

Neural Network를 이용한 고무 타이어의 돌출 문자 인식

°김경민*, 박중조*, 김민기**, 박귀태*
*고려대학교 전기공학과, **고려대학교 의용전자공학과

Raised Characters Recognition of Rubber Tires using Neural Network

°Kyoung Min Kim*, Joong Jo Park*, Min Gi Kim**, Gie Tae Park*
*Dept. of Electrical Eng., Korea Univ..
** Dept. of Biomedical Electronic Eng., Korea Univ.

Abstract

This paper presents the problem of automatically recognizing embossed or molded characters which are raised from the side wall on rubber tire. In the tire image, objects have approximately the same gray-value as the background, and because of the tire geometry, illumination of the surface is nonhomogenous. Therefore it is difficult to recognize the raised tire character.

In this paper, for describing the process of preprocessing three steps have been proposed: 1) MIN & MAX smoothing operation filter, 2) edge detection algorithm using modified laplacian operator, 3) noise rejection. Afterwards, segmentation is done to attain characters from tire image by projection method. The recognition of the characters in the segmented image is carried out by using multilayered neural network, which is insensitive to the noise.

I. 서론

패턴 인식은 고도의 영상 해석 시스템에서 필수적인 분야이다. 전형적인 컴퓨터 비전 시스템의 목적은 주어진 배경에서 영상을 해석하여 배경내의 내용을 인식하는 것이다.[1][2] 이와 같은 시스템은 로보트 공학, remote sensing, 문서 처리, 산업 자동화등 여러 분야에서 사용중이다. 특히, 공장자동화에 있어, 양각으로 새기거나 주형된 문자의 인식을 위한 관심이 높아가고 있다. 최근에는 이의 자동화를 위한 시도로서 화상 처리 기법을 이용한 연구가 진행되고 있다. 한 예로 E. v. Hinciber 등은 지식 기반 기술(knowledge - based technique)을 이용한 돌출 문자 인식에 관한 연구를 수행했는데[3] 각각의 phase에 있어 규칙에 대한 조건들을 사용자가 정해야 한다는 점과 각각의 지식 기반을 위한 조건들의 갯수의 증가로 인한 시간상의 문제가 있었다. 또, 한 시도는 게조치 연속 길이 행렬과 동시 발생 행렬을 이용한 타이어 접지면 패턴 분류 알고리즘 연구가 타이어 분류를 위해 제안되기도 했으나 이 또한 서로 다른 타이어에도 같은 접지면 패턴을 갖는 경우가 있기에 타이어 분류에는 미비한 점이 있었다.[4][5]

본 논문에서는 타이어와 같은 공업 제품의 표면에 존재하는 양각 문자에 대해 화상처리기법을 이용하여 인식을 수행한다. 그러나 기존의 인쇄된 문자가 대부분 bimodal 분포를 갖는 것과는 달리 우리가 인식하고자 하는 타이어의 양각 문

자 부분은 배경과 거의 동일한 계조치 분포를 갖는 unimodal 분포를 갖는다는 문제점이 있다. 또한 타이어 영상의 경우, 타이어의 문자 부분과 배경은 동일한 재질로 되어 있기 때문에 거의 유사한 계조치를 가지며, 타이어의 기하학적 모양상 그 표면의 조명이 균일하지가 않다. 게다가 타이어 영상 자신의 배경상의 잡음등으로 돌출 문자의 윤곽선을 추출하기란 쉽지 않다.

이러한 문제점을 고려하여 본 논문에서는 크게 전처리 알고리즘과 인식 알고리즘으로 나누어서 설명되어 진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 전처리 과정으로서 입력 영상을 명확화하여 돌출된 타이어 문자의 에지 성분을 찾기 위해 새로운 윤곽선 추출 알고리즘을 제안하고 잡음 제거 및 부영에 의한 문자의 추출 방법에 대해 기술한다. 3장에서는, 앞에서 추출된 각 문자를 신경 회로망에 의해 인식하는 과정을 설명한다. 4장에서는 앞에서 서술한 전체 알고리즘을 실제 타이어에 적용하여 그 실험 결과에 대해 고찰하고, 마지막 5장에서는 본 논문에 대한 결론을 실었다.

