

# A Study of Edge Detection for Auto Focus of Infrared Camera

Hee-Duk Park\*

## Abstract

In this paper, we propose an edge detection algorithm for auto focus of infrared camera. We designed and implemented the edge detection of infrared image by using a spatial filter on FPGA. The infrared camera should be designed to minimize the image processing time and usage of hardware resource because these days surveillance systems should have the fast response and be low size, weight and power. we applied the 3x3 mask filter which has an advantage of minimizing the usage of memory and the propagation delay to process filtering. When we applied Laplacian filter to extract contour data from an image, not only edge components but also noise components of the image were extracted by the filter. These noise components make it difficult to determine the focus state. Also a bad pixel of infrared detector causes a problem in detecting the edge components. So we propose an adaptive edge detection filter that is a method to extract only edge components except noise components of an image by analyzing a variance of pixel data in 3x3 memory area. And we can detect the bad pixel and replace it with neighboring normal pixel value when we store a pixel in 3x3 memory area for filtering calculation. The experimental result proves that the proposed method is effective to implement the edge detection for auto focus in infrared camera.

▶ Keyword: Infrared camera, Edge detection, Auto focus

## 1. Introduction

우리가 사물을 볼 수 있는 것은 사람의 눈으로 전자기파 스펙트럼 중 가시광선 대역의 파장이 전달되기 때문이다. 전자기파 스펙트럼은 가시광선 이외에도 파장에 따라서 여러 가지 광선으로 분류가 된다.

적외선은 그림 1과 같이 가시광선과 라디오파 사이의 파장으로서 사람 눈에는 보이지 않지만, 사물이 가지고 있는 고유한 복사에너지를 이 적외선 파장으로 방출한다.

적외선 카메라는 사물로부터 방출되는 복사에너지의 강도가 각기 다른 것을 이용하여 배경과 목표물을 식별할 수 있도록 가시화하는 장치이다. 사람의 눈처럼, 태양광이나 형광등 등의 외부 광원에 의해 반사되어 나오는 가시광선을 감지하는 일반적인 가시광 카메라나 컴퓨터와는 달리, 외부 광원이 전혀 없는 암실이나 야간 상황뿐만 아니라, 안개나 연막 환경에서도 목표물을 탐지해 낼 수 있다.

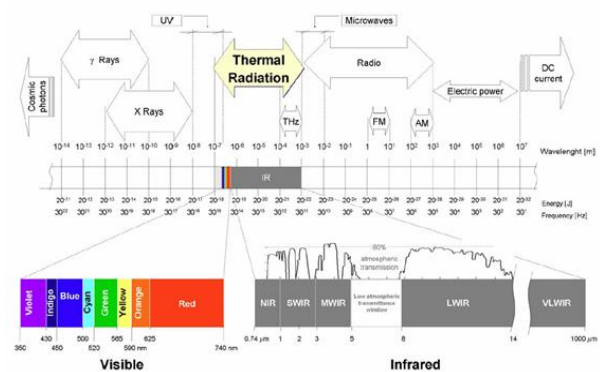


Fig. 1. Electro-wave Spectrum[1]

또한 물체가 발산하는 복사에너지를 이용하기 때문에 눈에 보이지 않는 물체 내부의 열에너지를 감지할 수 있는 장점이 있다. 이러한 특성으로 적외선 카메라는 그림 2와 같이 군사용, 산업용, 의료용 등 많은 곳에서 유용하게 사용되고 있다.

\*First Author: Hee-Duk Park, Corresponding Author: Hee-Duk Park  
\*Hee-Duk Park (heeduk.park@hanwha.com), Electro-Optics 2 Team, Hanwha Systems Co., Ltd.  
• Received: 2017. 12. 09, Revised: 2017. 12. 18, Accepted: 2017. 12. 23.

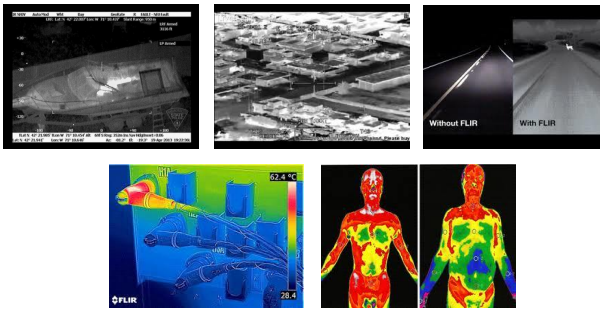


Fig. 2. Application of Infrared Camera

적외선 카메라는 사물이 방출하는 복사에너지를 전기적인 신호로 변환 후, 영상 신호 처리를 통하여 사람의 눈으로 볼 수 있도록 하는 장치이다. 적외선 영상을 가시화하기 위해서는 우선 적외선 검출기를 통해 복사에너지를 전기적인 아날로그 신호로 획득하고, 획득된 아날로그 영상 신호를 디지털화하여 디지털 영상 처리 과정을 거치게 된다. 디지털 영상 처리 과정을 거치기 전의 적외선 영상은 일반 가시광선 카메라 영상과는 다른 특성을 가진다. 적외선 검출기는 제조 공정상의 어려움으로 아직까지 가시광 검출기(CCD, CMOS)에 비해 최대 화소수가 작고, 입사된 광에너지를 전기 신호로 바꾸어 주는 read out 회로의 잡음도 높은 수준이다. 또한, 적외선 검출기는 고유의 고정 패턴 잡음을 가지고 있고, 검출기 화소마다 출력 특성이 각기 다르며, 시간에 따라 출력 특성이 달라지기도 하는 특성을 가지고 있다. 뿐만 아니라, 검출기가 가질 수 있는 영상 출력 범위에 비해 실제 영상의 히스토그램 분포가 매우 편협하여 적절한 영상 처리 과정을 거치지 않고서는 사물을 분간하기 힘들다. 이러한 적외선 영상의 특성을 보정하기 위해 불균일 보정 및 불량 화소 보정 알고리즘이 사용되고 윤곽선 강조 기법, 대조비 강조 기법 등을 사용하여 영상의 가시성을 높인다[2].

