형태학적 처리를 이용한 밝기 변화에 강인한 실시간 차선 검출

Robust Real-Time Lane Detection in Luminance Variation Using Morphological Processing

김관영*, 김미림*, 김인규*, 황승준*, 백중환*

Kwan-Young Kim*, Mi-Rim Kim*, Seung-Jun Hwang*, In-Kyu Kim*,
and Joong-Hwan Beak*

요 약

본 논문에서는 형태학적 처리와 에지 기반 영역 분할을 이용해 환경변화에 강인한 실시간 차선 검출 알고리즘을 제안한다. 매 프레임마다 가장 적절한 임계값을 적용시키기 위해 적응적 임계값을 사용하고 투사변환을 통해 영상의 왜곡을 보정한다. 이 후, 관심영역을 지정하고 에지를 검출해 실시간적으로 차선을 검출한다. 형태학적 처리의 유무에 따른 차선 검출 정확도와 연산 속도를 비교한다. 실험 결과 제안한 알고리즘을 통해 98.8%의 차선 검출율과 프레임 당 36.72ms의 실시간 처리가 가능함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we proposed an algorithm for real-time lane detecting against luminance variation using morphological image processing and edge-based region segmentation. In order to apply the most appropriate threshold value, the adaptive threshold was used in every frame, and perspective transform was applied to correct image distortion. After that, we designated ROI for detecting the only lane and established standard to limit region of ROI. We compared performance about the accuracy and speed when we used morphological method and do not used. Experimental result showed that the proposed algorithm improved the accuracy to 98.8% of detection rate and speed of 36.72ms per frame with the morphological method.

Key words : Lane detection, Morphological processing, Perspective transform, Canny edge

I. 서 론

현재 우리나라의 자동차 등록대수는 1900만에 다르고 있으며, 교통사고율 또한 최근 10년간 20만을 꾸준히 넘긴 상태다. 1996년 이후로 교통사고 사망자수가 많은 감소를 보이고 있지만, 아직도 OECD국가들의 평균 사망자수 보다 높은 사망자수를 기록하고

있다[1]. 교통사고율 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 부분은 안전운전 불이행이다. 이것은 교통사고율의 50%가 넘는 부분을 차지한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 지능형 자동차에 관한 관심이 고조되고 있으며 현재 친환경 자동차와 더불어 많은 연구 개발이 이루어지고 있다.

* 한국항공대학교 정보통신공학부(Information & Telecommunication Engineering, Korea Aerospace University)

· 제1저자 (First Author) : 김관영 (Kwan-Young Kim, Tel : +82-10-5123-2979, kimky0919@gmail.com)

· 투고일자 : 2012년 11월 14일

· 심사(수정)일자 : 2012년 11월 14일 (수정일자 : 2012년 12월 26일)

· 게재일자 : 2012년 12월 30일

* 2012년 한국항공학회 학술대회 발표 논문(우수논문 선정)이며, 논문 심사를 통과하여 게재하는 논문임.

