

논문 2004-41SP-5-14

웨이블릿 변환과 형태 정보를 이용한 교통 표지판 인식

(Recognition of Traffic Signs using Wavelet Transform and Shape Information)

오 준 택*, 광 현 옥*, 김 옥 현**

(Juntaek Oh, Hyunwook Kwak, and Wookhyun Kim)

요 약

본 논문은 분할한 교통 표지판 영역에 대해서 웨이블릿 변환과 형태 정보를 이용한 교통 표지판 인식 방법을 제안한다. 화소의 RGB 색상비를 이용하여 생성한 이진 영상에서 connected component algorithm에 의해 분할된 후보 영역들을 대상으로 형태 정보인 XY축 대칭성을 기반으로 교통 표지판 영역을 분할한다. 그리고 분할된 교통 표지판 영역에 대해서 웨이블릿 변환을 적용하여 얻은 주파수 성분을 기반으로 모멘트, 에지 코렐로 그램, 동심 원형 패턴 정보를 추출한 후, 사진에 구축한 데이터베이스와의 유사도 측정에 의해 인식을 수행한다. 실험 결과, 제안한 방법이 다양한 외부 환경이나 변환에 대해서 유효함을 보였다.

Abstract

This paper proposes a method for recognition of traffic signs using wavelet transform and shape information from the segmented traffic sign regions. It first segments traffic sign candidate regions by connected component algorithm from binary images, obtained by utilizing the RGB color ratio of each pixel in the image, and then extracts actual traffic sign regions based on their symmetries on X- and Y-axes. In the recognition stage, it utilizes shape information including moment, edge correlogram, and the number of crossings which concentric circular patterns from region center intersects with frequency information extracted by wavelet transform. It finally performs recognition by measuring similarity with the templates in the database. The experimental results show the validity of the proposed method from geometric transformations and environmental factors.

Keywords: traffic sign recognition, wavelet transform, circular pattern, moment, edge correlogram

I. 서 론

우리는 시각을 통하여 외부 정보의 약 80% 이상을 받아들이고, 의식적인 혹은 무의식적인 처리 과정을 거쳐 외부 상황을 이해한다. 그리고 이에 따른 여러 가지 반응을 행한다. 이렇듯 사람의 눈 혹은 비전 시스템에 의

해서 얻는 영상 정보는 실로 방대한 양의 삼차원 세계에 대한 정보를 포함하고 있다. 본 논문은 컴퓨터 비전에서 영역 분할과 물체 인식에 관한 연구로, 실영상에서 교통 표지판 영역을 분할하고 인식하는 방법을 제안하고자 한다.

1. 연구 배경

교통 표지판은 안전하고 원활한 도로 교통의 확보와 도로 구조의 보전을 도모하기 위하여 도로의 노측 또는 차도의 위쪽에 설치된 것으로, 운전자는 이러한 교통 표지판에 의하여 안내, 경계, 규제 또는 지시를 받는다. 도로 표지에는 안내 표지, 경계 표지, 규제 표지, 지시 표지 및 이것들의 내용을 보충하는 보조 표지가 있다.

* 학생회원, 영남대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Engineering, Yeungnam University)

** 정회원, 영남대학교 전자정보공학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Yeungnam University)

※ 본 연구는 2004년 영남대학교 정보통신연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

접수일자: 2003년11월13일, 수정완료일: 2004년6월14일

이러한 도로 표지는 인식하기 쉽고, 먼 거리에서도 표지의 종류를 판별하여 단시간 내에 그 내용을 파악할 수 있어야 한다. 그리고 야간에도 판독할 수 있어야 하기 때문에 그 목적에 알맞게 적절히 배치되어야 한다. 그러나 운전자의 부주의나 운전 미숙으로 인하여 해마다 많은 인적, 물적인 피해를 입고 있으며, 현재 이러한 교통 사고에 의한 피해는 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 인간의 지각 시스템을 기계에 적용하려는 노력은 오래 전부터 연구되어 왔으나, 현재 많이 미흡한 실정이다^{4, 5)}. 기존의 연구 중에 하나가 자동 주행 시스템의 보조 시스템의 개발이다. 자동차에 장착된 CCD(charge coupled display) 카메라로부터 들어오는 도로 영상에 대해서 운전자 대신 교통 표지판을 인지해 주는 것으로, 운전자에게 보다 편안하고 안전한 운전을 가능하게 한다. 이러한 보조 시스템의 개발에서 교통 표지판 인식은 도로 구조의 보전과 안전하고 원활한 교통 소통을 위하여 운전자에게 목적지까지의 방향, 거리 등의 지점 및 경로 안내 등 다양한 정보 제공을 위해서 필수적으로 연구해야 할 과제이다.

2. 기존 연구

교통 표지판 영역 분할 및 인식에 관한 기존 연구는 색상 정보를 기반으로 하는 연구와 형태 정보를 기반으로 하는 연구로 구분할 수 있다.

색상 정보를 기반으로 하는 연구^{6~11)}는 후보 영역의 분할을 위해서 교통 표지판의 전형적인 색상 정보(빨간색, 파란색, 노란색, 흰색)를 기반으로 영역 분할을 수행한다. Akatsuka와 Imai⁶⁾는 빨간색, 흰색, 파란색으로 구성된 속도 제한 교통 표지판을 분할하기 위해서 Nrgb 색상 공간과 룩업 테이블(look up table)을 이용하였으며, Ghica⁷⁾는 Akatsuka와 Imai가 제안한 방법을 RGB(Red, Green, Blue) 색상 공간에 적용하여 교통 표지판 영역을 분할하였다. Kehtarnavaz와 Griswold⁸⁾는 HSI(Hue, Saturation, Intensity) 색상 공간에서 멈춤 신호 교통 표지판의 색상에 대한 통계적 처리에 의해서 색상, 채도, 명도의 범위를 결정하고, 영역 분할을 수행하였다. Priese와 Rehrmann⁹⁾은 HSI 색상 공간에서 영역 확장을 이용한 병렬 분할을 제안하였으며, Nicchiotti와 Ottaviani¹⁰⁾도 HSI 색상 공간에서 영역 확장을 이용하여 분할된 후보 영역에 대해서 형태 분석을 수행하였다. Estable와 Schick¹¹⁾는 실시간 교통 표지판 인식과 정에서 픽셀 레이블링을 위해서 사전에 교통 표지판의

색상에 대한 고차원의 신경망을 이용하였다.

