

스펙클 영상의 다단계 적응평활화 기법

(Multistep Adaptive Smoothing Technique of Speckle Images)

金 泰 均*, 南 權 文*, 朴 來 弘**

(Tae Kyoon Kim, Kwon Mun Nam, and Rae-Hong Park)

要 約

본 논문에서는 스펙클 영상의 잡음을 제거하는 방법으로 다단계 환경에서 적응 최소자승 영상 평활화 기법을 사용한 파라메터가 없는 평활화 기법을 제안하였다. 주어진 화소에서 적합한 평활화 창크기는 그 화소를 중심으로 하는 창틀내 화소들의 밝기값의 국부분산과 평균제곱비로 정의되는 불연속 척도에 의해서 결정된다. 각 해상도에서 추정되는 불연속 척도의 모드는 적응 평활화 방법에서 필요한 잡음의 분산값으로 사용된다. 컴퓨터 모의 실험에 의하면 제안한 다단계 방법은 세밀한 경계부분은 잘 보존하면서도 평탄한 영역을 만족스럽게 평활화할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose a parameter-free smoothing method for speckle images, i.e., an adaptive least squares image smoothing technique implemented in a multistep environment. The pertinent smoothing window size at a given pixel is determined by the discontinuity measure which is defined by the ratio of the local variance and mean squares of intensity values of pixels over the smoothing window centered there. The mode of the discontinuity measure at each step is estimated to replace the noise variance parameter that is required in the adaptive smoothing. Computer simulation shows that the proposed multistep technique can smooth homogeneous regions satisfactorily while preserving fine details near boundaries.

I. 서 론

평활화(smoothing)는 다양한 잡음영상에서 잡음을 제거하여 화질을 향상시키는 과정이다. 일반적으로 영상은 균일한 통계적 특성을 가져서 단순한 평균법으로도 평활화가 용이한 영역과 에지와 같은 불연속

을 포함하여 경계보존이 필요한 영역으로 나누어진 다. 스펙클 잡음은 신호 의존성을 갖는 승산잡음의 한 형태로 SAR (synthetic aperture rader) 영상, 초음파 (ultrasonic) 영상, 레이저 (laser) 영상등과 같은 coherent 영상에서 주로 나타난다. 이러한 스펙클 잡음영상에 대한 기존의 평활화 기법¹⁾중에는, 고정된 창틀내의 평균값을 구하여 중심 화소값으로 대체하는 평균법, 창틀내의 중앙값 (median)을 구하여 중심 화소값으로 바꾸어 주는 중앙값 평활화 방법, 스펙클 잡음이 승산 형태의 잡음이므로 로그 (logrithm)를 취하여 가산 형태의 잡음으로 바꾸어준 다음 평균법으로 처리한 후 지수 (exponential)를 취하는 homomorphic 평활화 방법²⁾등의 단순 평활화 기법이

*準會員, **正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Sogang Univ.)

接受日字: 1991年 10月 28日

(※ 이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음).

있다. 이러한 방법 이외에도 국부평균값과 입력영상과의 선형 결합 형태로 표시되는 Lee^[3]와 Kuan^[4]의 적응 평화화 기법이 있다. 이러한 기존의 고정된 창크기의 평화화 방법들은 고정된 크기의 창을 사용하므로 창의 크기가 큰 경우에는 몽롱화(blurring) 현상이, 창의 크기가 작은 경우에는 잡음에 민감한 특성을 가지게 된다.

따라서 본 논문에서는 이러한 기존의 평화화 기법들이 가지는 문제점을 개선하기 위해서, 비교적 균일한 부분에서는 창의 크기를 크게하여 평화화를 많이 시켜주며, 세밀한 부분에서는 창의 크기를 작게하여 경계를 보존하는 다단계 평화화 기법을 제안하였다. 가산형 잡음이 들어간 영상인 경우에는 불연속 척도로서 분산을 이용한^[5] 것과는 달리 본 논문에서는 스펙클 영상이 균일한 부분에서 국부분산과 평균 제곱의 비가 일정(constant)하다는 성질을 이용하여 국부분산과 평균제곱의 비를 불연속 척도(discontinuity measure)로 사용하였다. 이 분포로부터 추출된 모드(mode)를 이용해서 평화화하려는 창의 크기를 자동적으로 결정하여 Kuan^[4]의 적응 평화화 기법과 결합한 다단계 적응 평화화 방법^[6]을 제안하였다.

II장에서는 스펙클 잡음의 성질을 간단히 설명하고 III장에서는 기존의 스펙클 잡음의 평화화 기법, 특히 Kuan^[4]의 적응 평화화 방법을 간단히 설명하며 IV장에서는 스펙클 잡음영상의 해상도 결정을 위한 방법 및 이를 Kuan^[4]의 적응 평화화와 결합한 제안한 다단계 기법을 설명한다. V장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 검토를 보였으며 VI장에서는 결론을 내렸다.

II. 스펙클 잡음의 통계적 특성과 모델링

스펙클 패턴이라고 불리는 불규칙한 신호의 분포는 간섭현상이 있는 빛(coherent light)이 거친 표면으로부터 반사되거나, 불규칙한 굴절률 매질이 있는 매체를 통과할때 나타난다.^[7] 따라서 스펙클 패턴의 통계특성은 입사광의 간섭성과 불규칙한 표면의 성질에 의존한다고 할 수 있는데, 완전한 간섭 즉 물체의 표면이 입사파의 파장에 비해 훨씬 더 거칠다고 할 때는 이 의존성을 무시할 수 있다. 이러한 패턴을 fully developed 스펙클이라고 하는데, 이때는 신호와 통계적으로 독립된 위상이 0에서 2π 사이에서 균일하게 분포하게 된다. 이때 스펙클 패턴의 밝기 크기는 negative exponential 분포를 갖게 된다. 대부분의 경우에 물체의 표면이 광파의 파장에 비해 훨씬

더 거칠다고 할 수 있으므로, 대개 fully developed 스펙클 모델을 가정한다.

