질 지표라 할 수 있다.

2. NIIRS 추정이론

NIIRS는 인공위성과 항공기 등으로부터 획득된 고해상도 광학 영상의 판독력을 객관화된 수치로 표현하기 위해 가장 널리 사용되고 있는 지표이다. 최초 NIIRS는 군사 목적의 영상 판독을 위해 사용되었으나, 점차 일반 사용자들의 영상 활용이 증가됨에 따라 1996년 IRARS(Imagery Resolution Assessment and Reporting Standards)에서 기존 활용해 오던 유사한 수치를 개량하여 일반 고해상도 영상에서도 활용할 수 있도록 제공하였다. NIIRS는 영상에서 검출할 수 있는 객체의 종류에 따라 영상의 해상력을 결정할 수 있도록 0에서 9까지의 총 10단계로 구성되어 있으며, 촬영된 객체 또는 표적의 종류에 따라 군용표적, 민간표적 등으로 구분하여 사용되고 있다(Pike, 1998). 이 지표는 전문 판독관의 육안분석을 통해서 결정될 수 있으며, 에지 분석을 통해 산출된 품질 인자들을 이용하여 GIQE(General Image Quality Equation)라 불리는 수식을 통해서도 결정될 수 있다.

GIQE는 영상이 가지는 선명도, 해상도 및 축적 등을 고려하여 정확도 높은 NIIRS 예측을 위해 미 정부 산하의 IRARS 위원회에서 개발한 수식으로, 수 천장의 영상데이터로부터 NIIRS, GSD, MTF 및 SNR 간의 회귀 분석을 통해 수립된 모델식이다(Leachtenauer *et al.*, 1997). 이 GIQE를 사용하면 에지 분석을 통해 측정된 개별 품질인자들로부터, 사용자에게 제공될 영상의 판독력을 정확하게 예측할 수 있게 된다. 수식 1과 Table 1은 GIQE의 기본 형태와 버전 별 계수를 보여 준다.

$$\begin{aligned} \text{NIIRS} = & c_0 + c_1 \log_{10}(\text{GSD}) + c_2 \log_{10}(\text{RER}) \\ & + c_3 \text{G/SNR} + c_4 \text{H} \end{aligned} \quad (1)$$

GIQE는 계수 값에 따라 3.0과 4.0버전으로 나뉜다. 여기서 가장 최근에 발표된 버전은 4.0 이지만 실제 촬영된 영상에서는 3.0에 비해 적합하지 않을 수 있다는

Table 1. Coefficients according to the GIQE versions.

	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4
GIQE 3.0	11.810	-3.320	3.320	-1.000	-1.480
GIQE 4.0 (for $RER \geq 0.9$)	10.251	-3.320	1.559	-0.334	-0.656
GIQE 4.0 (for $RER < 0.9$)	10.251	-3.160	2.817	-0.334	-0.656

Fig. 1. RER measurement using the ESF.

보고가 있다(Samuel and James, 2008). GIQE를 이용하여 NIIRS를 추정할 때 필요한 인자는 수식에서도 볼 수 있듯이 GSD, RER(Relative Edge Response), SNR, G(Noise Gain), 그리고 H(Overshoot Height)로서, 이 중 RER, H 및 SNR은 에지 분석을 통해 추정된 ESF(Edge Spread Function)로부터 측정이 가능하고, 그 외 나머지 인자들은 영상과 함께 메타 데이터로 주어진다.

RER은 GSD와 함께 NIIRS에 가장 큰 영향을 끼치는 인자로 영상의 선명도와 직접적으로 관련된 인자라 할 수 있다. RER은 Fig. 1에서와 같이 ESF의 에지 중심으로부터 -0.5 pixel 위치와 $+0.5$ pixel 위치에 해당하는 Edge response의 차이로 정의된다. 여기서 ESF는 영상 시스템의 공간적 해상력 평가에 사용되는 함수로서 에지 분석을 통해 추정이 가능하다.