본 논문의 2장에서는 영상의 윤곽선 강조 또는 영상 기반의 자동 초점 조절 등을 위한 Laplacian 공간 필터링에 대해 설명하고, 3장에서는 Laplacian 공간 필터링의 단점을 보완할 수 있는 적응형 Laplacian 공간 필터에 대해서 설명하고, 4장에서는 기존 Laplacian 공간 필터링과 적응형 Laplacian 공간 필터의 윤곽선 추출 실험 결과를 제시한다.

## II. Preliminaries

### 1. Image Processing of Infrared Camera

그림 3은 적외선 카메라의 주요 신호처리 흐름도를 나타낸다.

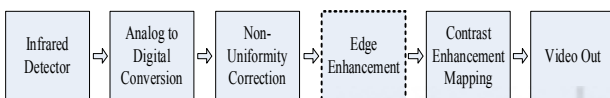


Fig. 3. Signal Processing Flow of Infrared Camera

검출기로부터 나오는 각 화소의 아날로그 신호는 ADC (Analog to Digital Converter)를 거치면서 디지털화 되어 디지털 영상 신호 처리가 가능해진다. 적외선 검출기는 각 화소마다 응답특성이 다르고, 고정적인 패턴을 가지고 있다. 이러한 불균일 특성을 보정하고 고정 패턴 잡음을 제거하기 위해 불균일 보정 알고리즘이 필요하다. 뿐만 아니라, 목표물의 온도가 변하더라도 화소 출력 값이 항상 최대 또는 최소값을 나타내는 불량 화소에 대해서도 인접한 정상 화소 값을 이용하여 보정해주는 알고리즘이 필요하다. 적외선 검출기는 가질 수 있는 영상 출력 범위에 비해 실제 영상의 히스토그램 분포가 매우 편협한 특성을 갖고 있기 때문에 명암 대비를 적절히 조정하는 대조비 강조 기법이 필요하다. 영상의 가시성을 높일 수 있는 방법으로 영상의 윤곽선을 강조하여 배경과 목표물의 식별이 더욱 용이하게 해 주는 알고리즘이 사용되기도 한다.

그림 4는 각 영상신호처리 단계의 결과 영상을 보여준다.

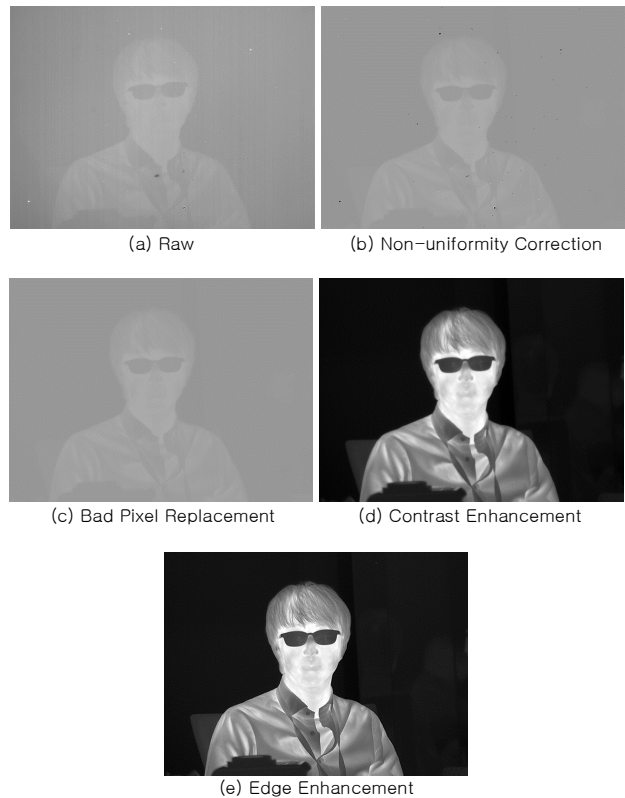


Fig. 4. Result of Signal Processing

### 2. Method of Edge Detection

#### 2.1 Spatial Filtering

2차원 영상 화소에 공간 필터 또는 마스크, 커널, 윈도우로 불리는 정사각형 형태의 계수값들을 이용하여 새로운 화소값을 얻는 것을 공간 필터링이라고 한다.

그림 5는 영상의 임의의 점  $(x,y)$ 에서의 필터 응답  $g(x,y)$ 를 구하는 메커니즘을 보여준다. 필터 계수들과 필터가 덮고 있는 영상 화소들의 곱을 더함(sum of products, S-o-P)으로서

$g(x,y)$ 를 구할 수 있고, 수식 (1)과 같이 표현된다.

$$g(x,y) = w(-1,-1)f(x-1,y-1) + w(-1,0)f(x-1,y) + \dots + w(0,0)f(x,y) + \dots + w(1,1)f(x+1,y+1) \quad (1)$$

필터의 중앙 계수  $w(0,0)$ 는  $(x,y)$  화소와 맞춰져 연산되고, 필터의 크기는 최소 크기가  $3 \times 3$ 이고 홀수의 정방형 크기로 증가할 수 있다. 필터의 크기가  $m \times n$ 인 마스크에 대해,

$$g(x,y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s,t)f(x+s,y+t) \quad (2)$$

식 (2)로 표현되고,  $a=(m-1)/2$ ,  $b=(n-1)/2$ 이다. 영상의 크기가  $M \times N$ 이라면, 위 식에서  $w$ 의 각 화소가  $f$ 의 모든 화소와 연산이 되도록  $x, y$ 가 원점  $(1,1)$  화소부터 2차원 영상의 끝점  $(M, N)$  화소까지 바뀌며 연산이 되면, 공간 필터링이 완료된다 [3].

