

컴퓨터비전과 지능형 안전자동차

이기용* · 송광열** · 이준웅***

1. 서 론

최근 들어 자동차에는 자동 또는 반자동 제어(x-by-wire)장치, 차량자세제어장치, 자동항법장치, 사고경감 또는 사고회피장치, 승원보호 및 편의 장치 등 광범위한 분야에서 전자·정보·통신관련 기술이 기반이 된 시스템의 장착이 늘고 있다. 특히, 지능형 안전자동차는 자율주행기술이나 로봇기술과의 접목이 이루어지면서 전기·전자·정보·통신기술이 경쟁력 확보의 요체가 되고 있다. 이러한 기술의 발전에 있어서 차량주위의 센싱 및 인식 기능은 필수불가결 요소가 되었고, 이 때 늘 주목의 대상이 된 기술이 컴퓨터비전이다.

차량이 주행하는 공간은 자연환경하에 있다. 따라서 날씨나 조명 등 자연환경이 차량주행에 미치는 영향을 기술적으로 극복하려는 노력은 계속되고 있지만, 운전자가 통제할 수 있는 자연환경적 요소는 없다. 덧붙여 차량이 주행중인 도로 상황 가운데 운전자가 미리 예측을 할 수 있는

경우 역시 매우 드물다. 이 외에도 여러 요인이 있겠지만, 이 두 요인이 센싱의 비용이나 부담을 크게 가중시킨다. 장애물의 유무나 차로에 관련된 상황, 갑자기 옆길에서 차차량이 주행하는 차로로 장애물이 진입하는 등의 예측 불가능한 돌발상황 등 도로의 교통상황에 관련된 요인은 라이다(LIDAR)나 레이다(RADAR)와 같은 능동형(active) 센서나 카메라와 같은 수동형(passive) 센서 할 것 없이 모든 센서에 동등하게 영향을 미친다. 그러나 주로 날씨나 조명에 관련된 환경적 요인은 다르다. 수동형 센서인 카메라의 입력을 기반으로 하는 컴퓨터비전이 능동형 센서기반의 시스템보다 자연환경에 대한 영향을 훨씬 크게 받는다[8,10,11].

이런 가운데서도 컴퓨터비전기술의 자동차로의 접목을 위한 연구는 지속되고 있다. 차량의 후진시 시야확보를 위한 후방주시용 카메라의 장착은 이제 보편화되었고, 차량좌우측 코너의 사각지대 시야확보를 위해서도 고급차종에 카메라가 장착되고 있는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 넓은 시야의 영상을 운전자에게 제공하기 위해 사용되는 카메라에는 광각(wide-angle)렌즈 또는 어안(fish eye)렌즈가 채택된다[9]. 이외에도 차량 주위 사방의 영상을 제공하는 어라운드뷰(around view)가 수년전 차량에 장착되어 모터쇼에 출품

* 교신저자(Corresponding Author): 이준웅, 주소: 광주광역시 북구 용봉동 300 (500-757), 전화: 062)530-1781, FAX: 062)530-1789, E-mail: joonlee@chonnam.ac.kr

* 전남대학교 산업공학과 대학원 박사과정
(E-mail: 01710402@hanmail.net)

** 전남대학교 산업공학과 대학원 박사과정
(E-mail: skyclass@nate.com)

*** 전남대학교 산업공학과

되었고, 심지어는 차량 좌우측에 있는 후방주시 미러 대신에 그곳에 카메라를 장착하여 기존의 차량 후면에 장착된 후방주시 카메라와 함께 세 카메라의 영상을 통합하여 운전자에게 제공하는 파노라믹(panoramic) 비전 기능도 모터쇼에 선보인 바 있다.

