

다목적 실용위성 1호 EOC 영상에 대한 MTF 보상 MTF Compensation for KOMPSAT-1 EOC Images

강치호¹⁾, 최해진²⁾
Chi-Ho Kang¹⁾, Hae-Jin Choi²⁾

한국항공우주연구원 위성운영센터 지상수신관제그룹
전화: +82-42-860-2918¹⁾, +82-42-860-2397²⁾, 팩스: +82-42-860-2605
E-mail: chkang@kari.re.kr¹⁾, hjchoi@kari.re.kr²⁾

요약

EOC(Electro Optical Camera)는 한반도 및 전 세계 육지 영역 관측용으로 설계되었다. EOC는 1999년 12월 21일 발사된 다목적 실용위성 1호에 탑재되어 가시광 대역(510 ~ 730nm)으로 입사하는 복사 정보를 수집해 왔다. 획득된 EOC 영상 자료는 다목적 실용위성 1호의 탑재체 자료전송 시스템(Payload Data Transmission System, PDTS)을 통해 지상으로 전송되며, 수신된 자료에 대한 방사 보정 및 기하 보정 등의 일련의 전처리(Pre-processing) 과정을 거쳐 EOC 표준 영상이 생성된다. EOC 영상에 대한 MTF 보상은 방사 보정 후 수행될 수 있으며, 다목적 실용위성 지상국에서는 사용자의 요구에 따라 EOC 영상에 대한 MTF 보상을 수행하고 그 결과를 제공한다. MTF 보상은 EOC의 점 확산 함수(Point Spread Function)를 이용하여 수행되며, 현재 Wiener 필터를 이용하여 수행되고 있다. 본문에서는 현재 다목적 실용위성 1호 영상처리시스템의 EOC 영상에 대한 MTF 보상을 소개하고, EOC의 점 확산 함수에 기초하여 역 필터(Inverse Filter) 및 의사 역 필터(Pseudo Inverse Filter)를 제작, EOC 영상에 대한 MTF 보상 수행 후 그 결과를 Wiener 필터를 이용한 결과와 비교, 분석한다.

1. 서론

다목적 실용위성 1호로부터 지상으로 전송된 EOC 원시 자료들은 지상에서 일련의 전처리(pre-processing) 과정을 거치게 된다. 전처리 과정은 크게 방사(radiometric) 보정, 기하(geometric) 보정 단계로 구성되며, EOC 원시 자료들은 이러한 전처리 과정을 거친 후 미리 정의된 표준 영상 제품으로 생성된다. EOC 원시 자료들은 EOC 영상 촬영 시 수반되는 여러 가지 왜곡에 의한 품질 저하 요인들을 포함하고 있으며, 전처리 과정은 이러한 요소들을 제거 또는 최소화하는 과정이다 (강치호 외, 2002).

따라서, 방사 보정이 수행된 후의 EOC 표준 영상에도 여전히 품질 저하 요인들이 존재하고 있다. 이러한 요소들은 필터링 과정을 통해 제거될 수 있으며, 이를 통해 영상 개선을 수행할 수 있다. 따라서, EOC 영상에 대한 필터링을 수행함으로써, 잔존해 있는 여분의 품질 저하 요인들을 제거할 수 있다.

MTF(Modulation Transfer Function, 이하 MTF) 보상은 영상 복원(Image Restoration)

기법의 일종으로 보상이 수행될 영상에 대해 고주파 통과 필터로써 작용한다. MTF 보상은 관측 센서의 점 확산 함수(Point Spread Function, 이하 PSF)를 이용하여 수행되며, 일반적으로 MTF 보상을 통해 개선된 영상은 원 영상에 비해 높은 선명도의 특성을 보인다.

다목적 실용위성 지상국에서는 사용자의 요구에 따라서 MTF 보상 기법에 의해 개선된 EOC 영상을 생성, 제공하고 있다. 본 연구에서는 다목적 실용위성 1호 EOC 영상에 대한 MTF 보상에 근거한 영상 품질 개선 과정을 소개하고, EOC의 점 확산 함수에 기초하여 역 필터(Inverse Filter) 및 의사 역 필터(Pseudo Inverse Filter)를 제작, EOC 영상에 대한 MTF 보상 수행 후 그 결과를 Wiener 필터를 이용한 결과와 선명도의 측면에서 비교, 분석한다.

2. EOC 영상의 MTF 보상

그림 1은 EOC 영상에 대한 MTF 보상 과정을 보여준다.

