

# The horizontal line detection method using Haar-like features and linear regression in infrared images

Byoung Sun Park\*, Jae Hyup Kim\*\*

## Abstract

In this paper, we propose the horizontal line detection using the Haar-like features and linear regression in infrared images. In the marine environment horizon image is very useful information on a variety of systems. In the proposed method Haar-like features it was noted that the standard deviation be calculated in real time on a static area. Based on the pixel position, calculating the standard deviation of the around area in real time and, if the reaction is to filter out the largest pixel can get the energy map of the area containing the straight horizontal line. In order to select a horizontal line of pixels from the energy map, we applied the linear regression, calculating a linear fit to the transverse horizontal line across the image to select the candidate optimal horizontal. The proposed method was carried out in a horizontal line detecting real infrared image experiment for day and night, it was confirmed the excellent detection results than the legacy methods.

▶ Keyword : Horizontal line, Horizontal detection, Haar-like feature, linear regression

## 1. Introduction

컴퓨터 비전 분야에서 영상 내의 선을 검출하는 과정은 기본적인 영상처리 연산으로 수행될 수 있다. 대표적으로 에지(edge) 검출[1-3]과 허프 변환(hough transform)[4-5]을 들 수 있으며, 영상에서 존재하는 가로 또는 세로로 연결된 긴 에지를 찾아내는 연산을 수행한다. 이와 같이 에지의 특성에 기반한 선 검출 기법은 영상을 이용한 많은 분야에 적용되어 왔으며, 검출되는 선은 적용하고자 하는 시스템의 특성에 따라 서로 다른 기능을 수행하게 된다. Seo등[1]은 에지 검출을 이용하여 혈관 추출에 적용하였으며, Woo[4]와 Weon 등[6]은 영상 분할과 에지 검출을 이용하여 도로의 상황을 판단하는 기법을 제안하였다. 또, Onoguchi[7]는 수평 에지의 검출과 추적을 이용한 자동차 검출 기법을 제안하였다.

이와 같은 지상배경의 일반 영상들에 비해, 해상 환경에서의 수평선은 상대적으로 검출이 용이한 특성을 가진다. 해상 환경에서는 원거리 관측 영상이 대부분이며, 공중 영역과 해상 영역 간에 육안으로 판단하기에도 매우 용이한 뚜렷한 경계가 발생

한다. 따라서 해상에서의 영상 기반의 감시 정찰 시스템에서 수평선 검출은 쉽고 빠르면서도 중요한 역할을 담당할 수 있다. 특히 본 논문에서 목표가 되는 시스템인 적외선 탐지추적 장비(IRST : Infrared Search and Tracking System)[8]는 수평선 검출이 매우 중요한 요소이다. 함정을 향해 접근해 오는 해면 비행 저고도 미사일용 레이더나 기타 센서에 의한 포착이 어려운 이유로 최근의 가장 위협적인 무기로 평가되고 있다. 이러한 위협에 대한 대응으로 자자함 방어용 센서의 대표적인 장비가 함정용 적외선 탐지추적 장비이다. 해상환경에서 운용되는 함정용 적외선 탐지추적 장비는 전방위에서 접근하는 소형고속정, 대함미사일, 전투기 등 표적의 열원을 자동으로 탐지/추적하여 함 전투체계로 표적정보 및 위치 정보를 전송한다. 적외선 탐지추적장비는 전방위 감시 특성상 매우 많은 오경보(false alarm)를 발생시킬 수 있고, 이는 신호처리의 과부하와 사용자의 위협 식별을 어렵게 한다. 이는 물체의 배경과 밝기차이를 이용하여 위협 표적을 탐지하기 때문에 표적의 밝기가 배경에 비해 상대적으로 큰 대함 미사일을 탐지추적하기가 용이한 반면, 해수면

• First Author: Byoung Sun Park, Corresponding Author: Jae Hyup Kim  
\*Byoung Sun Park(bs07.park@hanwha.com), Electro-Optics Team, Hanwha Thales Co.  
\*\*Jae Hyup Kim(jaehyup.kim@hanwha.com), Image and Sensor Team, Hanwha Thales Co.  
• Received: 2015. 12. 10, Revised: 2015. 12. 18, Accepted: 2015. 12. 24.

에 밀착하여 자함으로 접근하는 저고도 대함 미사일의 경우 수평선에 걸쳐서 접근하기 때문에 입력 영상 내의 수평선의 영향으로 표적 탐지하기가 어려울 수 있다. 따라서 해면비행 대함미사일을 효과적으로 원거리 탐지하기 위하여 해수면의 수평선 위치를 정확히 파악하고, 해당 영역에서 추가적인 탐지 기법을 적용할 필요가 있다. 또한 해수면과 대공 영역을 나누었을 때, 영역에 따라 적응적인 탐지 알고리즘을 적용할 수 있는 장점이 있다.

