

현실적 영상 필터링 방법을 위한 주파수 영역에서의 다각형 형태 필터의 모델링

김주오, 김지수, 박철형, 이덕우*
계명대학교 공과대학 컴퓨터공학전공

Polygon-shaped Filters in Frequency Domain for Practical Filtering of Images

Ju-O Kim, Ji-Su Kim, Cheol-Hyeong Park and Deok-Woo Lee*

Department of Computer Engineering, Keimyung University

요 약 본 논문에서는 영상신호를 필터링 하기 위해 필요한 현실적인 수학적 모델을 제시한다. 1차원 신호 뿐 아니라 2차원 또는 다차원 신호처리 및 분석에서 필터는 영상처리, 컴퓨터 비전, 패턴 인식 등의 다양한 분야에서 근본적이고 중요한 과정을 수행한다. 일반적인 신호처리에서 신호를 주파수 영역에서 해석할 경우 1차원 신호 영역에서의 이상적인 (저역통과) 필터는 직사각형 형태를 가지고 있듯이, 2차원 신호의 이상적인 필터는 원 형태를 가지고 있다. 본 논문에서는 주파수 영역에서 활용할 수 있는 실용적이고 효율적인 다각형 형태의 영상 필터 모델을 제안한다. 본 논문은 2차원 영상을 필터링 하기 위해 원형 필터를 사용하는 대신 육각형 형태의 필터를 모델링하여 적용한다. 이것은 무선 통신 시스템에서의 주파수 재사용 개념을 도입함으로써, 영상 필터링에서도 주파수 대역을 효율적으로 사용하기 위함이다. 본 논문에서 제시한 육각형태의 필터를 활용한 영상 필터링의 시뮬레이션 결과를 제시하고, 성능을 PSNR로 계산한 결과 제안한 방법이 이상적인 필터의 대안으로서 가능성을 보인다.

Abstract In this paper, we propose an approach to design a practical filter and a mathematical modeling for images. In the areas of signal processing, including high-dimensional image processing, the filtering process has been fundamental and crucial in diverse practical applications such as image processing, computer vision, and pattern recognition. In general, the ideal filter is modeled as circular-shaped in the 2D frequency domain as the rectangular shape is ideal for the 1D frequency domain. This paper proposes an approach to modeling practical and efficient image filter in the 2D frequency domain. Instead of employing a circular-shaped filter, this study proposes a polygon-shaped filter inspired by the concept of a hexagon cellular system for frequency reuse in wireless communication systems. By employing the concept of frequency reuse, bandwidth efficiency is also achieved in the frequency domain. To substantiate the proposed approach, quantitative evaluation is performed using PSNR.

Keywords : Circular Shaped Filter, Cutoff Frequency, Fourier Domain, Polygon Shaped Filter, 2D Image

1. 서론

영상 및 신호처리 분야 (2차원 및 그 이상의 고차원 영역에서 정의되는 모든 신호를 포함) 에서 필터링은 다

양한 용도로 활용되어 왔다[1]. 특히 신호에서의 특정 주파수 영역의 정보를 제거하거나 획득하기 위하여 필터링이 활용되어 왔으며, 이에 대한 연구는 영상 및 신호처리, 통신신호처리, 그리고 이들과 관련된 모든 분야에서

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (2016-0-00564, 사용자의 의도와 맥락을 이해하는 지능형 인터랙션 기술 연구개발)

*Corresponding Author : Deok-Woo Lee(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-5268 email: dwooleer@kmu.ac.kr