형태 정보를 기반으로 하는 연구^{6, 8, 12, 13)}는 로봇에서 장면 분석, 삼차원 물체 인식에 관한 연구에 이용하였다. 그러나 다양한 물체를 내재하고 있는 복잡한 실영상을 대상으로 하거나 외부 환경에 의한 형태의 손실 및 관점에 따른 형태의 변화 등의 이유로 많은 어려움을 가진다. Akatsuka와 Imai⁶⁾는 빨간색과 파란색 유형의 원형 교통 표지판에 대해서 원형 정합 방법에 의해 영역을 분할하였으나, 크기 변화에 따른 처리가 불가능하였다. Kehtarnavaz와 Griswold⁸⁾는 입력 영상으로부터 생성한 빨간색 색상 정보만을 가지는 영상에 대해서 에지를 추출한 후, 허프 변환(hough transform) 알고리즘을 적용하였다. Aoyagi와 Asakura¹²⁾는 라플라시안 필터(laplacian filter)를 이용하여 추출한 에지에 대해서 원 형태의 패턴에 대한 유전자 정보와 패턴 매칭을 적용하여 영역을 분할하였다. Jung Hak AN과 Tae Young CHOI¹³⁾는 RGB 색상 공간에서 우세한 색상 정보를 이용하여 분할한 후보 영역에 대해서 원형 패턴 벡터를 적용하였다.

이러한 기존의 색상 정보와 형태 정보를 기반으로 하는 연구들은 특정 응용 분야에 따른 색상 공간에서의 클러스터링에 크게 의존하므로 사전에 통계적 분석이 필요하다. 또한 다양한 물체와 유사한 모양의 다른 표지판을 포함하고 있거나 외부 환경의 영향을 받고 있는 도로 영상의 경우 복잡한 처리 과정이 요구되어진다. 그리고 대부분의 기존 연구들은 교통 표지판 영역의 분할만을 다루고 있어 실제적인 적용에는 어려움이 있다.

본 논문은 실영상으로부터 색상 정보인 화소의 색상비를 이용하여 특정한 색상에 대한 이진 영상을 생성한다. 이러한 색상비는 조명 상태나 날씨에 민감하지 않은 특징을 가진다. 색상비에 의해 생성된 이진 영상 내의 후보 영역을 대상으로, 교통 표지판에 존재하는 최외각 에지간의 거리값이 XY축 방향에 대해서 대칭적이라는 점(XY축 대칭성)을 이용하여 후보 영역들로부터 교통 표지판 영역을 분할한다. 교통 표지판 인식은 분할된 영역에 대해서 웨이블릿 변환을 적용하여 획득한 주파수 성분을 기반으로 모멘트, 에지 코렐로 그램, 중심 원형 패턴 정보를 추출한 후, 사전에 구축한 데이터 베이스와의 연동에 의해 인식을 수행한다.

II. XY축 대칭성에 의한 교통 표지판 영역

본 논문에서 제안하는 교통 표지판 영역의 분할 과정

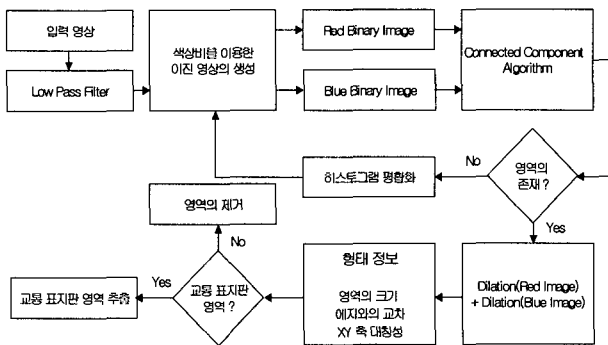


그림 1. 교통 표지판 영역의 분할을 위한 처리도
Fig. 1. The flowchart for segmentation of the traffic sign regions.

은 <그림 1>과 같다. 실영상으로부터 색상비를 이용하여 빨간색과 파란색에 해당하는 이진 영상을 생성한 후, connected component algorithm에 의해 분할된 각 영역에 대해서 형태 정보를 이용하여 교통 표지판 영역을 추출한다. 만약 이진 영상에서 교통 표지판 영역이 추출되지 않을 경우, 좀 더 넓은 범위의 색상비를 적용한 이진 영상에서 교통 표지판 영역을 추출한다. 그리고 심한 조명 변화나 안개의 영향으로 인하여 영역이 추출되지 않을 경우, 실영상에 대해서 히스토그램 평활화를 적용하여 대비를 향상시킨 후, 재처리 과정에 의해 교통 표지판 영역을 추출한다.

1. 색상비에 의한 이진 영상의 생성

일반적으로 영상은 빨간색, 초록색, 파란색의 세 가지 성분으로 구성된 RGB 색상 공간을 이용한다. 이러한 RGB 색상 공간은 처리가 간단하다는 장점이 있으나, 날씨나 조명 상태의 변화에 민감하게 반응하므로 화소의 밝기값을 이용한 영역 추출은 어렵다는 단점이 있다.