해상 영상에서의 수평선 탐지 기법은 대표적으로 Ettinger 등[9]의 영역 공분산기반 기법, Fefilatyeв 등[10]의 에지 검출과 허프 변환에 기반한 기법, 그리고 Libe 등[11]의 중간필터(median filter)와 선형회귀법(linear regression)에 기반한 기법 등이 있다. Ettinger 등의 기법은 획득한 영상의 영역간의 공분산을 계산하여 전체 영상을 두 영역으로 분할할 수 있는 최적의 선을 계산하는 기법이다. 그러나 기본적으로 CCD 영상 정보를 활용하고 있기 때문에, 주야간을 모두 고려한 적외선 영상 시스템에서는 적용이 어렵다. Fefilatyeв 등의 기법은 캐니(canny) 기법[2-3]과 허프 변환[4-5]을 적용하였다. 일반적인 관점의 수평선 검출 기법이지만 노이즈(noise)에 취약하고, 복잡한 배경에서의 검출 성능이 저하된다. 또, 두 연산 모두 일정 수준의 연산량을 요구하고 있다. Libe 등의 기법은 모폴로지(morphology) 연산과 중간 필터 연산을 수행하고, 수행결과 계산된 최대 에지 영역을 지나는 최적의 선을 선형회귀법으로 계산한다. Libe 등의 기법은 노이즈에 강하고 다양한 배경의 수평선에도 우수한 결과를 도출할 수 있는 장점이 있다. 그러나 배경의 복잡도가 높아지면 그에 따라 수평선을 계산하는 시간이 급격히 증가하며, 영상 내에서 수평선으로 구분되는 영역적 특성을 반영하지 못한다. 제안하는 기법에서는 Ettinger 등의 기법과 같이 영역적 편차에 주목하였다. 해상 영상에서 수평선이 존재한다면 영역을 구분하는 선이 되며, 두 영역의 편차가 크게 나타날 가능성이 크다. 따라서 에지 정보뿐만 아니라 영역 내 편차를 함께 고려했을 때 수평선 영역에서 보다 큰 에너지를 발생시킬 수 있다. 이를 위하여 제안하는 기법에서는 실시간 처리가 가능하고 형태적 정의가 쉬운 Haar 유사 특징을 적용하였다. 에지 정보와 Haar 유사 특징을 함께 고려하여 수평선 픽셀 후보를 생성하고, Libe 등의 기법과 같이 선형회귀법을 적용하여 최적의 선을 계산한다. 본 논문에서는 2장에서 Haar 유사 특징과 선형회귀법에 대한 기본 개념을 설명하고, 제안하는 기법을 설명한다. 3장에서 적외선 영상에 대한 실험 결과를 설명하고 4장에서 결론을 설명한다.

## II. The Proposed Method

### 1. Haar-like feature

Haar 유사 특징은 Haar 변환 연산에 모티브를 가지고 계산되는 매우 단순한 형태의 특징값이다. 아래 그림 1은 Haar 특

징을 계산하는 마스크의 예를 나타낸다.

그림 1에서 각각의 사각형은 하나의 마스크를 의미하며, 흰색은 영역 내 픽셀 값의 합, 검은색은 영역 내 픽셀 값의 음수 합을 의미한다. 하나의 마스크는 픽셀 값의 합으로 필터 값을 결정한다. Haar 유사 특징은 복잡도가 높은 질감을 가지는 객체 검출/분류에 많이 적용되어 왔다. 마스크 단위의 특징 값은 매우 단순하고 변별력이 떨어지지만, 다양한 형태의 마스크를 충분한 개수만큼 적용했을 때는 매우 뛰어난 변별력을 나타낸다. 대표적으로 Viola 등[12]은 얼굴 영상 내에서 다량의 Haar 유사 특징을 추출하여 뛰어난 성능의 얼굴 검출 알고리즘을 학습하였다.

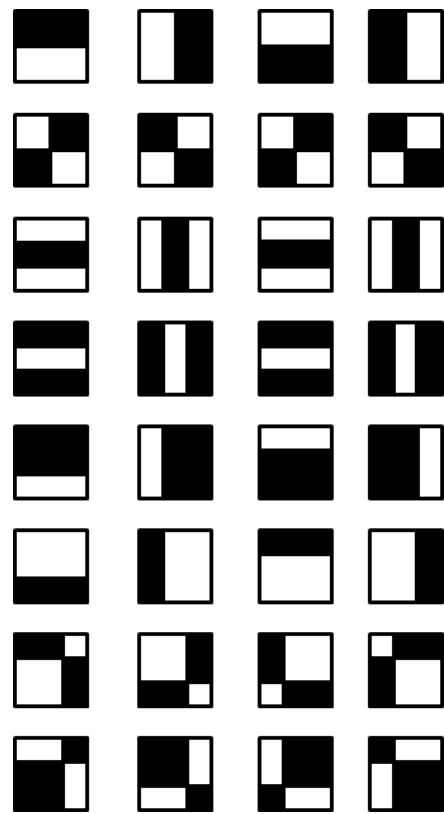


Fig. 1. Haar-like features

Haar 유사 특징은 대표적으로 두 가지의 장점을 언급할 수 있다. 첫째로 형태가 직관적이고 필요에 따라 자유롭게 필터의 설계가 가능한 점이다. 특징 추출을 위한 필터의 형태가 영역에 대한 합과 차로 이루어지기 때문에, 검출하고자 하는 영상의 특성에 따라 적합한 필터를 손쉽게 설계하여 적용할 수 있다. 둘째로 적분 영상(integral image) 연산을 통해 실시간 처리가 가능하다. Viola 등에 의해 제안된 적분영상은 한 번의 스캔(scan)에서 각 픽셀이 이전 픽셀의 합을 저장하는 방식으로써, 적분 영상이 완성되면 4회의 합/차 연산으로 원하는 영역의 픽셀값의 합을 계산할 수 있다. 식 (1)은 적분 영상의 계산을 나타내며, 그림 2는 적분 영상에서의 영역 계산을 나타낸다.

