

A Study on Finding the Rail Space in Elevators Using Matched Filter

Myong-Lyol Song*

Abstract

In this paper, we study on finding the rail space in elevators by analyzing each image captured with CCD camera. We propose a method that applies one-dimensional matched filter to the pixels of a selected search space in the vertical line at a horizontal position and decides the position with the thickness of the space being represented by a black thick line in captured images. The pattern similarity representing how strongly the associated image pixels resemble with the thick line is defined and calculated with respect to each position along the vertical line of pixels. The position and thickness of the line are decided from the point having the maximum in pattern similarity graph. In the experiments of the proposed method under different illuminational conditions, it is observed that all the pattern similarity graphs show similar shape around door area independent of the conditions and the method can effectively detect the rail space if the rails are illuminated with even weak light. The method can be used for real-time embedded systems because of its simple algorithm, in which it is implemented in simple structure of program with small amount of operations in comparison with the conventional approaches using Canny edge detection and Hough transform.

▶ Keyword: Elevator, Rail space, Thick line detection, Matched filter, Pattern similarity

1. Introduction

승강기에서 사람, 물체, 애완동물, 애완동물 목줄과 같은 것이 승강기 문에 끼인 상태로 동작할 때 안전 사고가 발생하고 있다. 이러한 안전 사고를 방지하기 위해 전통적인 방법으로 승강기 문 측면에 빔 커튼 (beam curtain) 광센서를 부착하여 빛이 사람이나 물체에 의해 차단되는 경우, 또는 문이 정상적으로 닫히기 전에 리미트 (limit) 스위치가 동작하는 경우에 사람이나 물체가 문 사이에 존재한다고 판단하는 방식의 센서를 사용하여 문을 다시 열어 사고를 예방하고 있다. 그러나, 기존의 빔 커튼 광센서에서는 직진하는 광원의 경로 밖에 물체가 놓이는 경우 물체를 탐지하지 못하거나, 광센서의 수광부에 다른 광원, 예를 들어 태양 빛과 같은 광원이 조사되는 경우 올바르게 판단하기 어렵다. 그리고 리미트 스위치 방식은 문과 사람 또는 물체가 문의 측면에 부딪혀야 동작하므로 마지막 수단으로 사용되고 있고, 대상체가 리미트 스위치와 연동되는 문 측면의 접촉면 아래에 위치하거나 줄이 바닥면에 늘어져 있는 경우에는 탐지가 어렵다.

따라서 기존의 전통적인 탐지 방법에서 부족한 부분을 해결하기 위해 카메라를 이용하여 포착된 영상을 처리하고 분석하여 실시간으로 위험 요소를 판단하기 위한 방법을 모색하고 있다. 이를 위해 승강기 내부 문틀 상단 중앙에 하단을 향하도록 설치된 카메라에서 관찰되는 영역은 카메라의 영상 센서와 결합된 렌즈에 따라 달라지는데, 문이 걸쳐서 동작하는 바닥면의 레일 (rail) 영역, 문 내·외부 영역 등이 포함된다. 그리고 영상 처리 시스템에서는 승강기의 안전 운행에 장애가 될 수 있는 요소들을 감지하기 위해, 승강기 문 주변 또는 문 영역에서 감시 대상이 승강기 문의 현 상태에서 위험이 될 수 있는지 판단해야 한다. 동작하는 승강기 문의 상태는 닫혀 있거나, 완전히 열려 있거나, 아니면 두 상태 사이에서 동작 중인 경우로 구분된다. 따라서 영상 처리 시스템은 문이 완전히 닫힌 상태를 제외하고는 문 측면의 위치와 레일들의 상태를 정확하게 판단해야 위험 가능성에 올바르게 대처할 수 있다.

• First Author: Myong-Lyol Song, Corresponding Author: Myong-Lyol Song

*Myong-Lyol Song (mlsong@hoseo.edu), Dept. of Information & Communication Eng., Hoseo University

• Received: 2019. 03. 28, Revised: 2019. 05. 09, Accepted: 2019. 05. 29.

• This work was supported by SERA S. E. Co., Ltd. Research Grant (Ref. no. 20180263001).

이 논문에서는 위에서 설명한 것 중 문의 위치나 레일의 상태를 판단하는데 기초가 되는 ‘레일 공간(바닥면에서 승강기의 내부 문 레일과 외부 문 레일 사이의 공간)’의 위치와 두께를 결정하는 방법에 대해서 효율적인 방법을 제시하고 특성을 설명한다.

이 방법으로, 레일 공간 주변에서 영상이 특정한 패턴을 갖는 특징이 있는 것으로 분석되므로, 통신 시스템에서 수신되는 신호 중에서 알고 있는 특정 패턴의 신호 부분을 탐색하기 위해 활용되는 정합 필터를 활용하여 상대적으로 적은 연산량으로 레일 공간의 위치와 두께를 찾을 수 있다.

이 논문의 2장에서 기존의 연관된 연구의 특징과 정합 필터의 개념에 대해서 설명하고, 획득된 영상을 분석하여 정합 필터를 적용하여 레일 공간을 탐색할 수 있는 가능성에 대해서 설명한다. 3장에서 정합 필터와 동일하게 계산되는 패턴 유사도를 정의하고 이를 이용한 레일 공간 탐색 방법을 제시하고 설명한다. 4장에서 제안된 정합 필터를 이용한 레일 공간 탐색 방법을 실험용 승강기 문에 설치된 카메라로 획득한 영상에 적용하여 조명 조건을 다양하게 변화시키면서 실험한 결과의 분석과 제안된 방법의 특성을 설명하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. Preliminaries

1. Related works

레일 공간은 카메라의 영상에서 두꺼운 수평의 직선 또는 직선에 가까운 선으로 보인다. 따라서 일반적으로 레일 공간 부근의 영역에 대해서 캐니 에지탐색 (Canny edge detection) 후 나타나는 에지들을 이용하여 직선 형태의 수평 에지들을 선택하여 레일 공간을 찾는 과정을 생각할 수 있다. 그러나 캐니 에지탐색은 가우시안 스무딩 (Gaussian smoothing), 에지들을 구하기 위한 그레디언트 (gradient) 처리, 확실한 에지들을 남기기 위한 가지치기 (edge thinning), 히스테리시스 (hysteresis)를 이용한 에지추적 등 연산량이 많이 요구되는 일련의 처리 과정들을 거쳐야 에지들을 포함하는 데이터를 얻게 된다[1-3]. 그리고 이어서 캐니 에지탐색 결과에서 레일 공간에 해당하는 에지들을 찾기 위해 후프 (Hough) 변환을 포함한 수평 직선 형태의 에지들을 찾기 위한 연산이 더 추가되고 구현시 프로그램이 복잡하게 되는 문제가 있다[4-7].