Received February 8, 2019

Revised February 19, 2019

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

진행되고 있다[2-4]. 영상 개선 중 영상 잡음 제거는 영상 내의 잡음을 제거하는 과정을 말하며, 평균값 필터(average filter), 중간값 필터(median filter), 가우시안 필터(Gaussian filter), 푸리에 변환을 통한 필터, 웨이블릿 변환을 통한 필터등이 있다[5-8]. 평균값 필터는 공간선형필터이며, 마스크 영역의 픽셀값들의 평균치를 활용하여 잡음 제거 효과를 제공한다. 하지만 고밀도 임펄스 잡음이 존재하는 경우 극단적인 값으로 화소 값이 훼손되며, 변화가 크게 발생하는 고주파영역에서는 영상의 에지와 같은 상세정보를 고려하지 못한다. 중간값 필터는 그 화소와 주변화소로부터 추정된 화소 값을 선택하며 화소 값을 정렬한 후, 중간값을 선택하여 화소값을 교체한다. 하지만 이 과정에서 영상 전체를 흐릿하게 만드는 블러링(blurring) 현상이 나타날 수 있다. 필터는 기본적으로 선형 및 비선형 구조의 필터로 구분할 수 있으며, 푸리에 변환을 이용한 필터와 웨이블릿 변환을 이용한 필터 두 가지 종류 모두 영상 내에서의 주변 픽셀들을 활용하여 필터링 절차가 수행되는 원리를 기반으로 한다. 주파수 영역에서의 필터링은 선형 필터링 방법들 중 하나인 푸리에 변환(Fourier Transform, FT)을 활용하여 간단히 구현할 수 있으며, 푸리에 변환(Fourier transform, FT)은 시간영역에서 정의되는 신호를 주파수 성분의 분포로 분해하는 작업이다. 푸리에 영역에서의 필터링 구현은 공간 도메인(Spatial domain)에서 구현하는 것보다 직관적이며, 효율적이며, 필터링의 과정을 확인하기에 더 용이하다는 장점이 있어 많이 활용되어 왔다[9]. 푸리에 변환을 수행한 후 주파수 영역에서 특정 주파수 영역을 제거하거나 취한 후 역푸리에 변환(Inverse Fourier Transform)을 수행하면 필터링의 수행된 결과를 얻을 수 있다. 푸리에 변환은 주파수 영역에서 신호를 해석할 수 있다는 장점이 있는 반면, 특정 시간에서의 주파수 해석을 불가능하다는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 보완하는 것으로서 STFT(Short-time Fourier Transform)와 웨이블릿 변환(Wavelet transform)이 제안되었다. 푸리에변환과는 달리 적용구간에 관계없이 불안정한 시스템이나, 유한하지 않는 신호에도 적용이 가능하다는 점에서 웨이블릿 변환은 신호의 해석에 많이 사용되어 왔다. 웨이블릿 변환과 푸리에 변환은 신호를 공간 영역에서 주파수 영역으로 변환하여 해석할 수 있는 공통점이 있지만 웨이블릿변환은 주파수를 시간에 따라 보여준다는 점에서 신호해석에서

장점을 보이는 이론이다[10]. 그러나 본 논문에서 활용하는 대상인 신호는 정적인 영상신호이므로, 푸리에 변환을 활용하여 영상의 주파수 성분 해석 및 필터링 절차를 수행한다. 푸리에변환은 주파수 성분별로 영상을 분류해서 보여주기 때문에 더욱더 직관적으로 관찰할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서 다루는 신호들은 주로 이산신호이므로 적용하는 푸리에 변환도 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DTFT)이다. 가장 기본적으로 주파수 영역에서의 신호 해석은 연속시간 푸리에 변환인 식 (1)을 활용한다.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

$f(t)$ 는 시간 t 에서의 원본 입력 신호, $\omega = 2\pi f$ 는 라디안 주파수, $e^{j\omega t}$ 는 주파수 f 인 주기함수 성분, $F(\omega)$ 는 푸리에 변환 결과를 나타낸다. 본 연구에서는 모든 신호의 푸리에 변환의 존재 조건은 만족한다고 가정한다. 즉, 모든 $f(t)$ 는 $\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)| dt < \infty$ 조건

을 충족한다. 일반적인 영상신호 처리 관련 연구에서 사용되는 영상은 픽셀(pixel) 단위에서 해석되는 이산신호이므로 신호 $f(t)$ 는 $f(k)$ 또는 $f(kT_s)$ 로 샘플링되어 표현된다. k 는 이산 시간 인덱스를 나타내고, T_s 는 연속신호의 샘플링 간격(interval)을 나타내며, 샘플링은 나이퀴스트율(Nyquist rate)를 만족한다고 가정한다[11]. 1차원 신호의 이산 푸리에 변환은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$F(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k)e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} \quad (2)$$

2차원 영상은 연속(Continuous)이 아닌 이산(Discrete)신호이다. 그리고 한정된 유한(Finite) 구간에 정의되는 신호이다. 따라서, 2차원 이산 푸리에 변환(2-Dimensional Fourier Transform, 2-DFT)을 활용하여 주파수 영역에서의 영상 정보를 분석한다 (본 논문에서 다루는 영상은 2D 영상이므로, 간단히 DFT로 쓴다). 본 논문에서는 2차원 영상을 활용하여 다각형 형태의 2차원 필터를 구현하고 그 필터 적용 결과를 확인하고 그 성능을 SNR(signal to noise ratio) 값으로 평가하고자 한다. 2차원 공간에서의 영상의 푸리에 변환 (2-D Discrete Fourier Transform, DFT)은 식(3)과 같이 표현된다.

