

## 지능형 철도 시스템 모델 개발을 위한 컬러비전 기반의 소형 기차 위치 측정

### Estimation of Miniature Train Location by Color Vision for Development of an Intelligent Railway System

노 광 현, 한 민 흥  
(Kwang-Hyun Rho and Min-Hong Han)

**Abstract** : This paper describes a method of estimating miniature train location by color vision for development of an intelligent railway system model. In the real world, to control trains automatically, GPS(Global Positioning System) is indispensable to determine the location of trains. A color vision system was used for estimating the location of trains in an indoor experiment. Two different rectangular color bars were attached to the top of each train as a means of identifying them. Several trains were detected where they were located on the track by color feature, geometric features and moment invariant, and tracked simultaneously. In the experiment, the identity, location and direction of each train were estimated and transferred to the control computer using serial communication. Processing speed of up to 8 frames/sec could be achieved, which was enough speed for the real-time train control.

**Keywords** : intelligent railway system, color vision

#### I. 서론

컴퓨터비전(Computer Vision)은 자동 제어를 위한 계측 수단으로 폭넓게 사용되고 있다. 특히, 탐지할 대상체의 형태가 복잡하지 않고, 주위 환경과 조도가 일정할 경우 효과적으로 사용될 수 있다. 컴퓨터비전 처리가 적용되는 대부분의 문제들에 주로 흑백비전시스템이 사용되고 있다. 하지만, 인식할 대상체의 컬러정보를 이용할 수 있는 문제의 경우에는 컬러영상처리로 원하는 결과를 보다 쉽게 얻을 수 있다.

자율주행차량, AGV(Automatic Guided Vehicle) 등의 개발과 같이 옥내외의 다양한 육상 운송 수단들을 지능화 및 자동화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 시점에서 다른 운송 수단과 비교하여 많은 사람과 물류를 수송할 수 있는 기차의 자동운행에 관한 연구가 진행되고 있다. 기존의 철도 시스템에 지능형 운송 및 제어 기술을 적용하여 기차의 위치를 실시간으로 정확하게 탐지하고 최적 경로를 결정하여 기차의 속도와 이동 경로를 자동으로 제어하여 운행의 효율성을 높이고, 심각한 충돌사고를 예방하고자 하는 것이 지능형 철도 시스템(Intelligent Railway System)이다.

본 논문에서는 실제 지능형 철도 시스템을 구축하기 전 단계 작업으로 실내에 구축된 소형 철도 시스템에서 소형 기차들의 실시간 최적 경로 산출, 기차 속도 및 경로 제어 등을 컴퓨터에 의해 자동으로 수행할 수 있는 지능형 철도 시스템 모델 개발 과제 중 컬러비전처리를 수행하여 이동 중인 여러 대의 기차를 구분하고 각 기차의 위치 및 진행 방향을 측정하는 방법에 대해 설명한다. 실제 철도 시스템에서는 GPS 로 기차의 절대 위치를 연속적으로 측정할 수 있다. 실내에서 GPS 역할을 대신하기 위한 방법으로 컴퓨터비전 기

법을 사용하였다. 소형철도세트는 컴퓨터와의 통신을 통해 여러 대의 소형 기차들의 속도와 방향을 원격으로 제어할 수 있도록 구성되었다.

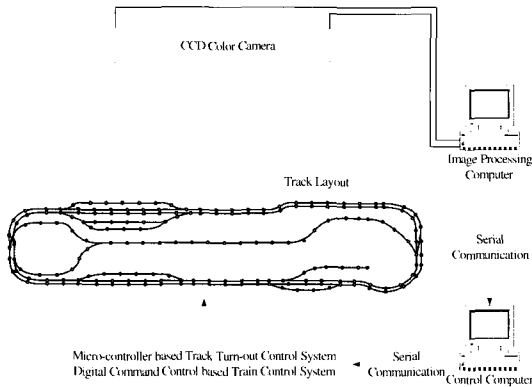
컴퓨터비전으로 소형 기차를 인식하기 위해서는 인식용 표식이 필요하였고 두 가지 방법이 고려되었다. 첫 번째 방법은 직사각형 형태이고 동일한 면적이며 서로 다른 컬러를 갖는 한 쌍의 컬러바(color bar)를 기차 위에 부착하고 컬러영상처리로 컬러바를 인식하여 여러 기차들의 위치를 동시에 추적하는 것이다. 두 번째 방법은 서로 다른 적외선 LED 배열 형태를 구성하여 기차 위에 장착한 후, 흑백영상처리로 적외선 LED 불빛을 탐지하여 기차를 인식하는 것이다. 두 번째 방법을 사용할 경우에는 적외선 LED 가 인식하기에 너무 작게 나타나고, 소형기차에 적외선 LED 를 설치시 전원을 공급해야하는 문제점이 있다. 컬러바를 사용하면 제작이 간단하고 기차에 변형을 가하지 않고도 쉽게 수정할 수 있으며 인식하기에 충분한 크기를 갖고 있는 장점이 있다. 따라서 최종적으로 소형기차 인식용 표식으로 컬러바를 사용하였다. 컬러비전으로 구분할 색들간의 색상 차이가 클수록 구분하기 쉬워지므로 RGB 컬러모델을 HSV 컬러모델로 변환한 후 구분이 쉬운 색상들을 선택하고, 두 가지 컬러로 구성되는 하나의 컬러바를 만들어 기차 위에 장착하고 컬러영상처리로 소형기차의 고유 번호, 위치 및 방향을 측정하고 이 결과를 직렬통신으로 기차 제어용 컴퓨터로 전송하도록 하였다.

