

절대모멘트를 이용한 위성영상 품질 평가

이상곤*, 나성웅**

*한국항공우주연구원

**충남대학교 전자공학과

e-mail : skon@kari.re.kr, swra@cnu.ac.kr

Satellite Image Quality Assessment using the Absolute Moment

Sang-Kon Lee*, Sung-Woong Ra**

*Korea Aerospace Research Institute

**Chung-Nam National University

요 약

최근의 지구관측 위성들은 많은 양의 정보를 제한된 시간안에 지상으로 전송하기 위해 영상처리 과정에서 손실 압축 방법을 많이 사용한다. 따라서 이들 영상 압축 알고리즘들은 위성 발사전 충분히 검증되어야 하며, 현재까지는 일반적으로 압축 복원된 영상의 품질 평가를 위해 RMSE, SNR 또는 PSNR 등이 많이 이용되어왔다. 그러나 이들 방법은 원 영상과 복원된 영상의 각 화소 간의 차이를 단순 비교해서 영상 품질을 평가 하는 방법이다. 따라서 이들 방법은 각 화소 간의 차이에 의한 영상 품질은 평가가 가능 하지만 한 화소와 주변 화소와의 관계까지는 확인 할 수 없다. 그러나 인간의 인지 능력은 한 화소 와 주변 화소 사이의 상호 관계에 매우 민감하며 특히 위성 영상의 경우 주변 물체와의 상관 정보가 무엇보다 중요하다. 본 논문에서는 이러한 기존 영상 품질 평가 방법들의 단점을 보완하기 위해 주변 화소와의 상관 관계를 포함하는 절대 모멘트를 이용한 영상 품질 평가 방법을 제안하고 제안된 방법을 고해상도의 지구관측 영상에 적용하여 성능을 검증하였다.

1. 서론

1972 년 Landsat-1 위성의 발사로 본격적으로 시작된 지구관측을 위한 위성들의 카메라 해상도는 점진적으로 증가 추세에 있다. 즉 보다 우수한 영상 품질이 요구되고 있으며, 이에 따라 관측용 센서로부터 생성되는 영상의 데이터량이 계속 증가되고 있다. 따라서 이에 따른 자료의 저장 능력 및 위성에서 지상으로 전송해야 할 실시간 데이터의 전달 능력이 문제되고 있다. 특히 저궤도 지구관측 위성의 경우 지상으로 자료를 전송할 때 대역폭(Bandwidth) 제한 뿐만 아니라 실시간 전송 가능 시간이 매우 제한적이다. 이를 해결할 방법으로 대역폭이 큰 영역의 고주파 대역을 사용하거나 전송할 데이터량을 실시간 지상 전송이 가능하도록 최대한 축소하여 문제를 해결하는 방안이 검토 및 활용되고 있다. 이중 넓은 대역폭을 사용하는 방안은 안테나 및 전자장치의 제한으로 인해 그 한계가 있으며 최근에는 관측 자료를 최대한 압축(Compression) 하여 실시간으로 데이터를 지상으로 전송하는 방법이 계속 연구 개발 되고있다. 지금까지 일반적으로 의료영상 및 위성영상 등은 아주 작은 정보의 데이터 일지라도 그

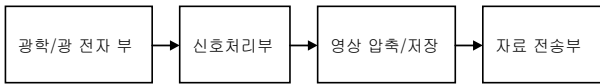
데이터를 손실할 경우 중요한 어떤 주어진 목적에 반드시 필요한 정보를 손실할 경우 큰 문제가 될 수 있으므로 일반적으로 손실 압축(Lossy compression) 방법 보다는 비 손실 압축(Lossless compression) 방법을 주로 이용해 왔다. 그러나 증가되는 정보량을 지상으로 전송하기 위해서는 손실 압축 방법의 사용이 불가피해 졌으며, 손실 압축에 따른 일부 자료의 손실을 감수해야만 한다. 따라서 지구관측 위성의 영상처리 시스템 개발 시 탑재할 영상 압축 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 고 해상도 위성영상의 데이터의 손실 및 이로 인한 지구관측 위성들의 기존 목적을 만족 시킬 수 있는 영상의 획득 여부가 미리 판단되어야 한다. 또한 이러한 여러 가지 평가 방법에 의해 실제 적용 가능한 압축 방법 및 허용 가능한 압축률 등을 사전에 결정해야 한다.