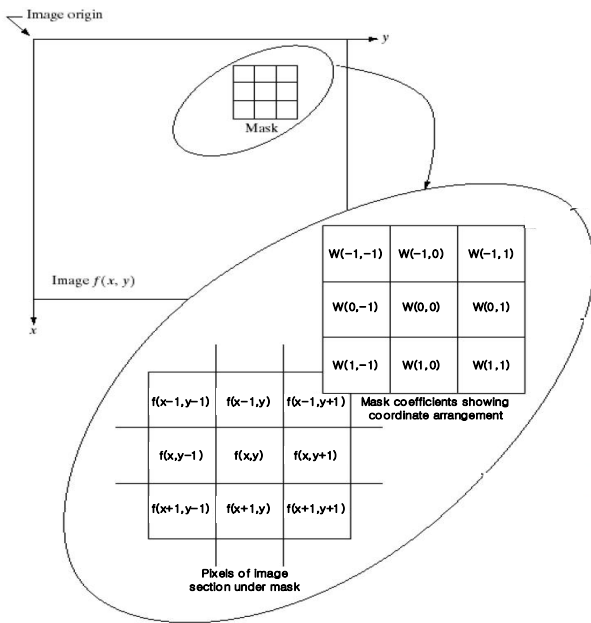


Fig. 5. 3x3 Spatial Filtering

### 2.2 Spatial Filter for Edge Detection

공간 필터는 그 계수값과 응용에 따라 여러 가지 효과를 얻을 수 있다. 필터 계수와 영상 화소의 연산이 선형적인 결과를 얻는 선형 필터와 공간 필터 내 순서나 통계를 활용하여 필터 효과를 얻는 비선형 필터 등으로 활용 가능하다.

비교적 연산이 간단한 선형 필터에는 영상의 잡음을 제거하거나 물체의 형태를 추출하기 전 전처리 작업 등으로 사용되는 스무딩 공간 필터가 있다. 이는 평균 필터, 저역통과 필터라고도 불리 운다. 반대로 영상의 윤곽선을 추출하거나 추출한 윤곽선 정보를 원본 영상에 더하여 영상이 보다 선명하게 보이도록 하는 샤프닝 공간 필터가 있다. 이는 저역통과 필터와 반대 개념으로 고역통과 필터라고도 불리 운고, 원본 영상과 저역통과 필터를 거친 영상의 차를

이용해서도 비슷한 효과를 얻을 수 있다[3].

윤곽선 추출을 위한 대표적인 필터 연산자는 1차 미분을 이용한 Roberts, Prewitt, Sobel 연산자와 2차 미분을 이용한 Laplacian, LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자 등이 있다. 1차 미분을 이용한 연산자는 영상의 수평, 수직 방향의 윤곽선을 찾는데 유용하다. Laplacian 연산자는 1차 미분을 이용한 연산자에 비해 윤곽선 검출 성능이 우수하고, 연산이 간단한 장점이 있지만, 영상의 잡음에도 민감하게 반응을 하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 가우스 스무딩 필터가 적용된 LoG 연산자가 있으나, Laplacian 연산자에 비해 연산이 많아지는 단점이 있다[4-5].

이 외에도 윤곽선 검출을 위한 최적화 알고리즘으로 Canny 윤곽선 검출 기법이 있다. Canny 윤곽선 검출 기법은 잡음 성분을 배제한 최적화된 윤곽선 추출을 위해 몇 단계의 과정을 거친다. 가우스 스무딩 필터와 Sobel 필터를 거쳐 얻은 윤곽선 정보에서 강도와 방향을 고려한 Non-maximum suppression 과정을 통해 윤곽선 후보를 압축하고, hysteresis를 통해 강한 윤곽선과 약한 윤곽선 중 강한 윤곽선과 연관된 약한 윤곽선을 선택하여 최종 윤곽선을 구한다[6].

Canny 윤곽선 검출 기법은 미분 연산자를 이용한 윤곽선 검출에 비하여 잡음 영향을 덜 받고 윤곽선 검출 성능이 우수하지만, 연산이 복잡하고, 여러 단계를 거쳐야 하므로 연산 시간도 오래 걸리는 단점이 있다.

## 3. FPGA Implementation of Spatial Filter

### 3.1 Method to Minimize Memory Usage and Signal Processing Delay

본 절에서는  $3 \times 3$  공간 필터를 FPGA 로직으로 구현 시 메모리 사용 및 신호처리 지연 시간을 최소화하는 구현 방법에 대해서 기술한다.