영상의 Overshoot은 전처리 과정에서 수행되는 MTFC(MTF Compensation)의 결과로 나타나며 ESF의 곡선 상에서 Response의 점프 현상으로 관측된다. 이는 인위적인 Edge의 증폭을 의미하며 GIQE에서는 정확한 NIIRS 산출을 위해 H를 정의하여 MTFC의 결과로 나타난 Overshoot을 보정한다. 영상의 H는 ESF의 에지 중심으로부터 $1 \sim 3$ pixel 범위에 대해 0.25 pixel 간격으로 Edge response를 조사하여 결정된다. 만약 $1 \sim 3$ pixel 사이에서 Edge response가 단조로운

Fig. 2. SNR measurement on the ESF curve.

증가율에 있고 1을 넘지 않는다면, H는 에지 중심으로 부터 1.25 pixel 위치의 Edge response 값으로 정의되고, Edge response가 1을 넘길 경우에는 Overshoot이 발생하였다고 판단하여, $1 \sim 3$ pixel 범위의 Edge response 값들 중 최대값으로 정의된다.

SNR은 신호 대비 잡음의 비율로서, 다음 Fig. 2와 같이 ESF 곡선 상의 밝은 영역과 어두운 영역의 DN(Digital Number) 차이 및 각 영역 Response들의 표준편차로부터 수식 2와 같이 계산된다(Helder *et al.*, 2006).

$$SNR = \frac{DN \text{ difference}}{(STD_{\text{bright}} + STD_{\text{dark}})/2} \quad (2)$$

G는 H와 유사하게 MTFC의 결과로 나타나는 잡음의 영향을 보정하기 위한 것으로 MTFC 커널의 원소들을 이용하여 수식 3를 통해 계산된다. 여기서 $Kernel_{ij}$ 는 MTFC Kernel의 i 번째 행, j 번째 열에 위치하는 원소 값을 의미한다.

$$G = \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Kernel_{ij}^2 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

3. 기존 인공표적기반 추정기법

영상의 에지 분석을 통해 NIIRS를 산출하기 위해서는 먼저 영상의 ESF 산출이 선행되어야 하며, 기존 연

구사례에서는 이를 위해 특별히 제작된 인공표적으로부터 ESF 추정이 이루어 졌다. 이 때 표적의 배치는 ESF 추정방법 상의 이유로 매우 중요한 사안이라 할 수 있는데, Helder *et al.* (2006)의 연구에서는 촬영진행 방향의 6° 만큼 기울어지도록 표적을 배치하여 사용하였다.

일반적으로 ESF 추정을 위한 에지 분석은 에지위치 검출, 에지라인(Edge line) 결정, 그리고 ESF 추정 등, 크게 세 단계로 구성된다. 먼저 에지위치 검출단계에서는 영상의 에지 부근에서 추출된 행(또는 열)방향의 Edge profile로부터 ESF 모델피팅(Model fitting)을 통해 서브픽셀(Sub-pixel) 정확도로 에지중심위치가 결정된다. 기존 에지 검출 방법에서는 에지를 Fermi function이나 Sigmoidal function으로 간주하여 중심 위치를 결정하였다(Choi and Helder, 2005). 에지라인 결정단계에서는 이전 단계에서 결정된 각 행의 에지중심위치들로부터 에지의 기하학적인 구조가 반영된 에지라인이 추정된다. 이 과정에서 추정된 라인에 에지 각 행에 해당하는 정확한 중심위치를 제공한다. 즉, ESF 추정에는 이전 단계에서 결정된 각 행의 에지중심위치가 사용되는 것이 아니라, 이 단계에서 결정된 에지중심 위치가 사용되어 진다. 결과적으로 이와 같이 결정된 각 행의 에지중심위치를 통해 별도의 보간법 없이도 서브 픽셀 정확도를 가지는 Edge profile을 획득할 수 있게 된다(Choi and Helder, 2005). 마지막 단계인 ESF 추정 단계에서는 앞서 추출된 Edge profile에 모델피팅 방식(Pagnutti *et al.*, 2002; Pagnutti and Ryan, 2010)이나 Cubic spline과 같은 보간 방식, 그리고 필터링 방식(Savitzky, 1964; Kohm, 2004; Choi and Helder, 2005) 등이 적용되어 최종 ESF가 산출된다.