일반적으로 RGB 색상 공간에서 이진 영상으로 변환하기 위한 임계값의 결정은 식 (1)과 같다.

$$g(x, y) = k_1 \begin{cases} R_{low} \leq f_r(x, y) \leq R_{high} \\ G_{low} \leq f_g(x, y) \leq G_{high} \\ B_{low} \leq f_b(x, y) \leq B_{high} \end{cases} \quad (1)$$

$$g(x, y) = k_2 \quad otherwise$$

식 (1)에서 $f_r(x, y)$, $f_g(x, y)$, $f_b(x, y)$ 는 화소가 가지는 빨간색, 초록색, 파란색 성분의 밝기값이며, R_{low} , R_{high} , G_{low} , G_{high} , B_{low} , B_{high} 는 각 밝기값에 대한 최소, 최대 임계치를 나타낸다. k_1 , k_2 는 이진 영상에서의 밝기값을 나타내는 상수이다. 색상, 채도, 명도의 세 가지

성분으로 구성된 HSI 색상 공간을 이용하면 밝기의 변화에 민감하지 않다는 장점을 가지나, RGB 색상 공간에서 HSI 색상 공간으로 변환하는 식이 비선형성을 가진다는 점과 계산 시간이 많이 소비되는 단점을 가진다. 본 논문은 RGB 색상 공간에서 HSI 색상 공간이 가지는 특성을 얻기 위해서 식 (1)을 식 (2)와 같이 화소의 색상 성분들의 비를 이용하여 이진 영상으로 변환한다. 본 논문은 식(2)를 이용하여 빨간색과 노란색, 파란색에 대해서 이진 영상을 생성하였다.

$$g(x, y) = k_1 \begin{cases} T1_{low} \leq \frac{f_g(x, y)}{f_r(x, y)} \leq T1_{high} \\ T2_{low} \leq \frac{f_b(x, y)}{f_r(x, y)} \leq T2_{high} \\ T3_{low} \leq \frac{f_b(x, y)}{f_g(x, y)} \leq T3_{high} \end{cases} \quad (2)$$

$$g(x, y) = k_2 \quad otherwise$$

식 (2)에서 $T1_{low}$, $T1_{high}$, $T2_{low}$, $T2_{high}$, $T3_{low}$, $T3_{high}$ 는 화소의 색상비에 대한 임계값을 나타낸다. 색상비를 이용함으로써 다른 색상 공간으로의 변환 없이 사용할 수 있으므로 처리 시간을 줄일 수 있다. 만약 생성된 이진 영상에서 영역이 하나도 존재하지 않으면, 좀 더 넓은 범위를 가지는 임계값을 적용한 이진 영상을 기반으로 한다.

2. XY축 대칭성에 의한 영역 분할

생성된 이진 영상에 대해서 connected component algorithm을 적용하여 영역을 분할한 후, 각 영역에 대해서 불림(dilation) 연산을 수행한다. 불림 연산은 물체의 최외각 화소를 확장하여 짧은 거리의 끊어진 영역을 연결하는 기능을 수행한다.

본 논문은 이진 영상에 내재된 영역에 대해서 영역의 크기, 8 방향 예지와의 교차성, XY축 대칭성을 이용하여 교통 표지판 영역을 추출한다. XY축 대칭성은 현재 이용하고 있는 교통 표지판이 좌우 상하 방향으로 대칭적이라는 정보에 근거한 것으로, 이동, 크기 변환이나 빛, 안개 등의 외부 환경에 따른 어느 정도의 영역 손실에도 강건하게 추출할 수 있다.

$$0.5 \leq \frac{Distance_h}{Distance_v} \leq 2.0 \quad or \quad 0.5 \leq \frac{Distance_v}{Distance_h} \leq 2.0 \quad (3)$$

영역의 크기 정보는 각 영역에 대해서 너비와 높이가 최소 20 화소 이상이어야 하며, 너비와 높이의 거리가 식 (3)을 만족할 때 후보 영역으로 고려하였다.

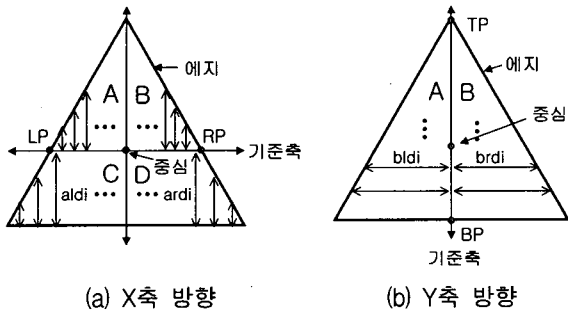


그림 2. XY축 대칭성을 이용한 형태 정보 추출
Fig. 2. The extraction of shape information using symmetry on X- and Y- axes.

8 방향 에지와의 교차성은 영역의 중심에서 45도 간격씩 여덟 개의 방향으로 주사하였을 때 영역의 최외각 에지와의 교차함을 나타낸 것으로, 영역의 손실을 어느 정도 감안하여 최소 다섯 방향이 에지와 교차할 때 후보 영역으로 고려하였다.

XY축 대칭성은 각 후보 영역에 대해서 X축과 Y축으로부터 가장 멀리 있는 에지와의 거리값을 비교하는 방법이다. <그림 2(a)>는 X축 방향으로 대칭성을 비교한 것으로, 후보 영역의 중심으로부터 좌우 X축 방향으로 가장 멀리 떨어져 있는 에지와의 거리값을 계산한 후, 같은 색인값을 가지는 거리값에 대해서 유클리디언 디스턴스를 이용하여 비교한다. 그리고 C 영역과 D 영역은 후보 영역의 너비를 n개의 구간으로 나눈 뒤에 기준축으로부터 하위 방향으로 가장 멀리 떨어져 있는 에지와의 거리(aldi, ardi)를 계산한 후, 거리를 비교한다. 유클리디언 디스턴스에 의해 측정된 값이 작을 수록 X축 방향으로 대칭성을 가지는 것으로, 0.3 이하의 값을 가지면 교통 표지판 영역으로 추출한다. <그림 2(b)>는 Y축 방향으로 대칭성을 비교한 것으로, 후보 영역의 중심으로부터 상하 Y축 방향으로 가장 멀리 떨어져 있는 에지 TP와 BP를 찾아서 TP와 LP의 거리를 n개의 구간으로 나눈다. 그리고 A 영역과 B 영역에 대해서 X축 좌우 방향으로 가장 멀리 있는 에지와의 거리(bldi, brdi)를 계산한 후, 같은 인덱스를 가지는 거리값에 대해서 비교한다.