일반적으로 이러한 스펙클 패턴은 다음 식과 같이 승산잡음의 형태로 모델링되며,^[2-4] 따라서 원신호가 큰 부분에서는 잡음도 커지는 신호 의존성을 갖는다.

$$g(i, j) = f(i, j) \times n(i, j), \quad (1)$$

여기서 $g(i, j)$ 는 잡음이 섞인 영상신호의 빛의 밝기(intensity)이고, $f(i, j)$ 와 $n(i, j)$ 은 각각 원신호와 잡음신호를 나타낸다. 이때 잡음의 평균값 $E(n(i, j)) = 1$ 이고, 정상성분(stationary variance) 값 σ_n^2 을 갖는다고 가정하고, 또한 신호와 잡음이 독립이라고 하면

$$\begin{aligned} E(g(i, j)) &= E(f(i, j) \times n(i, j)) \\ &= E(f(i, j)) \times E(n(i, j)) \\ &= E(f(i, j)) \\ &= m_f \end{aligned} \quad (2)$$

이다. 또한 잡음은 negative exponential 분포를 가지므로, 원신호와 잡음을 독립이라고 하면 균일한 영역에서는 $g(i, j)$ 도 negative exponential 분포를 갖게 된다. 즉, g 를 잡음영상 $g(i, j)$ 의 빛의 밝기, $m_g = E[g(i, j)]$ 라 할 때 확률 밀도함수 $p_g(g)$ 는

$$p_g(g) = \frac{1}{m_g} \exp\left(-\frac{g}{m_g}\right) U(g) \quad (3)$$

로 주어지며 여기서 $u(\cdot)$ 는 unit step함수이다. 대개 SAR 같은 응용에서는 취득된 N 개의 영상을 단순평균을 내서 스펙클 잡음을 감소시킨다(N looks). 그 결과 스펙클이 감소된 영상의 빛의 밝기는 다음의 감마(gamma) 분포를 갖게 된다.^[7]

$$p_N(g|m_g) = \begin{cases} \frac{1}{(N-1)! \left[\frac{m_g}{N}\right]^{-N}} g^{N-1} \exp(-g^N/m_g), & \text{if } g \geq 0 \\ 0, & \text{if } g \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

III. 기존의 스펙클 영상 평화화 기법

서론에서 살펴보았듯이 기존의 스펙클 영상 평화화 기법으로서 단순 평화화 방법으로 평균법,^[1] 중앙값 평화화 방법,^[1] homomorphic 평화화 방법^[2]등이 있으며 적응 평화화 방법에는 Lee^[3]와 Kuan^[4]의 평화화 방법들이 있다. 본 장에서는 이러한 기존의 방법들을 간단히 설명하는데, Kuan^[4]의 적응 평화화 방법은 본 논문에서 제안한 다단계 기법과 결합하여 사용하는 적응 평화화 방법이므로 좀 더 자세히 고찰하고자 한다.

1. 평균법^[1]

고정된 $(2P+1) \times (2P+1)$ 창틀내의 평균값을 중심 화소값으로 대체하는 방법으로 추정신호 $\hat{f}(i, j)$ 는

$$\hat{f}(i, j) = \overline{g(i, j)} = \frac{1}{(2P+1)^2} \sum_{k=1-P}^{1+P} \sum_{l=1-P}^{1+P} g(k, l) \quad (5)$$

와 같다.

2. 중앙값 평활화 방법^[1]

고정된 창틀내의 중앙값을 중심 화소값으로 대체하는 방법으로

$$\hat{f}(i, j) = \text{median}[g(k, l), (k, l) \in W] \quad (6)$$

와 같으며 W 는 (i, j) 를 중심으로 하여 고려되는 창틀내의 화소의 집합을 나타낸다.

3. Homomorphic 평활화 방법^[2]

로그를 취하여 승산형의 잡음을 가산형의 잡음으로 바꾸어 준 다음에 식(5)의 평균법을 적용하고 다시 지수를 취하는 경우에 추정 영상은

$$\hat{f}(i, j) = \exp\left[\frac{1}{(2P+1)^2} \sum_{k=1-P}^{1+P} \sum_{l=1-P}^{1+P} \log(1+c g(k, l))\right], \quad (7)$$

로 주어지며 여기서 c 는 상수이다.

4. Lee의 적응 평활화 방법^[3]

추정영상이 국부평균 $\overline{g(i, j)}$ 와 입력 영상의 선형결합 형태로서 표시되어

$$\hat{f}(i, j) = \overline{g(i, j)} + k(i, j) (g(i, j) - \overline{g(i, j)}) \\ = (1-k(i, j))\overline{g(i, j)} + k(i, j) g(i, j) \quad (8)$$

와 같이 나타낸다. 이때 결합 계수 $k(i, j)$ 는 화소단위로 국부평균 $\overline{g(i, j)}$ 및 분산 $s_g^2(i, j)$ 에 의해

$$k(i, j) = \frac{Q(i, j)}{(\overline{g(i, j)})^2 \sigma_n^2 + Q(i, j)} \quad (9)$$

$$Q(i, j) = \frac{s_g^2(i, j) + g^2(i, j)}{\sigma_n^2} - (\overline{g(i, j)})^2 \quad (10)$$

로 주어지며 잡음의 분산값 σ_n^2 은 파라미터로 외부에서 주어진다.