4. 자연표적기반 추정기법

3장에서 설명한 ESF 추정 방식은 인공표적에 특화된 알고리즘으로 서브픽셀의 정확도로 추정이 가능하다는 장점을 가진다. 하지만 반대로 영상에 인공표적이 부재할 경우에는 해당 영상의 품질평가가 이루어질 수 없다는 단점 역시 가지게 된다. 이에 본 장에서는 인공표적을 대신하여 영상에서 쉽게 관측될 수 있는 자연표적들로부터 정확하게 ESF를 산출할 수 있는 새로운 방식의 추정기법을 제안하고자 한다. 제안 알고리즘은 Edge profile 추출, 에지검출 및 재배열, 그리고 ESF 정규화 단계로 구성된다.

본 논문에서 ESF 추정에 사용하고자 하는 자연표적들은, 계획적으로 설치된 인공표적과는 달리 표적의 복사 및 분광적인 특성과 배치각도가 불특정하며, 표적의 어두운 부분과 밝은 부분이 균질하지 못할 가능성이 매우 크다. 그렇기 때문에 이러한 자연표적을 이용하여 정확한 ESF를 산출하기 위해서는 표적 특성에 강인한 추정방법이 필요하다. 다음 Fig. 3은 ESF 추정에 적합한 자연표적의 예를 보여준다.

이를 위한 제안 알고리즘의 첫 번째 단계에서는 Edge profile의 추출이 수행된다. 기존 인공표적기반 ESF 추정방식에서는 촬영하고자 하는 표적의 배치각도가 조정 가능하여 이에 특화된 방법론을 적용할 수 있었으나, 자연표적기반 방식에서는 이와 동일한 방법을 적용할 경우, 불균형적으로 샘플 된 Edge profile들을 얻게 될 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결하고자 본 논문에서는 Fig. 4와 같이 에지 방향에 수직으로 Edge profile을 보간하여 동일 간격으로 샘플하는 방식을 적용하고, 추출된 각각의 Edge profile로부터 ESF를 추정하였다. 비록 이러한 방식은 샘플링 과정에서 보간이

Fig. 3. Examples of natural targets for the ESF estimation.

Fig. 4. Edge profile extraction.

(a) Selection of begin and end point
(b) Semi-automatic extraction

Fig. 5. Semi-automatic extraction of edge profiles.

불가피하기 때문에 이론적으로 엄밀한 의미의 Sub-pixel 정확도를 확보할 수 없으나, 이전 연구 결과에 따르면 이 방식으로도 품질인자 측정에 있어 높은 정확도 확보가 가능함이 확인되었다(김재인 외, 2010). 특히 이 방식은 기존 인공표적기반 방식에 비해 다소 저감된 정확도를 나타낼 수 있을지 모르나, 표적특성에 강인성을 가질 수 있다는 점과 이를 통해 품질측정 자동화에 이점을 가질 수 있다는 점에서 그 활용도가 높다 할 수 있다.

본 논문에서는 에지 수직방향의 Edge profile을 추출하기 위한 방법으로, 두 가지 방식이 사용되었다. 첫 번째는 에지가 직선의 형태가 아닐 경우에 적합한 방식으로, 실험자가 선택한 분석지점을 중심으로 특정 크기의 패치 영상을 추출하고 Sobel 필터링을 수행 한 뒤, X, Y방향의 Magnitude를 이용하여 에지 방향각을 계산하는 방식이다. 그리고 두 번째 방식은 다음 Fig. 5와 같이 에지의 형태가 직선인 경우에 적합한 방식으로, 실험자가 선택한 에지의 시작점과 종료점으로부터 에지의 방향각을 계산하고, 그 두 지점 사이에서 반 자동으로 추출하는 방식이다.