그림 1. 센서가 적용된 시스템과 그 범위

Fig. 1. Sensor applied system and its range

과거에는 하드웨어의 성능이 좋지 못해 영상을 실시간으로 처리하지 못했기 때문에 비전 센서는 이론에만 그쳤다. 하지만 최근 하드웨어의 연산속도와 성능이 좋아지면서 영상을 실시간으로 처리 할 수 있게 됨에 따라 비전 센서가 주목 받고 있으며 지능형 자동차에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 레이더, 라이다, 비전 센서들은 인지성능 면에서 각기 다른 장단점을 가지고 있다 [그림 1 참조]. 레이더의 경우 센서 자체 특성으로 인해 전방 다중 차량이 근접하여 동일한 속도로 주행 시 이를 구분하지 못하거나 레이더 신호의 난반사로 인해 정지된 차량을 인식하지 못하는 등 복잡한 주행 환경에서 성능이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하고자 전방 비전 센서와의 융합을 통하여 성능을 개선하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 비전센서는 레이더, 라이다 센서들에 비해 날씨, 조도 등 주변 환경변화에 민감함을 보이지만 가격이 비교적 저렴하고 정확도 또한 우수하다. 따라서 비전 센서를 사용한 환경변화에 영향을 적게 받는 알고리즘을 제안한다면 센서 가격대비 좋은 성능을 기대 할 수 있기 때문에 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 영상의 형태학적 처리를 통해 정확도를 높이고 잡음을 최소화 한다. 그레이 연산, 적응적 임계값(Adaptive Threshold)를 사용하여 차선 검출에 필요한 전처리(Preprocessing)를 한다. 또한 3x3 행렬을 이용한 투시 변환(Perspective Transform)을 통해 실제 3차원 주행영상을 2차원 평면 형태로 바꾸게 된다[2]. 이는 영상의 관심 영역을 지정해 영역을 분할하는 역할을 한다. Canny 에지와 컨투어(contour) 과정을 통해 특징을 추출한다. 일정한 기준에 따라 검출된 에지가 차선인지 아닌지 판단하게 되고 2차원 평면 형태 위에 차선을 그린 뒤 역 투시 변환(Inverse Perspective Transform)을 하여 차선 검출 결과를 나타낸다.

II. 차선검출

본 논문에서 제안하는 차선검출 알고리즘은 아래 그림 2와 같다.

그림 2. 제안한 알고리즘

Fig. 2. Proposed algorithm.

2-1 전처리

핵심적인 영상 처리를 하기 전에 반드시 전처리를 해야 한다. 이는 뒤에 처리할 과정에서 더욱 적절하고 효과적으로 처리하기 위한 기본적인 과정이다. 명암 변화가 큰 곳을 지날 때 카메라가 일시적으로 차선을 인식하지 못하는 경우가 있다. 이때 흰색, 노란색인 차선을 순간적으로 놓치는 경우가 생기게 된다. 이를 보완하기 위해서 팽창 연산(Dilation)을 한다. 그림 3을 통해 차선이 두터워진 결과를 확인 할 수 있다.

그림 3. (a), (b) 밝은 도로/ (c), (d) 어두운 도로
Fig. 3. (a), (b) Bright road/ (c), (d) Dark road

보완한 주행 영상은 RGB 영상이기 때문에 아래의 식 (1)을 이용해 그레이 영상으로 변환한다.

$$GRAY = 0.299R + 0.587G + 0.144B \quad (1)$$

그림 4. 흑백 영상
Fig. 4. Gray Image

영상의 형태학적 연산인 팽창(Dilation), 침식(Erosion), 열림(Opening), 닫힘(Closing)은 영상 내에서 기본적으로 잡음제거, 구성 요소들의 결합, 분리, 밝기 값 조정 등의 역할을 한다[3], [4]. 그레디언트(Gradient) 연산을 이진영상에 적용하면 픽셀 값이 급격하게 변하는 부분의 값은 1(흰색)이 나오게 되고 변화가 없는 부분은 0(검은색)이 나오기 때문에 영역의 외곽선만 남기는 효과가 있다.

팽창 연산의 결과와 침식 연산의 결과 영상의 차분 영상을 구하면 그림 5와 같이 영상 내 특징의 외곽선을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Morphological Gradient} \\ = \text{dilate}(X, Y) - \text{erode}(X, Y) \end{aligned} \quad (2)$$

그림 5. 형태학적 기울기
Fig. 5. Morphological gradient

$$\begin{aligned} \text{dilate}(X, Y) \\ = \max_{(X', Y') \in \text{Kernel}} \text{src}(X + X', Y + Y') \end{aligned} \quad (3)$$

팽창 연산은 정해진 영역 내에서 가장 큰 값을 pixel 중심부의 값으로 바꾸는 최대값(max)필터의 역할을 한다. 그레이 영상에서 밝은 영역이 늘어나고

어두운 영역이 줄어드는 결과가 나온다.

$$\begin{aligned} \text{erode}(X, Y) \\ = \min_{(X', Y') \in \text{Kernel}} \text{src}(X + X', Y + Y') \end{aligned} \quad (4)$$

침식 연산은 영역을 좁혀가는 연산이며 최소값(min)필터의 역할을 한다. 팽창 연산과 반대로 그레이 영상에서 밝은 영역이 줄고 어두운 영역이 늘어나는 연산 결과가 나온다.