최근, 양질의 영상제공을 위한 카메라의 개발도 컴퓨터비전의 중요한 연구분야가 되고 있다. 카메라로부터 제공되는 원영상의 질이 좋지 않을 경우 지능형자동차에 적용된 도로환경인식용 알고리즘의 성능은 현격히 떨어지고, 따라서 이런 면이 컴퓨터비전이 시장으로부터 외면받는 원인이 된다. 앞에서 언급했듯이 자동차가 주행하는 환경은 조명변화가 매우 심하다. 예를 들어 햇볕이 심하게 내리쬐는 한 여름 오후부터 조명이 약한 야간, 비가 오거나 구름이 끼어 햇볕이 차단된 상황, 조명원인 태양의 위치가 계속 바뀌는 상황, 그리고 야간에 전방에서 접근해오는 차량들로부터 들어오는 전조등 빛, 야간에 도심지 쇼윈도우에서 나오는 조명이나 가로등 조명, 차량으로부터 나오는 빛 등이 혼재된 상황, 햇빛이 직접 카메라의 렌즈를 통과하는 상황, 터널 입출구에서 순간적으로 변하는 조명환경, 비오는 야간에 노면에 고인 빗물에 반사된 빛 등 조명의 강도나 종류가 너무 다양하고 그 범위가 넓다. 이렇게 광범위하고 동적인 조명변화에 실시간으로 대응할 수 있는 카메라개발은 컴퓨터비전이 지능형안전 자동차 연구 환경에서 주도적 위치에 설 수 있느냐의 키가 될 수 있다.

지능형자동차에 접목시키기 위한 컴퓨터비전 분야의 많은 연구는 단순히 운전자에게 영상을 제공하는 것에 그치지 않고, 운전자의 부주의나 실수로 야기되는 사고를 막거나 경감시키는 역할을 수행하거나 운전자의 운전 편의성 증대에 직접적

으로 도움을 주는 역할 수행을 목표로 한다[1,10].

미국의 DARPA 챌린지에서 실행된 자율주행 자동차 연구 사례에서도 그 적용비율은 매우 미약했지만, 차량 스스로가 주변 상황을 파악하면서 자율적으로 안전하게 목적지까지 주행하도록 하는데 컴퓨터비전 기술이 일정부분 기여한 바 있다 [8]. 본 논문은 이러한 역할을 수행하기 위해 연구되고 있는 컴퓨터비전 시스템인 차선이탈경보 시스템과 장애물인지 시스템에 대해 소개한다.

2. 차선이탈 경보 및 차선유지 시스템

컴퓨터비전이 지능형 차량에 적용될 수 있는 독보적 분야가 바로 차선이탈 경보 시스템 (lane departure warning system, LDWS) 및 차선유지 시스템 (lane keeping system, LKS)이다. 이 시스템들은 도로 표면에 얇게 그려진 긴 띠 모양의 차선경계표식의 검출을 기반으로 하기 때문에 능동형 센서의 적용은 매우 어렵다.

세계 각국의 대부분의 포장된 도로에서 차선의 경계는 페인트로 도색된 표식이다. 미국의 일부 지역에서는 페인트 표식 대신에 하얀색의 원형 못(dot)이 박혀 있는 경우도 있다. 국내의 경우 차선경계색이 노란색, 파란색, 흰색 등 세 종류이고, 포장로의 재질도 아스팔트와 시멘트 두 종류다. 이와 같이 색이 다르고 포장재질이 다르면 차선표식 검출 알고리즘에도 영향을 미친다. 특히, 갓 포장된 시멘트도로의 경우 노란색의 차선경계 검출이 쉽지 않다. 최근에 국내에서는 하이패스 구간이 늘면서 이 구간에서는 파란색으로 도색된 표식이 실제 차선경계와는 별도로 도색이 되고 있는데, 이 상황도 컴퓨터비전 알고리즘에는 부담으로 작용된다.