제안 알고리즘의 두 번째 단계에서는 에지 검출 및 Edge profile의 재배열이 수행된다. 이상적인 환경에서, 이상적인 광학 시스템으로 획득된 영상의 경우에 Edge profile의 형태는 Fig. 6과 같이 에지중심위치를 기준으로 정확히 대칭되어 부드러운 곡선의 형태를 띠

Fig. 6. Edge profile acquired from well-made optical system.

Fig. 7. The ESF shape after MTF Compensation.

게 된다. 하지만 실제적으로는 영상에 포함된 잡음이나 잘못된 설계로 인해 Edge profile은 완벽히 대칭을 이루지 못하거나 부드러운 곡선의 형태를 이루지 못할 가능성이 있다. 그렇기 때문에 에지의 중심위치를 DN 값의 최대 기울기 지점으로 하는 방식(Choi, 2002; 김재인 외, 2010)은 잘못된 결과를 초래할 수 있다. 이에 제안 알고리즘에도 3장에서 설명한 인공표적 기반 방식의 알고리즘을 수용하여, 에지의 중심위치를 결정하였다. 이 때, ESF 모델은 Sigmoidal function을 이용하였다. 이 일련의 과정들을 통해 에지의 중심위치가 결정되고 나면, 그 후에는 이를 중심으로 Edge profile을 다시 재배열한다. 이 때, 샘플링 간격은 동일 간격으로 설정하였으며, 이를 위한 보간법으로는 Linear interpolation을 적용하였다.

NIIRS 추정을 위한 GIQE 인자들의 측정을 위해 마지막 단계인 ESF의 정규화가 수행된다. 여기에서는 MTFC로 인해 발생된 Overshoot의 영향이 고려되어야 한다. 다음 Fig. 7은 Overshoot이 발생한 경우의 ESF 형태를 보여 준다. 여기 그림에 표시한 Bright/Dark Region을 어떻게 정의하는지가 ESF 정규화의 관건이라 할 수 있다.

에지중심위치를 기준으로 Overshoot이 발생된 영역

Fig. 8. ESF normalization method used in the proposed algorithm.

은 영상의 MTFC 수행 시 어떤 종류의 커널을 사용했는지에 따라 달라지기 때문에 정규화의 기준으로 사용될 Bright/Dark region의 DN 값은 쉽게 결정하기 어려운 문제라 볼 수 있다. 이전 연구(김재인 외, 2010)에서는 영상 PSF(Point Spread Function)의 FWHM(Full Width at Half Maximum)를 고려하여 에지중심으로 부터 $-3 \sim -8$ pixel, $3 \sim 8$ pixel과 같이 고정된 영역을 정규화를 위한 Bright/Dark region으로 정의 하였으나, 본 논문에서는 Fig. 8에서와 같이 Overshoot이 발생한 Edge profile에 ESF 모델을 피팅하였을 때, 좁은 Overshoot 발생 구간보다 그렇지 않은 구간에 맞추어 진다는 점에 착안하여, 앞서 에지검출 수행 시 수렴된 ESF 모델의 Response를 이용하여 정규화를 수행하였다.

3장에서 설명한 기존 인공표적 기반의 방식에서는 산출된 Oversampled edge profile로부터 모델피팅 방식이나 보간 방식, 필터링 방식 등을 적용하여 최종 ESF를 결정하였다. 하지만 이러한 방식은 실제 영상의 표적에서 나타나는 Bright 및 Dark Region의 Response 변이를 평활화 시키는 효과를 가지게 되어, SNR과 같은 품질인자 측정에는 적합하지 않다고 판단된다. 이에 본 논문에서는 정규화된 Edge profile 그대로를 최종 ESF로 결정하고, 각각의 ESF로부터 산출된 품질인자들의 평균값으로 NIIRS를 계산함으로써 실제 영상의 ESF 특성을 반영하고자 하였다.

V. 알고리즘 성능분석

1. 가상영상을 이용한 알고리즘 검증

이 실험에서는 원본영상으로부터 특정 NIIRS만큼 품

Fig. 9. Reference image used in the experiment.