2. Matched filter

임펄스 응답 함수가 $h(t)$ 인 선형 시불변 필터에서 입력 신호가 $s(t)$ 일 때 출력 $z(t)$ 는 식 (1)과 같이 입력 신호와 임펄스 응답 함수의 컨볼루션 (convolution)으로 표현된다[8-11].

$$z(t) = s(t) * h(t) = \int_0^t s(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (1)$$

한편 신호 $s(t)$ 와 $t=0$ 에서 대칭인 모양이면서 d 만큼 지연된 임펄스 응답 함수, 즉 $h(t) = ks(d-t)$ 일 때, 필터의 출력은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$z(t, d) = \int_0^t s(\tau)CDOTks(d-t+\tau)d\tau \quad (2)$$

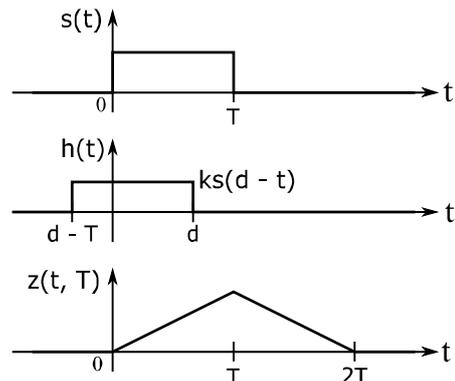


Fig. 1. Matched filter operation

그림 1에 폭이 T 인 펄스 모양의 입력 신호 $s(t)$, 임펄스 응답 함수 $h(t) = ks(d-t)$, 그리고 $d = T$ 인 임펄스 응답 함수 $ks(T-t)$ 인 경우에 식 (3)과 같이 표현된 출력 $z(t, T)$ 파형을 나타냈다.

$$z(t, T) = \int_0^t s(\tau)CDOTks(T-t+\tau)d\tau \quad (3)$$

그림 1에 나타낸 바와 같이 임펄스 응답 함수가 신호 $s(t)$ 와 일치하는 경우를 정합 필터라 하는데, 즉 임펄스 응답 함수에서 $d = T$ 인 경우, 정합 필터의 출력 $z(t, T)$ 의 출력은 $t = T$ 에서 최대값을 갖는다.

식 (3)을 수신된 신호 $r(t)$ 에 포함된 신호 $s(t)$ 를 찾는 경우에 활용하면, 식 (4)와 같이 표현될 수 있다.

$$\hat{z}(t) = \int_0^t r(\tau)CDOTks(T-t+\tau)d\tau \quad (4)$$

식 (4)에서 $t = T$ 인 경우, 식 (5)와 같이 정리된다.

$$\hat{z}(T) = \int_0^T r(\tau)CDOTks(\tau)d\tau \quad (5)$$

이 식은 입력 신호 $r(t)$ 와 찾고자 하는 신호 $s(t)$ 의 상관 (correlation)의 정의와 같고, 상관 값이 최대가 될 때 찾고자 하는 신호가 존재한다고 추정할 수 있다.

3. Analysis of rail space image

그림 2에 승강기 내부 문틀 상단 중앙에 하단을 약간 비스듬하게 향하도록 설치된 카메라에서 포착한 영상의 한 프레임을 나타냈다. 이 그림은 크기가 가로 680, 세로 480 픽셀 (pixel) 이고, 픽셀 데이터가 YUV 형식으로 표현된 영상 프레임에서 Y 성분 (명암) 을 추출하여 픽셀의 그레이 (grey) 레벨로 나타낸 것이다[12-14].

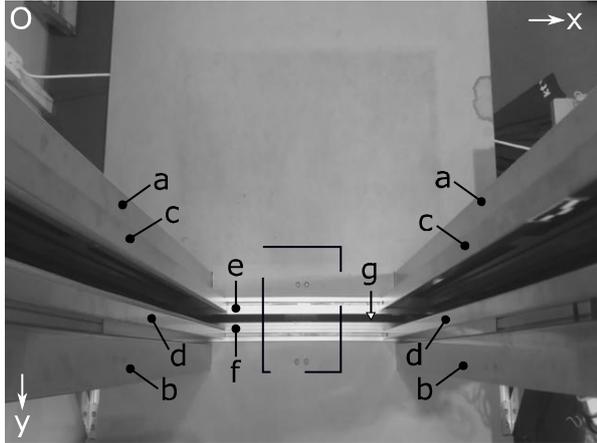


Fig. 2. Image captured by the camera

그림 2에서 승강기 외부 문 기둥 a, 내부 문 기둥 b, 외부 문 c, 내부 문 d, 외부 문 레일 e, 내부 문 레일 f, 레일 공간 g 등을 볼 수 있다. 영상에서 상단 좌측 구석을 원점 O, 가로 방향을 x 축, 세로 방향을 y 축으로 가정한다. 한 프레임의 영상으로는 승강기 문이 닫히는 중인지 또는 열리는 중인지 판단할 수 없지만, 그림에서 문틀의 측면 위치가 내·외부 문 기둥의 위치와 일치하지 않는 것으로 보아, 문이 동작하는 중에 포착된 영상으로 볼 수 있다.

이 그림은 승강기 내·외부에 설치된 조명이나 건물 밖에서 입사되는 태양광과 같은 광원 조건에서 포착된 것이므로, 승강기 문 레일 e와 f는 주변 광원에 의해 반사되어 다른 부분보다 밝게 나타나지만, 두 레일 사이의 레일 공간 g는 승강기 하부의 공간이 배경이 되므로 승강기 주변 광원으로부터 조사되는 빛이 반사될 만한 조건이 존재하지 않기 때문에 매우 어둡게 나타난다. 그리고 레일 e와 f의 모서리에 의해 표현되는 직선은, 승강기가 도착한 층과 승강기의 착상 상태에 따라, 서로 평행 또는 거의 평행에 가깝기 때문에, 레일 공간 g는 굵은 직선의 형태로 나타난다.

그림 3은 그림 2의 영상에서 승강기 문 레일 e, f와 레일 공간 g, 그리고 그 주변 픽셀들의 밝기 특성을 알아보기 위해 꼭지점들이 (300, 250), (300, 400), (340, 400), (340, 250)인 점선으로 표시된 사각형 (가로 40 픽셀 \times 세로 150 픽셀) 내부 영역의 픽셀들의 밝기를 3차원 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 화살표가 가리키는 꼭면 위의 한 점 $G(x,y)$ 는 그림 2의 영상에서 표시된 원점 O를 기준으로 좌표가 (x,y) 인 픽셀의 밝기를 의미한다. 그림 3의 밝기 그래프를 보면, 그림 2에서 밝게 나타나는 레일 영역

에서 $G(x,y)$ 가 가장 크고, 어둡게 보이는 레일 공간에서는 가장 낮고, 레일 영역과 레일 공간을 제외한 나머지 영역에서는 최대와 최소의 중간 정도 높이로 나타난다.