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi \left(\frac{u}{M}x + \frac{v}{N}y \right)} \quad (3)$$

여기서 $f(x, y)$ 는 원본 입력 2차원 영상 $f(t_x, t_y)$ 의 샘플링을 통한 이산화된 영상을 이미지를 의미한다. $F(u, v)$ 는 2차원 영상 $f(x, y)$ 의 DFT 결과이고, 영상의 사이즈는 $M \times N$ 이다. $F(u, v)$ 는 DFT의 결과로서 크기응답(magnitude response)과 위상응답(phase response)을 모두 가진다. 본 연구에서 활용되는 DFT 결과의 정보는 대부분 크기응답에 포함되어 있으므로 위상응답의 결과 또는 그래프는 생략하도록 한다. DFT 후 크기 응답을 분석할 경우, 그 결과를 육안으로 구분하기가 어려운 경우가 발생하므로, 일반적으로 크기응답인 $|F(u, v)|$ 대신 $\log(1 + |F(u, v)|)$ 를 사용하여 크기응답을 분석한다. 영상에 적용할 필터를 공간영역과 주파수 영역에서 각각 $h(x, y)$ 와 $H(u, v)$ 로 정의한다 ($H(u, v)$ 는 $h(x, y)$ 의 DFT 결과이다). 2차원 영상에서 사용되어온 이상적인 저역통과 필터는 주로 원 형태의 필터이며 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{if } R(u, v) \leq R_0 \\ 0 & \text{if } R(u, v) > R_0 \end{cases} \quad (4)$$

$R(u, v)$ 는 2차원 원형 필터 상에 존재하는 점 (u, v) 와 원점 ($u = 0, v = 0$) 사이의 거리를 나타낸다. 즉, 필터를 형성하는 원의 반지름 또는 주파수의 크기 ($\sqrt{u^2 + v^2} = R_0$)로 정의될 수 있다. 그리고 이 필터를 주파수 영역에서 그림으로 나타내면 Fig 1과 같다. Fig 1에서 나타난 반지름 R_0 는 차단 주파수를 나타낸다.

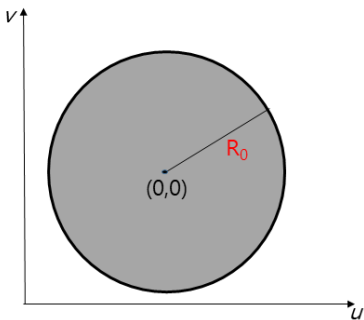


Fig. 1. Ideal circular shaped image filter in 2D domain

1차원 신호가 정의되는 공간에서 이상적인 저역통과 필터는 주파수 영역에서 직사각형의 형태로 표현되듯이, 2차원 신호의 공간에서는 이상적인 저역필터는 Fig 1과 같이 원의 형태로 표현될 수 있다. 현실적인 필터를 설계할 경우 Fig 1 또는 식 (4)의 형태에서 변이 단계 (transition)를 고려한 수학적 모델이 추가되어야 한다. 그러나 이러한 현실적인 필터 역시 원형의 필터를 기반으로 형성된 것이다[1].

본 논문에서는 Fig 1에서와 같이 표현되는 이상적인 필터가 아닌 좀더 현실적으로 표현될 수 있는한 다각형 형태의 모델의 필터를 제안한다. 이것을 본 논문에서는 현실적 이상 필터 (practical ideal filter, PIF)라 부른다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문이 제안하는 PIF에 대한 수학적 모델을 제시한다. 3장에서는 제안하는 필터를 활용하여 실제 영상에 적용시킨 결과를 제시하고, 기존의 원형 필터를 활용한 결과와 PSNR 값을 이용하여 비교 평가한다. 그리고 4장에서 본 논문을 끝맺는다.