본 논문은 컬러영상처리를 이용한 특수한 응용 분야에 해당하므로 기존의 방법들과 비교하지 않고, 유사한 예로 로봇축구경기에서 특정 컬러로 구분되는 각 축구로봇의 위치와 방향을 측정하는 시스템이 있다. 오렌지색의 골프공과 3.5cmx3.5cm 크기 이상의 파랑색 또는 노란색의 탐색을 로봇 위에 가지고 있으며 이것으로 상대팀과 자기팀을 구별한다. 경기장 위에 설치된 카메라와 비전보드로 구성된 비전

논문접수 : 2002. 7. 9., 채택확정 : 2002. 12. 10.

노광현 : 고려대학교 정보통신기술공동연구소(khrho@dreamwiz.com)

한민흥 : 고려대학교 산업시스템정보공학과(mhhan@korea.ac.kr)



(a) 지능형 철도 시스템 구성도



(b) 소형 철도 시스템 모습

그림 1. 지능형 소형 철도 시스템.

Fig. 1. Intelligent and miniature railway system.

시스템을 이용하여 각 축구로봇의 위치와 방향, 그리고 공의 위치 정보를 얻는다[1].

**II. 지능형 철도 시스템**

본 연구를 위해 소형으로 제작된 지능형 철도 시스템의 전체적인 구성과 모습은 그림 1 과 같다. 실험대 위에 소형기차와 철도로 구성된 실험 세트를 설치하고, 두 대의 카메라를 시축이 실험대에 수직으로 향하도록 설치하였다. 카메라의 출력 영상이 실험대 절반 영역을 포함할 수 있도록 카메라의 설치 높이와 화각을 고려하여 카메라를 선택하였다. 입력 영상을 처리하여 기차들의 위치 및 방향을 측정 후 이 결과를 직렬통신을 통해 제어컴퓨터에 전달한다. 소형기차 내부의 마이크로컨트롤러는 철도를 통해 제어컴퓨터에서 명령을 받아 기차의 속도, 방향 및 기타 부가 장치를 제어한다. 제어 방법은 NMRA (National Model Railroad Association)에 의해 채택된 명령제어표준인 DCC (Digital Command Control)가 사용된다[2]. 이 방법은 전기 신호 전송이 가능한 철도를 통해 패킷으로 구성된 제어 명령을 bi-polar 신호를 사용하여 각각의 기차에 전송하고, 동시에 철도에서 얻은 전기로 기차 바퀴를 회전시키는 DC 모터를 구동시킨다. 또한, 철도상의 분기점은 제어컴퓨터에서 전송된 명령을 마이크로컨트롤러에서 해석한 후 자동으로 제어할 수 있어 기차 경로의 실시간 변경이 가능하다.

지능형 철도 시스템 모델 개발을 위한 첫 번째 단계에서는 다양한 운행 경로에 대한 실험을 수행하기 위해 그림 1 과 같이 철도를 배치하였다. 두 번째 단계에서는 제어컴퓨터에서 기차와 철도 분기점을 제어하기 위한 명령을 자동으로 전달할 수 있는 인터페이스 장치 구성이었다. 세 번째 단계는 컬러영상처리를 통해 철도를 운행하는 여러 기차들의 위치 및 방향 정보를 측정하여 제어용 컴퓨터에 전달하는 작업이며 본 논문에서 설명하는 내용이다. 최종 단계에서는 전 단계에서 얻은 결과들을 통합하여 지능형 철도 시스템 모델을 구축하는 것이다.

**III. 컬러모델과 컬러바 특징**

**1. HSV 컬러모델**

컬러영상처리를 수행하기 위해서는 컬러모델을 결정해야 한다. 인간의 시각시스템이 컬러를 감지하여 표현하는 방법에는 여러 컬러모델이 있는데 그 특성에 따라 서로 다른 분야에 적용되고 있다. 영상처리를 위해 주로 사용되는 컬러모델에는 HSV, HSI, HSB 등이 있는데 본 연구에서는 사람의 컬러인식방법과 비슷하고 프로그램 구현이 용이한 HSV 컬러모델을 사용하였다. HSV 는 각각 Hue(색상), Saturation(채도), Value (명도)를 나타내며, HSV 컬러모델은 그림 2 와 같다[3,4].