영상 1프레임이  $640 \times 512$  화소로 구성되고 1화소가 14bit로 표현되는 영상에  $3 \times 3$  공간 필터를 적용하기 위한 가장 간단한 방법은 1프레임 영상 데이터( $640 \times 512$ 화소) 전체를 메모리에 저장한 후,  $3 \times 3$  공간 필터 계수와 영상 데이터와의 SoP연산을 위해서 필요한 화소들을 순차적으로 메모리로부터 읽어 들여 계산하고, 연산 결과를 읽어드린 영상 데이터의 중심값으로 대체하는 방법으로 전체  $640 \times 512$  화소값을 갱신하는 것이다. 하지만 이러한 방법은 기본적으로 1프레임의 영상을 저장 후, 순차적으로 연산을 하기 때문에 최소한  $640 \times 512 \times 14$ bit 이상의 저장 공간이 필요하고, 메모리로부터 저장된 화소값을 지속적으로 읽어와야 하기 때문에 1프레임 이상의 영상 지연이 발생한다.

메모리 사용을 최소화하고, 지연 시간을 최대한 줄이기 위해  $640 \times 512$  전체 화소를 저장할 수 있는 외부 메모리 대신, FPGA 내부에  $1024 \times 1$ 용량의 라인 메모리 3개를 사용하여 구현하는 방법을 사용한다. 수평 1라인의 640화소를 저장할 수 있는 메모리 3개를 이용하면 512개의 수평 라인을 순차적으로 3개 라인씩 저장함으로써  $3 \times 3$ 공간 필터의 SoP 연산이 가능하다 [7-10].

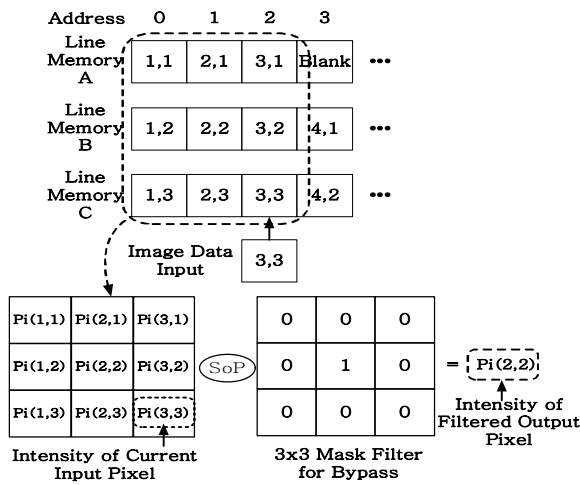


Fig. 6. Stored Pixel Data on Line Memories and Spatial Filter

그림 6은 (3,3) 화소가 입력되었을 때 라인 메모리 상태를 나타낸다.

3.2 Result of Simulation

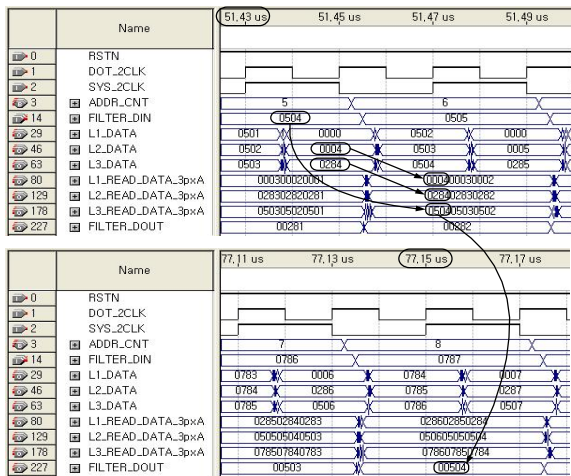


Fig. 7. Simulation Result of 3x3 Spatial Filter

시뮬레이션 상에서 DOT\_2CLK는 50MHz clock이고 SYS\_2CLK는 25MHz clock이다. FILTER\_DIN은 실제 입력되는 화소의 밝기 값이다. 그림 3.3의 첫 번째 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이, L2\_DATA에 저장되어 있는 데이터는 L1\_READ\_DATA\_3pxA로, L3\_DATA에 저장되어 있는 데이터는 L2\_READ\_DATA\_3pxA로 저장이 되고, 입력되는 영상 데이터는 L3\_READ\_DATA\_3pxA로 저장이 된다. L1~L3\_READ\_DATA\_3pxA는 3x3 공간 필터 계수와 연산을 하기 위하여 라인 메모리의 연속되는 3개의 화소 값을 묶어 놓은 값이다.

위 시뮬레이션 결과는 3x3 공간 필터 계수를 그림6의 공간 필터 계수와 같이 설정하여 입력 화소 값이 그대로 출력 값으로 전달되도록 한 후 시뮬레이션 한 결과이다. 이를 통하여 입력 데이터 대비 필터링 후 출력 지연 시간이 얼마나 되는지 확인해 볼 수

있다. 입력 데이터 값 0x0504가 필터를 거쳐 출력되는 시간 차를 보면 약 25.72us(77.15us - 51.43us)이다. 이것은 수평 1라인(640 화소) 정도의 지연임을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있다. [640pixel x 40ns/pixel(<=pixel clock=25Mhz) = 25,6us]

4. Disadvantage of General Laplacian Filter

구현된 3x3 공간 필터 모듈을 실제 적외선 열상 카메라에 적용하여 영상의 윤곽선을 추출하고 강조하는 기능을 구현하였다.

적외선 열상 카메라에 사용된 검출기는 냉각형 적외선 검출기로서, 640x512 해상도를 갖는다. 영상처리를 위한 디지털 신호처리 전자기판은 FPGA를 기반으로 설계되었다. DC 전원을 통해 구동이 되고, RS422통신으로 카메라 제어가 가능하다. 영상 출력은 CameraLink 포맷으로 출력되어, 상용 CameraLink용 Frame Grabber를 사용하면 PC를 통해 영상을 볼 수 있다.