2. 본론

무선통신 분야에서는 주파수 재사용을 위한 통신 서비스 영역을 모델링할 때 원형의 셀(cell) 보다는 육각형 형태의 셀이 더 효율적이라는 것을 보였다[12]. 육각형 형태의 셀을 사용하는 이유는 원형 형태의 셀을 활용할 경우 Fig 2(좌측)에서처럼 주파수 사용 지역의 겹침이 발생하거나 Fig 2(우측)에서처럼 사용되지 않는 주파수 대역이 발생하는 등 주파수 영역 사용의 비효율이 발생하기 쉽기 때문이다. 이것은 본 연구에서 사용하기 위한 필터의 설계에서도 발생할 수 있는 문제이다. Fig 2에서 발생할 수 있는 문제점을 방지하기 위해 본 연구에서도 2차원 영상의 필터링을 효율적으로 하기 위해 육각형 형태의 필터를 모델링 하고 영상에 직접 적용시켜 본다. 6각형에서 확대하여 8각형, 12각형 등의 필터도 설계할 수 있으나 본 논문에서는 다각형 형태의 필터에 대한 개념적 접근과 적용 가능성을 확인 하는 것이 목적이므로 6각형 형태의 필터에 대한 적용 결과를 제시한다. 특히, 다각형 형태의 필터를 적용할 경우, 통과대역(bandpass) 또는 대역저지(bandstop) 필터를 더 효율적으로 구현할 수 있다. 이상적인 필터를 활용한 경우의 주파수 자원의

비효율적인 사용 (주파수 사용 대역 겹침, 주파수 대역 누수 등) 의 문제점을 야기할 수 있다.

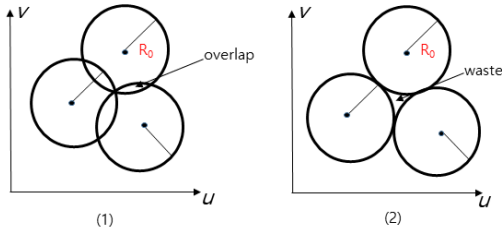


Fig. 2. Example of using an ideal circular filter

본 논문에서는 이상적인 필터로 활용되어온 원형필터의 한계점을 극복하고자 다각형 형태의 필터를 제안한다 (Fig 3). 기존의 신호처리 또는 디지털 통신, 통신신호처리 등의 분야에서 주파수 대역의 효율적인 사용과 이상적인 필터에 가까운 성능을 가진 필터를 설계하기 위한 연구들이 많이 진행되어 왔다[12, 13]. 1차원 신호가 정의되는 공간에서처럼 2차원 공간에서도 완벽한 특정 주파수 범위(또는 영역)을 완벽하게 제거하거나, 완전히 획득하는 것은 여전히 쉽지 않은 문제이다. 주파수 대역의 효율적인 사용과 측대파(side lobe)의 가까운 감소 성능은 서로 트레이드 오프(trade-off) 관계에 있기 때문이다. 신호처리 분야에서 가장 기본적인 문제이면서 가장 중요한 문제인 만큼, 계속된 연구가 필요한 영역이다. 본 논문에서 제안하는 필터는 주파수 대역을 낭비없이 사용할 뿐만 아니라, 주파수 대역 사용의 겹침이 발생하지 않는, 기존의 이상적인 필터보다 더 효율적인 이상적 필터의 모델이라 할 수 있다. 다각형을 N-각형이라고 표현한다면, N이 커질수록 그 형태는 원에 가까워 지므로, 기존의 원형 필터는 N이 무한대로 가는 특수한 경우를 나타내는 필터의 모델이라 할 수 있다. 이 장에서는 무선 통신 시스템에서 주파수 재사용을 위해 활용되는 육각형 셀의 개념을 도입한 육각형 필터를 모델링한다. 육각형 형태의 필터를 모델링 하는 이유는 원하는 주파수 영역을 정확하게 취하거나 제거하기 위함이며, 이것은 원형 필터보다 더 효율적으로 모델링 되고 사용될 수 있다. 특히, 주파수 영역에서 주파수 자원을 최대한 효율적으로 사용한다. 본 연구에서 사용되는 영상은 2차원 영상이므로 필터의 모델링도 2차원 영상에 적합하도록 수행한다. 육각형 형태의 필터의 기본적인 형태는 Fig 3과 같으며

식 (3)와 같이 표현될 수 있다. 특히, 육각형태의 필터를 활용할 경우 다중 주파수 대역을 선택할 때 기존의 필터 대비 간단하고 효율적인 모델링이 가능하다.