국내 교통노면 설치관리 규정에 의하면 차선경

계표식의 도색된 폭과 도색길이가 도로나 차선의 용도에 따라 다르다. 도색된 표식의 폭의 경우 최소 10cm에서 45cm까지 차이가 난다. 도심지 도로의 경우 도로 중앙을 표시하는 차선경계는 복선으로 도색되어 있다. 또한 도로마다 차속에 대한 설계속도에 따라 최소 차로폭이 3m에서 3.5m까지 차이가 크다. 그러나 이것은 규정이고 실제 도로에서는 규정을 지키기 어려운 곳이 있기 때문에 차로폭이 3m미만에서 4m이상까지 그 변동폭이 매우 크다. 최소곡률반경도 도로의 설계속도에 따라 90m에서 710m까지 차이가 크다. 따라서 차선 관련 정보를 추출하는 알고리즘 설계시 이러한 점을 모두 고려해야 하는데[1,2], 이 점이 자연환경이 가져다주는 어려운 점과 함께 LDWS나 LKS 성공의 장애로 작용한다.

본 논문에서는 저자의 논문[2]에 제안된 LDWS를 중심으로 차선표식의 경계검출, 검출된 경계의 기하학적 표현과 이를 토대로 차량이 주행 중인 차선을 이탈하는 것인지 판단하는 방법에 대해 정리한다. 그림 1은 참고문헌[2]의 LDWS 흐름도이다.

카메라 캘리브레이션은 짜이 논문[3]에 제시된 방법에 의해 수행되었다. 캘리브레이션을 통해 얻은 파라미터를 이용하여 3차원 공간에서의 차선 경계 표식의 폭이 영상에서 차지할 픽셀의 수, 차량이 차로중앙에서 정상적으로 주행할 경우 차로 좌우의 차선경계가 영상에 존재할 영역 등을 미리 결정해 놓고 이를 시스템 수행과정에서 사용한다.

[2]에 제안된 방법의 가장 큰 특징은 LBPE (lane boundary pixel extraction)로 알려진 차로 좌우에 있는 차선표식의 내·외측 픽셀 추출이다. 그 이유는 이후의 과정은 LBPE의 결과에 의해 좌우되기 때문이다. 또한 내·외측 경계 동시추출로 안정된 차로이탈 판정을 도모할 수 있다. 또

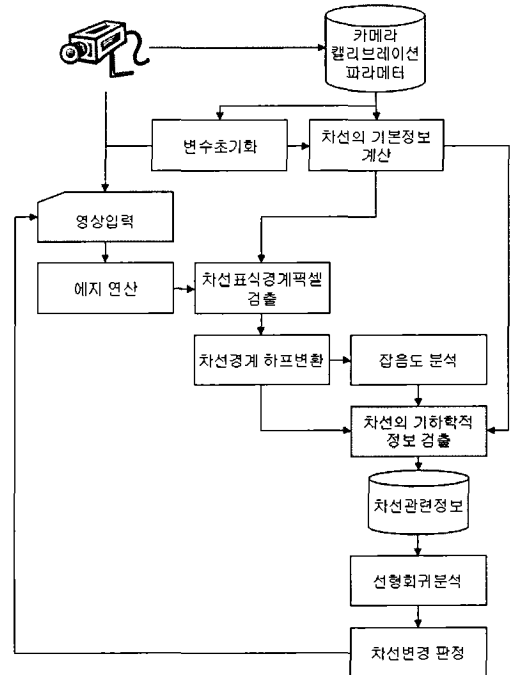


그림 1. 참고문헌(2)의 LDWS의 흐름도

하나 부차적인 특징은 그림 1의 잡음도 분석으로 노면에 차선표식이 잘 보이는데에 대한 분석이다. 그림 2(d)는 LBPE의 결과를 가지고 4개의 하프공간(Hough space)에 보팅을 수행한 결과다. 구축된 4개의 하프공간을 육안으로 살펴보면 4개의 모든 공간에 하얀 부분이 뚜렷하게 나타나 있음을 알 수 있다. 이는 곧 영상에 차선경계의 표식이 잘 보인다는 의미이며 영상처리 결과에 의해 차량의 차선이탈 여부를 결정하는데 문제가 없음을 뜻한다. 이와 같이 LBPE결과와 하프변환결과를 바탕으로 차선표식에 대한 가시성 분석을 수행하여 현 영상에서 차선경계에 대한 기하학적인 정보를 추출할지에 대한 여부를 결정한다.