그림 6은 Gray 영상에 적용시킨 형태학적 기울기(Morphological gradient) 연산의 결과이다. 형태학적 기울기 연산으로 인해 얻은 외곽선은 단순히 Canny 에지로 얻은 외곽선보다 외부환경에 강하며 안정적이다. 그러므로 본 논문은 외곽선 추출을 하는 데 형태학적 기울기 연산을 사용했다.

그림 6. 형태학적 기울기 연산 결과
Fig. 6. Result of morphological gradient

이후 적응형 임계값을 적용해 영상을 이진화 한다 [5]. 적응형 임계값은 모든 프레임에서 고정적으로 사용하던 하나의 임계값(범위 : 0 ~ 255) 대신 원영상의 프레임별 히스토그램 분포를 고려해 각 프레임마다 임계값을 결정한다. 프레임별 히스토그램 분포를 통해 영상의 대부분을 차지하는 화소의 값이 적응적 임계값으로 결정된다. 조명이 급격하게 변하는 영상에서도 영상의 이진화 결과가 일정한 장점이 있다. 적응형 임계값 방법을 사용하므로 이전 프레임에서 다음 프레임으로 넘어갈 때에도 외곽선이 뚜렷하게 추출되는 결과 또한 얻을 수 있다. 투시 변환에 앞서 이진화 된 영상에 열림 연산을 적용함으로써 불필요한 잡음을 제거한다. 이후 적응적 임계값을 적용해 영상을 이진화 한다.

그림 7. 이진화 된 영상
Fig. 7. Result of binarization

2-2 투시변환

투시변환은 3차원 공간상의 한 평면을 바라보았을 때 실제 보이는 2차원 평면 형태로 바꾸는 변환이다. 입력 영상의 원근감을 제거하고 외곽선을 찾을 때 불필요한 주변은 고려하지 않기 위해 3x3의 변환 행렬 H 을 이용해 입력 영상을 Top-view 영상으로 변환한다. Top-view 영상을 이용하면 원근 효과를 제거할 수 있기 때문에 하늘에서 내려다 본 것과 같이 나타낼 수 있다. 이를 통해 연산량을 줄인다. 모든 영상처리를 끝낸 뒤 다시 역 변환 행렬 H^{-1} 을 통해 원래의 입력영상 시점으로 변환 시킨. 그림 8은 Top-view 영상과 입력영상에 대한 관계를 나타낸다.

그림 8. Top-view 영상
Fig. 8. Image of top-view

$$\text{Original Image} * H = \text{Top-View Image} \quad (5)$$

$$\text{Top-View Image} * H^{-1} = \text{Original Image} \quad (6)$$

($H, H^{-1} = 3*3$ Transform Matrix)

(a)Original image (b) Top-view image

그림 9. Top-view 영상
Fig. 9. Image of top-view

위 영상에 연산량을 줄이기 위한 최소의 ROI(Region Of Interest)지정을 통해 차선 검출에 필요한 부분의 외곽선만 추출한다. 외곽선을 찾는 과정에 Linked List가 사용되기 때문에 불필요한 연산을 줄여야 실시간 검출이 가능해진다.

2-3 특징추출

본 논문에서 안정적으로 검출하려는 흰색, 노란색 차선은 아스팔트색인 검정색과 경계가 뚜렷한 편이다. 때문에 차선 주변으로 에지 영역이 형성된다. 이를 이용하기 위해 Canny 에지로 차선의 에지 영역을 검출한다. 영상의 잡음을 줄이기 위해 가우시안 필터 $G(X, Y)$ 를 콘볼루션하여 얻은 평활화 영상은 다음 식(7)와 같다.

$$S(X, Y) = G(X, Y) * F(X, Y) \quad (7)$$

$$G(X, Y) = e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\delta^2}} \quad (8)$$

Sobel 연산자를 사용하여 x축, y축 방향의 에지 방향을 구한다. x방향 마스크를 M_x 라 하고 y방향 마스크를 M_y 라 할 때 마스크는 다음 식(9)와 같다

$$M_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad M_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

에지의 방향으로 가로, 세로, 대각선 두 개의 경사로 총 네 방향으로 양자화 후 비 최대치 억제 처리를 하고, 가설 문턱치 처리를 통하여 에지를 추출한다.