5. Kuan등의 적응 평활화 방법^[4]

식(1)과 같은 승산잡음의 형태를 가산형태로 나타내면

$$g(i, j) = f(i, j) + [n(i, j) - 1]f(i, j) \quad (11)$$

이 되며 신호와 잡음이 독립이며 잡음의 평균값이 1이고 정상적인 경우 입력 영상의 평균과 분산은

$$E[g(i, j)] = E[f(i, j)] \quad (12)$$

$$\sigma_g^2(i, j) = E[(g(i, j) - E(g(i, j)))^2] \\ = \sigma_f^2(i, j) + \sigma_n^2([E(f(i, j))]^2 + \sigma_f^2(i, j)) \quad (13)$$

으로 표현할 수 있으며 원영상의 분산값은 식 (12)와 (13)으로 부터

$$\sigma_f^2(i, j) = \frac{\sigma_g^2(i, j) - \sigma_n^2[E(g(i, j))]^2}{1 + \sigma_n^2} \quad (14)$$

가 된다. 여기서 $E[\cdot]$ 는 앙상블 평균을 나타내며 영상이 ergodic하다고 가정하면 주어진 해상도 P 에서 앙상블 평균과 분산은 $(2P+1) \times (2P+1)$ 인 평활화 창의 공간적 평균 $\overline{g(i, j)}$ 와 분산 $s_g^2(i, j)$ 로 대체할 수 있다. 즉

$$s_f^2(i, j) = \begin{cases} \frac{s_g^2(i, j) - \sigma_n^2[\overline{g(i, j)}]^2}{1 + \sigma_n^2}, \\ 0, \end{cases} \\ \text{if } s_g^2(i, j) > \sigma_n^2[\overline{g(i, j)}]^2 \\ \text{otherwise.} \quad (15)$$

입력 영상으로 부터 추정하는 추정 영상 $\hat{f}(i, j)$ 는 다음과 같은 입력 영상과 국부평균의 선형 결합형태로 나타낼 수 있다.

$$\hat{f}(i, j) = \overline{g(i, j)} + \frac{s_f^2(i, j) (g(i, j) - \overline{g(i, j)})}{s_f^2(i, j) + \sigma_n^2[(\overline{g(i, j)})^2 + s_f^2(i, j)]} \\ = (1-k_m(i, j))\overline{g(i, j)} + k_m(i, j)g(i, j) \quad (16)$$

이때 식(16)에서의 결합 계수는 다음과 같이 $g(i, j)$ 의 공간적인 평균과 분산 및 σ_n^2 으로 나타낸다.

$$k_m(i, j) = \begin{cases} \frac{[s_g^2(i, j)/g(i, j)] - \sigma_n^2}{[s_g^2(i, j)/g(i, j)](1 + \sigma_n^2)}, \\ 0, \end{cases} \\ \text{if } [s_g^2(i, j)/g(i, j)] \geq \sigma_n^2 \\ \text{otherwise} \quad (17)$$

이상에서 살펴본 것처럼 기존의 적응 평활화 방법에서는 잡음의 분산값인 σ_n^2 의 파라미터로 외부에서 주어졌지만 다음 절에서 설명할 제안한 방법에서는 불연속 척도인 국부분산과 평균제곱의 비의 분포로부터 추정된 모드값을 사용하였다.

IV. 스펙클 영상의 다단계 적응평활화 기법

1. 불연속 척도

각 화소마다 주변화소로부터 측정된 불연속 척도에 의거하여 각 화소마다 적합한 평활화 창 크기를

지정할 수 있다. 가우시안 잡음이 섞인 가산형 잡음 영상에서의 다단계 방법^[5]은 균일한 영역과 불균일한 영역을 구분하는 불연속 척도로서 분산을 사용하였지만 스펙클 영상인 경우의 제안한 방법^[6]에서는 분산과 평균제곱의 비를 사용한다. 이론적으로 스펙클 영상에서 N looks 수를 가정하고 원신호가 균일한 부분에서 감마분포를 가진다는 통계적 특성을 고려하여 분산과 평균제곱의 비 R 을 나타내면

$$R = \frac{\sigma_g^2}{m_g^2} = \frac{m_g^2/N}{m_g^2} = \frac{1}{N} \quad (18)$$

과 같다. 스펙클이 ergodic하다고 가정한다면, 이러한 이상블 특성은 공간적 특성으로 대체할 수 있으므로 실제적인 값은 공간적 분산 및 평균값을 이용하여 구한다. 이러한 조건을 만족할 만한 창틀을 이용하여 각 창틀 내에서의 국부분산값과 평균값을 이용하면 각 창틀의 R 을 얻을 수 있는데, 이 R 은 창틀 내의 화소값이 균일한 분포를 갖는 경우 N^{-1} 에 접근하는 값이므로 이 R 이 균일한 영역과 불균일한 영역을 구분하는 파라미터가 된다. 즉, 균일한 영역에서는 이 R 이 N^{-1} 보다 작거나 같고, 불균일한 영역에서는 이 비가 N^{-1} 보다 크다고 추정할 수 있다.

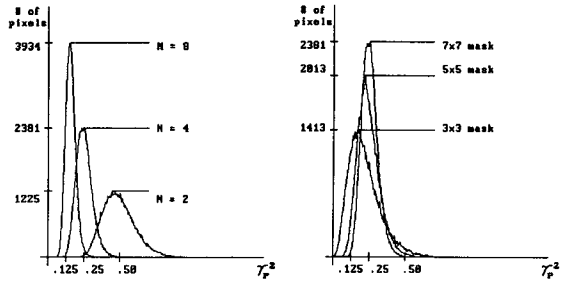
가산형 잡음일 경우 분산값이 작은 영역이 균일한 영역이라는 판단기준이 있어서 분산값의 모드를 기준으로 균일한 영역과 불균일한 영역을 분리할 수 있었으나^[5] 식(1)로 주어지는 스펙클과 같은 승산형 잡음의 경우 영상의 평균 밝기에 따라서 분산값이 변하므로 균일한 영역이라고 할지라도 평균 화소가 밝을 경우에는 분산값이 커지고, 불연속의 영역을 포함하고 있더라도 평균 화소 밝기가 어두운 영역에서는 분산값이 상대적으로 낮아지게 되므로, 국부 분산만으로는 균일, 불균일의 영역을 구분하는 파라미터로 사용할 수 없다. 따라서, 평균값에 따라서 변하는 분산값을 평균의 제곱으로 나누어 줌으로써, 이 R 이 평균값에 무관하게 각 창틀 내의 불연속을 측정하는 파라미터로 사용할 수 있게 하였다. 이렇게 함으로써, 가산형 잡음의 분산처럼, R 이 특정값 (입력 잡음 영상의 looks 수와 관련) 보다 작을 때를 상대적으로 균일한 영역으로 구분해낼 수 있다. 이 R 의 이론적인 값은 식(18)에서와 같이 looks 수의 역수가 된다. 이 R 의 실제 분포는 looks 수의 역수 위치에서 최대값을 갖는 unimodal한 분포를 이룰 것이 기대되며, R 이 이 분포로부터 추정된 모드값보다 작은 영역을 균일한 영역이라고 판단하게 된다.