$$I_{INT}(x_1, x_2) = I(x_1, x_2) + I(x_1, x_2 - 1) + I(x_1 - 1, x_2) - I(x_1 - 1, x_2 - 1) \quad (1) \quad \text{다.}$$

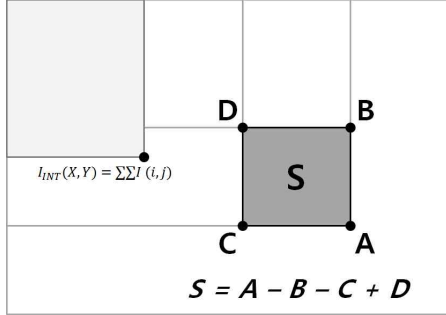


Fig. 2. Integral imaging technique

식 (1)에서  $I_{INT}(x_1)$ 는 영상  $I$ 의  $(x_1, x_2)$  위치에서의 합을 나타내며, 영상의 원점에서  $(x_1, x_2)$  위치까지의 사각형 영역 내에 있는 픽셀 값의 합을 의미한다. 이 연산은 전체 픽셀에 대해 한 번의 계산만으로 완료된다.  $I_{INT}$ 를 이용하면 그림 2에서와 같이,  $I(A)$ 에서  $I(B)$ 와  $I(C)$ 를 뺀 후,  $I(D)$ 를 한 번 더 해주면 A~D로 둘러싸인 영역의 픽셀 값의 합을 계산할 수 있다.

## 2. linear regression

선형회귀법은 주어진 데이터에 대해 가장 오차가 작은 직선을 구해내는 대표적인 기법이다. 따라서 영상 내에 있는 특정 픽셀들 중 수평선에 위치하는 픽셀을 구해내는데 매우 효과적인 기법이다. 수학적 측면에서 수평선을 하나의 직선으로 간주했을 때, 아래의 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$y = a_0 + a_1 x_1 \quad (2)$$

수평선으로 예상되는 후보 픽셀들에 대한 식을  $(x_{11}, x_{21}), (x_{12}, x_{22}), \dots, (x_{1i}, x_{2i}), \dots$  라고 가정했을 때, 수평선과 픽셀간의 오차는 식 (3)과 같다.

$$E_i = x_{2i} - (a_0 + a_1 x_{1i}) = x_{2i} - a_0 - a_1 x_{1i} \quad (3)$$

선형회귀법은 식 (3)의 에러를 최소화 하는 직선의 계수를 구하는 기법이다. 선형회귀법의 목적식은 식 (4)와 같다.

$$\text{Minimize } \sum_i E_i^2 \quad (4)$$

$n$ 개의 픽셀에 대해 에러를 모두 더하면 식 (5)의  $S_r$ 와 같으며, 두 계수에 대해 각각 미분하여 식 (6)과 (7)을 얻을 수 있

$$S_r = \sum_{i=1}^p E_i^2 = (x_{2i} - a_0 - a_1 x_{1i})^2 \quad (5)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^p 2(x_{2i} - a_0 - a_1 x_{1i})(-1) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = \sum_{i=1}^p 2(x_{2i} - a_0 - a_1 x_{1i})(-x_{1i}) = 0 \quad (7)$$

식 (6)과 (7)을 전개하면 식 (8)을 얻을 수 있으며, 이를 행렬로 표기하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{cases} p a_0 + \sum_{i=1}^p a_1 x_{1i} = \sum_{i=1}^p x_{2i} \\ \sum_{i=1}^p a_0 x_{1i} + \sum_{i=1}^p a_1 x_{1i}^2 = \sum_{i=1}^p x_{1i} x_{2i} \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} p & \sum_{i=1}^p x_{1i} \\ \sum_{i=1}^p x_{1i} & \sum_{i=1}^p x_{1i}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^p x_{2i} \\ \sum_{i=1}^p x_{1i} x_{2i} \end{bmatrix} \quad (9)$$

식 (9)와 (10)에 따라 직선의 계수  $a_0$ 와  $a_1$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$a_1 = \frac{p \sum_{i=1}^p x_{1i} x_{2i} - \sum_{i=1}^p x_{1i} \sum_{i=1}^p x_{2i}}{p \sum_{i=1}^p x_{1i}^2 - (\sum_{i=1}^p x_{1i})^2} \quad (10)$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^p x_{2i}}{p} - a_1 \frac{\sum_{i=1}^p x_{1i}}{p} \quad (11)$$