HSV 컬러모델에서 Hue 는 색깔을 파장에 따라 분리한 것으로 수직축을 중심으로 회전하는 회전각으로 표시된다. Hue 는 0~360 의 값을 갖고 보색기리는 180°반대편에 위치한다. Saturation 은 색깔의 순수도로서 광학적으로 순수할수록 값이 크고, 흰색이 섞일수록 값이 작아지며, 0~1(0~100%)사이의 값을 갖는다. 중심축에 가까울수록 채도가 0 에 가까워지고, 바깥쪽으로 나올수록 1 에 가까워진다. Value 는 빛의 밝기를 나타내며, 육각뿔의 꼭지점에서 최상부까지 0~1(0%~100%) 값을 갖는다. 따라서 V=1(100%), S=1(100%)이면 순수한 색상이 되며 V=1(100%), S=0(0%)이면 흰색이 된다.

HSV 컬러모델을 사용하기 위해서는 영상처리보드에서 사용하는 RGB 컬러모델에서 HSV 컬러모델로의 변환이 필요하고 (1)에 의해 수행된다. 변환된 HSV 컬러 요소인 Hue, Saturation, Value 의 값은 0~1 사이의 소수값을 갖게 되는데, 이 범위에서는 색을 직관적으로 구분하기 어렵고 소수를 사용해야 하므로 프로그램으로 구현하기에 적당하지 않다. 따라서, 3 가지 요소의 값의 범위를 Hue 는 0~360, Saturation 은 0~100, Value 는 0~100 인 정수로 변환하여 사용한다.

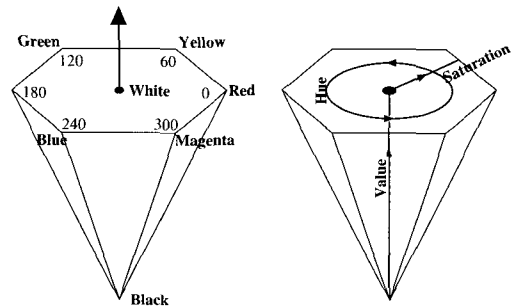


그림 2. HSV 컬러모델.

Fig. 2. HSV color model.

$$Value = Max(R, G, B) / 255$$

$$Saturation = \frac{Max(R, G, B) - Min(R, G, B)}{Max(R, G, B)}$$

$$Hue = \begin{cases} \left( \frac{G - B}{Max(R, G, B) - Min(R, G, B)} \right) / 6 & \text{if } R = Max(R, G, B) \text{ and } (G - B) \geq 0 \\ \left( 6 + \frac{G - B}{Max(R, G, B) - Min(R, G, B)} \right) / 6 & \text{if } R = Max(R, G, B) \text{ and } (G - B) < 0 \\ \left( 2 + \frac{B - R}{Max(R, G, B) - Min(R, G, B)} \right) / 6 & \text{if } G = Max(R, G, B) \\ \left( 4 + \frac{R - G}{Max(R, G, B) - Min(R, G, B)} \right) / 6 & \text{if } B = Max(R, G, B) \end{cases} \quad (1)$$

실행 프로그램에서는 RGB 컬러모델과 HSV 컬러모델간 변환을 위해 lookup table 을 만들어 RGB 컬러값에 해당하는 HSV 컬러값을 참조하는 방식을 사용하였다.

2. 컬러바 특징

각각의 기차를 식별하기 위한 방법으로 두 컬러로 구성된 컬러바를 제작하여 소형기차 위에 부착하였다.그림 3 은 소형기차에 컬러바를 부착하기 전후의 모습을 나타낸다.

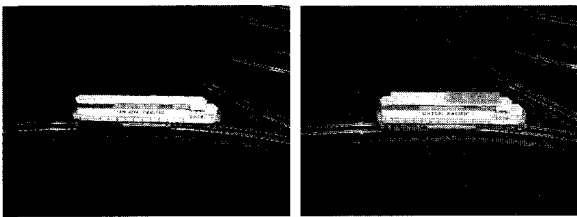


그림 3. 컬러바가 부착된 소형기차.

Fig. 3. Miniature train that a color-bar is mounted.

직사각형 형태의 컬러바 크기는 9.5cm×2cm 로 정했고, 4.75cm×2cm 의 크기로 이루어진 두 컬러바를 합쳐서 만들었다. 5 가지 색으로 컬러바를 조합했기 때문에 10 대의 기차를 구분할 수 있었다. 그림 4는 컬러바를 탐지하기 위해 사용되는 특징량을 나타내며, (X,Y) 는 영상좌표계, (x,y) 는 기차 좌표계를 의미한다.