스펙클 잡음 영상에서 해상도 P 인 경우 ($(2P+1)$

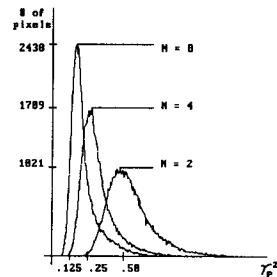
) $\times (2P+1)$ 의 창틀크기에 대응)의 국부적인 불연속 척도 $\gamma_p^2(i, j)$ 는 위에서 설명한 R 의 성질을 이용해서 공간적인 평균 및 분산을 이용하여

$$\gamma_p^2(i, j) = \frac{s_{gP}^2(i, j)}{(g_P(i, j))^2} \quad (19)$$

로 주어지며 균일한 영역에서는 상수값을 가지며 그림1에서와 같이 unimodal한 분포를 가지게 된다.



(a) 균일한 영역의 looks수에 따른 변화 (b) 창틀 크기에 따른 변화



(c) 항공영상 1인 경우 looks 수에 따른 변화

그림 1. 불연속 척도 $\gamma_p^2(i, j)$ 의 분포

Fig. 1. Distribution of the discontinuity measure $\gamma_p^2(i, j)$.

그림1은 각각 균일한 영역에서의 looks 수에 따른 불연속 척도 $\gamma_p^2(i, j)$ 의 분포를 동일한 창틀내에서 비교한 그래프와, 창틀크기 변화에 따른 불연속 척도의 분포 및 실제 영상에서의 불연속 척도의 분포를 보여준다. 각 그림으로부터 이 불연속 척도는 unimodal한 분포를 갖는 것을 알 수 있으며, 그림 1(a), (b)는 평균값이 30인 영상이며, 그림1(a), (c)는 7×7 창틀을 사용했을 때의 분포이다. 그림1(a)에서는 looks 수가 각각 2, 4, 8일 때의 불연속 척도 분포로서, looks 수 N 에 따라 이론치 N^{-1} 에서 최대값을 나타내는 것을 볼 수 있고, 그림1(b)는 looks수가 4일 때, 창틀이

3×3, 5×5, 7×7에서의 불연속 척도의 분포로서, 창틀의 크기가 증가할수록 변이의 폭이 좁아져 단일한 값(N⁻¹=0.25)에 다가감을 알 수 있다. 또한 그림 1(c)는 항공영상 1(그림3(a) 참조)에 대하여 N을 변화시킨 경우로 균일한 영역과 불균일한 영역을 포함하는 실제 영상에 대해서도, 각 분포는 기대했던 unimodal한 분포를 이루며 looks수에 따른 불연속 척도의 분포를 갖는 것을 알 수 있다. 따라서 불연속 척도의 이러한 성질을 이용하여 주어진 화소가 평탄한 영역에 속하는지 아닌지를 판정할 때 불연속척도 측정시의 창틀 크기를 변화시켜 줌으로써 다단계 결정이 가능하다. 각 화소에서 이러한 불연속 척도를 사용하여 평활화를 위한 창 크기 즉 해상도를 결정하는 기법을 다음 절에서 설명한다.

2. 다단계 결정기법

해상도 P에서 만약 주변화소가 비교적 평탄한 부분에 속하면 중심 화소는 가능한 큰 주변 화소들의 국부평균값으로 대체하고 경계부분에 속하면 그 값을 보존하도록 적응 평활화 한다. 각 화소가 비교적 평탄한 영역에 속하는지 경계부분에 속하는지에 대한 사전 정보는 없으며 가장 저해상도에서 평탄한 영역에 포함된 주변화소의 수가 경계부분에 속하는 화소의 수보다 많다는 가정이 최대 창 크기 P_{max}를 결정하는데 사용된다. 다단계의 창크기는 최저 해상도 P=P_{max}으로 부터 시작하여 coarse-to-fine 형식으로, 예로 P_{max}=4인 경우, 9×9부터 7×7, 5×5, 3×3순으로 처리한다.

기존의 적응 평활화 방법^{[3]-[4]}에서 σ_n²은 looks수 N과 σ_n²=N⁻¹의 관계를 가지는 파라미터로 외부에서 주어지나 본 논문에서는 자동으로 추정하기 위하여 주어진 해상도에 해당되는 화소의 불연속 척도인 γ_P²(i, j)의 분포에서 해당 해상도의 전체적인(global) 특징을 나타내는 모드값 Γ_P²를 구하여 σ_n²의 추정치로 사용하였다. 여기서 모드는 연속적이거나 불연속적인 어떤 불규칙 변수(random variable) x의 확률 밀도함수 p_x(x)를 최대로 하는 x값을 나타낸다. 이러한 모드와 식(19)를 사용하면 적응 결합계수를 나타내는 식(17)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k_m(i, j) = \begin{cases} \frac{\gamma_P^2(i, j) - \Gamma_P^2}{\gamma_P^2(i, j) (1 + \Gamma_P^2)}, & \text{if } \gamma_P^2(i, j) \geq \Gamma_P^2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

이상에서 살펴본 해상도 결정 기법을 이용하여 다음 절에서는 다단계 적응 평활화 방법을 설명한다.