## 3. The proposed method

제안하는 알고리즘은 크게 두 부분으로 나눌 수 있으며, Haar 유사특징을 이용한 후보픽셀 검출 단계와 선형회귀법으로 계산되는 선형 유사도를 이용한 최적 수평선 검출 단계이다. 제안하는 알고리즘의 구조는 아래 그림 3과 같다. 2.1절에서 설명한 바와 같이, 적분 영상은 1회의 영상 스캔으로 계산될 수 있으며, 각각의 픽셀은 영상 원점으로 이루어지는 사각 영역의

픽셀 값의 합을 저장한다. 따라서, 사전에 정해진 Haar 유사특징의 계산은 5회의 합(또는 차) 연산으로 계산이 가능하다. 수평선의 특성상 상하 경계일 가능성이 크며, 이를 충분히 반영할 수 있는 필터를 선택하는 것이 바람직하다.

또, 거리와 해상도에 따라 영역의 경계와 구분의 크기가 다르게 나타난다. 그림 4는 수평선 영역에서의 Haar 유사특징 필터의 예를 나타낸다. 수평선은 그림 4(left)와 같이 바다 영역과 상위 영역을 구분하는 매우 뚜렷한 선일 수 있으며, 상하 구조의 필터에서 크기에 무관하게 큰 반응을 획득할 수 있다. 그러나 그림 4(right)와 같이 복잡도 높은 질감영역을 포함하는 경우 필터의 크기에 따라 반응이 달라질 수 있다. 따라서 다양한 크기에 대한 필터 반응을 결합하여 해당 픽셀위치에서의 수평선 에너지로 활용해야 한다.

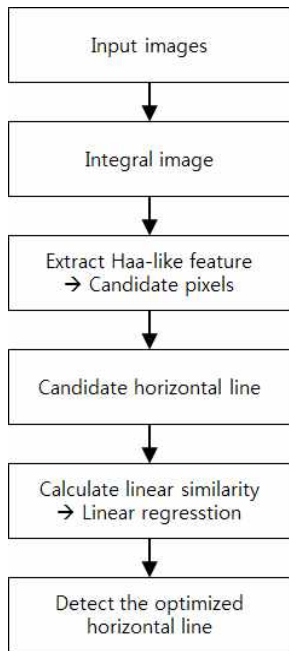


Fig. 3. The diagram of proposed method



Fig. 4. The example of filters at the horizontal line

수평 경계의 질감을 반영하면서 다양한 크기에 대한 반응을 고려하기 위하여, 식 (12)와 같이 Haar 유사 특징에 대한 에너지를 계산하였다.

$$E_x = \sum_n \sum_m e^{-\frac{1}{m(N-n+1)}} f(x, n) \quad (12)$$

$$m = 1, \dots, M \quad n = 1, \dots, N$$

식 (12)에서  $x$ 는 픽셀의 위치,  $M$ 은 크기의 종류,  $N$ 은 필터의 종류를 의미한다. 크기와 필터의 종류는 목표가 되는 영상과 환경에 따라 실험적으로 결정할 수 있다. 그림 4에서의 예와 같이 수평선 영역이 구분되는 각 영상 부분의 차이는 크기가 클수록 높은 반응을 나타낼 가능성이 크며, 수평선의 특성상 상하의 질감에 대해서 더 높은 반응을 나타낼 가능성이 크다. 이러한 관점에서 각각의 Haar 유사특징 필터의 반응에 대하여 가중치를 부여하였다. 본 논문에서는 실험적으로 5단계의 크기와 12개의 필터를 선정하였으며, 각각의 필터에 대한 가중치는 그림 5와 같다. 그림 5는  $m = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  와  $n = \{1, 2, \dots, 12\}$  일 때 각 경우에 대한 가중치를 나타낸다.

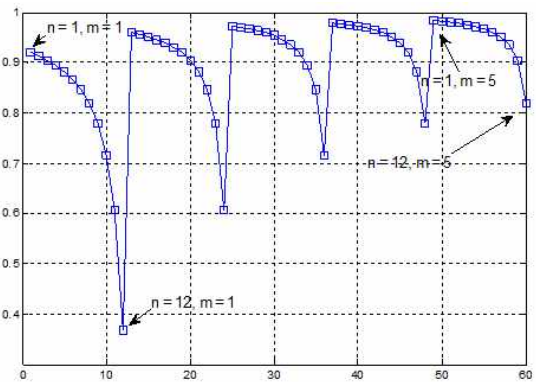


Fig. 5. The weights of each filters

실험적으로 결정된 필터의 크기 5단계는 최소 10픽셀의 정방향부터 배수로 증가하였다. 그림 6은 5종 크기의 필터의 예를 나타낸다.