윤곽선 강조 구현을 위해서 윤곽선 추출 연산자 중 윤곽선 추출 성능이 우수하고, 구현이 간단하며, 영상처리 지연시간을 최소화하여 실시간 처리가 가능한 Laplacian 필터를 사용하였다. 윤곽선 강조 구현을 위해 먼저 3x3 공간 필터 계수를 그림 8과 같이 Laplacian 필터 계수로 설정하여 윤곽선 추출 값을 구하고, 이를 원 영상에 더해주면 윤곽선이 강조된 영상을 얻을 수 있다. 즉, 원 영상의  $Pi(x,y)$ 값을 최종 연산 결과값  $Po(x,y)$ 로 대체하면 Laplacian 필터링 된 영상을 얻을 수 있다.

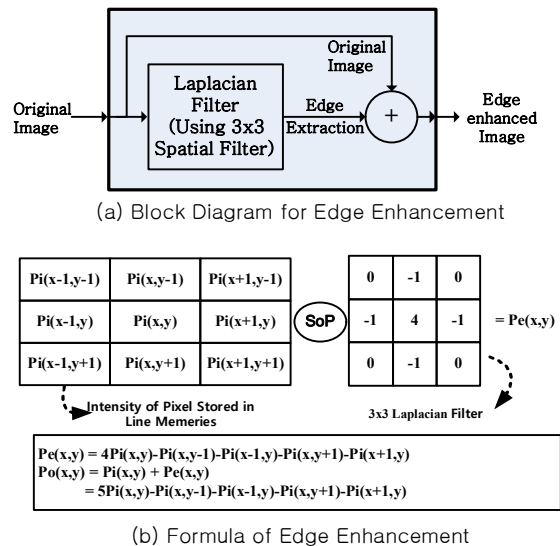


Fig. 8. Edge Enhancement by using Laplacian Filter

또한 추출된 윤곽선 값을 절대값을 취해 모두 더하면 각 프레임 별 윤곽선 추출값을 실시간으로 얻을 수 있다. 초점 렌즈를 정방향, 역방향으로 구동 시키며, 윤곽선 추출값이 가장 클 때가 목표물의 초점이 맺힌 구간이라고 판단하여 자동 초점 기능을 구현할 수 있다. 그림 9는 일반적인 자동 초점 구현 방식의 순서도를 나타낸다.

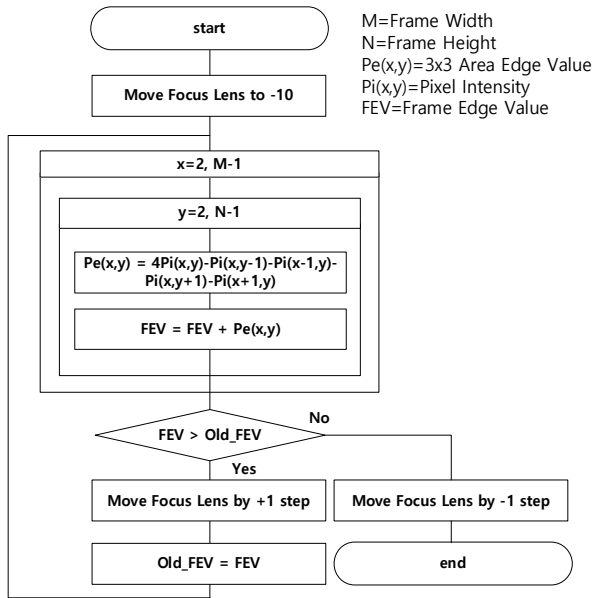


Fig. 9. Flow Chart of Auto Focus Process

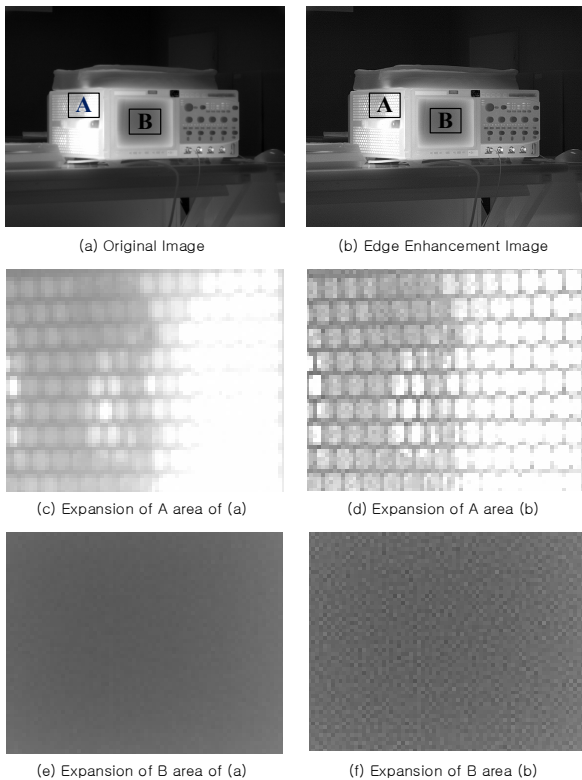


Fig. 10. Effect of Laplacian Filter

그림 10의 (a)는 Laplacian 필터가 적용되지 않은 원본 영상이고, (b)는 Laplacian 필터를 통해 영상의 윤곽선이 강조된 영상이다. (c)와 (d)는 (a)와 (b)의 A영역을 확대한 사진으로서, Laplacian 필터를 통해 영상의 윤곽선이 선명해진 것을 볼 수 있다. (e)와 (f)는 (a)와 (b)의 B영역을 확대한 사진이다. 윤곽선 성분이 거의 없는 균일한 영상 영역임에도 불구하고, 영상에 포함된 적외선 열상

카메라의 잡음 성분도 함께 강조되어 거칠어진 것을 볼 수 있다. 이러한 특성 때문에 윤곽선 추출을 통해 최적의 초점 위치를 결정짓는 영상 기반의 자동 초점 방식에서 Laplacian 필터를 통해 윤곽선을 추출하는 방식은 입력 영상에 따라 오류가 발생할 수 있다.