컬러바를 추출하여 위치와 방향을 측정하기 위해 컬러 특징, 기하학적 특징, 모멘트를 이용한 특징이 사용되었다. 컬러 특징은 컬러바들의 색상을 의미하며, 컬러바의 5 가지 컬러는 HSV 컬러모델 3 차원상에서 각각의 영역이 확실히 구분되는 빨간색, 녹색, 파란색, 노란색, 흰색을 선택하였다. 흰색 영역은 Saturation 과 Value 에 의해서만 결정되고, 흰색을 제외한 컬러영역은 Hue, Saturation, Value 에 의해 결정되었다. 기하학적 특징에는 컬러바 면적, 장단축 길이, 장단축 비율이 사용되었다. 모든 컬러바는 직사각형의 동일한 크기이지만, 영상에서 컬러바 영역을 추출하면 여러 가지 요인에 의해 정확한 직사각형 형태로 나타나지 않는다. 하지만, 3 가지

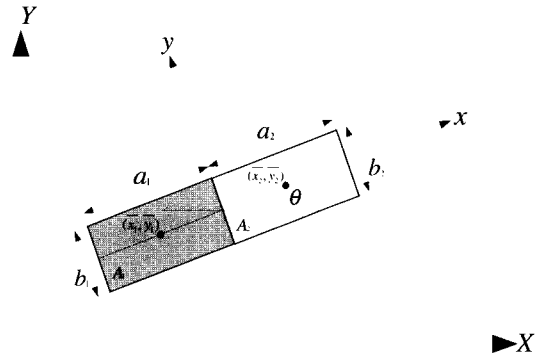


그림 4. 컬러바의 특징.

Fig. 4. Features of a color-bar.

$a_1, a_2$ : 컬러바 장축 길이

$b_1, b_2$ : 컬러바 단축 길이

$A_1, A_2$ : 컬러바 면적(총 회소수)

$(\bar{x}_1, \bar{y}_1), (\bar{x}_2, \bar{y}_2)$ : 컬러바 무게중심(중심 위치)

$\theta$ : 컬러바 장축과 영상 X 축의 각도

특징값은 일정 범위에 포함된다. 컬러바 면적과 장단축 길이는 그림 4에 나타나 있고, 장단축 비율(axis ratio)은 (2)로 계산된다. 컬러바의 장단축 비율이 약 0.421(2/4.75)이므로 (2)의 값과 이 값의 차이가 적어야 컬러바 후보로 선택할 수 있다.

$$axis\ ratio = \frac{b_1}{a_1} \text{ or } \frac{b_2}{a_2} \quad (2)$$

도형의 형상을 구분하는데 중요하게 적용할 수 있는 것에 모멘트를 이용한 특징이 있다. 모멘트(moment) 개념은 영상 처리시 대상체 형태에 대한 특징량을 구하는데 매우 실용적이고 유용한 방법으로, 모멘트 특징량은 대상체의 확대, 축소 및 회전과 상관없이 일정한 값을 갖는 특징이 있다[5]. 디지털 영상  $f(x,y)$  의 모멘트  $m_{ij}$  는 다음과 같이 정의된다.

$$m_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j f(x,y)$$

여기서  $i, j$  는 모멘트의 차수이고,  $x, y$  는 영상의 수평 및 수직 좌표이다. 0 차 모멘트  $m_{00}$  는 이진화 영상의 경우 영상내 대상체의 면적이 된다. 1 차 모멘트  $m_{10}$  와  $m_{01}$  은 영상의 무게 중심에 대한 정보를 제공한다. 2 차 모멘트  $m_{20}$  와  $m_{02}$  는 각각 X 축과 Y 축에 대한 영상의 관성 모멘트(moment of inertia)를 의미한다. 영상의 무게 중심  $\bar{x}$  및  $\bar{y}$  는 0 차 모멘트와 1 차 모멘트를 이용해서 (3)으로 구해진다. 무게 중심  $\bar{x}$  와  $\bar{y}$  는 영상  $f(x,y)$  의 균형점으로, 영상  $f(x,y)$  의 질량이  $\bar{x}$  를 중심으로 좌우측이 동일하며,  $\bar{y}$  를 중심으로 상하측이 동일함을 나타낸다. 무게 중심을 이용하여 (3)과 같은 중심 모멘트(central moment)인  $\mu_{ij}$  가 정의된다.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{m_{10}}{m_{00}} & \bar{y} &= \frac{m_{01}}{m_{00}} \\ \mu_{ij} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^i (y - \bar{y})^j f(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

영상내의 대상체 형태에 대한 특징은 중심 모멘트를 사용하여 구할 수 있다. 본 논문에서는 대상체의 장단축 길이와 영상의 X 축과 대상체 장축의 각도(orientation of major axis)인  $\theta$  를 구하는데 모멘트를 사용하였다. (4)에서 컬러바의 장단축 길이의 근사값을 구할 수 있고[6], (5)에서 컬러바 장축의 기울기를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} a_1, a_2 &\approx \sqrt{2} \sqrt{(\mu_{20} + \mu_{02} + \sqrt{((\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2)}) / m_{00}} \\ b_1, b_2 &\approx \sqrt{2} \sqrt{(\mu_{20} + \mu_{02} - \sqrt{((\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2)}) / m_{00}} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right) \quad (5)$$

#### IV. 컬러바 인식

위에서 설명한 특징을 사용하여 컬러바를 인식하기 위한 절차는 그림 5 와 같다.