III. 웨이블릿 변환과 형태 정보를 이용한 교통 표지판 인식

교통 표지판 영역에 대한 인식 과정은 <그림 3>과

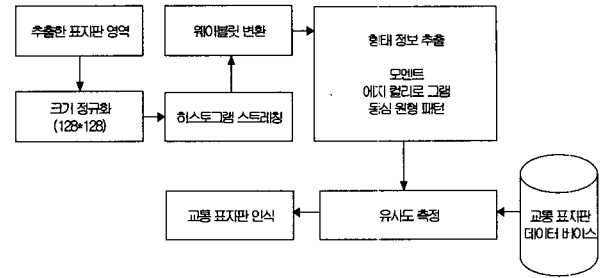


그림 3. 교통 표지판 영역의 인식을 위한 처리도
Fig. 3. The flowchart for recognition of the traffic sign regions.

같다. 먼저, 추출한 영역을 주요 색상(빨간색, 파란색)에 따라 분류하고, 선형 보간 방식을 이용하여 크기 정규화를 수행한다. 그리고 히스토그램 스트레칭에 의해 대비를 향상한 후, 웨이블릿 변환을 수행하여 주파수 성분을 추출한다. 본 논문에서는 이러한 주파수 성분에 대한 모멘트, 에지 코렐로 그래프, 동심 원형 패턴 정보를 기반으로 사전에 구축한 데이터베이스와의 연동에 의해 인식을 수행한다.

1. 웨이블릿 변환(wavelet transform)

웨이블릿에 관련된 초기 연구는 수학, 물리학, 공학 분야에서 독립적으로 수행하였으나, 근래에 들어 서로 다른 분야에서도 많이 적용을 하고 있다. 이러한 웨이블릿 변환은 데이터나 함수 등을 서로 다른 주파수 성분들로 분해하고, 각 스케일에 해당하는 해상도에 연관된 각각의 성분들을 추출할 수 있는 도구라고 할 수 있다.

웨이블릿 이론의 개념은 스케일링 함수와 웨이블릿 함수의 확장과 천이에 있으며, 웨이블릿 변환의 기저 함수는 스케일링 함수($\phi(x)$)의 매개변수를 확장하고 천이함으로써 생성된다. 웨이블릿 함수에서는 마더 웨이블릿(mother wavelet)이라 불리는 함수($\Psi(x)$)의 확장과 천이를 통해 얻어지며, 식 (4)와 같다.

$$\Psi_{m,n}(x) = 2^{-\frac{m}{2}} \Psi(2^{-m}x - n) \quad m, n = \text{정수} \quad (4)$$

정규 직교 성질에 의해 신호($f(x)$)의 웨이블릿 계수는 식 (5)에 의해 계산된다.

$$C_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \Psi_{m,n}(x) dx \quad (5)$$

마더 웨이블릿($\Psi(x)$)를 만들기 위해 우선 스케일링 함수($\phi(x)$)를 결정하는데, 식 (6)을 이용한다.

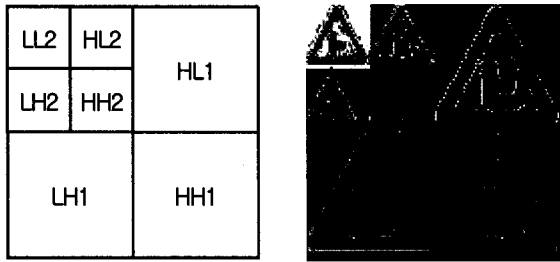


그림 4. 웨이블릿 변환에 따른 부대역 분해도(2 Level)
Fig. 4. Wavelet subband decomposition(2 Level).

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_k h(k) \phi(2x-k) \quad (6)$$

웨이블릿 함수는 스케일링 함수에 관계되고 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \Psi(x) &= \sqrt{2} \sum_k g(k) \phi(2x-k) \\ g(k) &= (-1)^k h(1-k) \end{aligned} \quad (7)$$

이러한 웨이블릿 변환은 인간의 시각 계통과 비슷한 다해상도 분해가 가능하다. 2차원 영상의 웨이블릿 변환은 <그림 4>의 대역 분해 부분에서 나타난 것과 같이 필터뱅크 구조를 구성되며, 수평과 수직 방향으로 1차원 이상 웨이블릿 변환을 반복적으로 수행해서 얻어진다. 표시된 LL, HL, LH, HH은 분해된 대역을 나타내는 것으로, 첫 번째 영문자는 영상을 수평 방향으로, 두 번째 영문자는 수직방향으로 필터 처리함을 나타내고, L과 H는 각각 저주파 및 고주파 대역 통과 필터를 이용함을 의미한다. 본 논문에서는 분할한 교통 표지판 영역에서의 주파수 성분을 추출하기 위해서 마더 웨이블릿이 daubechies인 db4을 이용하여 <그림 4>과 같이 2 Level까지 분해한다.

2. 모멘트(moment)

모멘트는 영역의 모양정보를 추출하기 위한 특징으로, 패턴인식 분야에서 물체를 기술하는데 있어 우수한 특성을 가지며^[1-3], 본 논문에서는 웨이블릿 변환에 의해 2 level까지 분해된 모든 부대역에서의 성분에 대해서 적용한다.

2차원 연속함수 $f(x, y)$ 에 대해 차수 $(p + q)$ 를 가지는 모멘트와 디지털 영상에서 중앙 모멘트는 식 (8)과 식(9)과 같이 정의된다.

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \mu_{pq} &= \sum_x \sum_y (x-x')^p (y-y')^q f(x, y) \\ x' &= \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad y' = \frac{m_{01}}{m_{00}} \end{aligned} \quad (9)$$

정규화된 모멘트 η_{pq} 는 식 (10)과 같이 정의된다.

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma} \quad \gamma = \frac{p+q}{2} + 1, \quad (p+q) = 2, 3, 4, \dots \quad (10)$$

불변 모멘트 집합 ϕ_i 는 정규화된 중앙 모멘트로부터 식 (11)을 이용하여 쉽게 유도할 수 있으며, 이동, 회전, 크기 변화 및 거울 영상에 대해서 불변하다는 특징을 가진다.