현재까지 압축 이나 잡음에 의한 영상의 품질을 평가하기 위한 방법은 여러 가지가 방법이 제안되어 왔으나 대표적으로 RMSE(Root Mean Squared Error), SNR(Signal to Noise Ratio) 또는 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)등이 많이 사용되어 왔다. 그러나 이들 방법은 원 영상과 압축 후 복원된 영상 사이의 각 화소 간의 차이 비교를 통해 영상 품질을 평가

하는 방법이다. 따라서 이들 방법들은 각 화소 간의 차이점은 비교 되지만 한 화소의 주변 화소와의 관계를 고려된 영상의 변화는 확인 할 수 없다. 그러나 인간의 인지 능력은 한 화소와 주변 화소사이의 상호간 관계에 매우 민감하다. 특히 기존의 영상 품질 평가 방법을 사용할 경우 손실 압축된 영상이 지구관측 위성의 목적인 지상 물체 판별 등에는 전혀 문제 없더라도 단지 압축률 의해 영상의 품질이 낮게 평가 될 수 있다. 그리고 이와 반대로 1m 이상 급의 고해상도 영상에 압축 또는 다른 이유에 의한 스폿 잡음(Spot Noise)이 첨가될 경우, 한 점의 오차는 1m 에 해당하는 물체의 유무 판별에 오차를 일으킬 수도 있음에도 불구하고 영상 품질에는 영향이 거의 없는 것으로 판별 될 수 있다. 본 논문에서는 이러한 영상 품질 평가 방법들의 단점을 보완하기 위해 주변 화소와의 상관 관계를 고려한 절대 모멘트를 이용한 영상 품질 평가 방법을 제안하고 이들 성능을 실험을 통해 증명하였다

2. 본론

일반적인 지구관측 위성의 카메라 시스템의 구성도는 그림 1 과 같다.



(그림 1) 일반적인 위성 카메라 시스템 구성도

그림 1 에서 카메라 시스템을 통해 얻어진 영상 자료는 신호처리, 압축 등의 과정을 거쳐서 송신 장치를 통해 관측된 영상 자료를 고주파 신호를 통해 지상으로 전송하게 된다

2.1 영상 압축 방법

지구관측 위성영상의 경우 기존에는 압축으로 인한 정보 손실을 방지하기 위해 무손실 압축 방법을 주로 사용해왔다. 그러나 최근에와서는 고해상도의 영상 자료 전송을 위해서 불가피하게 손실 압축 방법을 사용하게 되었다. 일반적으로 많이 사용되는 손실 압축 방법으로는 코사인 변환을 이용한 JPEG 이 많이 사용되고 있다. 그러나 최근에 와서는 JPEG 보다 압축으로 인한 데이터 손실이 적은 웨이블릿 변환을 이용한 JPEG2000 등이 위성영상 압축 방법으로 개발되고 있으나 아직 JPEG 보다는 보편화 되지는 않았다

본 논문에서는 제안한 절대 모멘트를 이용한 위성 영상 품질 평가 방법의 성능 검증을 위해 현재 항공우주연구원에서 개발중인 저궤도 지구관측 위성에 탑재된 JPEG 을 이용한 영상 압축 알고리즘을 이용하였다.

2.2 보편화된 영상 품질 평가 방법

현재 위성체로부터 지상으로 전송된 영상의 품질을 평가하는 방법으로 MTF(Modulation Transfer Function), PSNR, SNR 및 RMSE 등이 사용되고 있다.