3. 다단계 적응평활화 방법

해상도 P에서 불연속 척도 γ_P²(i, j)가 모드 Γ_P²보다 작은 지역은 해상도 P에서 k_m(i, j)=0이 되어 균일한 지역으로 추정하여 f̂(i, j)=ḡ(i, j)가 된다. (식(16), (20) 참조). 즉 추정 영상은 (2P+1)×(2P+1) 창 크기의 이웃 화소들의 공간적 평균값으로 대체된다.

해상도 결정은 각 화소단위로하며 본 논문에서는 P_{max}=4를 사용하여 9×9, 7×7, 5×5, 3×3에 대하여 해상도를 결정한 후, 각 해상도마다 적응 평활화기법을 사용한다. 그림2에는 제안한 평활화 기법을 흐름도로 나타내었는데 P=4인 해상도에서 불연속 척도가 모드보다 작은 부분은 적응 결합계수 k_m(i, j)가 0이 되므로 (식(20)참조) 동일한 영역으로 판정하여 주어진 해상도에서 국부 평균값으로 추정한다. 해상도를 7×7, 5×5, 3×3으로 높여가면서 같은 방법으로 처리하며 3×3 해상도에서 불연속 척도가 모드보다 큰 부분은 적응적 결합계수가 0이 아닌 값을 갖게 되므로 경계를 포함하는 영역으로 판정하여 식(16)으로부터 값을 추정한다. 결과적으로 각 해상도에서 평탄한 지역이라고 판정된 화소는 그 해상도에 해당되는 창틀크기로 평활화된 국부평균값으로 대체되며 그렇지 않는 부분은 그 다음 해상도에서 반복 시행한다. 마지막으로 가장 좋은 해상도에서 평탄하지 않다고 추정된 화소에서는 식(10)을 사용하여 적응 평활화를 하게 된다. 각 해상도에서 적응 평활화된 화소값들은 그림2에서와 같이 나타낸다.

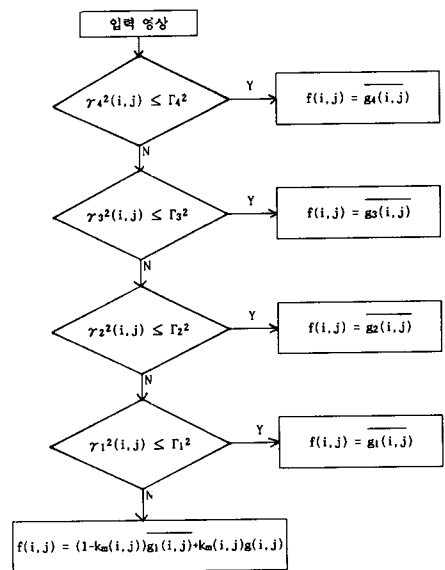


그림 2. 제안한 다단계 적응 평활화 방법 (P_{max}=4)
 Fig. 2. Proposed multistep adaptive smoothing method (P_{max}=4).

V. 실험결과 및 검토

제안한 방법에 의한 다단계 적응 평활화 기법의 성능을 평가하기 위해서 2가지의 항공영상과 장난감 영상 등 3가지 영상에 대하여 실험하였다. 그림 3에는 평균값이 54.52이고 분산값이 2421.47인 항공영상 1, 그림4에는 평균값이 55.18이고 분산값이 1190.43인 항공영상2, 그림5에는 평균값이 59.56이고 분산값이 1619.31인 장난감 영상에 대한 실험 결과를 보여준다. 기존의 고정된 창의 크기를 가지는 평활화 방법의 실험에서 사용한 창의 크기는, 3×3 , 5×5 , 7×7 및 9×9 의 실험 결과에서 가장 좋은 성능을 보이는 크기를 선택하여 보인 결과이다.

본 논문에서 객관적인 성능평가를 위해서 PSNR (peak signal to noise ratio)을 사용하였다. 식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있는데 $f(i, j)$ 는 원 영상이며 $\hat{f}(i, j)$ 는 복원된 영상을 나타내며 $K \times L$ 은 영상의 크기를 나타낸다.

$$PSNR = -10 \log_{10} \frac{\sum \sum [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2 / (K \times L)}{255^2} \quad (21)$$

그림3, 4, 5(a)에는 원영상을 그림3(b)에는 $N=2$ 인 항공영상1, 그림4(b)에는 $N=4$ 인 항공영상2, 그림 5(b)에는 $N=8$ 인 장난감 영상의 잡음영상을 보여준다. 각 그림의 (c)와 (d)는 5×5 의 고정된 창을 사용하여 평균법과 중앙값 평활화 방법으로 처리한 결과이다. 방법 (c), (d)를 서로 비교하면 항공영상1의 좌측 하단의 네모난 물체내의 부분과 항공영상 2의 중간에 네모난 물체내의 부분, 장난감 영상의 좌측 상단 물체내의 영역들이 평균법인 경우에는 중앙값 평활화 방법보다 평활화가 잘 되었으나 그러한 물체의 경계부분의 보존효과는 중앙값 평활화 방법이 평균법보다 뛰어났다. 5×5 homomorphic 평활화 방법(e)는 로그를 사용하여 승산형태의 잡음을 가산형태의 잡음으로 바꾸어 준 다음 (c)의 평균법을 사용하고 다시 지수를 취한, 즉 식(7)을 이용하여 처리한 결과이다. 이 때 상수c의 값은 1로서 처리하였다. 방법(e)는 방법 (c), (d)와 비교할 때 객관적인 성능평가 기준인 PSNR이 떨어지며 주관적인 성능평가 기준인 화질도 조금 떨어짐을 볼 수 있었다.