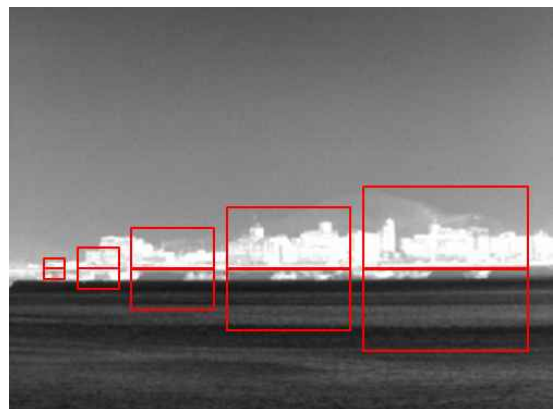


Fig. 6. The example of filters in various size

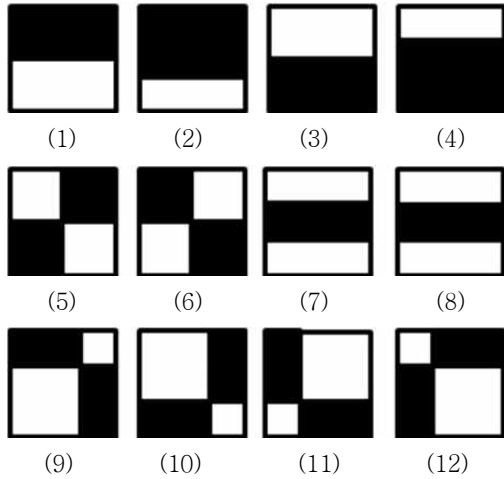


Fig. 7. Selected filters in our algorithm

그림 1에서 예로든 Haar 유사특징 필터는 상하좌우 다양한 방향으로의 질감특성을 반영하기 위한 필터들이다. 따라서 수평선의 특성을 반영하기 위하여, 제안하는 알고리즘에서는 아래 그림 7과 같이 12개의 필터를 실험적으로 선정하였다. 각 필터의 번호는 앞서 언급한  $n = \{1, 2, \dots, 12\}$ 을 의미한다. 필터의 선택은 우선적으로 상하 방향과 대각 방향의 차이에 대한 에너지에 중점을 두었으며, 상하 반응에 적합한 필터에 보다 큰 가중치가 부여되도록 하였다. 식 (12)를 통해 각각의 픽셀에 대한 에너지가 계산되면, 수평선 영역에 포함되는 후보 픽셀을 선정한다. 제안하는 알고리즘에서는 후보 수평선을 활용하기 때문에, 별도의 후보 픽셀을 선정할 필요는 없다. 그러나 수행 시간의 단축과 편의를 위해 에너지가 높은 픽셀을 선택하여 수평선 후보 픽셀로 이용하였다. 후보 픽셀 선택의 기준은 식 (13)과 같다.

$$E^s = \text{sort}(E_x) \quad x = 1, \dots, p \quad (13)$$

$$C_x = \begin{cases} 1 & \text{if } E_x \geq E^s(\alpha p) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$p$ 는 영상의 픽셀의 개수를 의미하며,  $\alpha$ 는 사용자 계수로써 본 논문에서는 0.1로 설정하였다. 즉 영상 전체 픽셀 중 에너지가 큰 상위 10%의 픽셀을 수평선 후보 픽셀로 선택하였다.

그림 8은 수평선 후보 픽셀의 예를 나타낸다. (left)는 원본 영상, (middle)는 에너지 값 기준 상위 10% 픽셀, (right)는 상위 0.5% 픽셀을 나타낸다. 해수면의 물결, 지상 배경의 윤곽 영역에서 높은 에너지가 발생하고 있으나 상대적으로 지상과 해수면을 구분하는 수평선 영역에서 더욱 높은 에너지 값을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

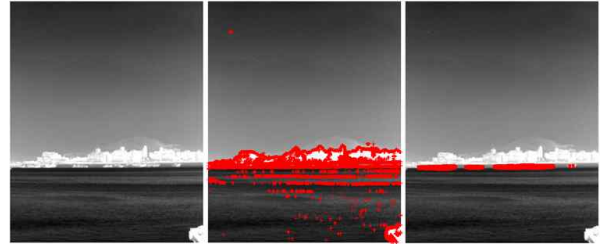


Fig. 8. The example of candidate pixels, (left) original image, (middle) candidate pixels, (right)

제안하는 알고리즘은 다음 단계로, 선형회귀법을 이용하여 그림 8-(b)의 수평선 후보 픽셀 중 최적의 수평선을 선정한다. 일반적인 선형회귀법은 2절에서 언급한바와 같이, 후보 픽셀 그룹에 대해 가장 오차를 줄일 수 있는 직선의 계수를 계산한다[11]. 그러나 영상 전체에 분포되어 있는 픽셀들 중 하나의 직선상에 있다고 가정할 수 있는 후보 픽셀 그룹의 경우의 수는 무수히 많다. 상대적으로 적은 개수의 후보 픽셀을 선정하면 조합 가능한 그룹의 개수도 급격히 감소할 수 있으나, 영상 배경의 영향에 따라 수평선 영역의 픽셀이 포함되지 않을 가능성을 내포하고 있다. 따라서 제안하는 알고리즘은 충분한 개수의 후보 픽셀을 선택하면서 수행시간의 단축을 위하여, 제약조건을 이용한 후보 수평선을 선정하여 적용하였다. 후보 수평선을 적용할 수 있는 조건은, 제안하는 알고리즘이 해상 환경의 감시 정찰 장비를 목표로 하고 있기 때문이다. 해상 감시에서는 수평선의 기울기가 크기 않고, 높낮이도 극단적인 경우가 드물다. 이러한 상대적 조건을 바탕으로  $-5^\circ \sim +5^\circ$ 의 기울기에 대하여 영상 가로 중심 기준  $-25\% \sim +25\%$  영역에 대해 후보 수평선을 선정하였다. 그림 9는 조건에 따른 후보 수평선의 예를 나타낸다.