본 논문에서는 제안한 절대모멘트를 이용한 위성 영상 품질 평가 방법과 기존 방법과의 성능 비교를 위해 SNR 및 PSNR 을 이용하였으며 그 특징은 다음과 같다.

$$SNR = 10 \log \left[\frac{\sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} f(x,y)^2}{\sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} e(x,y)^2} \right] \tag{1}$$

$$PSNR = 10 \log \left[\frac{255^2}{\frac{1}{M * N} \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} e(x,y)^2} \right] \tag{2}$$

여기서

f(x,y) : 입력 영상

f̂(x,y) : 압축/복원된 영상

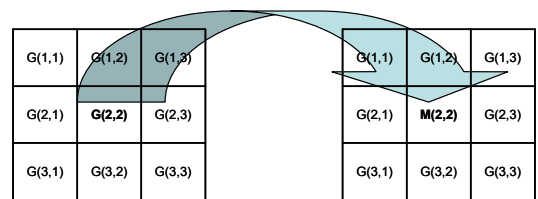
e(x,y) : f(x,y) - f̂(x,y)

2.3 절대 모멘트(Absolute Moment)

절대 모멘트 M_n 은 식 (3)과 같이 표현된다. 여기서 X 는 확률 변수이고 a 는 확률 변수의 평균값을 나타내며 P(x)는 X 에 대한 확률 밀도함수 이다.

$$M_n = \int |x - a|^n P(x) dx \tag{3}$$

상기의 절대 모멘트(Absolute Moment)를 NxM 의 2 차원 영상에서 한 화소 G(2,2)를 예로 주변에 8 개의 화소를 가지는 3x3 행렬의 영상을 고려해 적용하면 그림 2 와 같이 표현 할 수 있다. 본 논문에서는 절대모멘트 중 1 차 또는 2 차 절대 모멘트를 영상 분석에 이용을 하였으며 그림 2 를 통해 n 차 절대 모멘트를 수식으로 표현 하면 식(5) 와 같다.



(그림 2) 3x3 크기의 영상에서의 절대모멘트 생성

$$P(x,y) = G(x,y) / \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 G(i,j) \right] \tag{4}$$

$$M_n(x,y) = \sum_{x=1}^3 \sum_{y=1}^3 \left(|G(x,y) - \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 G(i,j) / 9 \right]|^n * P(x,y) \right) \tag{5}$$

그림 2 및 식(5)의 원리를 NxM 영상 전체에 대해 적용하면 NxM 의 n 차 절대 모멘트 영상을 만들 수 있다. 식 (5)의 표현에서 보는 바와 같이 절대 모멘트 값은 영상의 한 화소와 주변 화소 사이의 차이 값 정보를 포함하며, 따라서 기존 영상을 절대 모멘트 영상으로 변형할 경우 절대 모멘트 값으로 변경된 한 화소는 원 영상에서 해당 화소 및 주변

화소의 상관관계 정보를 포함하게 된다. 다시 말하면 새로 생성된 n 차원 절대 모멘트 영상은 원영상의 경계선 정보를 보다 부각시킨 영상이 된다.

2.4 절대모멘트를 이용한 영상 분석

앞에서 설명한 바와 같이 기존 영상을 식(5)에 의해 n 차원 절대 모멘트 영상으로 변경하면 변경된 절대 모멘트 영상의 한 화소는 원영상의 한 화소에 대한 주변 화소와의 상관 관계를 포함 하게 되며, 이를 이용할 경우 보편화된 기존의 영상 품질 평가 방법 들의 단점인 각 해당 화소간 만의 비교 문제를 보완하여 한 화소와 주변 화소와의 상관 관계 (correlation), 즉 영상의 경계선(edge) 부근 정보를 부각 시켜서 압축 등으로 인한 물체의 경계선 정보의 손실을 명확히 구분 할 수 있도록 해 준다. 또한 모멘트의 차수를 조정할 경우 평가 또는 분석 하고자 하는 목적에 따라, 경우에 따라서는 특정한 스폿 잡음(Spot Noise) 등의 변화를 민감하게 분류 해 낼 수도 있다. 제안된 2 차원 영상에서 절대 모멘트를 이용한 영상의 품질 평가 방법의 절차는 그림 3 과 같다.