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \phi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12}^2) + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \phi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ &+ (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ \phi_6 &= (\eta_{30} - \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ &+ 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \phi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ &+ (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (11)$$

3. 에지 코렐로 그래프(edge correlogram)

Jing Huang에 의해 제안된 색상 코렐로 그래프(color correlogram)^[14, 15]은 기존의 색상 특징값을 이용한 검색 방법이 인지적으로는 다른 영상임에도 불구하고 같은 색상분포를 가지는 영상을 동일한 영상으로 검색하는 문제점을 해결하기 위한 방안으로, 거리에 따른 색상 정보의 공간적 상관 관계를 포함시킨 것으로 상당히 좋은 검색 결과를 보여주고 있다.

m 개의 색상으로 양자화된 영상 I 에서 화소 간 거리가 k 이고 색상 C_i 에서 C_j 에 대한 색상 코렐로 그래프($r_{C_i, C_j}^k(I)$)은 식 (12)와 같다.

$$r_{C_i, C_j}^k(I) = P_{P_a \in I_C} [p_b \in I_C \mid p_a - p_b = k] \quad (12)$$

위의 식에서 $Pr[]$ 은 내부 조건을 만족하는 확률을 나타내고, i, j 는 양자화된 색상으로 0에서 m 까지이며, I_{C_i} 와 I_{C_j} 는 영상에서 i 와 j 번째 색상을 가지는 모든 화소를 나타낸다. 화소 간의 거리는 식 (13)과 같이 L1

norm을 이용한다.

$$\begin{aligned}
 p_a - p_b &= \max(x_a - x_b, y_a - y_b) \\
 p_a &= (x_a, y_a) \in I, p_b = (x_b, y_b) \in I
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

이러한 색상 코렐로 그래프는 색상의 양자화된 수나 거리 종류에 따라 상당히 많은 메모리 양과 계산 시간을 요구한다. 따라서 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 획득한 고주파수 성분인 에지와 저주파수 성분에 대해서 적절한 임계치를 부여하여 생성한 이진 영상을 대상으로 거리값 $k = \{1, 3, 5, 7\}$ 에 대한 코렐로 그래프를 추출한다. 식 (12)는 식 (14)로 변환된다.

$$\begin{aligned}
 r_C^k(I) &= P_{p_a \in I_C} [p_b \in I_C \mid p_a - p_b = k] \\
 k &= \{1, 3, 5, 7\}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

$r_C^k(I)$ 는 영상 I 에서 하나의 에지(p_a)가 주어졌을 때, 그 에지로부터 k 만큼 떨어진 위치에 에지(p_b)가 나타날 확률을 의미하며, I_C 는 영상 내 존재하는 모든 에지들의 집합을 나타낸다.

4. 동심 원형 패턴

동심 원형 패턴 정보^[13]는 적절한 임계치에 의해 생성된 이진 형태의 에지 영상에 대해서 너비와 높이에 비례하는 n 개의 가상 원을 생성한 후, 각 가상 원에 대해서 에지와 교차하는 개수를 측정하는 것이다. 이 정보는 이동, 회전, 크기 변화에 불변하는 특성을 가지며, 반지름에 따른 에지의 복잡성을 나타낸다. <그림 5>는 +자형 교차로 표지판에 대해서 원형 패턴을 적용하여 처리하는 과정을 보여준다.

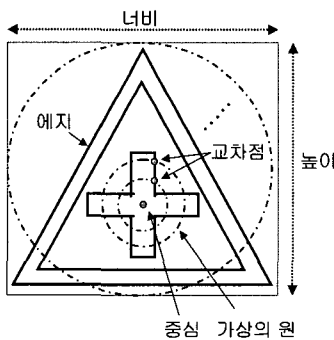


그림 5. 동심 원형 패턴을 이용한 형태 정보 추출
 Fig. 5. The extraction of shape information using concentric circular patterns.

5. 유사도 측정

실영상으로부터 추출한 교통 표지판 영역의 특징들과 사전에 저장한 데이터베이스 내 영상들의 특징들을 대상으로 유클리디언 디스턴스를 이용하여 유사성을 비교하고, 가장 유사한 영상을 교통 표지판 영상으로 인식한다.

$$\begin{aligned}
 ED_s &= \sum_{j=0}^m (weight_j \times \sum_{i=0}^n \sqrt{(f_{i_{m,j}}^j - f_{i_{n,j}}^j)^2}) \\
 m &= \text{형태정보의 개수} \\
 n &= \text{형태정보별 특징의 개수}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

식 (15)에서 ED_s 는 전체 유사도를 나타내며, $weight_j$ 는 j 번째 특징에 대한 유사도 값의 가중치를 의미한다. $f_{i_{m,j}}^j$ 와 $f_{i_{n,j}}^j$ 는 추출한 영역과 데이터베이스에서의 특징 값을 나타낸다. ED_s 가 작을수록 유사도가 크고 높을수록 유사도가 작음을 나타내며, $weight_j$ 에 의해 특징들에 대한 중요도를 부여할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

제안하는 시스템은 Pentium 1.4Ghz의 Window 2000 환경에서 자바 언어로 구현하였으며, 교통 표지판은 주의, 규제, 지시 표시를 대상으로 하였다. 실험 영상은 다양한 환경 하에 Sony DSC-F505V 디지털 카메라를 이용하여 획득한 100개의 실영상을 이용하였다.

이진 영상을 생성하기 위해 실험에서 사용한 색상비의 임계치는 빨간색의 경우 빨간색에 비해서 녹색과 파란색이 0.6 이하의 비율로 설정하였으며, 파란색의 경우 빨간색에 비해서 녹색과 파란색이 1.5 이상, 녹색에 비해서 파란색이 1.5 이상의 비율로 설정하였다. 만약, 위의 임계값으로 영역이 추출되지 않으면, 빨간색의 경우 0.8 이하, 파란색의 경우 1.3 이상으로 설정하여 생성한 이진 영상을 적용하였다. 그리고 실영상으로부터 추출한 교통 표지판 영역은 128×128의 크기로 정규화하였으며, 영역 추출 시에 사용한 XY축 대칭성은 정규화된 너비와 높이에 따라 10개의 주사선을 이용하였다. 유사도 측정 시에 이용하는 모멘트, 에지 코렐로 그래프, 동심 원형 패턴 정보에 대한 가중치는 각각 0.35, 0.25, 0.3를 부여하였다.