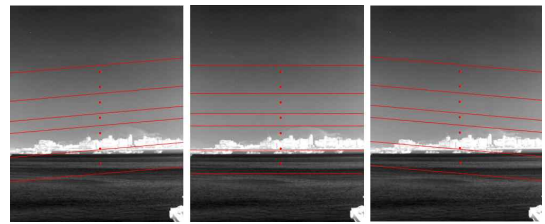


Fig. 9. The example of candidate horizontal lines

각각의 후보 수평선에 대하여, 일정 거리에 있는 픽셀들을 선택한 후, 선형회귀법으로 직선을 보정하고, 해당 픽셀들의 에너지합을 직선의 중요도로 간주하였다. 최종적으로 가장 중요도가 높은 직선을 수평선으로 선택한다. 그림 10은 이러한 과정을 정리하여 나타낸다.

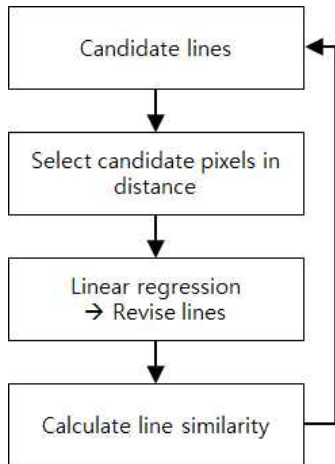


Fig. 10. The diagram of line selection step

본 논문에서는 후보 수평선에 대해 2픽셀 이내의 거리로 제약하였으며, 식 (10)과 (11)을 이용하여 직선을 보정하였다. 또, 직선의 중요도는 아래의 식 (14)와 같이 거리에 따른 가중치를 부여하여 계산하였다. 직선  $l$ 에 대하여 거리 내의 픽셀  $E_x^l$ 에 대한 가중치 합을 나타내며,  $x_1$ 과  $x_2$ 는  $x = (x_1, x_2)$ 로써 픽셀의 위치를 의미한다.

$$prior^l = e^{-\frac{|a_1x_1 - x_2 + a_0|}{\sqrt{a_1^2 + 1}}} E_x^l \quad (14)$$

### III. Experimental Result

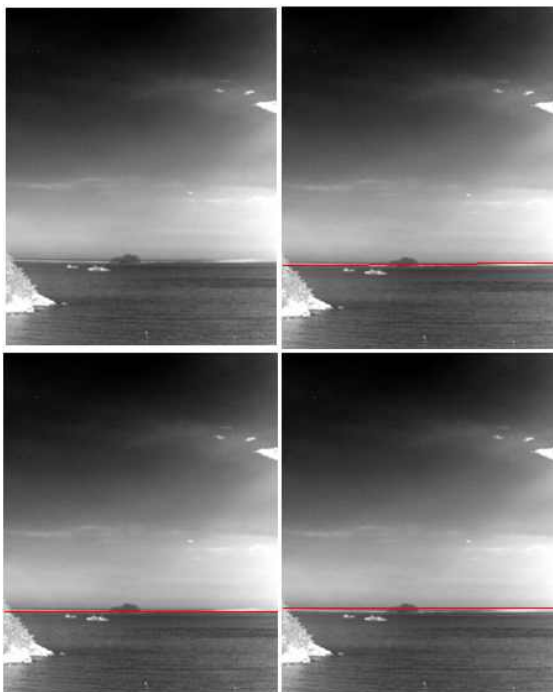


Fig. 12. The experimental result of horizontal detectio,

(left-top) original image, (right-top) Fefilatyev's method, (left-bottom) Libe's method, (right-bottom) proposed method.