(그림 3) 제안된 영상 품질 평가 절차

그림 3 에서 첫번째로 원 영상과 비교 하고자 하는 영상(압축 복원된 영상 또는 압축으로 인한 잡음이 포함된 영상)의 각 화소에 대한 n 차 절대 모멘트(nth Order Absolute Moment)를 2.3 절에서 설명한 방법으로 구한다. 그리고 이를 MxN 의 원영상과 비교 하고자 하는 영상 전체에 적용하여 n 차 절대 모멘트로 구성된 MxN 의 절대 모멘트 영상들로 변경 한다. 다음으로 이들 새로 생성된 n 차 절대 모멘트 영상들을 식(6)에 대입하면 절대모멘트에 의한 영상의 품질 값을 구 할 수 있다.

$$SNR_AM = 10 \log \left[\frac{\sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} M'(x,y)^2}{\sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} e(x,y)^2} \right] \quad (6)$$

여기서

- $M_n(x,y)$: 원 영상의 n 차 절대 모멘트
- $M'(x,y)$: 압축/복원된 영상의 n 차 절대 모멘트
- $e(x,y)$: $M_n(x,y) - M'(x,y)$

3. 실험결과

3.1 실험 영상 설정

본 논문에서는 1m 급 위성 영상을 모사한 2528x1024 크기의 영상을 시험 영상으로 사용하였다. 그러나 손실 압축을 수행할 경우 동일한 영상

내에서도 영상의 내용에 따라 영상의 압축에 따른 영상 정보의 손실 정도가 크게 차이가 있을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 고려하여 현재 항공우주연구원에서 개발중인 저궤도 지구관측 위성에 적용하고 있는 JPEG 알고리즘을 이용 원영상(2528x1024)을 각각 압축률 3.75, 5.75, 10, 15 로 압축한 후 복잡한 정보를 포함하고 있는 주택가와 화소간 정보의 변화가 거의 없는 산과 들판이 있는 지역을 각각 256x256 크기로 만들어 실험에 사용하였다. 그리고 손실 압축 또는 기타 영향에 의해 발생 할 수 있는 스폿 잡음, 즉 1 화소(1m 급) 정보의 손실이 발생했을 때를 모사하기 위해 원영상 및 압축 영상에 에 몇 가지 형태의 스폿 잡음 첨가한 영상들을 만들어서 실험에 이용하였다. 실험에 사용된 대표 영상은 그림 4 와 같다.