### III. The Proposed Scheme

#### 1. Implementation of Adaptive Laplacian Filter

영상의 윤곽선 검출을 위한 최적의 알고리즘으로 canny 윤곽선 검출 방법이 있으나 연산량이 많고, 검출 시간이 오래 걸린다. 실시간 처리가 가장 중요한 적외선 열상 카메라에서는 처리 지연 시간이 짧고 윤곽선 검출 성능이 좋은 Laplacian 필터를 그대로 활용하여 영상의 윤곽선 강조 효과를 얻으면서도 시스템 잡음 강조는 최소화하기 위한 방법을 고려하였다. 윤곽선 성분이 거의 없는 균일한 영상에서는 샤프닝을 최소화하고 윤곽선 성분이 강한 영상에서만 윤곽선 강조를 하기 위해서 3x3 공간 필터링 연산이 될 영역 내의 화소 값들을 분석한다. 윤곽선 성분이 많고 적음은 3x3 영역 내 화소 값들의 분산을 구해서 판단하고, 윤곽선 성분이 많을 때는 정상적으로 추출된 윤곽선 값을 더해주고, 윤곽선 성분이 적은 영역에서는 추출된 윤곽선 값을 더하지 않는다.

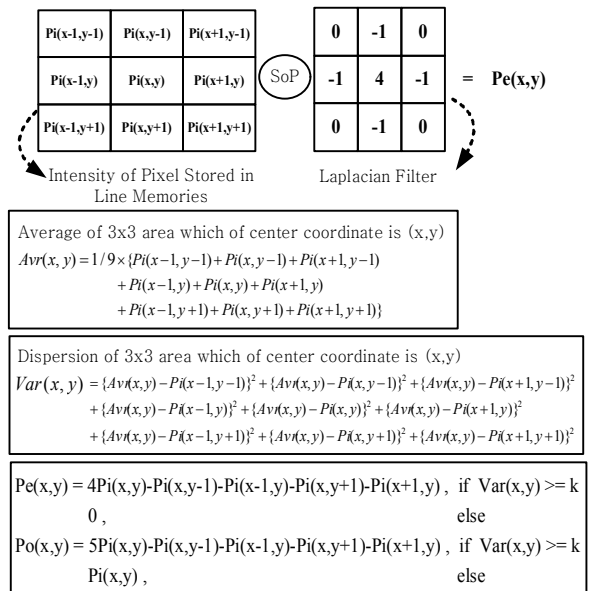


Fig. 11. Adaptive Edge Enhancement by using Laplacian Filter

그림 11은 Laplacian 필터를 이용한 적응형 윤곽선 강조 기법의 연산식이다. 영역 내 화소들의 평균 값과 분산 값을 구할 수 있다. 이 분산 값이 설정한 문턱치 값 k보다 크거나 같으면 Laplacian 필터를 통한 윤곽선 추출 값을 더해주고, 작으면 더해 주지 않는다.

## 2. Applying Realtime Bad Pixel Replacement

적외선 카메라는 검출기의 불량화소 보정 신호처리를 거치더라도 불량화소에 준하는 화소들이 존재하기도 한다. 이는 불량화소 보정 신호처리 시 설정한 불량화소 탐지 문턱치를 넘지는 않지만 주변 화소에 비해 출력 특성이 다른 화소이거나, 정상과 불량화소의 기준을 넘나들어 깜박거리는 화소(blink pixel 또는 soft bad pixel)이다. 이러한 화소들은 대조비 처리 또는 윤곽선 강조 시, 영상의 화질 저하를 이루는 요소가 된다[11]. 또한 깜박거리는 화소가 많을 경우, 영상의 윤곽선 추출값의 오차를 키워 자동 초점 구현이 잘 안되는 경우도 발생한다.

이를 개선하기 위해 앞서 제안한 적응형 Laplacian 필터를 적용하기 전, 3x3 메모리 영역 중심 화소값과 나머지 화소값을 비교하여 화소값의 차이가 d 이상인 화소가 n개 이상이면 인접 화소로 대체하는 절차를 거친다. 여기서 d와 n의 설정에 따라 식별되는 불량화소의 수가 달라지고 윤곽선 추출값도 변경된다. 그림 12는 공간필터를 이용한 불량화소 보정에 대한 신호흐름도를 나타낸다.

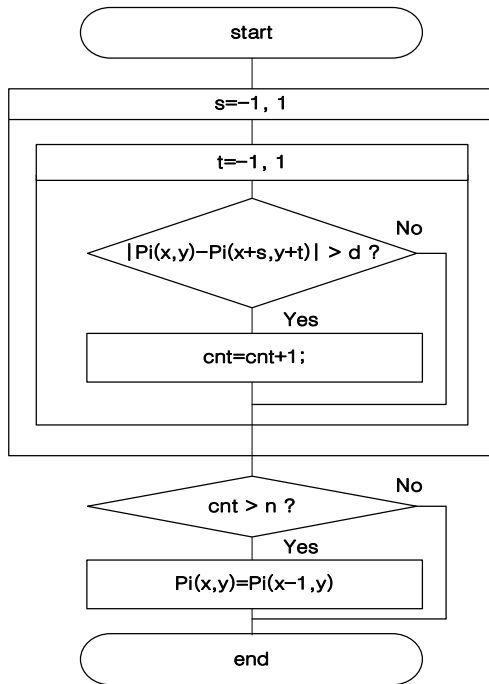


Fig. 12. Flow Chart of Bad Pixel Replacement Using Spatial Filter

## IV. Experimental Results

제안하는 기법의 성능을 비교하기 위해 비교적 edge 성분이 많은 영상과 적은 영상에 대해서 Laplacian Filter 적용 시와 실시간 불량화소 보정 및 적응형 Laplacian Filter 적용 시의 카메라 초점 상태에 따른 영상과 윤곽선 추출값을 제시하였다.