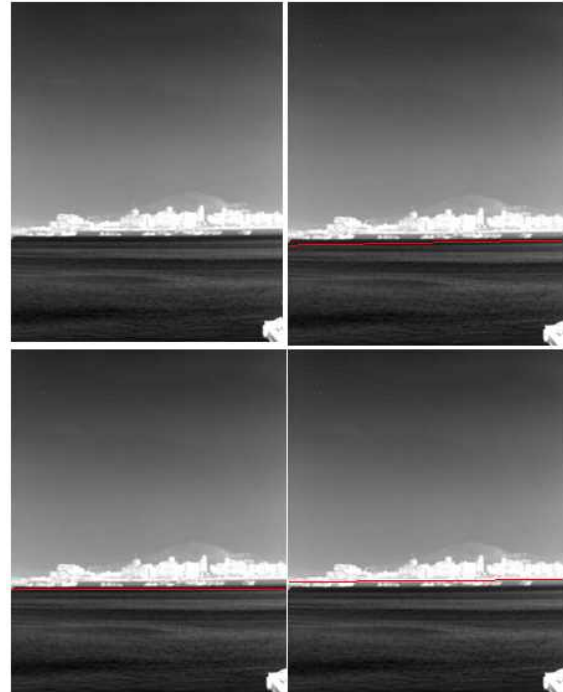


Fig. 13. The experimental result of horizontal detectio, (left-top) original image, (right-top) Fefilatyev's method, (left-bottom) Libe's method, (right-bottom) proposed method.



Fig. 14. The experimental result of horizontal detectio, (left-top) original image, (right-top) Fefilatyev's method, (left-bottom) Libe's method, (right-bottom) proposed method.



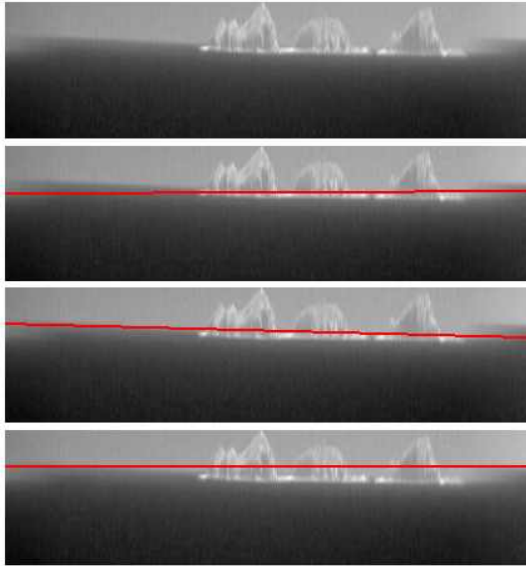


Fig. 15. The experimental result of horizontal detectio, (top) original image, (top-middle) Fefilatyeve's method, (top-bottom) Libe's method, (bottom) proposed method.

본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 Fefilatyeve 등[10], 그리고 Libe 등[11]의 기법을 동일한 적외선 해상 영상에 적용하였다. 그림 12~ 15는 수평선 검출 실험 결과를 보여주고 있다.

실험 결과 전체적으로 지역 정보만을 고려하는 Fefilatyeve 등의 기법에 비해 우수한 성능을 확인할 수 있었으며, Libe 등의 기법과 유사한 결과를 도출함을 확인할 수 있었다. 수평선 검출의 경우 실영상을 대상으로 할 경우, 정확한 의미의 정량적 평가가 어렵다. 본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 해상환경에서 획득한 적외선 영상 270장을 이용하여, 별도의 수작업을 통해 수평선의 정답으로 간주할 수 있는 데이터를 추출하였다. 그리고 앞서의 기법들과 제안하는 기법의 수평선 검출 결과를 해당 영상들에 적용하여 수작업 결과와 비교하였다.

Table 1. The experimental result on 270 infrared images

|               | distance(pixels) | angle(°)    |
|---------------|------------------|-------------|
| Fefilatyeve's | 2.77 ± 0.65      | 0.84 ± 1.32 |
| Libe's        | 0.68 ± 0.33      | 0.26 ± 0.15 |
| Proposed      | 0.58 ± 0.52      | 0.18 ± 0.08 |

대상 영상은 3대의 적외선 영상 센서를 이용하여 획득하였으며, 영상의 해상도는 640x480 또는 1280x1024 이며, 별도의 안정화 장치는 적용하지 않았다. 정량적 비교를 위해 두 가지 관점에서 측정했으며, 두 직선간의 세로방향의 픽셀 거리값 평균과 영상 중심을 기준으로 하는 각도의 차이 이다. 표 1은 각 영상을 이용한 비교데이터에 대한 평균과 표준편차를 나타

내고 있다. 앞서 언급한바와 같이 Fefilatyeve 등의 기법에 비해 우수한 성능을 확인할 수 있었으며, Libe 등의 기법과 유사한 성능을 확인할 수 있었다.

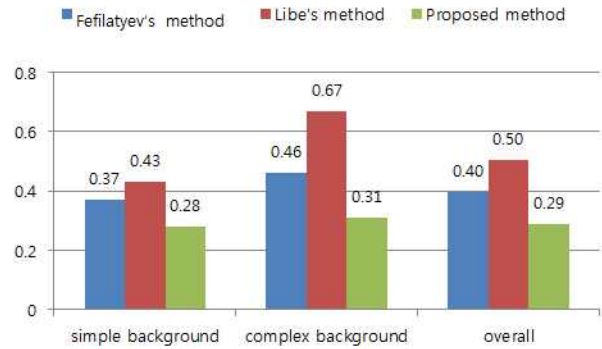


Fig. 11. The comparison in processing time(seconds)

그림 11은 수행 시간을 비교하여 나타낸다. 동일한 시스템과 OS에서 수행했을 때 측정된 시간으로써 단위는 초(second)이다. 실험 영상에 대해 수작업으로 단순배경 영상 187장과 복잡한 배경 영상 83장을 구분하였으며, 제안하는 기법은 배경의 복잡도와는 무관하게 빠른 수행 속도를 나타냄을 확인할 수 있다. 특히 적분 영상 과정과 Haar 유사 특징 필터 연산의 경우 다중코어(multi-core) 환경의 구현에서는 분리 처리가 가능하므로 수행 속도는 더욱 향상될 가능성이 크다.