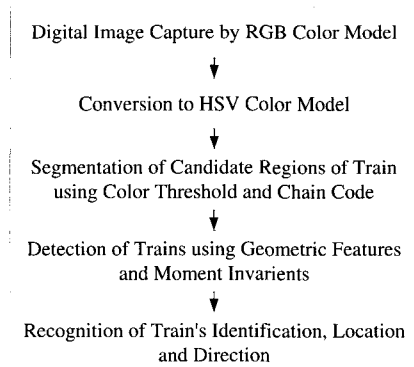


그림 5. 컬러바 인식 절차.

Fig. 5. Process for color-bar recognition.

##### 1. 컬러바 후보 영역 추출

컬러카메라의 입력영상에서 컬러바를 찾기 위해서는 우선 컬러바의 후보영역을 분할한다. 이를 위해 앞에서 언급한 컬러바의 컬러 특징, 기하학적 특징, 모멘트 특징량을 사용한다. 먼저 입력영상에서 컬러바의 컬러 특징을 띄는 모든 영역을 찾아낸다. HSV 컬러모델에서 컬러바에 사용된 5 가지 컬러에 해당하는 영역을 결정 짓는 분할문턱값(segmentation threshold)의 범위를 결정한다. HSV 컬러모델에서 임의의 한 픽셀은 3 차원상의 한 점에 해당하므로 컬러바의 컬러값도 3 차원상에서 정의되어야 한다. Hue, Saturation, Value 각각의 3 가지 요소에 의해 결정되는 컬러들의 범위를 집합  $D_R, D_G, D_B, D_Y, D_W$  로 정의한다.  $f(x, y)$  를 입력영상 좌표  $(i, j)$  의 컬러값으로 정의하면 영상의 모든 화소는 (6)에 의해 6 가지로 분류된다.

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{for } f(i, j) \in D_R \\ 2 & \text{for } f(i, j) \in D_G \\ 3 & \text{for } f(i, j) \in D_B \\ 4 & \text{for } f(i, j) \in D_Y \\ 5 & \text{for } f(i, j) \in D_W \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (i, j) \in ROI \quad (6)$$

여기서  $D_R, D_G, D_B, D_Y, D_W$  는 HSV 컬러모델의 부분집합이다. 컬러바는 넓은 영상 영역 중에서 기차 경로에만 나타나므로 이 영역에서만 컬러바 추출부터 추적까지의 모든 작업을 수행하는 것이 효과적이다. 기차 경로와 주변 영역을 ROI (region of interest)로 정의하고 이 영역에 포함되는 화소들에 대해서만 (6)을 적용하여 6 가지로 분류한다. ROI 영역은 본 연구에 사용된 컬러바보다 약간 큰 컬러바를 기차에 장착하고 모든 경로를 순회시켜 이 컬러바가 지나는 영역으로 결정하였다. 다음 단계에서는  $g(i, j)$  로 변환된 영상에서 각 영역을 분류하기 위해 영역 경계선을 찾는데 유용한 4-direction 체인코드(chain code) 기법을 사용한다[7].

##### 2. 컬러바 추출

전 단계에서 다수의 후보 영역이 추출되지만 일부 영역은 컬러바의 형태와 일치하지 않는다. 따라서 3.2 절에서 설명한 컬러바의 기하학적 특징을 이용하여 컬러바에 적합하지 않은 영역들을 제거한다. 첫 번째 특징은 영역내의 총화소수를 의미하는 면적이다. 각 영역의 면적은 체인코드에 간단한 산술 명령을 첨가하여 체인코드 수행과 동시에 면적을 구할 수 있는 알고리즘을 사용하였다[7]. 면적의 크기가 영상내 컬러바의 면적과 큰 차이가 없어야 한다. 두 번째 특징은 영역의 장축과 단축 길이이다. 모멘트를 이용하여 영역의 장단축 길이를 구할 수 있고, 이 값들도 일정 범위에 포함되어야 한다. 세 번째 특징은 장단축의 비율(axis ratio)이며 이 값도 일정 범위에 포함되어야 컬러바의 후보로 선택할 수 있다. 세 가지 특징을 모두 만족하면 컬러바 후보로서 선택하고 컬러바 병합을 위해 컬러바의 중심점과 (5)를 이용하여 장축의 기울기를 구한다.