그림 13는 비교적 edge 성분이 많은 선풍기 영상에 대해서 Laplacian Filter와 제안된 Filter를 적용한 영상이다. (a)원본

영상에 비해서 (b), (d) 영상은 선풍기의 윤곽선이 강조되어 좀 더 선명해 보인다. 하지만 (b)의 영상은 배경의 잡음 성분까지 강조되어 배경이 거칠어 보이는 것을 알 수 있다. 또한 (b)에서는 검출기의 불량화소까지 윤곽선 강조 처리되어 있으나 (d)에서는 불량화소 보정 처리가 된 것을 볼 수 있다.

그림 14의 렌즈의 이동에 따른 윤곽선 추출값을 확인해 보면 비교적 edge 성분이 많은 영상에서는 Laplacian 필터와 제안된 필터 모두 초점이 맞는 위치에서 윤곽선 추출값도 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

하지만 그림 15와 같이 비교적 edge 성분이 적은 영상에 대해서는 Laplacian 필터를 적용한 경우, 적외선 카메라의 시스템 잡음으로 인하여 초점 상태와 윤곽선 추출값의 상관 관계가 맞지 않는 것을 볼 수 있다. 반면에 제안된 필터를 적용한 경우는 시스템 잡음을 최대한 배제하고 의미있는 윤곽선 추출을 통해 영상 기반의 자동 초점 구현이 가능하다.

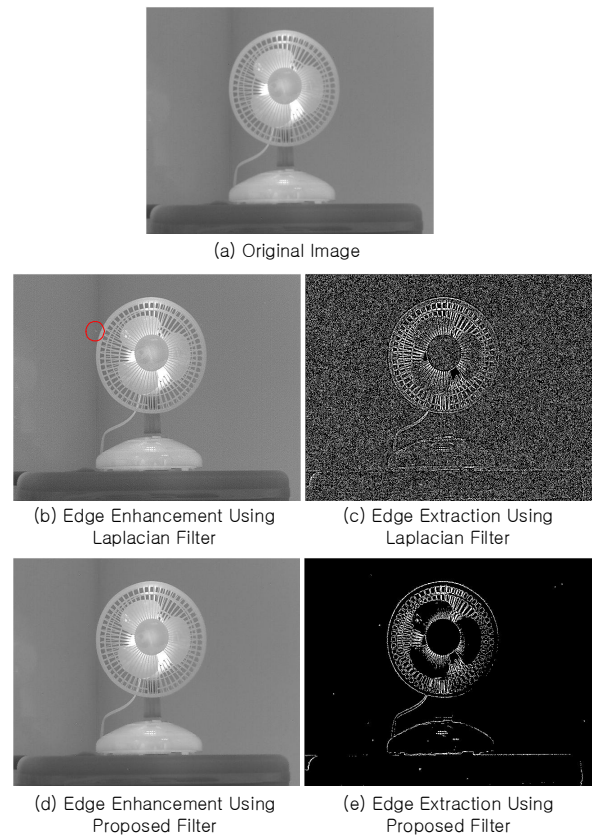
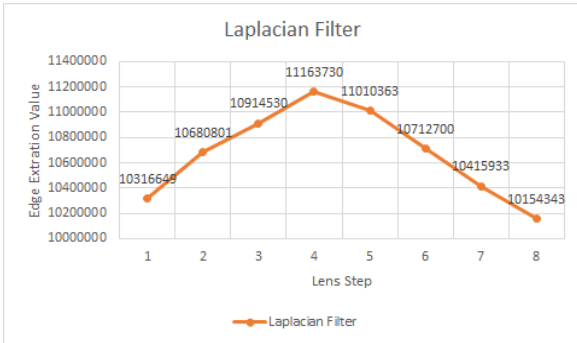
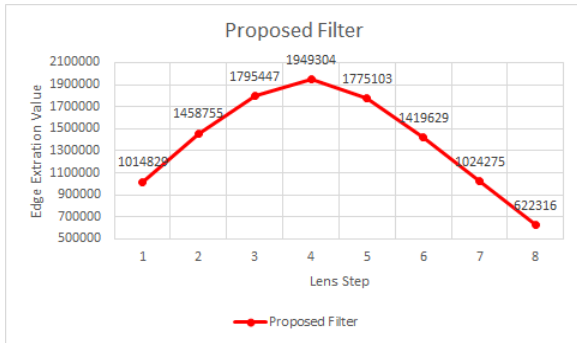


Fig. 13. Result of Applying Laplacian Filter and Proposed Filter to Electric Fan Image