II. 전처리

전처리 알고리즘은 세 단계로 나뉘어 질 수 있는데, 그 첫번째는 먼저 돌출 문자에 대한 에지 검출을 용이하게 하기 위한 명확화 단계이고, 두번째 단계는 인식 대상인 돌출 alpha-numeric 문자의 에지 성분을 찾아 내는 것이며, 세번째 단계는 이치화된 영상에서 불필요한 잡음(noise)을 제거하는 단계이다. 이러한 과정을 거쳐 잡음이 제거된 이치 영상에 대해 우리가 인식해야 할 alpha-numeric 문자들을 각각 추출하여 인식 부분으로 넘겨진다.

본 장에서는 타이어 문자 인식을 위한 전처리 단계로서 입력 영상에 대한 명확화 단계와 alpha-numeric 문자에 대한 윤곽선 추출 그리고 noise제거 방법에 대해 서술한다.

1 명확화 연산과 영상 강조 (Smoothing & Enhancement)

전처리 단계는 타이어 영상에서 문자 부분을 배경으로부터 구분하여 문자 인식 과정에서 손쉽게 처리할 수 있도록 해주는 과정이다. 일반적으로 인쇄된 문자 영상과 같이 영상이 단지 물체와 배경(two-class image)으로 구성되어지는 경우는 영상의 히스토그램이 bimodal 분포를 갖기 때문에 두 극점이 잘 구분되어 임계값을 쉽게 발견할 수 있다. 그러나, 실제적인 문제에서는 인쇄된 문자 영상과는 달리 영상의 히

스토그램이 뚜렷한 bimodal 분포가 아니라 문자 부분과 배경 모두가 어느 정도 광범위한 계조값의 분포를 가지게 되는 경우가 많아, 두 극점을 분리하기가 쉽지 않다.[6][7]

특히, 타이어 영상의 경우, 타이어의 문자 부분과 배경은 동일한 재질로 되어 있기 때문에 거의 유사한 계조치를 가지며, 타이어의 기하학적 모양상 그 표면의 조명이 균일하지가 않다. 게다가 타이어 영상 자신의 배경상의 잡음 등으로 둘출 문자의 윤곽선을 추출하기란 쉽지 않다.

그래서, 둘출 문자 부분과 배경의 분할을 좀 더 용이하게 하기 위해 입력 영상에 대해 먼저 평활화 연산을 할 필요가 있다. 일반적으로 영상에 대한 평활화 연산은 잡음을 제거하기 위해 사용되나 평활화 연산은 잡음 제거와 동시에 원화상의 첨예도를 잃어버리는 단점이 있다. 일반적인 평활화 연산자로는 averaging 연산자와 median filter 등이 있으나 본 논문에서는 영상의 첨예도를 보존하기 위해 비선형 filter이며, 논리적 평활화 연산을 행하는 MIN & MAX 연산자를 사용한다.

이를 윤곽선 추출 이전 단계의 영상에 적용할 경우 디지털 영상에서의 잡음 제거 효과를 가져오며, 또한 계조치 변화에 대해 더 정교한 조건을 규정하도록 함으로써 윤곽선 추출을 용이하게 할 수 있다. 본 논문에서 사용한 MIN & MAX 평활화 연산자는 다음과 같다.[8]

그림 1와 같이 어떤 좌표(i,j)를 중심으로 한 M×N 평방 영역의 각 점에서의 grey level값을 구해서, 영역내의 가장 작은 값과 가장 큰 값을 각각 평활화 영상의 새로운 농도값 f(i, j)으로 하는 방법이며, 수식으로 표현하면 다음과 같다.