질이 저감된 가상의 비교 영상들을 생성하고, 에지 분석을 통해 측정된 NIIRS 저감치와 의도한 저감치 간의 결과 비교를 통해 알고리즘의 성능을 검증하고자 하였다. Fig. 9는 실험에 사용된 기준영상으로서, 시력검사 차트와 유사하게 폰트 크기가 16pt에서 4pt까지 1pt간격으로 감소되도록 제작된 인공표적 영상이다.

영상의 품질은 GSD, MTF, 그리고 SNR 등의 품질인자로 설명할 수 있으며, 이들은 각각 영상의 축척, 선명도, 그리고 영상에 포함된 잡음의 정도를 의미한다. 여기서 중요한 것은 영상의 GSD가 변하게 되어 저감된 NIIRS 크기나, 영상의 선명도, 즉 RER이 변하게 되어 저감된 NIIRS 크기나, 동일한 양만큼의 품질이 저감되었다면 두 NIIRS의 변화량은 동일하다는 점이다. 만약 이 때, 특정량의 NIIRS 저감에 필요한 GSD의 변화량을 알고, 그 때 식별 가능한 폰트의 최소 크기를 알 수 있다면, 반대로 영상의 선명도를 저감시켜 특정량만큼 NIIRS가 저감된 가상의 영상을 제작할 수 있을 것이다.

다음의 수식 4는 GIQE에서 GSD 변화에 따른 NIIRS 변화량을 유도한 식으로, 여기서 GSD_0 은 원본 기준영상의 GSD를 의미한다.

$$\Delta NIIRS = -3.32 \log \left(\frac{GSD}{GSD_0} \right) \quad (4)$$

이 수식은 기준영상의 GSD를 조정함에 따라 변동하게 되는 NIIRS의 변화량을 설명한다. 즉, 이를 통해 특

Fig. 10. Generation of synthesis images and measurement of minimum font sizes perceptible.

Table 2. Measured minimum font size perceptible from synthesis images.

	Reference image	Synthesis image 1	Synthesis image 2	Synthesis image 3
GSD	GSD_0	$1.4145 \times GSD_0$	$2.0000 \times GSD_0$	$2.8302 \times GSD_0$
GSD/GSD_0	1	1.4145	2.0000	2.8302
$\Delta NIIRS$	0	-0.5	-1.0	-1.5
Font size(pt)	4	5	7	11
Image size	1000×1500	707×1060	500×750	353×530

정량의 NIIRS 저감에 필요한 기준영상의 GSD 조절량을 계산할 수 있게 된다. 만약 기준영상으로부터 0.5, 1.0, 1.5만큼 NIIRS가 저감된 가상영상을 생성하고자 할 때에는 기준영상의 GSD에 각각 1.4145, 2.0000, 2.8302배가 되도록 영상의 크기를 조정하면 된다. 다음 Fig. 10과 Table 2는 이와 같은 방식으로 제작된 가상 영상 3장과 각 영상에서 식별 가능한 최소 크기의 폰트를 보여 준다.

Table 2의 각 영상 별 식별 가능한 폰트의 최소 크기를 이용하여, 이번에는 GSD를 원본과 동일하도록 고정하고, 오직 선명도의 저감만을 통해 NIIRS가 0.5, 1.0, 1.5씩 저감된 가상영상 3장을 생성하였다. 그리고 다음 Fig. 11과 같이 기준영상을 포함한 4장의 영상에 대해서 에지 분석을 실시하였다. 여기서 각 영상 별 에지 분석은 분석의 신뢰도를 높이기 위해 동일 위치 173개 지점에 대해서 수행되었다.

Table 3에서 NIIRS3과 NIIRS4로 표기된 값들은 각

Fig. 11. Locations used for edge analysis.

Table 3. Results of the edge analysis.