##### 3. 컬러바 병합

탐지된 컬러바들의 위치와 방향 정보를 사용하여 두 개의 컬러바로 병합되어 한 대의 기차를 나타내는 한 쌍의 컬러바를 결정한다. 이를 위해서 사용된 특징량은 두 컬러바 중심간 거리와 두 컬러바의 장축 기울기이다. 두 컬러바의 중심점 거리는 컬러바 장축의 거리와 비슷해야하고, 두 컬러바의 장축 기울기 차이의 절대값은 일정값보다 작아야하며, 두 컬러바의 중심점을 연결한 직선의 기울기와 두 컬러바의 장축 기울기 차이의 절대값도 일정값보다 작아야 한다. 본 연구는 고정된 실험 환경에서 영상처리가 이루어지기 때문에 컬러바를 병합하는데 위의 3 가지 조건만으로 쉽게 병합된 컬러바를 찾을 수 있다. 영상의 왼쪽 상단을 원점으로 할 때 병합된 컬러바 중 진행 방향에 위치한 컬러바의 중심점 좌표값을 기차의 위치로 정의한다. 모든 기차를 탐지하여 위치 데이터를 추출한 후에 이 결과값을 직렬통신을 통해 제어 컴퓨터에 전송한다.

4. 컬러바 추적

영상 처리 초기 단계에서는 여러 대의 기차 위치를 찾기 위해서는 철로 전체 영역에 대해 조사를 수행해야 하므로 계산량이 많다. 하지만, 각각의 기차 위치가 측정된 후에는 각 기차의 위치를 중심으로 기차의 다음 위치를 포함할 수 있는 탐색 영역을 정의하고 매 프레임마다 그 탐색창 영역내의 화소들만을 검사하는 탐색창 추적(search window tracking) 방법을 사용하여 처리 속도를 향상시킨다.

현재 프레임에서 기차를 탐지한 후 다음 프레임에서 기차를 탐지하기 위한 탐색창의 위치는 그림 6의 기차 선로를 기반으로 쉽게 예측된다. 탐색창의 크기는 컬러바의 크기와 기차의 최대 이동속도를 고려하여 설정하였고, 기차의 위치에 따라 다른 크기의 탐색창을 적용하였다.

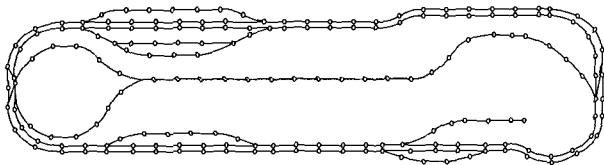


그림 6. 기차 선로.  
Fig. 6. Railroad.

5. 좌표 변환

영상 좌표계에서 추출된 기차의 위치 좌표를 철도 좌표계로 변환하는 과정이 필요하다. 영상 좌표계와 철도 좌표계 모두 2 차원 좌표계이고, 그림 1과 같이 두 좌표 평면이 평행하게 위치하므로 철도 좌표계는 영상 좌표계를 X, Y 축에 대해 스케일 변환과 평행이동 변환함으로써 얻어진다. 영상 좌표계에서 추출된 기차의 위치 좌표를 (I, J), 철도 좌표계에서의 기차 위치 좌표를 (X, Y)라 하고, 영상 좌표계에서 기차가 존재할 수 있는 직사각형 영역의 대각선 꼭지점 좌표를 (I<sub>min</sub>, J<sub>min</sub>), (I<sub>max</sub>, J<sub>max</sub>)로 정의하고, 이 직사각형 영역에 해당하는 철도 좌표계에서의 실제 직사각형 영역의 가로 길이와 세로 길이를 각각 T<sub>w</sub>, T<sub>h</sub>라고 정의하면, 영상 좌표계와 철도 좌표계는 (7)의 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \times T_w \\ Y &= \frac{J - J_{\min}}{J_{\max} - J_{\min}} \times T_h \end{aligned} \quad (7)$$

V. 실험 결과

소형철도가 장착된 실험대의 넓이는 가로 367cm, 세로 122cm이다. 카메라는 실험대 중심의 천정에 수직으로 설치되었고, 실험대로부터 카메라까지의 거리는 190cm이다. 소형철도의 폭은 1cm이고, 소형기차의 길이는 7.5cm~10.5cm까지 다양하며, 높이는 2cm~3.5cm, 기차폭은 2cm이다. 실험에 사용된 소형기차와 철도시스템은 컴퓨터 및 기타 제어장치와 연결되어 DCC에 의해 기차들의 속도, 방향 및 기타 부가 장치를 조절할 수 있고 철로 분기점도 자동으로 변경할 수 있도록 구성되었다.