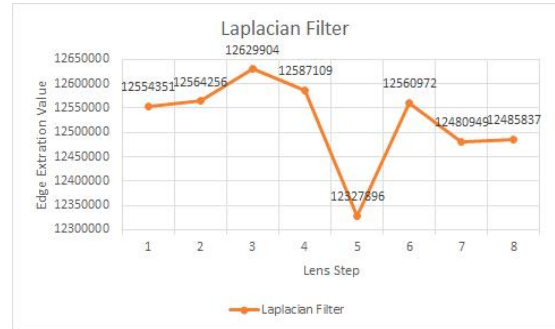


(a) Edge Extraction Value Using Laplacian Filter

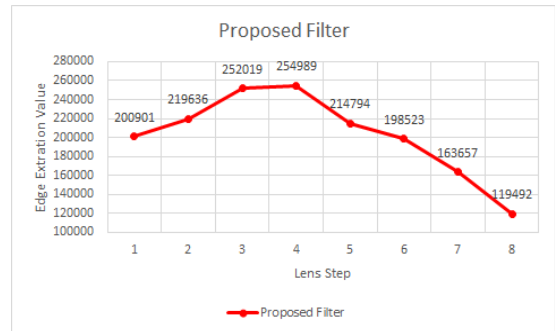


(b) Edge Extraction Value Using Proposed Filter

Fig. 14. Result of Edge Extraction Value according to Lens Step

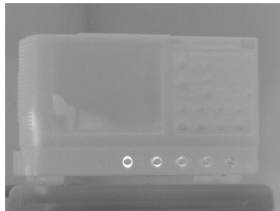


(a) Edge Extraction Value Using Laplacian Filter

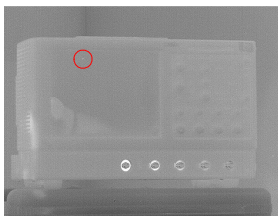


(b) Edge Extraction Value Using Proposed Filter

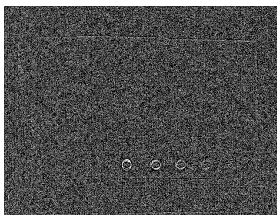
Fig. 16. Result of Edge Extraction Value according to Lens Step



(a) Original Image



(b) Edge Enhancement Using Laplacian Filter



(c) Edge Extraction Using Laplacian Filter



(d) Edge Enhancement Using Proposed Filter



(e) Edge Extraction Using Proposed Filter

Fig. 15. Result of Applying Laplacian Filter and Proposed Filter to Oscilloscope Image

## V. Conclusions

적외선 카메라의 윤곽선 강조 및 자동 초점 방식을 구현하기 위해 신호처리 지연 시간과 메모리 사용을 최소화 할 수 있는 3x3 공간 필터를 사용하였다. 일반적인 Laplacian 필터를 사용하면 영상의 윤곽선뿐만 아니라 검출기의 불량화소 및 카메라의 시스템 잡음도 함께 추출되어 edge 성분이 적은 영상에서는 초점 상태와 윤곽선 추출값과의 상관 관계가 적어진다. 제안된 필터는 Laplacian 필터가 가진 장점을 유지하면서, 시스템 잡음을 최대한 배제하고 의미있는 윤곽선 추출을 통해 영상 기반의 자동 초점 구현이 가능하다.

향후에는 이전 프레임 영상의 히스토그램 분석을 통하여 3x3 영역의 윤곽선 추출값을 결정짓는 k 값을 어떻게 설정할 것인지 대한 추가 연구를 진행할 계획이다.

## REFERENCES

[1] Ibarra-Castanedo C. "Quantitative subsurface defect evaluation by pulsed phase thermography: depth retrieval with the phase," Ph. D. thesis, Laval University, p.128,

Oct. 2005.

- [2] J. Shin, S. Ye, B. Kim and C. Park, "Image Correction Method for Uncooled IR TECless Detector with Non-linear characteristics due to Temperature Change," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 22, No. 10, pp.19-26, Dec. 2017.
- [3] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing," Prentice Hall, pp.189-221, 2009.
- [4] S. Kim, S. Nam and H. Lim, "An Improved Area Edge Detection for Real-time Image Processing," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 14, No. 1, pp.99-106, Jan. 2009.
- [5] Raman Maini and Dr. Himanshu Aggarwal, "Study and Comparison of Various Image Edge Detection Techniques," International Journal of Image Processing (IJIP), vol. 3, issue 1, pp.1-12, Feb. 2009.
- [6] J. Canny, "A computation approach to edge detection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 8, no 6, pp. 769-798, Nov. 1986.
- [7] H. Shan and N. A. Hazanchuk, "Adaptive Edge Detection for Real-Time Video Processing using FPGAs," Application notes, Altera Corporation, 2005.
- [8] Heeduk Park, "FPGA Design and Implementation of Edge Enhancement by Using 3x3 Mask Filter," International Conference Industry Technology, pp. 630-635, Jan. 2014.
- [9] A. Benedetti, A. Prati, and N. Scarabottolo, "Image convolution on FPGAs: The implementation of a multi-FPGA FIFO structure," in Proc. Euromicro Conf., pp. 123-130, 1998.
- [10] Z. Guo, W. Xu, and Z. Chai, "Image edge detection based on fpga," 2010 Ninth International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science, pp.169-171, 2010.
- [11] K. Moon, "Spatial Compare Filter Based Real-Time Dead Pixel Correction Method for Infrared Camera," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 21, No. 12, pp.35-41, Dec. 2016.

## Authors



Hee Duk Park received the B.S. degrees in Electronics Engineering from Kyunghee University, Korea, in 2003, and M.S. degrees in Electronics Engineering from Sungkyunkwan University, Korea, in 2015. Mr. Park joined the Electro-Optics 2

Team of Hanwha Systems, Korea, in 2002. He is currently a Senior Engineer in the Electro-optics / PGM R&D Site, Hanwha Systems. He is interested in Digital Image Processing of Short/Middle/Long Wave IR.