(f)와 (g)는 5×5 의 고정된 창을 사용한 경우의 적응 평활화 방법으로 (f)는 Lee의 방법으로 처리한 결과로 식(9), (10)의 잡음 분산 σ_n^2 을 항공영상 1인 경우에는 $N^{-1}=2^{-1}=0.5$ 를, 항공영상 2인 경우에는 $N^{-1}=4^{-1}=0.25$ 를, 장난감 영상에서는 $N^{-1}=8^{-1}=0.125$ 를 파라미터로 외부에서 주었다. (g)는 Kuan 등의 적응

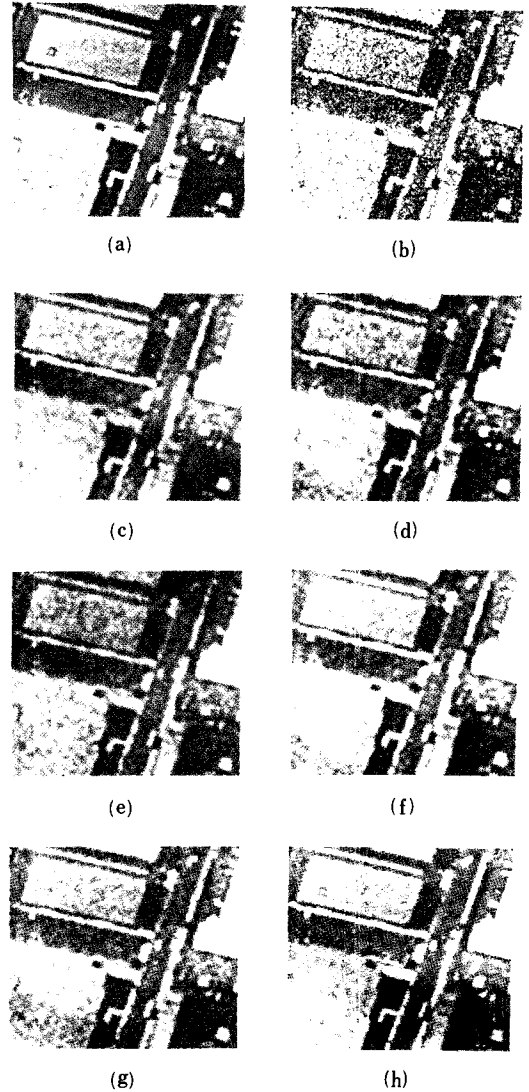


그림 3. 실험영상 1(항공영상1) (a) 원영상 (b) 잡음영상($N=2$) (c) 5×5 평균법 (d) 5×5 중앙값 평활화 (e) 5×5 homomorphic 평활화 (f) 5×5 Lee의 적응 평활화 (g) 5×5 Kuan 등의 적응 평활화 (h) 제안한 다단계 적응 평활화 방법 ($P_{\max}=4$)

Fig. 3. Test image 1 (aerial image 1). (a) original image, (b) noisy image ($N=2$), (c) 5×5 averaging method, (d) 5×5 median filtering, (e) 5×5 homomorphic filtering, (f) 5×5 Lee's adaptive filtering, (g) 5×5 Kuan et al.'s adaptive filtering, (h) proposed multistep adaptive technique ($P_{\max}=4$).

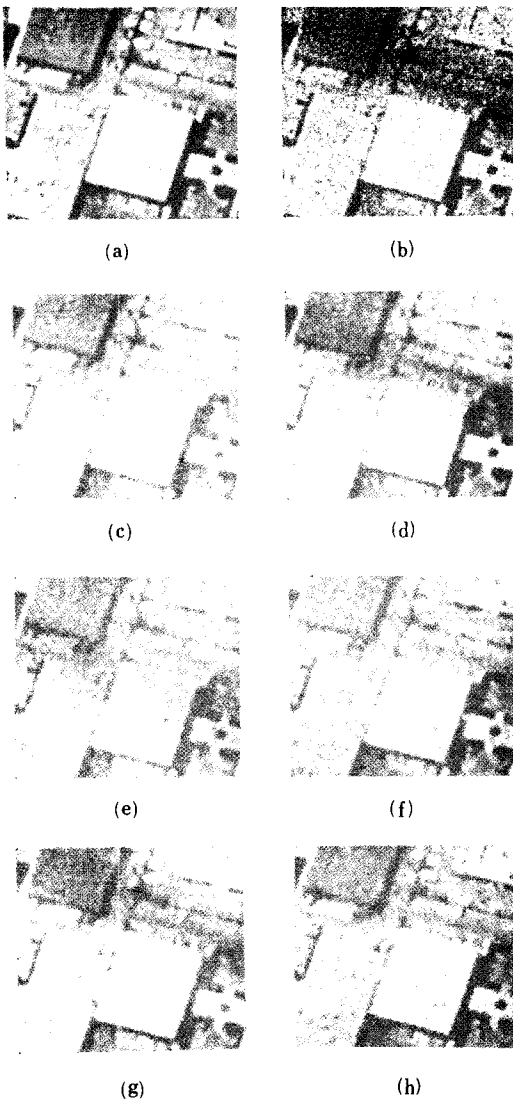


그림 4. 실험영상2(항공영상2) (a) 원영상
 (b) 잡음 영상(N=4) (c) 5×5평균법
 (d) 5×5 중앙값 평활화
 (e) 5×5 homomorphic 평활화
 (f) 5×5 Lee의 적응 평활화
 (g) 5×5 Kuan등의 적응 평활화
 (h) 제안한 다단계 적응 평활화 방법
 ($P_{max}=4$)

Fig. 4. Test image 2(aerial image 2).
 (a) original image, (b) noisy image(N=4),
 (c) 5×5 averaging method,
 (d) 5×5 median filtering,
 (e) 5×5 homomorphic filtering,
 (f) 5×5 Lee's adaptive filtering,
 (g) 5×5 Kuan et al.'s adaptive filtering,
 (h) proposed multistep adaptive technique
 ($P_{max}=4$).