→ i

↓	(i-1, j-1)	(i, j-1)	(i+1, j-1)
J	(i-1, j)	(i, j)	(i+1, j)
	(i-1, j+1)	(i, j+1)	(i+1, j+1)

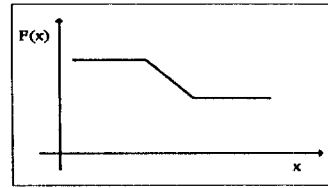
그림 1. 평활화 조작을 행하는 3×3 영역

$$s(i, j) = \prod_{\substack{u \\ v}} g(i, j) = \min_R g(i, j) \quad (1)$$

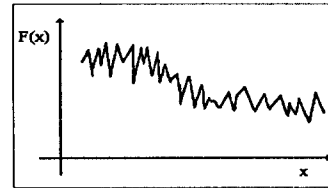
$$f(i, j) = \prod_{\substack{u \\ v}} s(i, j) = \max_R s(i, j) \quad (2)$$

여기서 $g(i, j)$ 는 입력 영상의 (i, j) 위치에서의 계조치이며, R은 (i, j)를 중심으로한 마스크 크기(window size)를 의미한다. MIN 연산은 $g(i, j)$ 의 계조값이 영역 R내의 최소 화소값인 $s(i, j)$ 로 치환되는 연산을 의미한다. 그리고, 같은 방법으로 MAX 연산은 MIN 연산을 거친 결과값을 다시 (i, j) 좌표를 중심으로하는 영역 R내의 최대 화소값으로 $f(i, j)$ 로 치환한다. $s(i, j)$ 값과 $f(i, j)$ 는 마스크 크기에 의존하며 R이 클수록 영상에 있어 blurring(smoothing)효과는 더 크다.

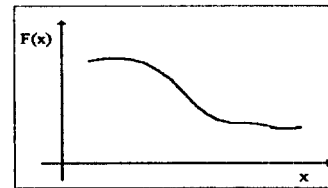
MIN & MAX 평활화 연산은 고립점을 제거할 뿐 만 아니라, 문자 성분과 배경 성분의 계조치 차를 균등하게 분포하게끔 하는 역할을 한다. 일반적인 평활화 연산자의 단점인 화상의 첨예도를 잃어버리는 문제가 다소 포함되긴 하지만 타이어 영상에 있어서는 별로 문제가 되지 않는다. 왜냐하면, 윤곽선 추출을 위한 본 알고리즘의 목적은 배경에 대한 둘출 문자 부분의 명확한 구별을 위해 각 영역내의 계조치 분포를 균등하게하여 윤곽선 추출을 용이하게 하기 위함이기 때문이다. 그림 2는 본 평활화 기법의 효과를 보인다. 다음 절에서는 이러한 MIN & MAX 연산을 취한 영상에 대한 윤곽선 추출 방법을 서술한다.



(a) 이상적인 에지 영상



(b) 실제 에지 영상



(c) 평활화된 에지 영상

그림 2. 평활화 연산의 효과

2. 윤곽선 추출

윤곽선 추출은 평활화 연산과는 달리 영상의 특정 주파수 성분, 즉 문자의 경계 부분을 강조하여 영상 중의 윤곽선 정보나 미세한 명암의 변화를 강조시키는 처리 방법이다. 윤곽선 추출에 관한 논문은 무수히 발표되었으며 지금도 계속 연구되어지고 있는 분야이다. 그러나 윤곽선 추출에 사용되는 연산자들은 대부분이 취급되는 영상에 의존(image dependent) 하는 경향을 가지고 있다. 그 중 가장 널리 사용되는 에지 연산자는 Robert 연산자, Sobel 연산자, Prewitt 연산자 그리고 Laplacian 연산자들을 들 수 있다. 그러나 이러한 연산자들은 본 논문의 대상인 타이어의 영상에는 앞 절에서 언급한 이유때문에 잘 동작하지 않음을 알 수 있다. 그래서 본 논문에서는 타이어의 특성을 고려하여 라플라시안 연산자를 변형한 새로운 연산자를 제안한다.

2.1 고전적인 라플라시안 연산자

(classical laplacian operation)

디지털 영상처리에 자주 사용되는 라플라시안 연산자는 2차 미분으로 정의된 식(3)에 대한 수학적 근사치이다.