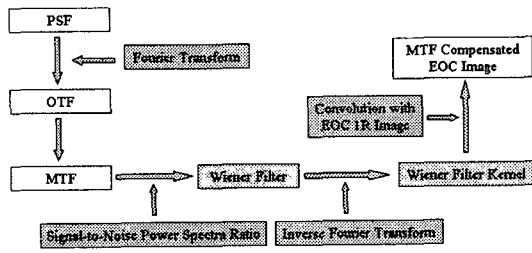


그림 1. EOC 영상에 대한 MTF 보상 (강치호 외, 2002)

EOC 영상에 대한 MTF 보상을 위해서는 EOC 광학계의 PSF에 대한 정보가 필요하다. EOC 광학계의 PSF는 Fourier 변환을 통해 주파수 대역에서 OTF(Optical Transfer Function)으로 변환되며, 여기서 MTF가 계산될 수 있다. 획득된 MTF를 이용하여 필터링을 수행하는 과정이 MTF 보상의 중심 과정이며, MTF를 이용한 필터링의 종류에 따라 EOC 영상에 대한 MTF 보상의 결과가 다르게 나타나게 된다. EOC 영상에 대한 MTF 보상을 이용한 영상 개선 과정은 크게 다음의 4 단계를 거친다.

2.1 PSF 계산

일반적으로 δ 함수는 광학계를 통과하면서 2차원으로 분산된 상을 나타내게 되며, δ 함수에 대한 광학계 시스템의 응답을 PSF로 정의할 수 있다(Smith, 1999).

EOC 광학계의 PSF는 EOC 센서 제작 시의 실험에 의해 측정되었으며 직교하는 두 축에 대해 대칭적인 분포를 보이고 있다.

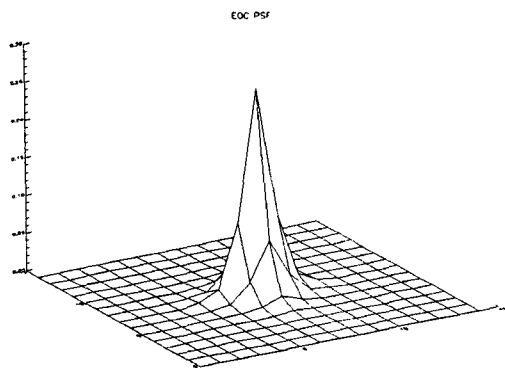


그림 2. EOC 센서의 PSF

2.2 Wiener 필터 제작

Wiener 필터는 잡음이 존재하는 영상에 대한 개선에 사용된다. 여기서의 잡음은 신호에 독립적으로 추가되는 잡음이다.

Wiener 필터는 최소 자승의 원리에 입각하여 원 영상과 필터링 이후의 영상 간의 에러를 최소화한다.

주파수 영역에서의 Wiener 필터는 다음과 같이 표현된다(Jain 1989)

$$W(v_1, v_2) = \frac{H^*(v_1, v_2)}{|H(v_1, v_2)|^2 + \left(\frac{S_{nn}(v_1, v_2)}{S_{uu}(v_1, v_2)}\right)^2} \quad (1)$$

여기서, W 는 Wiener 필터, H 는 광학계의 OTF를 나타내며, S_{uu} , S_{nn} 은 각각 신호와 잡음의 power spectra이다. 따라서, 광학계의 PSF가 알려져 있을 경우, 신호 대 잡음 power spectra의 비에 따라 개선된 영상의 품질이 결정된다. 한편, 광학계의 OTF가 양의 실수값을 가진다면 OTF와 MTF는 동일하다(Holst, 1995).

2.3 Wiener 필터 Kernel 생성

주파수 영역에서 생성된 Wiener 필터에 대한 역 필터(inverse filter)를 계산하고 이에 대해 역 Fourier 변환을 수행하면 공간 영역에서 원 영상에 대한 영상 개선을 수행할 수 있는 Wiener 필터 kernel을 생성할 수 있다. 그림 3은 신호 대 잡음 power spectra의 비가 3일 경우 공간 영역에서의 Wiener 필터 kernel의 모습을 보여준다.