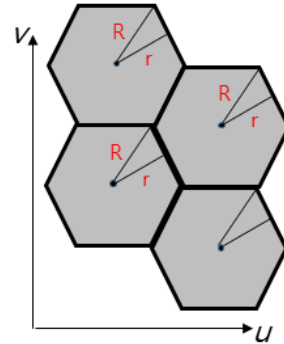


Fig. 3. Hexagon-shaped filter for multiple frequency selection

Fig 3의 다중 육각 필터는 여러개의 단일 육각 필터로 구성되어 있으며, 단일 육각필터는 식 (5)와 같이 표현되고, Fig 4와 같이 표현될 수 있다.

$$H_p(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{if } R_p(u, v) \leq R_0(u, v) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$r \leq R_0(u, v) \leq R$$

$r = R \cos \frac{2\pi}{N}$, $R = \frac{D}{2\sin(\pi/N)}$ 이고, D 는 육각형의 한 변의 길이이다. 본 논문에서 $N = 6$ 이다. 기존의 원형 필터와 다른 점은, 육각필터에서의 주파수 크기인 R_p 는 상수가 아니라 r 와 R 사이에 있다는 점이다. 즉, 차단 주파수 (cut-off frequency)는 2차원 필터 상의 점 (u, v) 에 따라 조금씩 변화한다. N각형 형태의 필터를 사용할 경우 N이 커질수록 차단주파수의 값은 상수에 가까워 질 것이다. 그러므로 일반적인 관점에서 다각형 형태의 필터 역시 정보의 손실률이 높지 않다. 원형 필터 대비 모델링의 복잡도가 조금 높아진다는 단점이 있으나, 1사분면만 활용하여 주파수 영역 선택을 할 수 있으므로, 전체적으로 계산해야 할 데이터의 양은 줄어든다.

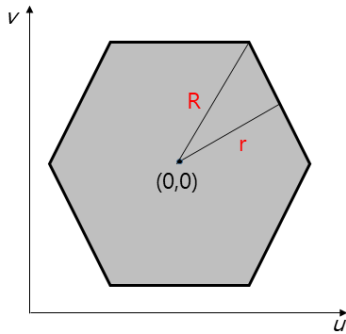


Fig. 4. The proposed N-polygon shaped ideal filter for 2D image. $N = 6$ in this work.

또한 다각형 필터를 활용한 경우 대역통과 및 대역저지 필터를 모델링 할 경우 주파수 자원의 낭비 없이는 구현될 수 있다(Fig 3). 본 논문에서는 다각형 필터 중 육각형 형태의 필터를 구현하여 영상에 적용시키고, 이상적인 원 형태의 필터를 적용한 결과와 비교한 영상을 제시한다. 다음 장에서는 6각형태의 필터를 실제 영상에 적용한 결과를 제시하고, 기존의 원형필터 적용 결과와 비교 평가한다.

3. 실험 결과 및 분석

이 장에서는 다각형 중 육각형 형태의 필터를 주파수 영역에서 구현하고, 실제 영상을 이 필터에 적용한다. 그리고 육각 필터와 원형 필터를 활용한 영상 필터링의 결과를 확인한다. 2차원 영상을 육각필터 및 원형필터에 적용한 후, 결과 영상을 각각 식 (6), 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$y_p(x,y) = I(x,y) * h_p(x,y) \quad (6)$$

$$y_c(x,y) = I(x,y) * h_c(x,y) \quad (7)$$

$h_p(x,y)$ 와 $h_c(x,y)$ 는 각각 $H_p(u,v)$ 와 $H_c(u,v)$ 의 역푸리에 변환(inverse Fourier Transform)의 결과값이다. 주파수 영역에서의 필터 반지름 또는 차단 주파수(식 (4)와 식 (5)에서 R_0)를 각각 17과 34로 설정한 후 필터링된 6개의 영상에 대한 필터링의 결과를 PSNR(Peak signal-to-noise ratio)를 계산한 후 비교한 결과를 Table 1에 제시하였다(실제 실험은 영상 250개