그림 10. Canny 에지 검출
Fig. 10. Result of Canny edge

Canny 에지 검출로 이진화된 영상을 얻고 ROI 지정을 통해 주행 중인 차량 정면에 있는 차선에 대해서만 외곽선을 검출한다. 이전 과정에서 전처리로 잡음을 제거 했지만 미세한 잡음이 생겨서 불필요한 외곽선이 생기는 경우가 생기므로 검출할 외곽선에 대한 조건을 제한한다. 일반적으로 본 논문에서 찾을 외곽선인 차선은 직사각형 모양을 하고 있으며 세로/가로 의 비율이 5이상, 차선의 기울기가 160~200도이다. 아래 식(10), (11)로 외곽선의 조건을 정한다.

$$\frac{I_{contour}(h)}{I_{contour}(w)} \geq 5 \quad (10)$$

$$160^\circ \leq I_{contour} \leq 200^\circ \quad (11)$$

식 (10)의 $I_{contour}(h)$, $I_{contour}(w)$, $I_{contour}(\theta)$ 는 각각 추출된 외곽선의 폭과 높이, 기울기이다. 위와 같이 외곽선의 범위를 정하고 프리만 체인 코드를 이용하여 외곽선의 수평, 수직 대각 성분의 끝점만을 저장한다[6]. 그러면 이미지에서는 다음 그림 11과 같은 타원의 정보를 얻게 된다.

그림 11. 외곽선 타원 정보 검출
Fig. 11. Outline ellipse detection

2-4 차선 인식 및 판단

타원의 정보를 얻은 후 추출 결과가 왼쪽 차선인지 오른쪽 차선인지 판단하기 위해 타원의 x좌표 영역을 제한한다. 그림 11-(b)를 보면 검출된 외곽선의 위치가 영상의 정 중앙이 아닌 것을 확인 할 수 있다. 지정한 ROI 영역에서 일정한 X좌표 값을 정하고 기준 값 이상은 오른쪽 차선, 이하는 왼쪽 차선으로 인식한다. 그림 12-(a)는 왼쪽 차선과 오른쪽 차선의 분리를 나타낸다. 좌우로 차선을 분리한 후 좀 더 유연한 차선 검출을 위해 외곽선의 높이 정보를 이용하여 좌, 우를 각각 세 등분으로 나눈다. 세 등분으로 나누는 이유는 후에 Top-View 영상을 다시 원영상으로 역 변환 했을 때 좀 더 유동성 있게 보이기 위함이고 좀 더 정확한 차선을 그려주기 위함이다.

그림 12. (a) 조건 적용 후 분리,
(b) 좌, 우 차선 세등분으로 분리

Fig. 12. (a)Condition applied after separation
(b) Separate into three part, the left and right lane

각각 분리 된 영역에서 주어진 외곽선 정보를 이용하여 직선의 시작점과 끝점을 구해 차선을 그린다. 매 프레임마다 새로운 정보로 그려주는 것은 차선의 불안정을 초래하기 때문에, 보다 안정된 검출을 위해 15프레임씩 저장하고 평균치를 계산하여 그려주도록 한다. 그림 12-(b)와 같이 Top-view 영상 위에 직선들을 그린 뒤 3x3 역 변환 행렬을 이용해 원래 원근감이 적용된 영상으로 변환한다[7].

III. 실험 및 결과

본 본문에서 제안한 알고리즘을 시속 60km 이상의 주행 영상에 적용하였다. 저속 주행 시 발생하는 주변의 예상치 못한 다양한 상황에 비전 센서만으로는 적절한 대응이 어렵기 때문이다. 현대 자동차의 고급 차종에 적용된 차선이탈 경보시스템인 LDWS(Lane Departure Warning System)의 경우를 보면 시속 60km이하인 경우 아예 경보 시스템이 작동하지 않게 되어 있다.