실험에 사용된 컬러시스템은 Pentium-II 350MHz, 영상처리 보드는 Matrox사의 Meteor-II, 컬러카메라는 소니사의 SSC-DC330을 사용하였다. 컬러이미지 해상도는 640x480xRGB 24bit를 사용하였고, 각 RGB의 8비트 중 하위 비트들은 컬러영역 결정에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 상위 6비트만을 사용하여 HSV용 lookup table을 만들어 사용하였다. 최대 60cm/s의 속도로 운행할 수 있는 소형기차 최대 10대를 추적하는데 초당 8 프레임을 처리할 수 있었다.

실험에 사용된 5가지 컬러들의 HSV 컬러모델 컬러문턱값을 표 1과 같이 설정하여 사용하였다.

표 1. HSV 컬러모델 컬러문턱값.  
Table 1. Color threshold of HSV color model.

	Hue (0-360)		Saturation (0-100)		Value (0-100)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Red( D <sub>R</sub> )	35	85	30	100	60	100
Green( D <sub>G</sub> )	180	200	30	100	60	100
Blue( D <sub>B</sub> )	270	330	35	100	50	100
Yellow( D <sub>Y</sub> )	100	140	30	100	50	100
White( D <sub>W</sub> )	0	360	0	10	95	100

이 값들은 실험장소의 조도를 고려하여 컬러바를 인식하기 적절하도록 설정되었고, 프로그램 구현이 편리하도록 Hue 값을 60씩 증가시켜 빨간색의 중심 Hue 값이 60이 되도록 설정하였다. 철로는 진녹색천으로 덮인 실험대 위에 설치되었기 때문에 위의 컬러들과 쉽게 구분이 가능했다.

그림 7(a)(b)는 소형철도에서 실험전에 진녹색천 위에 여러 컬러바를 임의로 배치시키고 탐지한 결과이다. 그림 7(a)는

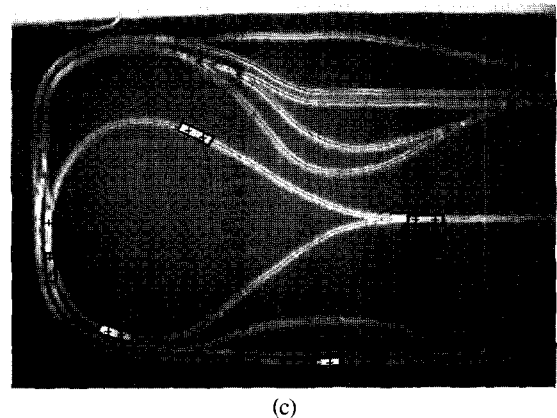
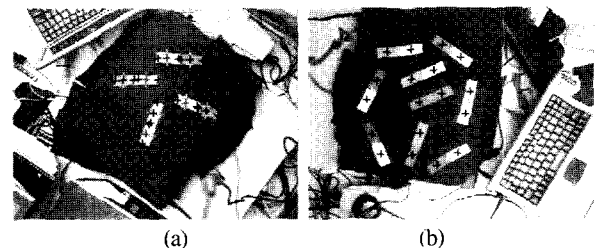


그림 7. 컬러바 인식 결과.  
Fig. 7. Results of color-bar recognition.

컬러바의 중심점 및 장단축이 경계선과 만나는 위치에 십자 모양의 표식을 나타냈고, 그림 7(b)는 컬러바의 중심과 병합된 컬러바의 중심점에 표식을 나타냈다.

그림 7(c)는 한쪽 카메라 입력 영상에서 컬러바를 탐제한 5대의 기차를 탐지한 결과이다. 검은색 십자 표식은 컬러바 중심점을 나타내고, 검은색 직사각형은 한 쌍의 컬러바에 의해 기차로 인식된 결과이다. 카메라의 화각이 커짐에 따라 그림 7(c)와 같이 컬러바의 크기가 상대적으로 작아지지만 컬러바를 탐지하기 위해 사용된 특징량들의 임계값들을 영상내에 나타나는 컬러바의 크기를 고려하여 재조정하면 컬러바를 쉽게 찾을 수 있었다. 그림 7(c)를 살펴보면 대부분의 컬러바들이 한 쌍으로 나타나지만 왼쪽 부분에 한 쌍의 컬러바를 나타내는 십자표시와 별도로 윗부분에 십자 표시가 나타남을 볼 수 있다. 이것은 선로의 일부 구간에서 단일 컬러바의 특성을 나타내는 영역이 존재하기 때문에 나타나는 현상이다. 카메라의 특성, 조도 상태, 카메라와 조명등 위치 등의 조건이 철로와 컬러바의 컬러에 영향을 미치기 때문에 컬러바가 존재하지 않는 철로상에서 단일 컬러바가 추출되는 경우가 발생하였다. 하지만 기차의 인식은 컬러바의 색상과 순서가 결정되어 있는 한 쌍의 컬러바에 의해 결정되므로 위의 문제는 해결할 수 있었다.