를 활용하여 수행하였으나, 그 결과의 차이가 비슷하므로 Table 1에 6개의 대표 결과를 제시하였다). PSNR의 결과를 비교하여 볼 때, 본 논문에서 제시하는 방법이 이상적인 필터를 적용하였을 때보다 약간 우세하거나 유사한 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

Table 1. Comparison of PSNR using circular and hexagon shaped filters

Images	PSNR of circular filtered image	PSNR of hexagonal filtered image
PSNR1	23.1	24.0
PSNR2	26.3	27.2
PSNR3	3.4	4.2
PSNR4	3.9	4.7
PSNR5	24.6	25.4
PSNR6	26.1	28.0

$$PSNR = 20\log_{10}\left(\frac{S_I}{E}\right) \quad (6)$$

S_I 는 입력 영상 I 에 포함된 픽셀중 가장 큰 값을 가지는 픽셀의 값이고, E 는 원본 영상과 필터 적용된 영상 간의 평균 제곱근 편차 (Mean-Square-Error, MSE)이다. Fig 5-7에서는 2차원 이미지를 활용하여 육각필터(Hexagonal filter)와 원형 필터(Circular filter or Ideal filter)를 적용한 영상의 결과를 제시하였다. 육안으로 보았을 때에도 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

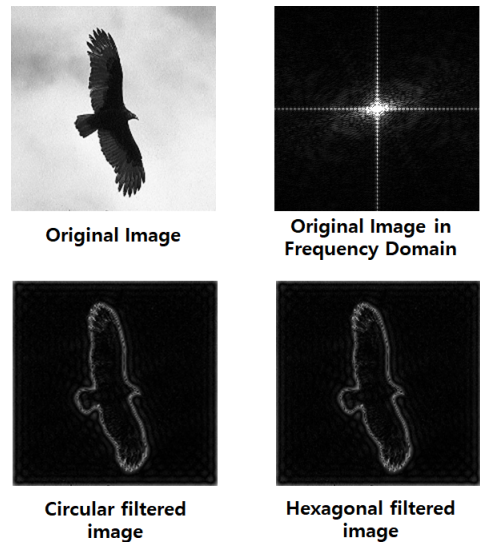


Fig. 5. Sample results of filtered image (high-pass filter) using both circle and polygon shaped filters



Fig. 6. Results of filtered image using circle and hexagon shaped filters

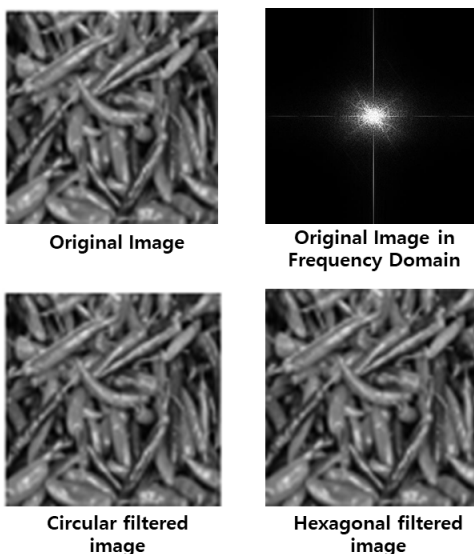


Fig. 7. Results of filtered image using circle and hexagon shaped filters

4. 결론

본 논문에서는 영상처리의 가장 기본적인 영역 중 하나인 필터의 모델링에 대한 방법을 제시하였다. 특히 2차원 영상 처리에서 잡음제거 등을 위해 반드시 필요한 필터 모델링을 제시하였다. 기존에 이론적으로 사용하던

2차원 원형 필터는 1차원 신호에서 사각 형태 필터(Rectangular Filter)에 해당되는 이상적인 형태의 필터이다. 이러한 이상적인 형태의 필터는 실제 환경에서 구현하기 힘들기 때문에 본 논문에서는 변형된 형태인 육각필터를 제안하였다. 제안한 필터를 적용한 결과는 기존 필터 적용 결과 대비 PSNR에서 비교경쟁력을 보이고 있음을 확인하였다. 향후 연구에서는 육각필터에서 좀 더 현실적인 필터 모델을 추가하여 영상의 필터 효과를 확인하고자 한다.