연속치에서의 미분값은 이산치에서는 차분값으로 바뀌므로 직교 방향 즉, X 방향(0°) 및 Y 방향(90°)에 대해 이를 근사화하여 표시하면 식(4)와 같다.

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (3)$$

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4 \times f(x, y) \quad (4)$$

즉, 이것은 중심 화소 $f(x, y)$ 와 주위 4근방 화소와의 차분을 합하는 조작에 상당한다. 또한, 8 근방 화소를 고려한다면 식(5)가 얻어질 수 있다.

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) + f(x+1, y+1) + f(x-1, y-1) + f(x-1, y+1) + f(x+1, y-1) - 8f(x, y) \quad (5)$$

위에서 구한 연산자들은 3×3 마스크 연산자로 나타낼 수가 있으며, 그림 3에 그 계수를 보인다.

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

그림 3(a)
3×3 마스크 라플라시안 연산자 (4 근방)

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

그림 3(b)
3×3 마스크 라플라시안 연산자 (8 근방)

2.2 변형된 라플라시안 연산자 (modified laplacian operator)

본 절에서는 라플라시안 연산자의 단점을 보완하며, 돌출 문자의 효과적인 윤곽선 추출을 위해 이웃하는 화소간의 비선형 조합의 설계를 제안한다.

식(3)의 이산적 근사화를 구하기 위해 먼저 각 성분의 1차 미분을 고려하면 다음과 같이 근사화된 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f(x+k, y) - f(x, y)}{\Delta x} \quad (6a)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f(x, y) - f(x-k, y)}{\Delta x} \quad (6b)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} \approx \frac{f(x, y+k) - f(x, y)}{\Delta y} \quad (7a)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} \approx \frac{f(x, y) - f(x, y-k)}{\Delta y} \quad (7b)$$

식 (3)의 우변 1항은 $f(i, j)$ 에 대해서 대칭이 되도록 정리할 경우 다음 식으로 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \approx \frac{[f(x+k, y) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x-k, y)]}{(\Delta x)^2} \quad (8)$$

같은 방법으로, 식(3)의 제 2항으로부터 다음 식으로 근사화된다.

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \approx \frac{[f(x, y+k) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x, y-k)]}{(\Delta y)^2} \quad (9)$$

여기서 k 는 sampling 간격을 의미한다.

같은 방법으로 4 방향 성분에 대해서도 고려하여 정리하면 식(10), (11)과 같이 4 방향에 대한 라플라시안 연산식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \Big|_{45^\circ} \approx \frac{[f(x+k, y-k) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x-k, y+k)]}{\Delta x \Delta y} \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x} \Big|_{135^\circ} \approx \frac{[f(x+k, y+k) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x-k, y-k)]}{\Delta y \Delta x} \quad (11)$$

이렇게 구해진 식(10), (11)이 본 논문의 적용 대상인 타이어 영상에 적용되어진다. 즉, 이 식을 타이어 영상에 적용하여 4 방향 중 최대값이 임계치를 넘기는 방향 성분이 존재하면 그 점을 윤곽선이라 판단하게 된다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } D_{0^\circ} \vee D_{45^\circ} \vee D_{90^\circ} \vee D_{135^\circ} > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

여기서, 표기 \vee 는 OR를 의미하며, D_{0° , D_{45° , D_{90° , D_{135° 는 다음과 같다.

$$\begin{cases} D_{0^\circ} = f(x+k, y) + f(x-k, y) - 2f(x, y) \\ D_{45^\circ} = f(x+k, y-k) + f(x-k, y+k) - 2f(x, y) \\ D_{90^\circ} = f(x, y+k) + f(x, y-k) - 2f(x, y) \\ D_{135^\circ} = f(x+k, y+k) + f(x-k, y-k) - 2f(x, y) \end{cases}$$

고전적인 라플라시안 연산자는 모든 방향에 대해 2차 차분값을 합하여 계산하는 반면에 제안된 연산자는 극부적인 방향 성분에 대해서만 2차 차분값을 계산함으로써 라플라시안 연산자가 가지는 단점인 잡음에 대한 민감성이 보다 둔감해지는 효과를 가져온다. 그리고 위에서 제안된 윤곽선 추출 알고리즘 식(12)에서의 k 값은 윤곽선 추출시 고려되는 화소의 샘플링 간격을 나타내며, 입력 영상의 두께에 대한 정보를 알 수 있는 경우에는 입력 영상에 적합한 샘플링 간격을 선정하여 윤곽선을 추출할 수 있다.