제안한 알고리즘은 Visual Studio 2008을 이용하여 C++로 구현하였다. 하드웨어는 Intel(R) Core(TM) i5 CPU와 2GB-RAM을 탑재한 PC를 사용하였다. 성능 평가에 사용된 영상은 입력 영상이 480×272 해상도의 주행 영상 1418 프레임이다.

형태학적 기울기연산 유무에 따른 이진화 결과를 아래 그림을 통해 확인 할 수 있다. 제안한 알고리즘에서 이진화 결과는 매우 중요하다. 외부 환경이 변할지라도 이진화 결과가 얼마나 선명하고 강인하게 나오느냐에 따라 차선 검출 여부가 판가름 난다.

그림 13의 도로를 보면 밝기 변화, 주변 장애물 등의 외부요인의 변화가 거의 없는 상태이다. 형태학적 기울기 연산의 유무에 따른 이진화 결과가 크게 다르지 않음을 볼 수 있다. 이 경우에는 형태학적 기울기 연산의 유무에 따른 차선 검출에 큰 차이가 없다.

그림 13. 형태학적 기울기 연산 유무에 따른 이진화 결과 (a) 무 (b) 유 (외부 변화 많은 경우)

Fig. 13. Binarization result according to the present or absent of morphological gradient (a)absent (b)present (many external condition changes)

하지만 그림 14를 통해 확인한 차이를 볼 수 있다. 현재 차량이 터널 내부로 진입하고 있는 상황이다. 햇빛으로 인해 밝았던 외부가 붉은색 백열등으로 바뀌면서 어두워지고 차선 주변에 그림자가 생기는 등 갑작스럽게 여러 가지 외부 변화 요인이 생긴다. 형태학적 기울기 연산을 했을 때 이진화 결과는 외부

경의 변화와 상관없이 일정한 결과가 나온다. 하지만 형태학적 기울기 연산을 하지 않은 경우 이진화 결과가 사람의 눈으로도 판단하기 어려울 정도로 좋지 않음을 확인 할 수 있다. 차선 검출 시 형태학적 기울기 연산을 했을 때 놓치는 부분이 아주 적음을 표1의 결과를 통해 확인 할 수 있다.

그림 14. 형태학적 기울기 연산 유무에 따른 이진화 결과 (a) 무 (b) 유 (외부 변화 적은 경우)

Fig. 14. Binarization result according to the present or absent of morphological gradient (a)absent (b)present (less external condition changes)

표 1. 차선 검출률(검출 프레임/전체 프레임)
Table 1. Lane Detection Rate(Detection Frame/Total Frame)

그림 14-(a)	그림 14-(b)
54.5%(808/1481)	98.8%(1464/1481)

(a)기존 검출 방법 (b) 제안된 검출 방법

그림 15. 제안한 알고리즘을 적용한 결과

Fig. 15. Result of proposed algorithm

기존 알고리즘을 통해 차선을 검출하면 밝기가 급격하게 변화는 구간에서 순간적으로 차선을 놓치고 정확도가 낮아지는 현상을 발견할 수 있었다. 그림 15-(b)를 보면 제안된 알고리즘을 적용했을 때 조명 변화에 강인함을 확인 할 수 있다. 성능 평가에 사용된 영상뿐만 아니라 다른 영상에서도 강인함을 보이는지 확인 했다. YouTube에서 무작위로 밝기 변화가 있는 5개의 주행 영상을 받아 적용했을 때 이와 같은 성능을 보였다. 그림 16을 보면 [야와-터널 진입-터널 내부 조명변화]등 밝기가 짧은 시간에 다양하게 변화지만 차선을 인식함에는 전혀 문제가 없음을 확인 할 수 있다.