#### IV. Conclusions

본 논문에서는 Haar 유사특징과 선형회귀법을 이용한 적외선 영상에서의 수평선 검출 기법에 대해 설명하였다. 실험 결과 Hough 변환, morphology 기반의 필터, 선형회귀법, 등 영상 처리 기술 기반의 기법들에 비해 검출 성능 또는 수행 속도 측면에서 향상됨을 확인할 수 있었다. 또, 실시간 구현에 적합한 Haar 유사특징을 기본 연산으로 적용함으로써 실제 시스템 구축에 적합한 기법임을 확인하였다. 향후 추가적으로 진행되어야 할 점으로는 정량적 평가기법에 대한 연구와 해상에 제한된 실험 환경의 다양화이다. 본 논문에서는 별도의 수작업을 통해 수평선 정보를 획득하여 정량적 평가에 이용하였으나, 신뢰도 측면에서 다소 부족한 측면이 있다. 정밀한 시스템의 측정값, 대용량 데이터베이스 등을 활용한다면 평가의 신뢰도가 향상될 수 있을 것으로 기대한다. 또, 제안하는 기법의 목표가 되는 시스템이 해상 시스템이다 보니, 본 논문의 모든 실험결과가 해상 영상에 국한되어 있다. 해상이외의 지상 또는 항공 영상에서는 그 복잡도가 더욱 증가할 것으로 예상되며, 그에 맞는 추가적인 기법 연구가 이루어져야 한다.

## REFERENCES

- [1] J. J. Seo and J. W. Park, "Hepatic Vessel Segmentation using Edge Detection," *Journal of KSCI*, Vol. 17, No. 3, pp. 51-57, March 2012.
- [2] S. S. Yoon and P. S. Bae, "Using Mean Shift algorithm and self-adaptive Canny algorithm for improvement of edge detection," *Journal of KSCI*, Vol. 14, No. 7, pp. 33-40, July 2009.
- [3] J. Canny, "A computational approach to edge detection", *IEEE Transactions on PAMI*, Vol. 8, pp. 679-697, May 1988.
- [4] Y. W. Woo, "Navigational Path Detection Using Fuzzy Binarization and Hough Transform," *Journal of KSCI*, Vol. 19, No. 2, pp. 31-37, Feb. 2014.
- [5] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures", *Comm. ACM*, Vol. 15, pp. 11-15, July 1972.
- [6] S. H. Weon, G. Y. Kim, and H. S. Na, "Detection of Pavement Borderline in Natural Scene using Radial Region Split for Visually Impaired Person," *Journal of KSCI*, Vol. 17, No. 7, pp. 67-76, July 2012.
- [7] K. Onoguchi, "Overlap Vehicle Detection by Tracking Horizontal Lines," *MVA2009 IAPR Conference on Machine Vision Applications*, pp. 211-214, May 2009.
- [8] H. B. Srivastava, Y. B. Limbu, R. Saran, and A. Kumar, "Airborne Infrared Search and Track Systems," *Journal of defence science*, Vol. 57, No. 5, pp. 739-753, Sept. 2007.
- [9] S. M. Ettinger, M. C. Nechyba, P. G. Ifju, and M. Waszak, "Vision-guided flight stability and control for micro air vehicles," *Proc. of IEEE Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2134-2140, April 2002.
- [10] S. Fefilat'yev, D. B. Goldgof, and L. Langebrake. "Towards detection of marine vehicles on horizon from buoy camera," *Proc. of SPIE*, pp. 6736:673600, Oct. 2007.
- [11] T. Libe, E. Gershikov, and S. Kosolapov, "Comparison of methods for horizon line detection in sea images," *Proc. of CONTENT*, pp. 79-85, May 2012.
- [12] P. Viola and M. J. Jones, "Robust real-time face detection," *Int. Journal of Computer Vision*, Vol. 57, No. 2, pp. 137-154, March 2004.

## Authors



Byoung Sun Park received the B.S. degrees in Information System Engineering from Hanyang University, Korea, in 2008, respectively. In 2007, he joined Hanwha-Thales Co., Republic of Korea, and he is currently a researcher. He is interested in Surveillance, Tracking and computer vision.



Jae Hyup Kim received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Hanyang University, Korea, in 2001, 2003 and 2008, respectively. From 2008 to 2009, Dr. Kim had been a post Doc. researcher at the Ambient Intelligence SW Research Institute in Hanyang University. In 2009, he joined the Hanwha-Thales Co., Republic of Korea, as senior researcher, and is currently a researcher. He is interested in machine learning, computer vision.