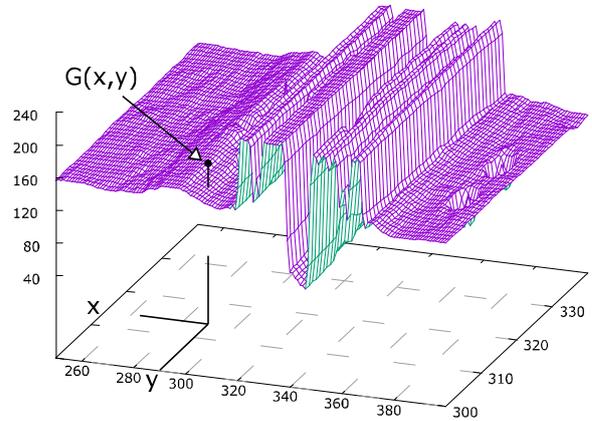


Fig. 3. Grey level representation of the pixels in the rectangular area in Fig. 2

밝기 그래프 $G(x,y)$ 를 전체적으로 볼 때, 레일 영역과 레일 공간은 마치 서로 나란하면서 길게 늘어진 두 능선과 그 사이에 존재하는 골짜기처럼 보인다. 그래서 x 축의 임의의 위치 x_a, x_b ($x_a \neq x_b$)를 지나는 수직선 위의 픽셀들에 대해, 레일 주변에서 $G(x_a,y)$ 와 $G(x_b,y)$ 는 그림 4와 같은 모양을 갖고 서로 유사한 특징을 보인다.

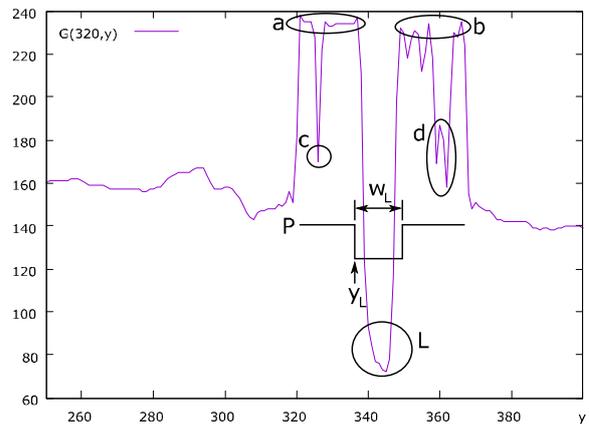


Fig. 4. $G(320,y)$: Grey level of the pixels at line $x=320$

그림 4에 $x=320$ 에서 y 축의 변화에 따라 픽셀들의 밝기 $G(320,y)$ 를 나타냈다. 그림 4에서 밝기가 약 230 이상으로 가장 밝은 a와 b 부분이 레일을 나타내고, 밝기가 80 이하로 가장 어두운 영역 L이 레일 공간을 나타낸다. 그림 2의 레일 표면에 요철과 같이 오목한 부분에서 그림자나 오염으로 인해 어둡게 보이는데, 이 부분이 그림 4에서 레일 영역 a, b보다 밝기가 상대적으로 낮은 영역 c, d로 나타난다.

그림 4에서 레일의 요철 부분으로 인한 영역 c와 d가 없는 경우 레일과 레일 공간 영역의 밝기는 그림 4의 중간에 표시한 패턴

P와 같은 모양이라 생각할 수 있다. 그리고 패턴 P와 같은 모양은 레일과 레일 공간에서만 나타나고 나머지 다른 위치에서는 나타나지 않는다. 이와 같은 특징으로 인해 앞 절에서 설명한 정합 필터의 개념을 레일 공간 탐색에 적용할 수 있게 된다. 즉, 수직선 $x = x_a$ 에 위치한 픽셀들의 밝기 $G(x_a, y)$ 값을 P와 같은 모양의 패턴을 임펄스 함수로 갖는 정합 필터에 입력시키고 출력이 최대가 되는 순간에 레일 공간 (영역 L)의 y 축 상에서 위치 y_L 과 레일 공간의 폭 w_L 이 결정될 수 있게 된다.

III. Method to find the rail space using matched filter

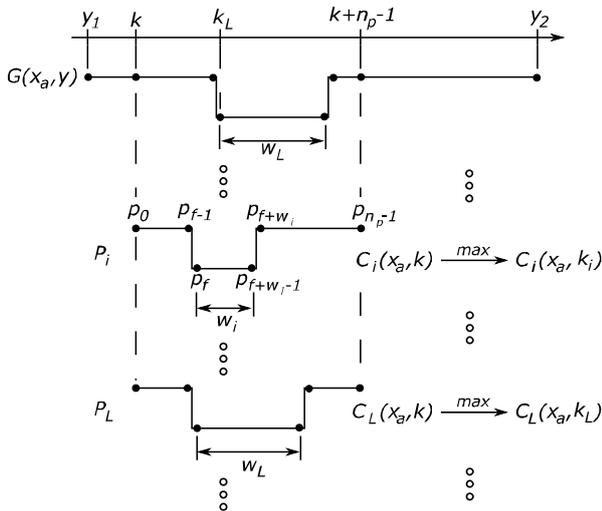


Fig. 5. The concept of finding the rail space using matched filter

앞 절에서 분석한 레일과 레일 공간 영역에서 픽셀들의 밝기 특성을 고려하여, 이 논문에서 제안하는 레일 공간의 위치와 폭을 탐색하기 위한 방법에 대한 개념을 그림 5에 나타냈다. 그림 2에 표시된 것과 같이 각각 좌표계를 설정할 때, $G(x, y)$ 는 영상 프레임을 구성하는 임의의 좌표 (x, y) 에 위치한 픽셀의 밝기를 나타낸다. 임의의 수직선 상에 위치한 픽셀들에 대해 레일 공간을 탐색하기 위해, 그림 5에서 $G(x_a, y)$ 는 영상 프레임에서 수직선 $x = x_a$ 에 위치한 픽셀들의 밝기를 의미한다. y_1 과 y_2 는 수직선 $x = x_a$ 위의 픽셀들 가운데 레일 공간을 탐색할 구간 $[y_1, y_2]$ 의 시작과 끝의 y 좌표를 의미한다. k_L 은 폭이 w_L 인 레일 공간이 시작되는 위치의 y 좌표인데, 여기에서부터 w_L 개의 픽셀들이 밝기가 가장 어두운 부분이고, 레일 공간은 $G(x_a, y)$ 에서 펄스 모양으로 나타난다.