	Reference image	Synthesis image 1	Synthesis image 2	Synthesis image 3
RER	0.63	0.40	0.23	0.16
SNR	44.75	122.95	353.55	69810.60
H	1.07	0.97	0.77	0.69
NIIRS3	4.22	3.73	3.26	2.81
NIIRS4	3.92	3.44	2.91	2.48
Δ NIIRS3		0.49	0.97	1.41
Δ NIIRS4		0.48	1.01	1.44
Error3		0.01	0.03	0.09
Error4		0.02	-0.01	0.06
Points	173	173	173	173

각 GIQE 3.0과 4.0버전을 적용한 결과를 의미하며, Error3과 4역시 각각의 결과로 나타난 NIIRS 측정 오차를 의미한다. 그리고 이 실험에서는 영상 별 상대적인 NIIRS 변화량에 관심이 있기 때문에 NIIRS 계산에 있어서 GSD와 G는 임의로 각각 1m와 1의 값으로 설정하여 계산하였다.

실험결과는 제안 알고리즘이 의도한 NIIRS 저감치를 높은 정확도로 감지할 수 있음을 보여 주었다. 다만 가상영상 3의 경우에는 다른 영상의 결과들에 비해 다소

낮은 정확도를 나타내었는데, 이는 GIQE가 RER 0.2 이상의 영상들로 수립된 회귀식이기 때문이라 판단된다. 그러나 그 차이는 매우 작게 나타났다.

2. 표적종류에 따른 비교분석

이 실험에서는 인공표적과 자연표적 각각에 제안 알고리즘을 적용하고, 결과 분석을 통해 자연표적에서의 활용 가능성을 검토해 보고자 하였다. 실험에는 인공표적이 포함된 KOMPSAT-2 위성영상 4장이 사용되었

Table 4. Test images and specifications.

Area	Daejeon	Area	Gimje	Area	Jinju	Area	Hamyang
GSD X(m)	0.979	GSD X(m)	1.000	GSD X(m)	0.980	GSD X(m)	1.092
GSD Y(m)	0.994	GSD Y(m)	1.000	GSD Y(m)	0.996	GSD Y(m)	1.048
G	1.000	G	1.000	G	1.000	G	1.000

Fig. 12. Artificial and natural targets used for edge analysis.

Fig. 13. Results of ESF estimation.

Table 5. Results of edge analysis by images.

Area	Target	RER	SNR	H	NIIRS3	NIIRS4	Points
Gimje	Artificial	0.22	38.18	0.80	3.1	2.8	10
	Natural	0.27	37.51	0.83	3.4	3.1	856
Daejeon	Artificial	0.30	59.10	0.84	3.5	3.2	10
	Natural	0.30	50.97	0.88	3.5	3.2	1768
Jinju	Artificial	0.31	59.52	0.81	3.6	3.2	10
	Natural	0.29	44.43	0.86	3.4	3.1	532
Hamyang	Artificial	0.24	48.68	0.77	3.2	2.9	10
	Natural	0.27	44.88	0.83	3.3	3.0	644

으며, 다음 Table 4는 실험에 사용된 각각의 영상과 제원을 보여 준다.

NIIRS 측정은 영상 별로 인공표적의 경우, 10 개 지점에 대해 에지 분석을 수행하였으며 자연표적의 경우는 가용한 모든 지점에 대해서 수행하였다. 다음 Fig. 12는 영상 별 인공표적과 자연표적에서의 분석 지점을 보여 준다.

다음 Fig. 13은 각 영상별 인공표적과 자연표적 각각으로부터 산출된 평균 ESF의 추정 결과를 나타낸 것이며, Table 5는 품질인자 산출 결과를 정리한 것이다.