(a) 주택가 (b) 산과 들판
(그림 4) 실험에 사용된 영상

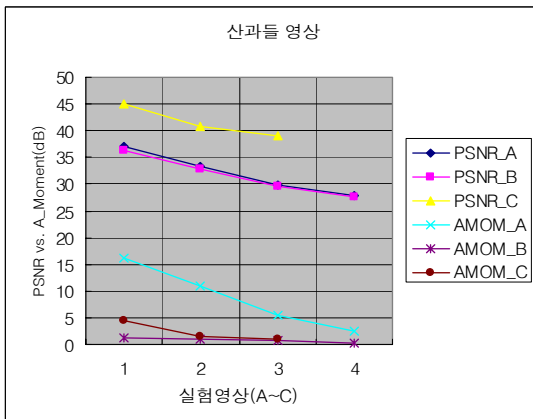
3.2 기존 방법들과 제안된 방법 실험결과 비교

본 논문에서 제안한 영상 품질 비교 방법이 기존 보편화된 방법들에 비해 영상 품질 판별, 특히 한 화소 단위의 변화를 기존 방법에 비해 매우 우수하게 변별 해 낼 수 있음을 보이기 위해, 제작된 원영상 및 압축된 영상, 그리고 이들 압축된 영상에 화소 단위의 스폿 잡음을 추가한 영상에 대해, 기존 영상 품질 비교 방법인 SNR, PSNR 을 이용하여 영상 품질 값을 구하였다. 그리고 그림 3 및 식(6)의 절차에 의해 제안된 n 차 절대 모멘트를 이용한 영상 품질 평가 방법을 이용해 동일한 영상들에 대해 영상 품질 값을 각각 구하였다. 그 결과는 표 1 과 같다. 실험 결과에서 보듯이 원영상과 압축 복원된 영상의 비교 시는 기존 영상품질 비교 방법인 SNR, PSNR 등과 제안된 절대 모멘트를 이용한 영상 품질비교 방법이 거의 유사한 변별력을 가짐을 알 수 있었다. 그러나 원영상 또는 압축 영상에 화소 단위의 스폿 잡음에 대한 변별력은 기존 방법인 SNR, PSNR 등의 방법에 비해 제안된 절대 모멘트를 이용한 영상 품질 평가 방법이 우수한 변별력을 가짐을 알 수 있었다. 즉 표 1 및 그림 5 및 6 에서 나타난 결과에서 기존의 영상 품질 평가 방법인 PSNR, SNR 을 이용할 경우, 비록 압축은 되었지만 영상 내에있는 물체 판독에는 전혀 문제가 없는 영상이 판별에 오류를 일으킬 수 있는 영상,

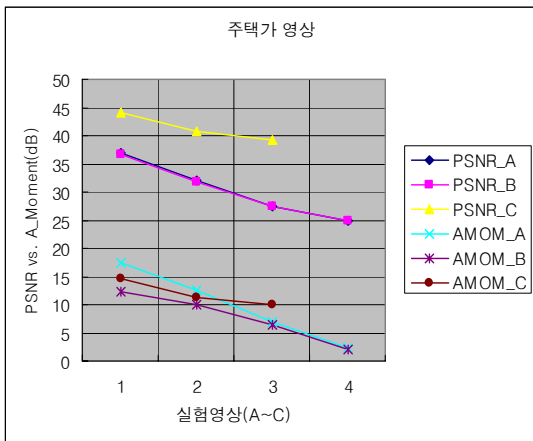
즉 스폿 잡음이 포함된 영상에 비해 영상의 품질이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법의 경우 1m 급 이상의 고해상도 영상에서 압축 및 복원 과정에서 발생하여 영상 판별에 영향을 줄 수 있는 스폿 잡음 등에 의한 영상 품질 저하를 기존 방법 대비 상대적으로 정확히 구분하였다.

<표 1> 기존 방법과 제안된 방법의 비교 실험 결과

	SNR		PSNR		A_Moment 1차		A_Moment 3(2)차	
	주택가	산과들	주택가	산과들	주택가	산과들	주택가	산과들
A1:압축률(3.78)	28.79	26.76	36.944	37.115	22.68	17.732	17.332	16.065
A2:압축률(5.78)	23.904	22.894	32.045	33.234	17.801	12.479	12.623	11.001
A3:압축률(10.0)	19.402	19.514	27.519	29.81	12.849	7.981	6.919	5.481
A4:압축률(15.0)	16.741	17.616	24.84	27.847	9.483	4.917	2.221	2.378
B1:A1+Noise	28.292	25.88	36.733	36.234	21.652	11.786	12.417	1.36
B2:A2+Noise	23.713	22.401	31.854	32.739	17.39	9.148	10.026	0.971
B3:A3+Noise	19.334	19.329	27.451	29.623	12.746	6.587	6.295	0.625
B4:A4+Noise	16.704	17.497	24.803	27.726	9.433	4.236	2.041	0.313
C1:원영상+3 Spot	35.873	34.56	44.031	44.949	26.726	18.45	14.544	4.374
C2:원영상+6 Spot	32.66	30.636	40.817	40.744	23.656	12.266	11.264	1.454
C3:원영상+9 Spot	31.151	28.59	39.306	38.969	22.546	10.674	10.017	1.021