영상에 수평의 굵은 직선이 존재한다고 가정하고, 위에서 설

명한 $G(x_a, y)$ 에서 레일 공간의 시작 위치 k_L 과 폭 w_L 을 탐색하기 위해, 폭이 w_i 인 펄스를 포함하는 패턴 P_i 를 (6)과 같이 정의한다.

$$P_i = \{p_0, \dots, p_{f-1}, p_f, \dots, p_{f+w_i-1}, p_{f+w_i}, \dots, p_{n_p-1}\} \quad (6)$$

여기에서, 패턴의 각 원소가 픽셀과 일대일로 대응된다고 할 때, n_p 는 패턴의 원소 개수, f 는 패턴에서 펄스가 시작되는 위치를 의미한다. 그리고 패턴에서 위치 j 의 패턴 값 p_j 는 식 (7)과 같이 정의되는데, 펄스 폭 w_i 에 해당되는 위치에서 -1을 갖고, 나머지 다른 위치에서는 1을 갖는다.

$$p_j = \begin{cases} 1 & (0 \leq j < f, w_i \leq j \leq n_p - 1) \\ -1 & (f \leq j < w_i) \end{cases} \quad (7)$$

이제, 직선 $x = x_a$ 의 k 번째 위치에서 시작되는 n_p 개 픽셀들의 밝기가 패턴 P_i 와 비슷한 정도를 평가하기 위한 척도, 즉 “패턴 유사도” $C_i(x_a, k)$ 를 식 (8)과 같이 정의하자.

$$C_i(x_a, k) = \sum_{j=0}^{n_p-1} \overline{G(x_a, k+j)} P_i(j) \quad (8)$$

여기서, $P_i(j)$ 는 패턴 P_i 에서 j 번째 원소를 의미한다. 그리고 $G(x_a, y)$ 가 YUV 형식의 카메라 영상 데이터에서 추출된 밝기 성분 Y의 값이므로 $[0, 255]$ 범위의 값을 갖기 때문에, $G(x_a, y)$ 에서 펄스 부분을 음의 값으로 표현하고 나머지 부분을 양으로 표현하기 위해, $\overline{G(x_a, y)}$ 를 식 (9)와 같이 정의한다.

$$\overline{G(x_a, y)} = G(x_a, y) - m_{y_1 y_2}(x_a) \quad (9)$$

여기서, $m_{y_1 y_2}(x_a)$ 는 식 (10)과 같이 정의되는데, 직선 $x = x_a$ 의 위치에서 탐색 구간 $[y_1, y_2]$ 의 픽셀들의 밝기 평균을 의미한다.

$$m_{y_1 y_2}(x_a) = \frac{1}{y_2 - y_1 + 1} \sum_{y=y_1}^{y_2} G(x_a, y) \quad (10)$$

한편, 앞 절에서 정합 필터에서 입력 신호가 전달 함수와 일치하는 순간 출력이 최대가 되는 특성을 보이므로, 위치 k 에서 “패턴 유사도” $C_i(x_a, k)$ 를 탐색 구간 $[n_1, n_2]$ 의 픽셀들에 대해 1 픽셀 단위로 위치를 변경하면서 계산한 후, 식 (11)과 같이 계산된 값들 중 최대가 되는 “패턴 유사도” $C_i(x_a, k_i)$ 를 구한다. 그러면 이때 함께 얻게 되는 위치 k_i 는 탐색 구간에서 픽셀들이 패턴 P_i 와 가장 유사한 특성을 나타내는 위치를 의미한다.

$$C_i(x_a, k_i) = \max_k \{C_i(x_a, n_1), \dots, C_i(x_a, k), \dots, C_i(x_a, n_2 - n_p + 1)\} \quad (11)$$

그런데, 식 (11)를 통해 폭이 w_i 인 펄스가 포함된 패턴 P_i 와 비교하여 가장 유사한 위치 k_i 를 구하지만, 펄스의 폭이 다른 패턴들, 즉 펄스의 폭이 $\{w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_q\}$ 와 같이 다양한 경우에 패턴들 $\{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_q\}$ 에 대해서도 식 (12)와 같이 계산하여 “패턴 유사도”가 가장 높게 나타나는 펄스 폭 w_L 을 포함하는 패턴 P_L 의 위치 k_L 을 결정한다.

$$C_L(x_a, k_L) = \max_i \{C_1(x_a, k_1), \dots, C_i(x_a, k_i), \dots, C_q(x_a, k_q)\} \quad (12)$$

여기서, q 는 탐색하는 패턴의 최대 개수를 의미한다.

한편, 그림 5에 나타난 바와 같이 각 패턴에서 펄스는 f 번째부터 시작되므로 탐색하고자 하는 레일 공간은 폭이 w_L 픽셀이고 식 (13)과 같이 표현되는 y 좌표에 위치하는 것으로 결정한다.

$$y_L = k_L + f \quad (13)$$

IV. Experimental results

1. Experimental environment

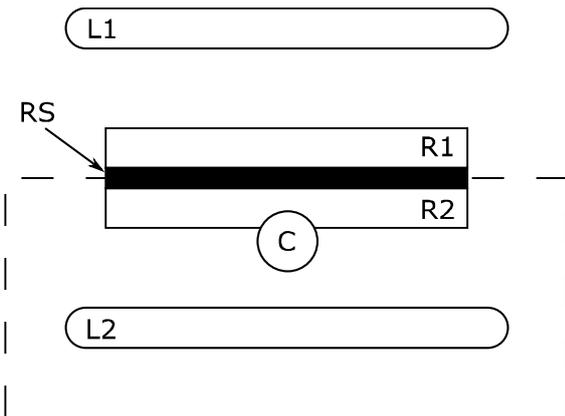


Fig. 6. The top view of the experimental environment

이 논문에서 제안된 정합 필터를 이용한 레일 공간 탐색 방법의 특성을 분석하고 실제로 적용하여 사용할 수 있는지 확인하기 위해, 그림 6과 같은 환경에서 실험용 승강기의 내·외부 조명과 바닥 면의 상태를 다양하게 변화시키면서 실험을 수행하였다. 그림 6은 실험 환경을 위에서 아래를 내려다본 그림이다. 점선 위와 아래의 영역은 각각 승강기의 외부와 내부를 의미한다. 카메라 C는 승강기 내부 문을 위의 중앙에 설치되어 바닥 면을 향하여 승강기 외부로 약간 비스듬하게 향해 있다. 카메라는 승강기 내·외부 문의 움직임,

레일의 상태, 감시 대상체의 움직임이나 상태를 관찰할 수 있는 시야의 방향이 적은 위치로 선택되었다. L1과 L2는 각각 승강기의 외부와 내부의 천장에 설치된 일자 형태의 조명이고, R1과 R2는 각각 승강기 외부 문과 내부 문이 걸쳐서 움직이는 레일들이고, RS는 내·외부 레일 사이의 공간을 나타낸다.