<그림 6>은 실험에서 이용하는 다양한 외부 환경 상의 입력 영상들을 보여준다. <그림 7(a)>은 <그림 6>의 입력 영상에 대해서 색상비를 이용하여 생성한 이진 영상으로, 환경의 다양한 변화에도 불구하고 교통 표지

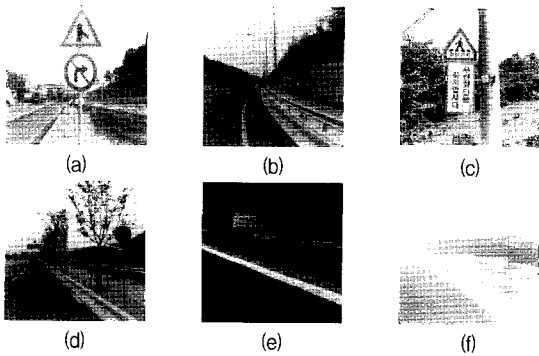


그림 6. 다양한 입력 영상
Fig. 6. Various input images.

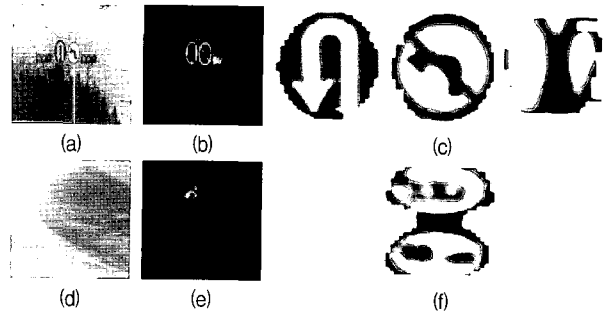


그림 8. 잘못된 영역 분할
Fig. 8. The incorrect segmentation of the traffic sign regions.

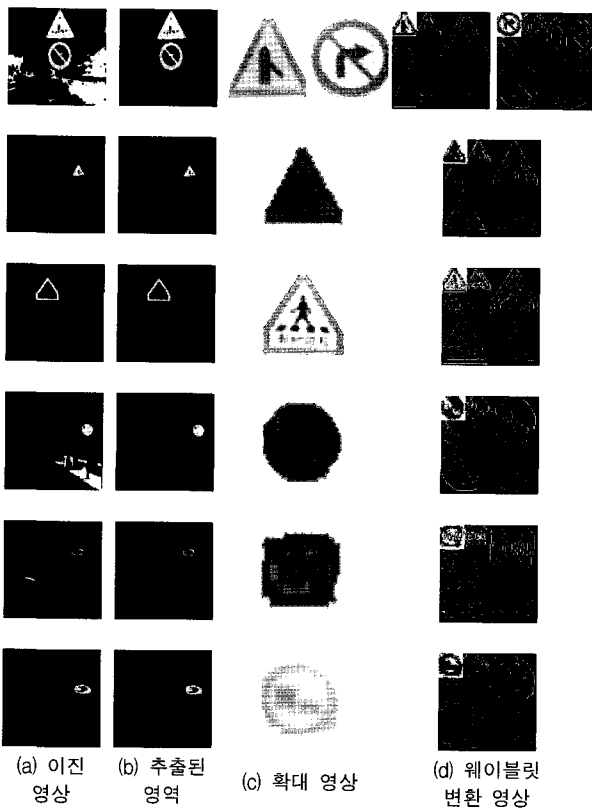


그림 7. 교통 표지판 영역의 분할과 웨이블릿 변환
Fig. 7. Segmentation and wavelet transform of the traffic sign regions (a) Binary images (b) The extracted traffic sign regions (c) Enlargement images of the extracted regions (d) Wavelet subband decomposition images of the extracted regions.

판 영역을 포함한 후보 영역들의 추출이 가능하였다. 특히, <그림 6(e)>과 <그림 6(f)>는 밤과 안개 및 비가 내리는 영상임에도 불구하고 교통 표지판 후보 영역을 추출하였다. 그리고 <그림 7(b)>에서처럼 영역의 크기, 8 방향 에지와의 교차수, XY축 대칭성을 이용하여 후보 영역들 중에 정확한 교통 표지판 영역을 추출할 수 있다. <그림 6(e)>의 경우 생성한 이진 영상에서

의 교통 표지판 영역 손실에도 불구하고 정확하게 추출하였다. <그림 7(c)>는 추출한 교통 표지판 영역에 대해서 선형 보간법을 이용하여 확대한 영상이며, <그림 7(d)>는 <그림 7(c)>에 대해서 히스토그램 스트레칭을 적용한 후, 2 level까지 웨이블릿 변환을 수행한 영상을 보여준다. <그림 8>은 잘못된 영역 추출을 보여준다. <그림 8(a)>와 <그림 8(d)>는 입력 영상이며, <그림 8(b)>와 <그림 8(e)>는 이진 영상에서 교통 표지판 영역만을 추출한 영상이다. <그림 8(c)>와 <그림 8(f)>는 추출한 영역에 대해서 크기 정규화와 히스토그램 스트레칭을 적용한 이진 영상을 보여준다. <그림 8(a)>의 경우 신호등에 해당하는 부분이 교통 표지판으로 잘못 추출되었으며, <그림 8(d)>의 경우 2개의 교통 표지판 영역이 너무 작고 근접해 있어 불림 연산에 의해 하나의 영역으로 잘못 추출되었음을 보여준다.

<표 1>은 주의, 규제, 지시 표지판에 해당하는 실영상을 대상으로 교통 표지판 영역 분할과 영역 인식에서의 처리시간을 보여준다. 영역 분할에 해당하는 처리시간은 영역을 분할하기 이전까지의 모든 처리 과정을 포함한 시간으로 평균 3873.33msec을 보였으며, 이진 영상에서 connected component algorithm을 이용한 분할 과정에서 가장 많은 시간을 소모하였다. 영역 인식에 해당하는 처리시간은 분할된 영역에 대해서 형태 정보의 추출과 데이터베이스와의 유사도 측정에 소모된 시간으로, 평균 1177.03msec를 보였다.