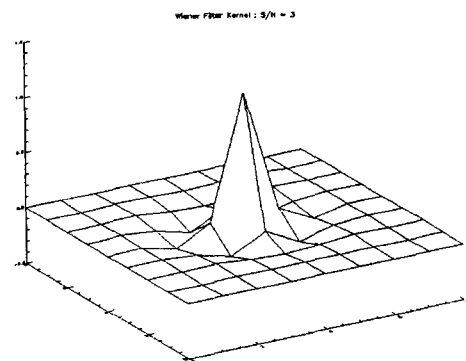


그림 3. EOC 영상에 대한 MTF 보상을 위한 공간 영역에서의 Wiener 필터 Kernel

2.4 상승 적분(Convolution) 계산

생성된 상승 적분 kernel과 원 영상을 상승 적분하여 품질 저하 요인이 제거된 개선된 영상을 획득한다.

$$\text{개선 영상} = \text{Kernel} \otimes \text{원 영상}$$

3. 역 필터, 의사 역 필터

현재 다목적 실용위성 지상국에서는 Wiener 필터를 이용하여 EOC 영상에 대한 MTF 보상을 수행하고 있다. EOC 센서의 PSF이 알려져 있으므로, Wiener 필터 및 그에 의한 결과 영상의 품질은 전적으로 신호 대 잡음 power spectra의 비에 의해 결정되며, 현재 기본값으로 3을 이용하고 있다.

Wiener 필터는 최소 자승의 원리를 이용하여 잡음 제거와 필터링을 통한 첨예화를 동시에 수행하게 되며, 신호 대 잡음 power spectra의 비는 개선되는 영상에 있어서의 이러한 두 가지 과정의 기능적인 비율을 조정하는 역할을 한다.

따라서, 신호 대 잡음 power spectra 비가 실제값에 근사하게 알려져 있고 그 값이 Wiener 필터 제작에 사용된다면, Wiener 필터를 이용한 EOC 영상에 대한 MTF 보상 결과는 EOC 광학계로 입사하는 지표의 실제 모습을 잘 반영할 것이다. 하지만, Wiener 필터에 입력되는 신호 대 잡음 power spectra 비가 실제값과 많은 차이를 보일 경우, MTF 보상 후의 영상은 과다한 잡음 또는 첨예화에 의해 그 품질이 광학계 통과 후 획득된 영상의 품질보다 저하된 모습을 보일 수 있다.

한편, Wiener 필터링의 원 영상에 대한 첨예화 특성에 따라, 신호 대 잡음 power spectra 비를 증가시킨 Wiener 필터를 이용한 영상 개선을 수행할 경우, EOC 원 영상에 대해 선명도가 증가된 EOC 영상을 획득하는데 사용될 수 있다. 본 절에서는 선명도를 증가시키기 위한 역 필터(inverse filter) 및 의사 역 필터(pseudo inverse filter)를 소개, 제작한다.

3.1 역 필터(inverse filter)

역 필터는 다음과 같다(Jain, 1989).

$$H^{-1}(v_1, v_2) = \frac{1}{H(v_1, v_2)} \quad (2)$$

역 필터는 신호에 독립적인 잡음이 없다는 가정 하에 제작된다. 따라서, 역 필터의 주파수 응답은 해당 광학계의 주파수 응답의 역수가 된다. 역 필터에 의한 영상 개선은 첨예화된 영상을 획득할 수 있다는 장점

이 있지만, MTF가 0의 값을 가질 경우 역 필터의 제작이 불가능하며, 잡음이 존재하고 MTF가 충분히 작을 경우에는 오히려 잡음을 증폭시킬 수 있다. 그림 4는 EOC 센서의 PSF를 이용하여 제작된 역 필터를 보여준다.

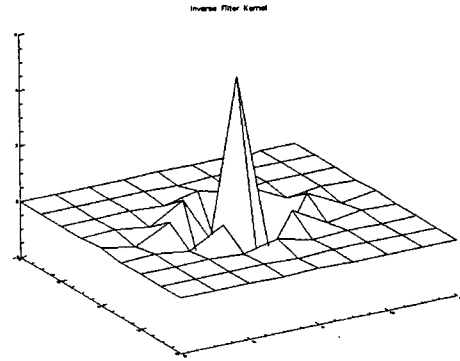


그림 4. EOC 영상에 대한 MTF 보상을 위한 역 필터

3.2 의사 역 필터(pseudo inverse filter)

의사 역 필터는 MTF의 값이 0일 경우 역 필터의 값이 무한대로 발산하는 부분을 안정화시킨 필터로 다음과 같다(Jain 1989).

$$H^{-}(v_1, v_2) = \begin{cases} \frac{1}{H(v_1, v_2)}, & H \neq 0 \\ 0, & H = 0 \end{cases} \quad (3)$$

실제로는 MTF의 절대값이 적절한 임계값보다 작을 경우 의사 역 필터의 값을 0으로 두고 영상 개선을 수행한다. 그림 5는 임계값을 0.1로 설정한 후 결정된 의사 역 필터를 보여준다.