이렇게 제안된 윤곽선 추출 연산자를 타이어 영상에 적용하였을 때 앞서 언급한 기존의 연산자에 비해 문자 부분의 윤곽선 성분이 가장 잘 보존되어 인식을 용이하게 됨을 알 수 있다.

3. 잡음 제거와 Segmentation

MIN & MAX 연산을 통해 평활화된 후 윤곽선이 추출된 이치화된 영상에는 여전히 원하지 않는 고립점이나 잡음(noise)이 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 평활화에 사용했던 MIN & MAX 연산자를 다시 사용하여 고립점과 잡음을 제거한다. 이때 사용되는 연산자의 크기는 평활화 때와는 달리 2×2마스크로 행하여진다.

한편, 영상의 분할(segmentation)은 컴퓨터 비전 처리 분야에서 가장 critical component중의 하나이다. 이 단계에서 생기는 에러는 후단의 인식 능력에 크게 영향을 미치므로 인식 대상의 문자를 분리하는 과정은 중요하다.

다음 단계로, 잡음이 제거된 전체 영상에서 문자가 존재하는 위치를 찾아내 글자 하나 하나를 인식에 용이하도록 잘라내는 과정이다. 문자가 있는 위치를 찾아내는 알고리즘으로 여러 가지 방법이 있을 수 있으나, 본 논문에서는 x, y 방향으로 투영(projection)방법으로 개별 문자를 추출하였다.

III. 문자 인식

문자 인식 단계에서는 전처리 단계에서 넘겨 받은 문자 단위의 영상을 분석하여 부호화하는 과정이다. 타이어의 생산 회사에 따라, 문자의 요철이 큰 타이어가 있는데, 이 경우에는 타이어 영상의 전처리가 잘 이루어져서 기존의 방법인 패턴 매칭 방법이나 통계적 방법, 그리고 구조적(syntax) 방법으로도 문자 인식이 잘 행해지지만, 타이어 영상의 전처

리가 원하는 정도로 이루어지지 않은 타이어 영상의 경우에는 기존의 알고리즘을 사용하기 곤란한 상황이 되어 신경회로망이 사용된다. [9] 본 논문에서 분류기로 사용된 신경 회로망은 오차 역전파 (error backpropagation) 규칙에 의해 학습(learning)되는 다층 퍼셉트론(multi layer perceptron)이다.

이런 형태의 신경 회로망을 이용하여 영상 인식 시스템을 구현하는 데는 두 가지 방법이 있다. 첫째는 영상으로부터 특징점을 추출하여 이를 신경 회로망의 입력으로 사용하는 것이고, 둘째 방법은 특징점 추출 단계를 거치지 않고 입력 영상을 그대로 신경 회로망에 입력으로 사용하는 방법이다. 본 타이어 영상의 경우 각 문자의 영상 사이즈가 작고 잡음 영향의 가능성이 크므로 특징점 추출이 매우 어렵다. 따라서, 두번째 방법을 채택하였다.

본 연구에서 인식할 문자는 16종류이며, 학습용 입력 패턴은 타이어 영상에서 전처리하여 추출한 문자를 기초로 하여 만든 20×20 크기의 정밀한 문자 font이다. 그리고 같은 문자 font를 가지고 hetero - associative 성질을 이용하여 상하 좌우로 한칸씩 이동시킨 추가의 문자 font를 만들어서 한 문자당 5개의 font로 구성되어 총 80개의 문자 font를 구성하였다. 이 때의 다층 퍼셉트론 구조는 입력층 노드 갯수 400개, 중간층 노드 갯수 50개, 출력층 노드 갯수 16개로 사용하였다. 따라서, 추출된 인식 대상의 테스트 문자 크기는 20×20으로 정규화하여 신경 회로망에 입력된다.