하프변환은 주어진 점군(point set)에 대해 라인을 찾아내는 방법으로 라인의 기울기와 원점으로부터 그 라인까지의 거리가 추출된다. 따라서 본 논문의 방법에서는 차로 좌·우의 내·외측

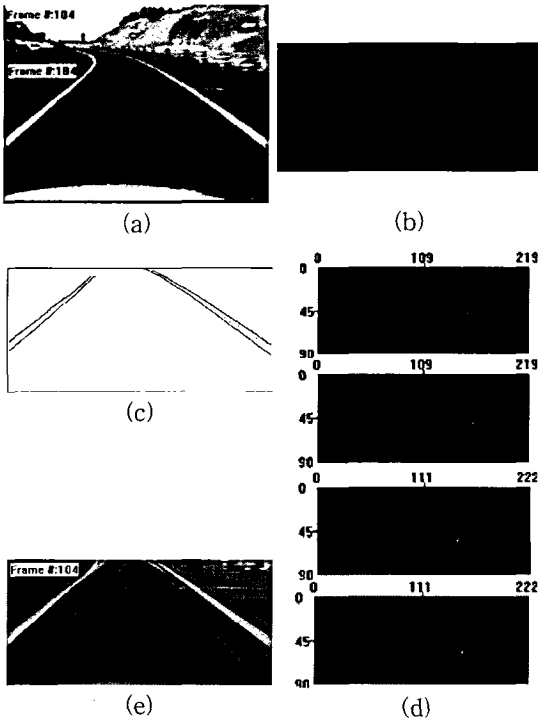


그림 2. 차선경계의 기하학적 정보 결정: (a) 입력된 원영상, (b) 추출된 에지, (c) 좌우 차선표식의 내외측 픽셀 추출, (d) 하프변환결과, (e) 차선경계의 기하학적 정보

차선경계의 기울기와 원점으로부터 거리로 구성된 8개의 기하학적 파라미터를 결정한다.

그림 1의 마지막 과정인 차선이탈 여부의 판정은 이들 8개의 파라미터들의 변화되는 정도를 보고 차량이 차로중앙을 벗어나는지 판단하고, 벗어났다고 판정되면 좌측 또는 우측 어느 쪽으로 벗어나는지 판단을 한다. 이 때 현재 영상의 차선경계정보만으로 판정을 할 경우 현 입력 영상에서 추출한 정보가 에러라면 잘 못 판정할 가능성이 있으므로 과거의 몇 개 영상의 정보에 대해 선형 회귀를 적용하여 파라미터들의 변화하는 경향성을 보고 차선이탈을 판정하는 방법을 도입했다. 이 방법을 사용함으로써 차선이탈 판정의 신뢰도는 날씨나 조명조건에 상관없이 거의 100%에 접

근하였고, 따라서 상용화가 가능하였다.

여기에 소개한 [2]의 방법을 차선유지에 적용하려면 현 정보의 수정없이 차량의 스티어링 액추에이터를 통제하는 기능만 추가하면 된다.

3. 차량검출 시스템

컴퓨터비전을 이용한 차량검출은 대개 차차량 근방의 차량을 검출하여 추돌이나 충돌 가능성이 있는 차량을 운전자에게 미리 알려주거나 충돌에 대비하는 시스템으로 활용하기 위한 연구이다. LDWS나 LKS에 비해 컴퓨터비전에 대한 의존성은 떨어진다. 그 이유는 능동형 센서인 LIDAR나 RADAR을 이용하면 환경에 대한 영향을 수동형 센서에 비해 줄일 수 있고, 거리데이터를 곧바로 얻을 수 있기 때문이다[8]. 하지만 컴퓨터비전에 기반을 둔 차량검출연구는 여전히 많은 관심을 받고 있다.