제안한 방법으로 측정된 기차의 위치값은 기차 좌표계에서 최대 0.8cm의 오차를 보였다. 기차 선로와 컬러바의 폭이 2cm이며, 인접한 두 기차 선로간에 약 1cm의 간격이 있기 때문에 위의 최대 오차가 발생하더라도 기차의 위치값은 주행 중인 선로내에 존재하기 때문에 기차의 주행 경로를 인접한 선로로 오인식하는 경우는 없었다. 선로 분기점 진입시 기차의 경로를 정확하게 결정하기 위해 기차의 위치뿐만 아니라 기차의 진행 방향도 함께 고려하였다. 영상의 가장자리에서 발생할 수 있는 왜곡현상은 기차 위치를 결정하는데 큰 영향을 미치지 않았기 때문에 고려하지 않았다. 그리고, 본 실험의 목적은 여러 대 기차의 선로상 위치를 측정하여 기차들의 자동 경로 설정, 자동 속도 조절을 수행하는데 필요한 자료를 제공하는 것이었기 때문에 탐지된 기차의 속도 측정

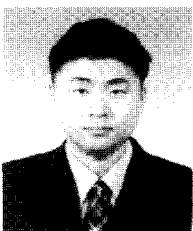
을 수행하지 않았다. 탐지된 기차의 위치값은 RS232C를 사용한 직렬통신을 통해 화상처리용 컴퓨터에서 제어용 컴퓨터로 전달된다.

## VI. 결론

본 논문에서는 지능형 철도 시스템 모델 개발을 위한 과제 일환으로 실내에 설치된 소형 철도 시스템에서 컬러바 전처리로 소형 기차들을 구분하여 위치와 방향을 측정하는 방법을 설명하였다. 빨간색, 녹색, 파란색, 노란색, 흰색의 5가지 컬러 중 서로 다른 두 컬러를 이용하여 일정 크기의 컬러바를 만들어 기차 위에 부착하고 이 표식을 탐지하여 철로상의 기차를 인식하였다. HSV 컬러모델에서의 각각의 컬러들의 소속 영역은 Hue, Saturation, Value에 의해 결정되며 컬러바를 탐지하는 컬러 특징으로 사용된다. 이 특징으로 분할된 영역들은 체인코드에 의해 각각의 대상으로 분류되고, 기하학적 특징인 컬러바의 면적, 장단축 길이 및 비율과 모멘트를 이용한 특징인 컬러바 장축의 기울기에 의해 컬러바가 탐지된다. 다음 단계에서는 두 가지 컬러로 병합된 컬러바를 찾아 최종적으로 컬러바를 부착한 소형기차의 위치 및 방향을 측정할 수 있었다. 본 논문에서 설명된 방법은 실험 환경이 고정되고 컬러 특징 및 단순한 기하학적 특징을 갖는 대상체를 인식하는 문제에 적용될 수 있을 것이다.

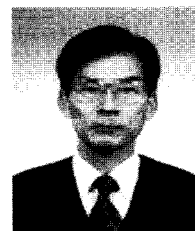
## 참고문헌

- [1] 김종환, 로봇 축구 시스템, 대영사, 2000.
- [2] S. Ames, R. Friberg, Ed Loizeaux, "Digital command Control - the comprehensive guide to DCC", Allt om Hobby AB, 1998.
- [3] J. Gomes, L. Velho, *Image Processing for Computer Graphics*, Springer, 1997.
- [4] A. Low, *Introductory Computer Vision and Image processing*, McGRAW-HILL, 1991.
- [5] I. Pitas, *Digital Image Processing Algorithms*, Prentice Hall, 1995.
- [6] F. Heijden, *Image Based Measurement Systems*, Wiley, 1994.
- [7] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, PWS Publishing, 1999.



노 광 현

1971년 3월 16일생. 1995년 고려대학교 산업공학과(공학사). 1997년 고려대학교 산업공학과(공학석사). 2001년 고려대학교 산업공학과(공학박사). 2002년 프랑스 Ecole des Mines de Paris 한국과학기술원 박사후 연수과정. 현재 고려대학교 정보통신기술공동연구소, 관심분야는 컴퓨터비전, 지능형 자동차, 근거리 이동통신.



한 민 흥

1942년 3월 2일생. 1964년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1973년 University of Minnesota 산업공학과(공학석사). 1981년 ~1982년 숭실대학교 산업공학과 조교수. 1985년 Georgia Institute of Technology 산업공학과(공학박사). 1985년~1988년 Texas A&M University 산업공학과 조교수. 1988년~1990년 포항공과대학 산업공학과 부교수. 1991년~현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 정교수. 관심분야는 지능형 자동차, 지능 로봇, ITS, 컴퓨터비전.