카메라 C는 “Raspberry Pi Camera Module v2”를 “Raspberry Pi 3 Model B+”의 CSI-2 (camera serial interface) 카메라 포트 (port)에 연결하여 사용하였고, 영상 프레임은 크기가 가로와 세로가 1280×720 픽셀이고 초당 30 프레임의 속도로 획득되었다 [14-15]. 한편, CSI-2 카메라 포트를 사용하는 경우에 비해 USB 2.0 인터페이스를 제공하는 카메라를 사용하는 경우 USB 2.0 인터페이스의 대역폭 제한으로 인해 영상 프레임의 전송율이 낮아져 압축되지 않은 동영상은 프레임의 크기가 1280x720인 경우 픽셀 데이터의 형식이 RGB 또는 YUV 형식에 따라 최대 초당 10에서 15 프레임까지 호스트 (host) 컴퓨터로 전송 가능하고 또한 전송 지연도 커진다[16-17]. 그리고 호스트 컴퓨터에서 카메라로부터 RGB 형식의 픽셀 데이터를 수신해도 픽셀의 밝기를 구하기 위해서는 변환 과정을 거쳐야 한다. 따라서 차후 USB 2.0 인터페이스를 갖고 YUV 형식을 지원하는 카메라를 사용함으로써 카메라와 호스트 컴퓨터로 사용되는 임베디드 시스템에 대한 선택의 자유도를 높이고 제안된 방법의 처리 부담을 줄이기 위해 “FFmpeg”을 이용하여 크기가 640x480 픽셀이고 픽셀 데이터가 YUV 형식을 갖는 영상 프레임으로 변환한 후 Y 성분을 추출하여 영상 프레임을 구성하여 제안된 방법의 타당성을 확인하기 위한 실험을 수행하였다[18].

2. Test under turn-on light condition

우선, 제안된 레일 공간 탐색 방법이 올바르게 동작하는지 확인하기 위해 레일 공간 탐색 범위 $[y_1, y_2]$ 를 충분히 넓게 설정하고 조명 조건을 다양하게 설정하면서 실험을 수행하였다. 그림 7은 그림 6에 나타난 실험 환경에서 조명 L1, L2를 모두 점등 (L1 : ON, L2 :ON)한 상태에서, 수직선 $x = 320$ 위치의 픽셀들 중 탐색 범위 $[y_1, y_2] = [140, 440]$ 에 대해 레일 공간을 탐색하는 실험을 수행할 때 한 순간의 화면을 포착하여 나타난 것이다. 그림 7에서 탐색 범위의 시작과 끝은 두께가 1 픽셀이고 길이가 150 픽셀인 흰색 수평 선분으로 각각 $y_1 = 140$ 과 $y_2 = 440$ 의 위치에 표시되었다.

그리고 실험을 수행하면서 레일 공간 탐색 결과를 시각적으로 확인하기 위해, 길이가 40 픽셀이고 두께가 탐색된 레일 공간 폭과 같은 흰색 수평 선분을 이용하여 탐색된 위치에 나타냈다. 그림 7에 나타난 영상 데이터를 조사해 보면 탐색된 레일 공간 y_L 은 340에 위치하고, 두께 w_L 은 9를 갖는 것으로 나타난다. 그리고 탐색된 레일 공간을 나타내는 굵은 흰색 선분은 영상에서 내·외부 레일 사이의 검정색 굵은 실선 위에 동일한 두께로 겹쳐서 표시된 것으로 보아 제안된 방법으로 올바르게 레일 공간을 탐색하는 것을 확인할 수 있다.

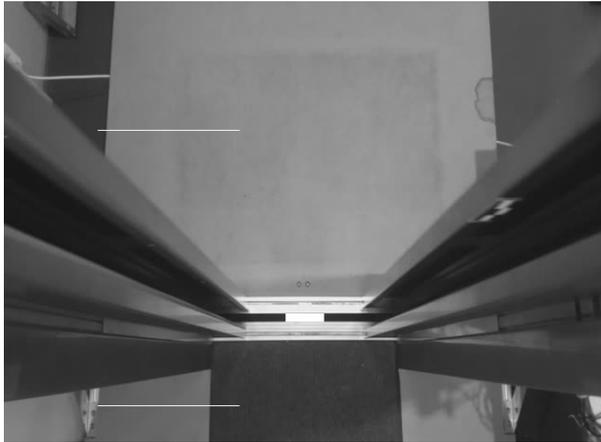


Fig. 7. $x = 320$, $[y_1, y_2] = [140, 440]$, $(L1, L2) = (ON, ON)$

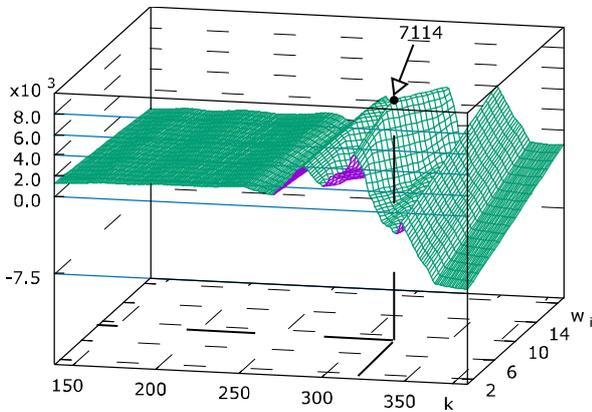


Fig. 8. Pattern similarity $C_i(x_a, k) : x = 320$, $[y_1, y_2] = [140, 440]$, $(L1, L2) = (ON, ON)$

한편, 그림 7에서 탐색된 레일 공간이 흰색으로 표시되기 전의 영상 프레임에 대해, 앞 장에서 제안된 방법에서 식 (8)에 정의된 수직선 $x = x_a$ 의 위치 k 에서 식 (6)의 폭이 w_i 인 펄스를 포함하는 패턴 P_i 와 비슷한 정도를 의미하는 “패턴 유사도” $C_i(x_a, k)$ 를 그림 8에 그래프로 나타냈다. 실험에서 사용한 패턴은 길이가 50 픽셀로서 식 (6)에서 $n_p = 50$ 이고, 폭이 w_i 인 펄스 부분의 패턴 값은 $p_f = \dots = p_{f+w_i-1} = -1$ 이고 나머지 위치 패턴 값들은 모두 1로 설정했다. 패턴 내에서 펄스가 시작되는 위치는 $f = 20$ 이다. 그리고 패턴 P_i 내의 펄스의 폭 w_i 가 2 픽셀인 경우부터 20 픽셀까지 순차적으로 증가된 19개 패턴들을 만들고 각 패턴과 탐색 구간의 픽셀들에 대해 패턴 유사도를 구하였다.