그림 16. 제안한 알고리즘을 적용시킨 다른 영상
Fig. 16. Result of proposed algorithm(Other image)

표 2. 주요 단계 별 연산 속도

Table 2. Major step computation speed

	연산 속도(ms)	
전처리	Dilation	4.3997
	Morphological Gradient	0.7028
	Adaptive Threshold	2.7061
	Opening	0.5516
영역 분할	Perspective Transform	3.1236
특징 추출	Canny Edge	4.0650
	Contour	15.4253
판단	Inverse Transform	5.7476
Total		36.7217

표 1은 각 단계별 연산 속도를 나타낸다. 하나의 프레임을 처리하는데 36.7217ms가 소요됨을 확인 할 수 있다. 이는 1초에 27.23장의 프레임을 처리 할 수 있음을 나타내는 것으로 실시간 영상처리가 가능함을 의미한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 형태학적 연산을 이용한 에지 기반의 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 환경 변화가 심한 영상에서 차선 검출률이 98.% 이상이고, 처리시간은 프레임 당 평균 36.7217ms로 실시간 처리가 가능하다. 이는 차량에 장착된 비전 센서로 밝기 변화에 영향을 적게 받는 실시간 차선 검출이 가능함을 의미한다. 또한 기존 알고리즘에 비해 다양한 밝기 변화가 있는 상황에서도 차선 검출이 안정적으로 되는 장점이 있다. 다만 차선의 선명도, 도로 위의 예상치 못한 장애물 등이 있는 상황에 대해서는 고려하지 못한 한계가 있다. 추후 이런 상황에서 통계적 예측을 통해 차선 검출이 안정적으로 될 수 있도록 알고리즘을 개선하는 방향으로 연구할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 경기도지역협력연구센터 (GRRC) 프로그램에 의해 한국항공대학교 차세대방송미디어기술 연구센터의 지원으로 수행되었음.

Reference

- [1] "World Car Accident Statistics", WHO(World Health Organization) 2008.
- [2] Sunji Han,Youngjoon Han, Hernsoo Hahn, "Lane and Curvature Detection Algorithm based on the Curve Template Matching Method using Top View Image", The Institute of Electronics Engineers of Korea(IEEK)-SP, 47(6), pp. 97-106. Nov, 2010.
- [3] Adrian N. Evans, "Morphological Gradient Operations

For Images”, IEEE, 2004.

- [4] Arnaldo Camara Lara and Roberto Hirata Jr, “A morphological gradient-based method to motion segmentation”, Proceedings of the 8th International Symposium on Mathematical Morphology, RiodeJaneiro, Brazil, MCT/INPE, Vol. 2, pp. 71-72. Oct. 10-13, 2007.
- [5] Aroop Mukherjee, Soumen Kanrar “Enhancement of Image Resolution by Binarization” International Journal of Computer Applications (0975 - 8887)
- [6] G.Y. Jiang, T.Y. Cho, S.K. Hong, J.W. Bae, and B.S. Song, “Lane and Obstacle Detection Based on Fast Inverse Perspective Mapping Algorithm,” Systems, Man, and Cybernetics, 2000 IEEE International Conference on Vol. 4, pp. 2969-2974, October, 2000.
- [7] H. Freeman. On the encoding of arbitrary geometric configurations, IRE Transactions on Electronic Computers EC- 10, pp. 260-268. 1961.
- [8] Bongsob Song, The Korean Society of Automotive Engineers, Auto Journal, pp. 35-40, June, 2012.

김 관 영 (Kwan Young Kim)

2007년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교
정보통신공학 재학중
관심분야 : 영상처리

김 미 림 (Mi Rim Kim)

2008년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교
정보통신공학 재학중
관심분야 : 영상처리

김 인 규(In - Kyu Kim)

2011년 2월 : 한국항공대학교
정보통신공학과 졸업(공학사)
2012 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교
정보통신공학 석사 중
관심분야 : 영상처리, 멀티미디어,
3D VISION

황 승 준(Seung-Jun Hwang)

2012년 2월 : 한국항공대학교
정보통신공학과 졸업(공학사)
2012 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교
정보통신공학 석사 중
관심분야 : 영상처리, 패턴인식

백 중 환 (Joong-Hwan Baek)

1981년 2월 : 한국항공대학교
항공통신공학과 졸업(공학사)
1987년 7월 : 오클라호마주립
대학원 전기 및 컴퓨터공학과
(공학석사)
1991년 7월 : 오클라호마주립 대학원
전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)

1992년~현재 : 한국항공대학교
항공전자 및 정보통신공학부 교수
관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 영상압축, 멀티미디어