<표 2>는 실영상에서의 주의, 규제, 지시 표지판에 해당하는 120개의 교통 표지판 영역에 대해서 분할과 인식의 정확률을 보여준다. 평균 40개의 교통 표지판 영역에 대해서 38.66개의 영역을 추출하여 평균 96.66%의 성공적인 정확률을 보였다. 그리고 인식에서는 데이터베이스와의 유사도 측정에서 가장 유사한 값으로 평균 29.66개의 영역을 인식하여 평균 76.72%의 정확률을

표 1. 영역 분할과 인식에 대한 처리 시간

Table 1. The processing time for region segmentation and recognition.

	실험 영상 개수	처리시간(msec)	
		영역 추출	영역 인식
주의	35	3777	1265.5
규제	30	4142	1030.4
지시	35	3701	1235.21
평균	33.33	3873.33	1177.03

표 2. 영역 분할과 인식에 대한 정확률

Table 2. The accuracy rate for region segmentation and recognition

	영역 개수	성공한 영상 개수			영역 추출(%)	영역 인식(%)	
		영역 추출	영역 인식			1위 이내	5위 이내
			1등급 내	5등급 내			
주의	45	44	33	41	97.77	75	93.18
규제	35	34	26	32	97.14	76.47	94.11
지시	40	38	30	35	95	78.94	92.1
평균	40	38.66	29.66	36	96.66	76.72	93.1

표 3. 유사도 - 주의, 규제 표지판

(A) 모멘트 (B) 에지 코렐로 그램 (C) 동심 원형 패턴 (D) 전체

Table 3. Similarity values - Warning sign, Regulatory sign

(A) Moment (B) Edge correlogram (C) Concentric circular pattern (d) Overall

데이터베이스 실영상	앞지르기 금지	우회전 도로	양보	보행자 횡단금지	속도 제한	우회전 금지
앞지르기 금지	0.118999(A)	0.150567	0.311798	0.243083	0.189194	0.192049
	0.027364(B)	0.055849	0.056568	0.056423	0.043685	0.033411
	0.116073(C)	0.244345	0.189170	0.177038	0.192084	0.115845
	0.0833128(D)	0.139964	0.180022	0.152296	0.134764	0.110324
우회전 도로	0.101956	0.086034	0.257045	0.207681	0.093575	0.125100
	0.035022	0.034119	0.080283	0.065453	0.061628	0.033596
	0.246542	0.151345	0.199680	0.223954	0.286657	0.254821
	0.118403	0.084045	0.169941	0.156238	0.134155	0.128630
양보	0.273732	0.265785	0.094746	0.112680	0.276257	0.299606
	0.102137	0.129302	0.037494	0.057931	0.089089	0.113037
	0.196548	0.185291	0.114756	0.133719	0.255508	0.236706
	0.180305	0.180938	0.076962	0.094036	0.195615	0.204133
보행자 횡단금지	0.248398	0.251973	0.083375	0.091155	0.261868	0.282711
	0.090835	0.118123	0.034136	0.036564	0.077043	0.103199
	0.205188	0.188112	0.182830	0.140313	0.212718	0.244975
	0.171204	0.174155	0.092564	0.083139	0.174730	0.198241
속도 제한	0.165442	0.146897	0.279770	0.235439	0.123350	0.152971
	0.073804	0.105136	0.066068	0.070069	0.049362	0.078391
	0.187376	0.230752	0.248350	0.270651	0.206232	0.252333
	0.132568	0.146924	0.188941	0.181116	0.117383	0.148838
우회전 금지	0.133328	0.176149	0.328614	0.286370	0.123842	0.087874
	0.043346	0.052650	0.111674	0.097197	0.069741	0.035542
	0.233484	0.264352	0.288740	0.256434	0.262013	0.206256
	0.127546	0.154120	0.229555	0.201459	0.139384	0.101518

보였다. 본 논문에서는 표준적인 형태의 교통 표지판 102개에 대한 정규화된 교통 표지판에 대한 정보를 데이터베이스에 저장하여 이용하기 때문에 실영상에서의 교통 표지판과 다소 틀린 부분이 있을 수 있다. 예를 들면, 속도 제한을 나타내는 표지판의 경우 빨간색 테두리 안의 속도를 나타내는 수치가 다른 경우이다. 그리고 실영상에 존재하는 교통 표지판 영역이 작은 경우 크기 정규화를 위해 이용한 선형 보간법은 많은 정보의 손실을 유발하였기에 다소 낮은 정확률을 보였다. 이러한 이유로 추출한 교통 표지판 영역에 대해서 측정된 유사도와 가장 유사한 크기 순위로 5위 이내에 포함되는지 실험한 결과 평균 36개의 영역을 인식하였으며,

평균 93.1%의 정확률을 보여 본 논문에서 제안한 방법이 유효함을 확인할 수 있다.

<표 3>과 <표 4>는 실영상으로부터 추출한 표지판과 데이터베이스에 저장된 표지판간에 유사도를 측정한 것으로, <표 3>은 주요색이 빨간색인 앞지르기 금지, 우회전 도로, 양보, 보행자 횡단금지, 속도 제한, 우회전 금지 표지판들을 대상으로 하였으며, <표 4>는 주요색이 파란색인 횡단보도, 주차, 우회전 금지, 회전 표지판들을 대상으로 하였다. 그리고 각 표의 셀 안에 있는 (A), (B), (C)는 형태 정보인 모멘트, 에지 코렐로 그램, 동심 원형 패턴 정보를 이용하여 측정된 유사도를 나타내며, (D)는 각 형태 정보에 대해 가중치를 부여하여

표 4. 유사도 - 지시 표지판

(A) 모멘트 (B) 에지 코렐로 그래프 (C) 동심 원형 패턴 (D) 전체

Table 4. Similarity values - Indicatory sign

(A) Moment (B) Edge correlogram (C) Concentric circular pattern (d) Overall

데이터베이스 실영상	횡단보도	주차	우회전	회전
횡단보도	0.131402(A)	0.351379	0.315688	0.508228
	0.022186(B)	0.155097	0.154623	0.185098
	0.117870(C)	0.269789	0.280554	0.364349
	0.086898(D)	0.242694	0.233313	0.333459
주차	0.377489	0.138242	0.149781	0.407259
	0.178119	0.067722	0.042893	0.058787
	0.268542	0.207598	0.262465	0.366392
	0.257214	0.127595	0.141886	0.267155
우회전	0.494713	0.409958	0.303728	0.307450
	0.183800	0.135255	0.071973	0.097597
	0.314063	0.258803	0.236236	0.223827
	0.313318	0.254940	0.195169	0.199155
회전	0.562435	0.423746	0.398360	0.219143
	0.179816	0.124790	0.052438	0.074140
	0.386603	0.390398	0.338435	0.263500
	0.357787	0.296628	0.254066	0.174285