그림 8의 상단 그래프는 탐색 범위 전체에서 각 패턴 펄스 폭 w_i 에 대해 패턴 유사도를 나타내는데 패턴 유사도가 대략 -7.0×10^3 과 $+7.0 \times 10^3$ 사이의 값을 갖는 것으로 나타난다. 그림에서 비교적 평탄한 평면을 갖는 좌측 영역은 그림 7의 영상에서 승강기 외부의 바닥면에 해당하는데, 이 영역에서는 레일들보다는 어렵게 나타나지만 명암의 변화가 크지 않다.

탐색 범위에서 전체적으로 탐색하는 패턴의 시작 위치가 300 부근에서 점진적으로 증가하다가 최대를 보인 후 점진적

으로 감소하는 모양인데, 이것은 그림 1에 나타난 정합 필터의 출력과 비슷한 특성을 갖는 것으로 볼 수 있다. 패턴 유사도 그 래프에서 최고점의 값은 7114로서 $(k_L, w_L) = (320, 9)$ 에 위치 함을 알 수 있다. 이것은 탐색 범위 내의 위치 $k_L = 320$ 에서 펄 스의 폭이 $w_L = 9$ 인 패턴과 최대 유사도를 갖는다는 것을 의 미한다. 그런데, 실험에서 패턴 내에서 펄스가 $f = 20$ 에 위치하 도록 설정되었으므로, 펄스의 폭과 일치하는 레일 공간의 위치 는 식 (13)과 같이 $y_L = 320 + 20 = 340$ 과 같이 계산된다.

3. Test under turn-off light condition

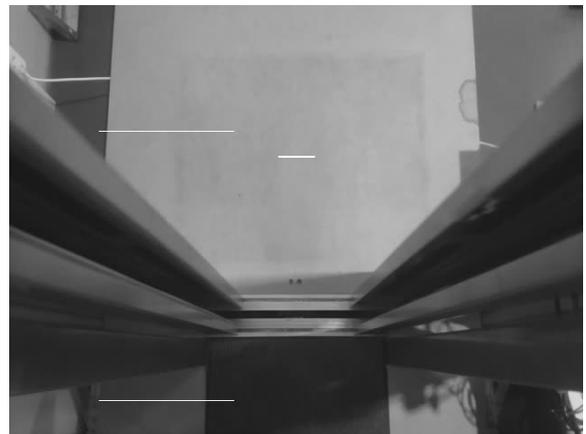


Fig. 9. $x = 320$, $[y_1, y_2] = [140, 440]$, $(L1, L2) = (OFF, OFF)$

그림 9는 앞의 실험과 동일한 조건에서 조명 L1, L2를 모두 소등 ($L1 : OFF, L2 : OFF$) 한 경우에 대해 실험을 수행하면 서 한 순간의 화면을 포착하여 나타낸 것이다. 그림 9의 영상 중앙에서 탐색 범위 $[y_1, y_2] = [140, 440]$ 중 y_1 에 가까운 위 치에 흰색 선분으로 표시된 실험 결과는 레일 공간의 위치 y_L 이 168이고, 두께 w_L 은 2를 갖는 것으로 나타난다. 그런데 이 것은 두께 9이고 $y = 340$ 에 위치하는 실제 레일 공간과는 전 혀 다른 결과를 보여주고 있다.

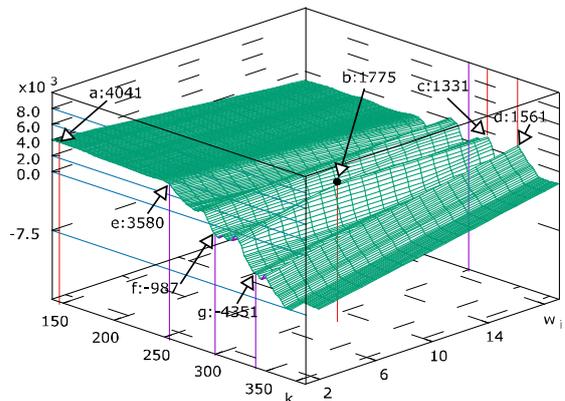


Fig. 10. Pattern similarity $C_i(x_a, k) : x = 320$, $[y_1, y_2] = [140, 440]$, $(L1, L2) = (OFF, OFF)$

이와 같이 레일 공간을 잘못 결정할 원인을 조사하기 위해, 그림 9 영상의 탐색 범위에서 패턴 유사도를 구하여 그림 10에 나타냈다. 조명 L1, L2가 모두 소등된 상태에서 구한 그림 10의 패턴 유사도는 조명 L1, L2가 모두 점등 상태에서 구한 그림 8의 패턴 유사도와 전체적으로 비슷한 모양을 갖는다. 탐색 범위의 y좌표가 250보다 작은 승강기 외부의 영역에서는 패턴 유사도가 평면에 가까운 형태로 변화가 거의 없지만, 레일 부근에서 마치 나란한 세 개의 산맥처럼 보인다. 포착된 영상을 관찰하면, 조명이 모두 점등된 그림 7의 영상에서는 레일이 반사되어 승강기 외부의 영역보다 밝게 나타나고 레일 공간에서 가장 어둡게 나타난다. 반면에, 조명 모두 소등 상태인 그림 9의 영상에서는 레일 부분의 밝기가 주변의 외부 빛이 조사되는 승강기 외부의 영역보다 오히려 어둡게 나타난다. 이러한 이유로 인해 그림 10의 패턴 유사도에서는 승강기 외부 영역에서 패턴 유사도가 레일 부근보다 큰 값을 갖는 것으로 나타난다. 그림 10의 3차원 그래프로 표현된 패턴 유사도의 데이터 파일을 분석하여 패턴 유사도 그래프의 특성을 판단하는데 도움이 되는 주요 점들 $\{a, b, c, d, e, f, g\}$ 에 대해 패턴 유사도 값을 표시하였다. 그림 10의 패턴 유사도에서 최대값을 갖는 점은 점 a인데, 이 점은 패턴 위치가 $k_L = 148$ 이고, 두께는 $w_L = 2$ 이다. 따라서 패턴에서 펄스가 시작되는 위치 $f = 20$ 을 고려하면, 두께가 2인 레일 공간의 위치는 $y_L = 168$ 로 결정되기 때문에 그림 9의 영상에서 흰색으로 표시된 레일 공간의 위치와 일치한다.