(그림 5) 산과들 영상에 대한 PSNR vs. A_Moment(2)



(그림 6) 주택가 영상에 대한 PSNR vs. A_Moment(3)

또한 절대 모멘트의 차수를 조정할 경우 사용자의 용도에 따라 영상 품질값을 여러 측면의 평가에 이용할 수 있음을 알 수 있었다. 즉 판별하고자 하는 부분이 압축등에 의한 전반적인 영상 품질 저하

정도를 인지 하고자 하는것인지, 아니면 고 해상도 영상에서 정보의 판단 오류를 방지하기 위해 스폿 잡음 등이 포함 되어있는지를 인지하기 위한 목적 인지 에 따라 모멘트 차수를 조정하여 다양한 방법으로 적용이 가능하다. 본 논문에서는 1~3 차 모멘트를 이용한 시험 결과만을 기술하였으며, 그림 5 와 6 결과에서 보는바와 같이 제안한 방법의 경우 모멘트의 차수를 조정(2 차 또는 3 차)하면 스폿 잡음 포함 여부를 기존 방법 대비 정확히 구분함을 알 수 있다.

4. 결론

최근의 지구관측 위성들의 경우 제한된 조건하에서 최대한 많은량의 지구 관측 영상 정보를 지상으로 전송하기 위해 손실 압축 방법을 많이 이용한다. 따라서 지구관측 위성의 영상처리 시스템 개발 시 탑재할 영상 압축 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 고 해상도 위성영상의 데이터의 손실 및 이로 인한 지구관측 위성들의 기존 목적을 만족 시킬 수 있는 영상의 획득 여부를 미리 판단되어야 한다.

그러나 일반 영상에 비해 사용 용도에 따른 특수성이 많은 지구관측 영상의 경우 각 용도에 따른 영상 품질을 평가 할 수 있는 새로운 방법이 필요하다. 즉 현재 보편화된 영상 품질 평가 방법인 RMSE, SNR 또는 PSNR 경우 각 화소간의 차이점은 비교 되지만 한 화소의 주변 화소와의 관계는 확인 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 이러한 기존 방법들의 단점을 보완 하기위해 n 차 절대 모멘트를 이용한 영상 품질 평가 방법을 제안 하였다. 제안된 방법을 이용하여 지구관측 영상의 품질을 평가한 결과 단순 압축 복원된 영상에 대한 평가 결과는 기존 보편화된 방법과 유사한 변별력을 보였으나 스폿 잡음이 포함된 영상에 대해서는 기존 방법에 비해 매우 우수한 변별력을 보였다. 즉 고 해상도 지구관측 영상과 같이 한 점의 정보 손실 또는 첨가가 중요한 영향을 줄 수 있는 경우 제안된 영상 품질 평가 방법이 유용하게 이용될 수 있음을 실험 결과를 통해 증명 하였다.

참고문헌

[1] M. Paterni, M. Demi, C. Morizzo, M. Kozakova, C. Palombo, "The First Order Absolute Moment in Contour Tracking", *Proc. Computers in Cardiology*, 1997, pp. 545-548.
 [2] I. Avcibas, B. SanKur and K. Sayood., " Statistical Evaluation of Image Quality Measures", *Journal of Electronic Imaging*, 2001,11(2), pp.206-223.
 [3] Eskiciglu, A. M. and P.S.Fisher, " Image Quality Measures and Their Performance", *IEEE Transactions on communications*, 1995, 43(12), pp. 2959-2965.
 [4] Li, Y., Xu Q. and Bian G., " Study on Quality Evaluation of Compressed Remote Sensing Image"