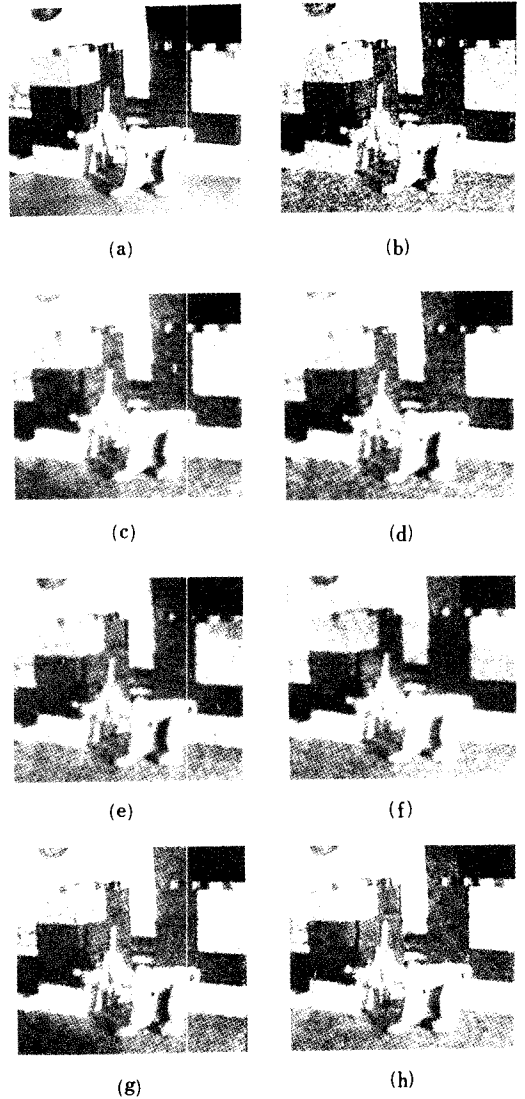


그림 5. 실험영상3(장난감 영상) (a) 원영상
 (b) 잡음영상(N=8) (c) 5×5 평균법
 (d) 5×5 중앙값 평활화
 (e) 5×5 homomorphic 평활화
 (f) 5×5 Lee의 적응 평활화
 (g) 5×5 Kuan등의 적응 평활화
 (h) 제안한 다단계 적응 평활화 방법
 ($P_{max}=4$)

Fig. 5. Test image 3(toy image). (a) original image,
 (b) noisy image(N=8),
 (c) 5×5 averaging method,
 (d) 5×5 median filtering,
 (e) 5×5 homomorphic filtering,
 (f) 5×5 Lee's adaptive filtering,
 (g) 5×5 Kuan et al.'s adaptive filtering,
 (h) proposed multistep adaptive technique
 ($P_{max}=4$).

평활화 방법으로 처리한 결과로서 식(17)의 잡음 분산 값 σ_n^2 을 앞의 경우와 마찬가지로 파라미터로 외부에서 주었다. 단순 평활화 방법을 사용한 경우의 (c), (d), (e)와 비교하여 잡음영상과 평균의 적응적 결합으로 처리한 (f)와 (g)가 경계를 보다 잘 보존하면서 객관적인 PSNR이 향상됨을 볼 수 있었으며 (f)보다는 (g)의 성능이 약간 더 좋은 것을 볼 수 있었다. (g)의 결과 영상은 (c), (d), (e)등의 영상과 비교하여 세밀한 부분인 항공영상 1,2의 경계부분과 toy 영상의 블럭과 강아지의 얼굴부분에서 경계보존 효과가 뛰어난 것을 볼 수 있었다.

(h)는 $P_{max}=4$ 인 경우의 제안한 방법으로 처리한 결과 영상이다. 앞의 (f), (g)의 적응 평활화 방법과 비교하여 세밀한 부분인 항공영상 1의 좌측 상단 물체와 물체 상하의 작은길, 우측하단의 작은 물체들, 항공영상2의 우측 상단 부분의 작은 물체들, 장난감 영상의 블럭과 강아지의 경계부분에서의 경계보존 효과가 뛰어나며 균일한 부분인 항공영상 1,2의 물체내와 장난감 영상의 블럭 내부와 강아지 몸통내의 평활화 효과가 보다 커짐을 볼 수 있었다. 결론적으로 제안한 다단계 적응 영상 평활화 기법은 비교적 평탄한 영역에서는 큰 평활화 창크기로 평활화 하여 잡음을 많이 감소시켜 주며 세밀한 부분에서는 적응 평활화의 장점을 살려 잘 보존해주는 특징을 지니므로 기존의 고정된 창크기로 처리한 경우보다 결과가 뛰어난 것을 알 수 있다.

표1에서는 객관적인 평가 기준인 PSNR을 사용하여 항공영상 1을 $N=1, 2, 4, 8$ 인 경우에 대하여 잡음

표 1. 항공영상1의 looks 수 변화에 따른 여러가지 평활화 기법의 성능 비교표 (PSNR:db)

Table 1. Performance comparison of several filtering methods for the aerial image 1 with different number of looks (PSNR:db).

잡음 방법영상	N=1	N=2	N=4	N=8
A	13.6	15.8	18.4	20.3
B	26.6	27.9	28.6	29.2
C	25.7	27.1	28.5	29.0
D	24.0	25.5	27.8	29.4
E	26.4	28.2	28.8	29.6
F	26.8	27.8	29.1	29.5
F	27.3	28.9	29.6	30.1

A:5×5 평균법, B:5×5 중앙값 평활화,
C:5×5 homomorphic 평활화, D:5×5Lee의 적응 평활화,
E:5×5 Kuan등의 적응 평활화, F:제안한 다단계 적응
평활화 ($P_{max}=4$).