측정한 전체 유사도를 나타낸다. 그리고 영상간의 유사도는 0에 가까울수록 높음을 나타낸다. <표 3>과 <표 4>에서처럼 같은 유형의 교통 표지판이 각 형태 정보에 대한 유사도와 전체 유사도에서 가장 높은 유사도를 가짐을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 운전자에게 보다 편안하고 안전한 운전을 가능하게 하는 시스템 개발의 일환으로, 웨이블릿 변환과 형태 정보를 이용한 실영상의 교통 표지판 인식 방법을 제안한다.

교통 표지판 영역을 추출하기 위해 화소의 색상비를 이용함으로써 다른 색상 공간으로의 변환이 불필요하고, 또한 조명 상태나 날씨에 민감하지 않은 특징을 가진다. 그리고 이진 영상에서 교통 표지판 영역을 추출하기 위해 이용한 XY축 대칭성은 크기, 이동 등의 변환과 어느 정도의 외부 환경에 의한 손실에 강건하다는 장점을 가지지만, 회전이 가미될 경우 민감하다는 단점을 가진다. 교통 표지판 인식은 추출한 교통 표지판 영역에 대해서 웨이블릿 변환을 적용하여 얻은 고주파수 및 저주파수 정보를 기반으로 모멘트, 에지 코렐로 그래프, 동심 원형 패턴 정보를 추출한다. 그리고 사전에 구축한 데이터베이스와의 유사도 측정에 의해 인식을 수행한다. 이러한 형태 정보는 다양한 변환에 대해서 불변한 특징을 가진다.

본 논문에서 제안하는 교통 표지판 인식 시스템은 향

후 자동 주행 시스템의 보급에 따라 확대 보급될 것이며, 영역 추출 및 인식 기술의 축적, 지리 정보 시스템, 차량 교통 정보 단말기 개발에 적용 등 많은 응용 분야에서의 활용이 기대된다. 향후 과제로는 잡음이 있는 영역의 효과적인 크기 정규화 알고리즘과 교통 표지판의 정확한 의미를 파악하기 위해서 도형 및 수치 등의 분할 및 인식에 관한 연구가 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Randy Crane, "A Simplified Approach to Image Processing," Prentice Hall Inc., 1997.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing," Addison Wesley, 1998.
- [3] Kenneth R. Castleman, "Digital Image Processing," Prentice Hall Inc., 1996.
- [4] Foresti, G., Murino, V., Regazzoni, C.S., and Vernazza, G., "A Distributed Approach to 3D Road Scene Recognition," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 43, no. 2, pp 389-406, May 1994.
- [5] Gay, M., "Segmentation Using Region Merging With Edges," In Proc. of the 5th Alvey Vision Conf., pp 115-119, Sept. 1989.
- [6] H. Akatsuka and S. Imai, "Road signposts recognition system," In Proc. of SAE vehicle highway infrastructure : safety compatibility, pp. 189-196, 1987.
- [7] R. Ghica, S. Lu and X. Yuan, "Recognition of traffic signs using a multilayer neural network,"

In Proc. of Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering, 1994.

[8] N. Kehtarnavaz, N. C. Griswold and D. S. Kang, "Stopsign recognition based on color shape processing," Machine Vision and Applications, vol. 6, pp. 206-208, 1993.

[9] L. Priebe and V. Rehrmann, "On hierarchical color segmentation and applications," In Proc. of CVPR 1993, pp. 633-634, 1993.

[10] G. Nicchiotti, E. Ottaviani, P. Castello and G. Piccioli, "Automatic road sign detection and classification from color image sequences," In Proc. 7th Int. Conf. on Image Analysis and Processing, pp. 623-626, World Scientific, 1994.

[11] S. Estable, J. Schick, F. Stein, R. Janssen, R. Ott, W. Ritter and Y. J. Zheng, "A realtime traffic sign recognition system," In Proc. of Intelligent Vehicles'94, pp. 213-218, 1994.

[12] Y. Aoyagi and T. Asakura, "A study on traffic sign recognition in scene image using genetic algorithm and neural networks," In Proc. of IEEE Conf. on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, pp. 1838-1843, Taipei, Taiwan, 1996.

[13] J. H. An and T. Y. Choi, "Dominant Color Transform and Circular Pattern Vector for Traffic Sign Detection and Recognition," IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Science, vol. E81, no. 6, pp. 1128-1135, 1998.

[14] J. Huang, "Color-Spatial Image Indexing and Applications," Thesis of Ph. of Doc. in the Faculty of the Graduate School of Cornell Univ., 1998.

[15] J. Huang, S. R. Kumar, M. Mitra, W. j. Zhu, and R. Zabih, "Spatial Color Indexing and Applications," Int. J. of Comput. Vision, vol. 35, no. 3, pp. 245-268, 1999.

— 저 자 소 개 —



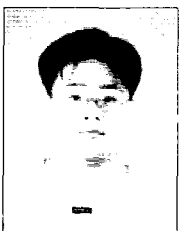
오 준 택(학생회원)
 1999년 영남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 2001년 영남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 2001년~현재 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야: 영상처리, 패턴인식>



김 옥 현(정회원)
 1981년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1983년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1993년 일본 쓰쿠바대학 공학 연구과 졸업(공학박사)

1983년~1993년 한국전자통신연구원 선임연구원
 1994년~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수
 <주관심분야: 시각정보처리, 패턴인식, 영상처리>



곽 현 옥(학생회원)
 2000년 영남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 2002년 영남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 2002년~현재 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야: 영상처리, 패턴인식>