Table 5의 인공 및 자연표적 간 NIIRS 차이를 영상 별로 비교해 본 결과, 다른 영상들에 비해 상대적으로 김제영상의 결과에서만 표적 간 큰 결과 차이를 나타내었다. 이런 현상은 Fig. 12에서 볼 수 있듯이 김제영상

에 포함된 인공표적이 다른 영상들의 경우와는 달리 크기가 작고 에지의 구분이 명확하지 않는 등, 에지 분석에 적합하지 않은 형태를 가지기 때문이라 판단된다. 실제로 Fig. 13의 ESF 산출결과를 보면 그 형태가 비정상적임을 확인할 수 있다. 그러나 그럼에도 불구하고 NIIRS3의 경우, 약 0.16, 그리고 NIIRS 4의 경우, 약 0.14 정도로 전체적인 NIIRS 차이는 매우 작은 것으로 나타났다. 이는 0.2 보다 작은 NIIRS 변화는 육안으로 구별되기 어렵다는 점에서(Samuel and James, 2008), 제안 알고리즘이 자연표적만으로도 정확도 높은 품질 분석이 가능함을 입증해 주는 결과라 할 수 있다. 이 때, 김제영상의 자연표적 결과는 다른 영상들의 결과와 매우 유사하게 나타났다.

Table 6. Test images and specifications.

Satellite	QuickBird	IKONOS	Komsat-2
Date	2005/1/15/2/27	2002/2/7/2/34	2007/2/23/01/49
Target Area	Daejeon	Daejeon	Damyang
Image Size	25044 × 27552	11004 × 11004	15000 × 15500
GSD X(m)	0.793	0.900	1.086
GSD Y(m)	0.711	0.960	1.039
G(Noise Gain)	4.160	4.160	2.340
PNIRS	4.500	4.300	-

Fig. 14. Location of natural targets used for edge analysis.

Table 7. Results of GIQE parameters by images.

Satellite	RER	SNR	H	NIIRS3	NIIRS4	Points
QuickBird	0.64	43.87	1.04	4.7	4.3	2445
IKONOS	0.53	38.87	1.01	4.1	3.8	1067
KOMPSAT-2	0.37	35.21	0.95	3.5	3.3	206

Fig. 15. Results of ESF estimation.

3. PNIIRS와의 비교분석

이번 실험에서는 위성영상 별 PNIIRS(Published NIIRS)값을 이용하여 제안 알고리즘의 NIIRS 산출 정확도를 직접적으로 평가하고자 하였다. 실험에는 다음 Table 6에서와 같이 QuickBird, IKONOS, KOMPSAT-2로부터 취득된 3장의 영상이 사용되었다. 여기서 KOMPSAT-2 영상의 경우에는 다른 영상과는 달리 PNIIRS가 제공되고 있지 않고 있으나, 실험 결과의 비교를 위해 함께 실험하였다.

에지 분석은 이전 실험에서와 마찬가지로 가용한 모든 지점에 대해서 수행하였다. 다음 Fig. 14는 영상 별 분석이 수행된 지점을 표시한 것이다. KOMPSAT-2 영상의 경우는 영상에 산악 지역이 다수 포함되어 있어 분석가능 지점의 수가 상대적으로 적게 나타났다.

Table 7의 실험결과로부터 위성영상 별 PNIIRS와

NIIRS 측정치를 비교해 본 결과, GIQE 4.0이 적용된 경우, QuickBird 영상에서는 0.2 보다 작은 차이만을 나타내었으나 IKONOS 영상에서는 약 0.5로 큰 폭의 차이를 나타내었다. 이는 육안으로 식별 가능한 NIIRS 변화량이 0.2 라는 점에서, 꽤 큰 차이로 판단된다. 이러한 반면, GIQE 3.0 버전의 경우에는 QuickBird, IKONOS, 두 영상 모두에서 NIIRS 차이가 0.2 보다 작은, 아주 정확도 높은 결과를 산출하였다. 이 때, KOMPSAT-2 영상은 메타 데이터로 NIIRS가 제공되지 않아 직접적인 검증은 이루어지지 못하였지만 실험 결과로 미루어 봤을 때, 대략적으로 NIIRS 3.5 정도의 품질을 가질 것이라 예측된다. 실제로 KOMPSAT-2 영상은 IKONOS 영상과 GSD는 유사하나 선명도 측면에서 저감된 양상을 나타내는 것이 확인되었다.