영상의 PSNR 및 각각의 방법으로 처리한 결과영상의 PSNR을 나타내었다. 대체적으로 단순 평활화 기법인 방법 A, B, C보다는 적응 평활화 방법을 사용한 D, E의 경우, 성능이 개선되었으며 제안한 방법을 사용한 방법 F가 가장 성능이 뛰어난 것을 볼 수 있었다. 단순 평활화 방법을 사용한 방법중 평균법을 이용한 방법A는 중앙값 평활화로 처리한 방법 B보다 성능의 변화가 심하지 않았으며 homomorphic 평활화로 처리한 방법C는 looks 수를 감소시킴에 따라 성능의 변화가 심함을 볼 수 있었다. 적응 평활화 방법D, E는 성능의 변화가 심하지 않았으며 제안한 방법으로 처리한 경우의 방법 F는 고정된 평활화 방법으로 처리한 경우보다 좋은 PSNR 성능을 보여주고 있다. 또한 looks 수 N이 커질수록 PSNR이 증가함을 확인할 수 있다.

표 2. 3가지 실험영상에 대한 여러가지 평활화 기법의 성능 비교표(PSNR:db)

Table 2. Performance comparison of several filtering methods for three test images (PSNR:db).

실험영상	방법	A	B	C	D	E	F
실험영상#1(2, 15.8)		27.9	27.1	25.5	28.2	27.8	28.9
실험영상#2(4, 18.6)		28.8	27.6	26.5	28.7	29.5	30.4
실험영상#3(8, 19.4)		29.8	27.7	29.4	29.9	30.8	32.2

실험영상 괄호안의 수치는 (N,잡음영상의 PSNR)을 나타냄.

표2는 $N=2$ 인 항공영상1, $N=4$ 인 항공영상2, $N=8$ 인 장난감 영상에 대하여 위에서 설명한 여러가지 방법의 성능을 비교하였다(그림3-5 참조). 단순 평활화 방법으로 처리한 결과 A, B, C보다 적응 평활화 방법으로 처리한 결과 D, E에서 성능의 개선이 있었으며 제안한 방법으로 처리한 결과 F는 성능 비교의 척도인 PSNR이 가장 뛰어난 것을 알 수 있었다.

표 3. $P_{max}=4$ 일때 각 해상도에서 처리되는 화소수의 비율

Table 3. Percentage of the number of pixels at each resolution with $P_{max}=4$.

실험영상	P	0	1	2	3	4
실험영상 #1		37.4	9.4	8.6	7.6	37.0
실험영상 #2		29.1	8.4	8.8	9.1	44.6
실험영상 #3		32.8	8.4	8.1	9.2	41.5

표3은 $P_{\max}=4$ 인 경우의 제안한 방법에서, $N=2$ 인 항공영상1, $N=4$ 인 항공영상2, $N=8$ 인 장난감 영상에 대하여 각 해상도에서의 비율을 나타내었다. $P=4, 3, 2, 1$ 인 경우의 해당 해상도에서 처리된 화소들의 비율은 예로 항공영상 1인 경우에는 각각, 37.0, 7.6, 8.6, 9.4%이며 3×3 평균값과 입력 영상의 적응 평활화로 처리되는 화소의 분포 비율은 37.4%이다. 앞서 언급한 것처럼 기존의 방법에서의 평활화 창크기는 여러 크기에 대해 실험하여 성능이 좋은 것을 택한 것으로서 고정된 창크기를 가지는 평활화 방법에서는 창크기가 너무 커지면 심한 몽롱화 현상을 일으키며 PSNR도 감소하는 단점을 확인할 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 다단계 기법과 Kuan등의 적응 평활화 방법을 결합한 스펙클 잡음영상의 다단계 적응 평활화 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 고정된 창의 크기를 가지는 기존의 방법들과 비교해서 세밀한 부분에서의 경계보존 효과가 뛰어나면서도 균일한 부분에서의 평활화 효과도 뛰어난을 알 수 있었다. 제안한 논문은 기존의 방법에서 파라미터로 외부에서 주어지는 잡음 분산을 불연속 척도의 모드값으로 대체하였으며 불연속 척도를 이용하여 평활화 창의 크기를 변화시켜 각 화소의 해상도를 결정하였다. 제안한 방법으로 처리한 결과는 고정된 창을 사용한 기존의 방법들과 비교해서, 주관적인 화질뿐만 아니라 객관적인 판단기준인 PSNR도 개선됨을 알 수 있었다. 앞으로의 과제는 계층적 구조를 가지는 다단계 적응 평활화 기법을 구현하는 것이다.

參 考 文 獻

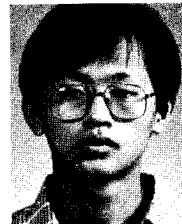
- [1] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, chs. 7-8, Prentice-Hall, Inc., 1989.
- [2] J.S. Lim and H. Nawab, "Techniques for speckle noise removal," *Optical Engineering*, vol. 20, pp. 472-480, May/June 1981.
- [3] J.-S. Lee, "Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-2, no. 2, pp. 165-168, Mar. 1980.
- [3] D.T. Kuan et al., "Adaptive noise smoothing filter for images with signal-dependent noise," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-7, no. 2, pp. 165-177, Mar. 1985.
- [5] 김태균, 박래홍, "다해상도 적응 평활화," 1991년도 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 제14권 제1호, pp. 470-473, 1991년 6월.
- [6] 김태균, 남권문, 박래홍, "스펙클 잡음의 다해상도 적응 영상평활화," 1991년도 제4회 신호처리합동학술대회 논문집, 제4권 제1호, pp. 111-114, 1991년 9월.
- [7] J.W. Goodman, "Statistical properties of laser speckle patterns," in *Laser Speckle and Related Phenomena*. J.C. Dainty, ed., pp. 9-75, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1975.

著 者 紹 介



金 泰 均 (準會員)

1964年 7月 28日生. 1991年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업. 현재 서강대학교 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 Image Processing, Image Coding 등임.



南 權 文 (準會員)

1968年 7月 24日生. 1991年 2月 서강대학교 전자공학과 졸업. 현재 서강대학교 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 Image Coding, Computer Vision 등임.

朴 來 弘 (正會員) 第23卷 第6號 參照
현재 서강대학교 전자공학과
부교수