IV. 실험 결과

지금까지 본 논문에서 설명한 타이어 문자 전처리 알고리즘과 인식 알고리즘의 타당성을 검토하기 위해 그림 4와 같은 순서로 실제 타이어 영상에 적용하였다.

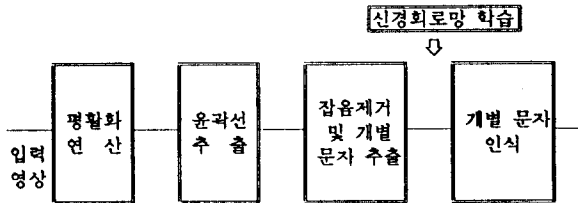


그림 4. 타이어 문자인식을 위해 제안된 알고리즘 순서도

타이어 영상 취득 및 영상 처리 장치로는 IBM PC 486과 라인 스캔 카메라를 사용하였고 실험에 사용된 영상은 512×128, 256계조치를 가지는 영상이다. 그림 5는 취득된 타이어의 영상이며, 그림 6 - 9는 기존의 윤곽선 추출 알고리즘을 적용한 결과 영상을 이치화하여 도시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 방법은 타이어 문자부분을 인식하기 위한 알고리즘으로는 부적당함을 알 수 있다. 그림 10과 11는 평활화 연산의 효과를 비교하고자 도시하였다. MIN & MAX 평활화 연산을 거친 후에는 본 논문에서 제안한 윤곽선 추출 알고리즘을 적용한 그림 11이 그림 10에 비해 잡음이 덜 존재하고 윤곽선이 상대적으로 뚜렷함을 알 수 있다. 그림 12과 그림 13은 본 논문에서 제안한 윤곽선 추출 알고리즘에서 k=1로 했을 때와 k=2로 했을 때를 비교하여 도시하였으며, 그림 14는 윤곽선 추출 후 MIN & MAX연산자로 잡상이 제거된 영상이다. 그리고 그림 15과 그림 16은 X, Y방향으로 투영하여 개별 문자 추출하는 과정을 나타낸 영상이다.

인식 결과는 신경회망 분류기를 적용한 결과 82개 문자중 77개를 인식하여 93.9%의 인식율을 보였다. 왜곡된 문자에 대한 인식예와 오인식한 문자예를 그림 17에 도시하였다. 그

림에서 볼 수 있듯이 9를 8로, 6을 S로 오인식하였고, 전처리 과정에서 많은 정보가 손실된 문자도 좋은 인식 결과를 가져다 줌을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 타이어 영상의 문자 인식을 위한 방법을 제시하였다. 특히, 인식 과정에 있어 가장 중요한 부분을 차지하는 부분은 전처리 과정을 들 수 있다. 그래서 본 논문에서는 변형된 라플라스 연산자를 제안하였으며, 이것이 타이어의 돌출 문자 영상에 적합하다는 것을 실험을 통해 입증하였으며, 또 이 연산자를 사용하기에 앞서 평활화 연산이 선행되어야만 효율적인 윤곽선을 추출할 수가 있음을 보였다.

인식 단계에서는 문자의 심한 왜곡을 극복하고자 기존의 패턴 매칭이 아닌 신경 회로망을 사용하였다. 실험 결과 추출된 문자가 열악한 상태임에도 불구하고 약 94%의 인식율을 얻었지만 특징점을 이용한 기존의 패턴 매칭에 비해 시간이 오래 걸린다는 문제점이 남아 있다. 그래서 이에 대한 보완책으로는 H/W적으로 영상 처리 장치를 개발하거나, 상품화가 되어 있는 neural network accelerator board를 사용하여야 하는 것이 필요하다고 여겨진다.