결론

본 논문에서는 기존 인공표적기반의 영상품질 분석 방식을 대체할 수 있는 자연표적기반의 영상품질 분석 방법을 제안하였다. 이 제안 알고리즘에는 자연표적이 가지는 불특정한 특성을 고려하기 위한 방법으로, 특별히 고안된 Edge profile 추출 기법과 Edge 중심위치 결정을 위한 강인 추정기법, 그리고 영상의 특성을 그대로 반영하기 위한 ESF 추정기법이 적용되었다. 알고리즘의 성능 검증은 다양한 실험을 통해 수행되었으며, 그 일련의 실험 결과들은 제안 알고리즘의 우수한 정확도를 입증해 주었다. 또한 이 과정에서는 NIIRS 산출을 위한 GIQE의 버전으로 3.0 버전이 더 적합하다 분석되었다.

결론적으로 본 논문에서 제안한 품질 분석 알고리즘은 기존 인공표적기반 방식의 대안 뿐만 아니라 그 우수한 성능으로 인해 위성영상의 상시 성능 모니터링에 있어 보다 효과적인 결과를 창출할 수 있게 될 것이라 판단된다. 특히 이 알고리즘은 특수한 인공표적 없이 불특정 다수의 자연표적만을 이용하여 정확한 품질 인자 측정이 가능하다는 자동화 구현 상의 이점 때문에 적합한 라인추출 알고리즘과의 연계를 통해 성능모니터링 자동화에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

이 논문은 인하대학교 교내연구비, 공간정보 전문인력 양성사업 및 다목적실용위성3호 시스템 종합개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

김재인, 정재훈, 김태정, 2010. 영상 내 자연표적을 이용한 GRD 측정기법 개발, 대한원격탐사학회지, 26(5):1-10.
Choi, T., 2002. IKONOS satellite on orbit modulation transfer function (MTF) measurement using edge and pulse method. MSc thesis, South

Dakota State University.

Choi, T. and D. Helder, 2005. Generic sensor modeling for modulation transfer function (MTF) estimation, *Proc. of 2005 ASPRS Pecora 16-Global Priorities in Land Remote Sensing*, South Dakota, USA, Oct. 23-27, Digitally available on CD.
Helder, D., J. Choi, and C. Anderson, 2006. On-orbit modulation transfer function (MTF) measurements for IKONOS and QuickBird, *Proc. of the JACIE 2006 Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop*, Maryland, USA, Mar. 14-16, Digitally available on CD.
Kim, T., J. Kim, D. Kim, and J. Jeong, 2010. Automated image interpretability assessment by edge profile analysis of natural targets, *Proc. of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2010*, California, USA, Apr. 26-30, Digitally available on CD.
Kohm, K., 2004. Modulation transfer function measurement method and results from the OrbView-3 high resolution imaging satellite, *Proc. of ISPRS 2004*, pp. 7-12.
Leachtenauer, J.C., W. Malila, J. Irvine, and L. Colburn, 1997. General Image-Quality Equation: GIQE, *Applied Optics*, 36(32):8322-8328.
Pagnutti, M., K. Holekamp, R. Ryan, S. Blonski, and R. Sellers, B. Davis, and V. Zanom, 2002. Measurement sets and sites commonly used for high spatial resolution image product characterizations, *Proc. of 2002 ISPRS Commission I meeting*, Denver, USA, Nov. 10-15, Digitally available on CD.
Pagnutti, M. and R. Ryan, 2010. An automated tool to estimate the spatial resolution of products acquired by high spatial resolution remote sensing imaging systems, *Proc. of the JACIE 2010 Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop*, Virginia, USA, Mar. 16-18, Digitally

- available on CD.
- Pike J., 1998. National Image Interpretability Rating Scales, <http://www.fas.org/irp/imint/niirs.htm>.
- Samuel, T.T. and R.F. James, 2008. Analysis of the general image quality equation, *Proc. of SPIE 2008*, Vol. 6978, pp. 69780F.
- Savitzky, A, 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures, *Analytical Chemistry*, 36:1627-1639.