한편, 패턴의 위치 k 가 250보다 큰 영역에서 점 f, g 주변과 같이 그 바닥이 $k = 300$ 과 $k = 340$ 에 위치한 골짜기 형태는 승강기 내·외부 문이 겹쳐서 동작하는 요철 모양이 이상적인 수평선 형태의 패턴 레벨과 다르기 때문에 나타나는 현상이다. 이 부분으로 인해 패턴에서 펄스의 폭을 가변시키면서 탐색할 때 레일 공간을 올바르게 탐색하는데 장애 요인이 되기도 한다. 따라서 이러한 문제에 대해 학습을 통해 얻은 레일 공간 위치의 대략적인 범위와 두께를 활용하여 정확도를 높일 수도 있다.

그리고 점 f와 g 사이의 위치 $k = 320$ 부근에서 능선처럼 나타나는 곳에서 능선을 따라 올라가면 $w_i = 9$ 인 위치에서 극대점 b가 표시되어 있는데, 이 점의 좌표가 레일 공간의 실제 위치와 두께를 의미한다. 따라서 위에서 설명한 요소들을 반영하여 탐색 범위를 설정하고 레일 공간을 탐색한 결과를 그림 11에 나타냈다.

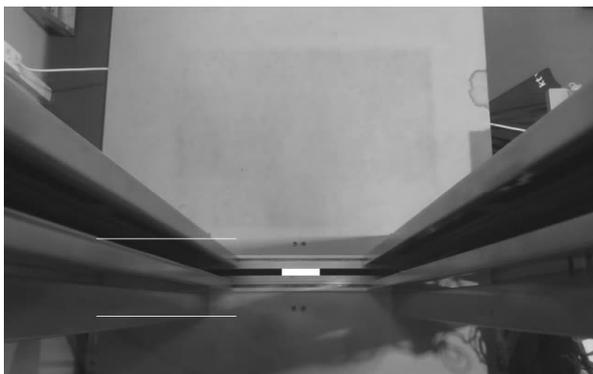


Fig. 11. $x = 320$, $[y_1, y_2] = [300, 400]$, $(L1, L2) = (OFF, OFF)$

그림 11은 그림 9와 동일한 조명 조건, 즉 L1, L2를 모두 소등 ($L1 : OFF, L2 : OFF$) 인 조건이지만, 그림 10의 패턴 유사도 특성을 관찰하고 특성을 분석하여 이전보다 탐색 범위가 1/3 정도로 작은 주변의 외부 빛이 조사되지 않는 영역으로 레일 공간 탐색 범위를 $[y_1, y_2] = [300, 400]$ 으로 설정하여 실험한 결과이다. 그림에서 굵은 흰색 선분으로 표시된 레일 공간 탐색 결과는 실제 레일 공간 위에 겹쳐서 표시되어서 조명 L1, L2가 모두 소등되더라도 탐색 범위를 적당히 제한하는 경우 제안된 방법으로 레일 공간을 정확히 찾고 있다.

지금까지의 분석 결과를 보면, 외부 레일, 레일 공간, 내부 레일의 밝기와 같은 모양을 갖는 패턴과의 유사도는 승강기 내·외부의 조명 상태와 관계없이 전체적으로 비슷한 모양을 갖는데, 조명이 켜진 경우에는 레일 공간에서 가장 큰 값을 갖고, 조명이 꺼져서 승강기 외부에서 더 밝은 영역이 존재하는 경우에는 레일 영역보다 승강기 외부 영역이 더 크게 나타난다. 따라서 이 논문에서 제안된 방법을 적용하여 레일 공간을 탐색하면, 조명이 켜진 경우는 넓은 범위에서 레일 공간을 정확하게 결정하지만, 조명이 꺼져서 레일 주변이 외부보다 어두운 경우에는 올바르게 결정하지 못하는 특성을 보인다. 그러나 조명이 꺼진 경우에도 레일 공간 탐색 범위를 레일 주변을 포함하는 범위로 적당하게 줄여서 설정하는 경우 레일 공간의 위치를 정확하게 결정함을 알 수 있다. 따라서 넓은 영역에서 조명 변화에 관계없이 올바르게 레일 공간을 찾기 위해서는 학습 과정이나 레일 주변의 영상 특성을 판단할 수 있는 부가적인 방법이 필요하다.

V. Conclusions

이 논문에서 승강기의 내부 문틀 상단에 설치되어 하단을 향하도록 설치된 카메라로 포착된 영상에서 승강기 내·외부 문의 하단부가 겹쳐서 동작하도록 요철 모양의 구조를 갖는 바닥 레일들 사이의 공간에 대해 정합 필터를 이용하여 실시간으로 그 위치를 찾고 두께를 결정하기 위한 방법에 대해서 연구되었다. 캐니 에지탐색 방법을 적용하여 직선 형태의 모서리를 갖는 특징이 있는 내·외부 레일의 에지들을 포함한 데이터를 얻은 후 이를 분석하여 레일 공간의 위치와 폭을 결정하는 방법은 원 영상으로부터 최종 결과를 얻을 때까지 이를 구현하기 위한 프로그램이 복잡하고 연산량이 많아 사고 방지를 위한 승강기 문 영역의 감시와 같이 동영상에서 매 영상 프레임에 처리하여 탐색한 결과를 실시간으로 활용하는 임베디드 시스템에 활용하기에는 어려움이 많다. 이러한 문제에 대해 개선된 방법을 찾기 위해 레일 공간을 포함한 주변 영상의 밝기를 분석하였다. 그 결과 프레임 내에서 수평의 어떤 위치에서 수직선을 이루는 픽셀들이 레일 주변 영역을 포함하는 경우, 주변의 조명이 레일 표면에서 반사되기 때문에 수직선 위의 픽셀들의 밝기는 내·외부 레일에서 상대적으로 밝고 레일 공간에서 가장 어두운 특징을 갖는 것으로 나타났다.

그리고 통신 시스템에서 수신되는 신호 중에서 알고 있는 특정 패턴의 신호 부분을 탐색하기 위해 활용되는 정합 필터 개념을 적용하는 방법으로 필터의 임펄스 응답 함수가 펄스 형태인 경우에 대해서 임펄스 응답 함수를 대칭 시킨 모양이 수신된 신호의 펄스 부분과 겹치는 위치에서 필터가 최대값을 갖는 성질과 그 계산 과정을 설명하였다.