그리고 실제 타이어 자동 선별 장치에 사용하기 위해서는 더 많은 문자 종류에 대해 실험하여 본 기법의 강인성을 조사하고, 실시간 처리를 위해 더 빠른 알고리즘으로 개선할 필요가 있다.

참고 문헌

1. Gonzalez, Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, Publishing Co., 1992.
2. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing.
3. M.Dehesa, E.v.Hinuber et al "Configuration of Systems for Recognition of Raised Characters using Knowledge-Based Techniques", in Signal Processing V:Theories and Application, Holland:Elsevier Science Publishers B.V., 1990.
4. S.W.Jung, "Tire tread pattern classification using gray level cooccurrence matrix for binary image" in Korean, M.S. thesis, Korea University, 1992.
5. 이상규, "계조치 연속 길이와 신경망을 이용한 타이어 접지 패턴 분류, 석사학위논문, 고려대학교, 1993. 6.
6. Nobuyuki OTSU, "A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms"
7. P.K.Sahoo, S.Soltani and A.K.C.Wong, Y.C.Chen, A Survey of Thresholding Techniques, survey paper.
8. Y.Nakagowa and A. Rosenfeld, "A note on the use of local max and min operations in digital", IEEE Trans. Sys. Man. Cybern., vol. SMC-8, pp. 632-635, 1978.
9. R .H. Park et al., "Recognition of raised characters for rubber tires classification", in Proc. MVA '92



(a)



(b)
그림 5. 타이어 영상



(a)



(b)
그림 6. Robert 연산자를 위한 에지 영상



(a)



(b)
그림 7. Sobel 연산자를 위한 에지 영상



(a)



(b)
그림 8. Prewitt 연산자를 위한 에지 영상



(a)



(b)
그림 9. LoG 연산자를 위한 에지 영상



(a)



(b)
그림 10. 제안된 연산자를 사용한 에지 영상
(평활화 연산을 하지 않은 경우)



(a)



(b)
그림 11. 제안된 연산자를 사용한 에지 영상
(평활화 연산자를 위한 경우)



(a)



(b)
그림 12. 제안된 윤곽선 추출 알고리즘(k=1일 경우)



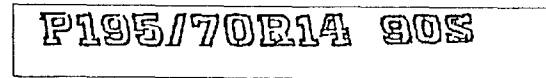
(a)



(b)
그림 13. 제안된 윤곽선 추출 알고리즘(k=2일 경우)



(a)



(b)
그림 14. 잡음이 제거된 이치화 영상



그림 15. Y 방향으로 투영한 타이어 영상

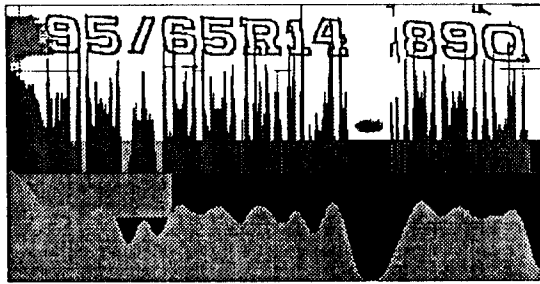


그림 16. X 방향으로 투영한 타이어 영상

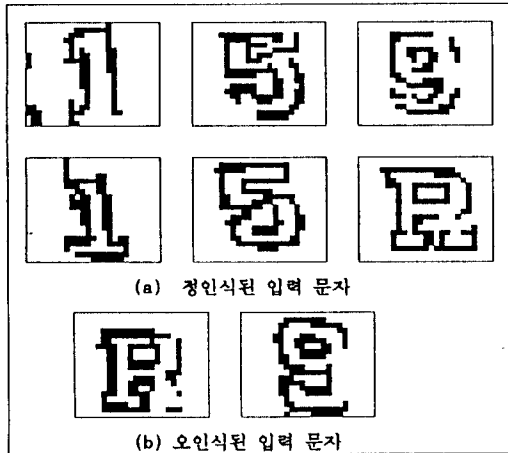


그림 17. 인식에 사용된 테스트 문자 에