References

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, 3rd Edition, PEARSON, 2010
- [2] G. Treece, "The Bitonic Filter : Linear filtering in an edge-preserving morphological framework", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 25, No. 11, pp. 5199-5211, Sep. 2016.
DOI : <https://doi.org/10.1109/TIP.2016.2605302>
- [3] J. Arenas-Garcia, L.A. Azpicueta-Ruiz, M.T.M. Silva, V.H. Nascimento and A.H. Sayed, "Combinations of adaptive filters: Performance and convergence properties", *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 33, No. 1, pp. 120-140, Jan. 2016.
DOI : <https://doi.org/10.1109/MSP.2015.2481746>
- [4] A. Buades, B. Coll and J.-M. Morel, "A non-local algorithm for image denoising," *Proceedings of 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*, IEEE, San Diego, CA, 2005, pp 60-65.
DOI : <https://doi.org/10.1109/CVPR.2005.38>
- [5] A.F. Arajao, C.E. Constantinou and J.M.R.S. Tavares, "Smoothing of ultrasound images using a new selective average filter", *Expert Systems with Applications*, Vol. 60, pp. 96-106, Oct. 2016.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.04.034>
- [6] W. Fan, K. Wang, F. Cayre and Z. Xiong, "Median filtered image quality enhancement and anti-forensics via variational deconvolution", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol. 10, No. 5, pp. 1076-1091, Jan. 2015.
DOI : <https://doi.org/10.1109/TIFS.2015.2398362>
- [7] A. Jain and R. Gupta, "Gaussian filter threshold modulation for filtering flat and texture area of an image," *Proceedings of 2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications*, IEEE, Ghaziabad, India, 2015, pp. 760-763.
DOI : <https://doi.org/10.1109/ICACEA.2015.7164804>
- [8] M. Kokare, P.K. Biswas and B.N. Chatterji, "Texture image retrieval using new rotated complex wavelet filters", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, Vol. 35, No. 6, pp. 1168-1178, Nov. 2015.
DOI : <https://doi.org/10.1109/TSMCB.2005.850176>

- [9] B-G. Lim, B-L. Cho and S-G. Sun, "A Study on Sidelobe Analysis and Reduction Technique in Azimuth for Forward-Looking Imaging Radar", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 14, No. 7, pp. 39-44, Jul. 2016.
DOI : <https://doi.org/10.14801/jkiit.2016.14.7.39>
- [10] S. Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing: The Sparse Way*, in Hardcover, 3rd ed., Cambridge, Academic Press, 2008.
- [11] A. Papoulis and S. U. Pillai, *Probability Random Variables and Stochastic Processes*, in Hardcover, 4th ed., New York, McGraw-Hill, 2002.
- [12] A. Goldsmith, "Wireless Communications," in Hardcover, 1st ed., Cambridge, UK, ECAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2005
- [13] K. Chen, J. Jiang and S. Crowsen, "Against the Long-Range Spectral Leakage of the Cosine Window Family", *Computer Physins Communications*, Vol. 180, No. 6, pp. 904-911, June. 2009.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2008.12.019>

김 주 오(Ju-O Kim)

[준회원]



- 2014년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 컴퓨터공학전공 학사과정 (2020년 2월 공학사 예정)

<관심분야>

영상처리, 신호처리, 통신시스템

김 지 수(Ji-Su Kim)

[준회원]



- 2019년 2월 : 계명대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야>

컴퓨터 비전, 영상처리, 머신러닝

박 철 형(Cheol-Hyeong Park)

[준회원]



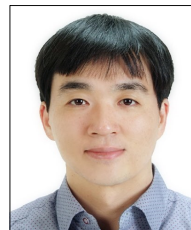
- 2014년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 컴퓨터공학과 학/석사 연계과정

<관심분야>

컴퓨터비전, 영상 및 신호처리, 머신러닝, 컴퓨터그래픽스

이 덕 우(Deok-Woo Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
- 2008년 12월 : North Carolina State University (공학석사)
- 2012년 12월 : North Carolina State University (공학박사)
- 2013년 1월 ~ 2013년 4월 : Washington University in St. Louis, 박사후 연구원

- 2013년 9월 ~ 2016년 8월 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원

- 2016년 9월 ~ 2018년 2월 : 영산대학교 가상현실콘텐츠학과 조교수

- 2018년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 컴퓨터공학전공 조교수

<관심분야>

컴퓨터비전, 영상신호처리