정합 필터의 특성을 활용하여 임펄스 응답 함수로서 레일 주변의 밝기 변화와 같은 모양을 갖되 레일 공간에 해당하는 펄스의 폭을 조절할 수 있는 패턴에 대해 영상의 어떤 좌표에서 시작되는 수직선 위치한 픽셀들이 패턴과 비슷한 정도를 나타내는 패턴 유사도를 정의하였다. 그리고 영상에서 선택된 위치의 수직선을 이루는 픽셀들에 대해 주어진 탐색 범위에서 패턴의 펄스 폭을 설정하고 패턴 유사도를 구하는 과정을, 패턴 내의 펄스 폭을 새로운 값으로 변경하면서, 반복적으로 수행하여 궁극적으로 패턴 유사도가 최대인 위치와 펄스 폭을 찾는 방법을 제안하였다.

제안된 방법의 특성을 확인하기 위해 조명 조건을 다양하게 변화시키면서 실험을 수행하고 분석하였다. 실험 결과 레일 주변에서 패턴 유사도는 조명이 밝고 어두움에 관계 없이 비슷한 모양을 갖는 것으로 나타난다. 조명이 켜져 있는 경우에는 다른 영역에 비해서 레일 주변의 패턴 유사도가 높게 나타나고, 조명이 꺼져서 레일 영역이 어둡고 상대적으로 밝은 다른 영역이 존재하는 경우에 레일 주변의 패턴 유사도의 모양은 조명이 켜진 경우와 비슷하지만 패턴 유사도 값은 다른 영역보다 낮게 나타나는 특성을 보인다. 따라서 조명이 켜진 경우에는 이 논문에서 제안된 패턴 유사도를 이용하여 크기가 640x480 픽셀 규격의 영상에서 선택된 위치의 수직선 상의 픽셀들에 대해 탐색 범위가 수직으로 약 63% 정도로 넓은 지역에서 레일 공간의 위치와 폭을 올바르게 찾지만, 조명이 꺼진 경우에는 신뢰성 있는 결정을 위해 탐지 범위를 약 20 %정도로 줄이고 레일 영역 주변으로 제한해서 사용해야 한다.

또한 제안된 방법은 패턴 데이터 수 만큼의 곱셈과 합으로 이루어지는 패턴 유사도의 연산량을 탐색 범위에서 연산이 패턴 유사도가 계산되는 위치 수와 패턴의 펄스 폭 개수의 곱 만큼 반복한 후 패턴 유사도의 최대값과 그 위치가 결정되므로 구현할 때 가우시안 스무딩, 그레디언트 처리, 가지치기, 히스 테리시스 적용 처리 등의 과정을 거치는 캐니 에지탐색 결과에 후프 변환을 사용하여 구한 직선들을 활용하는 방법에 비해 프로그램의 구조가 간단하게 표현되는 특징이 있다.

향후, 이 논문에서 제안된 방법이 인위적으로 조성되는 조명을 이용할 수 없는 경우에 탐색 범위를 좁게 사용해야 하는데, 이러한 문제를 개선하기 위해 탐색된 결과 외에 레일 공간의 특징을 판단할 수 있는 추가적인 방법을 이용하거나 신경 회로망을 이용한 학습 기능을 추가하는 것에 대한 연구가 필요하다. 또한 레일이 오염된 경우에도 신뢰성 있게 레일 공간을 탐색하는 방법, 그리고 실제 시스템에 제안된 방법을 도입하여 사용할 때 승강기의 문이 닫히면서 탐색하는 위치의 레일 공간이 사라

지는 경우 직전까지 탐색한 결과를 활용하는 방법에 대해서도 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-8, no. 6, pp. 679-698, Nov. 1986.
- [2] R. Szeliski, "Computer Vision : Algorithms and Applications," Springer, pp. 210-219, 2011.
- [3] I. S. Oh, "Computer Vision," Hanbit Academy, Inc., pp. 131-135, 2014.
- [4] R.O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures," Comm. ACM 15, pp. 11-15, 1972.
- [5] P. V. C. Hough, "Method and Means for Recognizing Complex Patterns," U.S. Patent No. 3069654, 1962.
- [6] J. Illingworth and J. Kittler, "A Survey of the Hough Transform," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol. 44, pp. 87-116, Oct. 1988.
- [7] P. Mukhopadhyay and B. Chaudhuri, "A Survey of Hough Transform," Pattern Recognition, vol. 8, pp. 993-1010, Issue 3, Mar. 2015.
- [8] A. Papoulis, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes," McGraw-Hill, pp. 298-300, 1984.
- [9] J. G. Proakis, "Digital Communications," McGraw-Hill, pp. 142-143, 1983.
- [10] B. Sklar, "Digital Communications : Fundamentals and Applications," Prentice-Hall, pp. 88-92, 1988.
- [11] G. L. Turin, "An Introduction to Matched Filters," IRE Trans. on Information Theory, 6, pp. 311-329, 1960.
- [12] Z. He and S. Natarajan, "De-Interlacing and YUV 4:2:2 to 4:2:0 Conversion on TMS320DM6446 Using the Resizer," Texas Instrument Application Report SPRAAK3B, Dec. 2008.
- [13] Y. Yang, Y. Peng, and Z. Liu, "A Fast Algorithm for YCbCr to RGB Conversion," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 53, no. 4, pp. 1490-1493, Nov. 2007.
- [14] K. Lim, G. Kim, and K. Baek, "A Multi-lane MIPI CSI Receiver for Mobile Camera Applications," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 56, issue 3, pp. 1185-1190, Aug. 2010.
- [15] NXP Semiconductors, "MIPI-CSI2 Peripheral on i.MX6 MPUs," Application Note, AN 5305, Rev. 0, Jul. 2016.
- [16] N. Korver, "Adequacy of the Universal Serial Bus for Real-time Systems," University of Twente, Tech. Rep.

009CE2003, 2003.

- [17] L. Ramadoss and J. Y. Hung, "A Study on Universal Serial Bus Latency in a Real-time Control System," In IEEE Industrial Electronics, pp. 67-72, Nov. 2008.
- [18] F. Korbil, "FFmpeg Basics : Multimedia Handling with a Fast Audio and Video Encoder," CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012.

Authors



Myong-Lyol Song received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronics Engineering from Yonsei University, Korea, in 1985, 1988 and 1996, respectively. Dr. Song joined the faculty of the Department

of Information & Communication Engineering at Hoseo University, Asan, Korea, in 1996. He is currently a Professor in the Department. He is interested in computer networks, wireless network interference, embedded systems, deep learning, and computer vision.