4. EOC 영상에 대한 MTF 보상 실험 및 결과

본 절에서는 본 연구를 통해 제작된 역 필터, 의사 역 필터를 적용한 EOC 영상에 대한 MTF 보상 결과를, 현재 다목적 실용위성 지상국에서 수행되고 있는 Wiener 필터에 의한 EOC 영상에 대한 MTF 보상 결과와 비교, 분석한다.

그림 6, 7, 8, 9는 원 영상, Wiener 필터, 역 필터, 의사 역 필터에 의해 개선된 영상들을 보여준다.

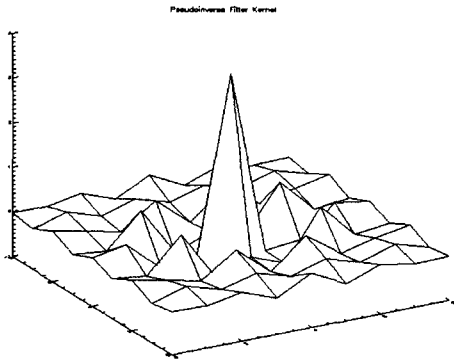


그림 5. EOC 영상에 대한 MTF 보상용 의사 역 필터



그림 6. EOC 원 영상



그림 7. Wiener 필터에 의한 개선 영상

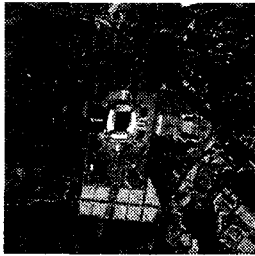


그림 8. 역 필터에 의한 개선 영상

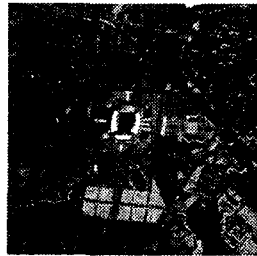


그림 9. 의사 역 필터에 의한 개선 영상

위의 그림들을 살펴보면, 역 필터와 의사 역 필터를 적용한 경우 Wiener 필터를 적용한 결과보다 영상 내의 구조물의 경계선이 잘 드러나는 양상을 보인다. 즉, 역 필터, 의사 역 필터에 의해 개선된 EOC 영상은 Wiener 필터에 의해 개선된 결과물에 비해 선명도의 측면에서 품질이 우수함을 알 수 있다.

한편, 역 필터 및 의사 역 필터는 잡음의 양을 0 또는 매우 작은 값으로 할당하는 알고리즘임에도 불구하고, 개선된 EOC 영상은 전체적으로 균질하며 잡음이 없는 모습을 보인다. 이는 곧 신호 대 잡음 power spectra의 비가 매우 큼을 의미한다.

따라서, 샘플 영상에 의한 시험 결과, 현재의 Wiener 필터보다는 역 필터 또는 작은 임계값을 가지는 의사 역 필터를 이용한다면, EOC 영상에 대한 MTF 보상 과정을 통해 더 높은 선명도를 가지는 양질의 EOC 개선 영상을 획득할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 다목적 실용위성 지상국에서 수행 중인 EOC 영상에 대한 MTF 보상 과정을 소개하고, 그 결과물과 역 필터, 의사 역 필터를 적용한 영상들을 비교, 분석 하였다. 그 결과 EOC 영상에 대한 MTF 보상 과정에서 잡음을 무시한다 하더라도, 개선된 EOC 영상들은 품질의 저하 없이 더 높은 선명도를 가짐을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 시행한 고해상도 위성 영상 처리 시스템 개발 사업의 일부로써 수행되었으며 과학기술부의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] C. H. Kang, H. J. Choi, 2002, Effect of the Signal-to-Noise Power Spectra Ratio on MTF Compensated EOC Images, Proceedings of International Symposium on Remote Sensing, pp.202-207
- [2] A. K. Jain, 1989, *Fundamentals of Digital Image Processing*, London, Prentice-Hall International, Inc.
- [3] G. C. Holst, 1995, *Electro-Optical Imaging System Performance*, Washington, SPIE Optical Engineering Pres
- [4] S. W. Smith, 1999, *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, San Diego, California Technical Publishing