3.1 단안비전에 의한 차량검출

도로상에는 차량주행에 방해가 되는 다양한 형태의 장애물이 많다. 이 가운데 대표적인 장애물이 차량이다. 본 논문에서는 저자가 제안한 바 있는 차차량 전방의 차량검출을 위한 단안비전 기반의 알고리즘들[4,5] 가운데 논문 [4]에 제안된 방법을 소개한다.

이 방법은 많은 종류의 차량영상과 비차량영상들을 사전에 준비하여 이 영상들에 대해 16만여개의 하(Haar-like) 특징을 계산한다. 그리고 에이다부스트(AdaBoost) 알고리즘을 이용하여 차량과 비차량을 잘 분류하는 하특징을 선별하고 선별된 하특징의 가중치를 결정한후 선별된 하특징값과 가중치를 가지고 분류기를 구축한다. 그리고 영상처리 알고리즘을 통해 추출된 차량후보들이

차량인지 아닌지를 이 분류기에 의해 판단한다.

차량후보는 다음과 같이 추출한다. 그림 3(a)에 보인 바와 같이 차량에 장착된 카메라를 통해 입력된 영상을 탑뷰(top-view)로 변환한다. 변환은 카메라로부터 멀리 있어서 작게 보이는 차량도 검출하기 위해서다. 다음은 변환된 영상에서 수직, 수평의 에지를 추출한다. 그리고 수직에지의 절대크기를 카메라 초점을 기준으로 원주방향으로 일정한 간격으로 미리 정의된 수많은 스캔라인을 따라 누적을 취한다. 그림 3(a)에 보인 바와 같이 이 누적을 PAF(polar accumulation function)이라 하고, PAF에서 PAF값이 큰 위치인 피크(peak)를 찾으면 이곳이 차량의 수직경계일 가

능성이 크다(그림 3(a)). 이렇게 검출된 각 수직경계를 중심으로 좌우로 차량폭의 절반정도(그림 3(b)의 W_{row})의 범위내에서 수평에지를 누적한다. 그리고 이 누적의 큰 값인 피크를 추출하면 이 위치가 차량의 하단 후보가 된다 (그림 3(b)). 이 예비 수직경계와 하단부를 기준으로 차량폭과 높이에 해당하는 사각형영역을 취해 사각형내의 밝기값을 가지고 축대칭성을 분석한다. 미리 정해놓은 축대칭성의 기준치(threshold value)를 초과하는 사각형을 차량후보의 바운딩박스(bounding box)로 선정한다(그림 3(c)).

그림 4는 학습데이터와 하특징 선정과정을 보인 것이다. 차량후보영역으로 선정된 각각의 바운딩박스에 대해 학습과정에서 선별된 하특징들의

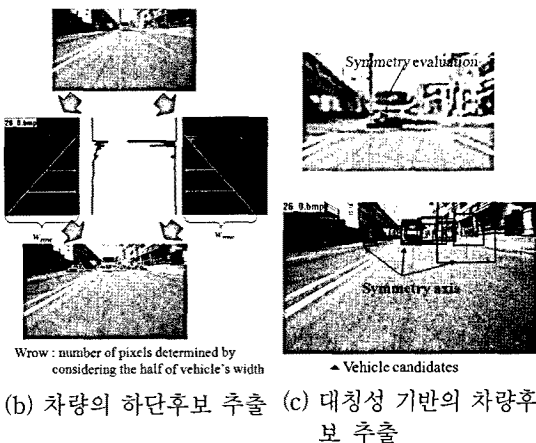
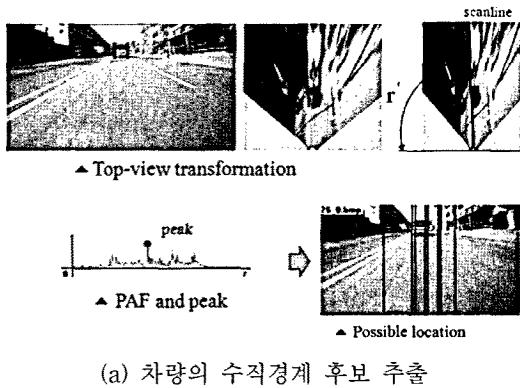
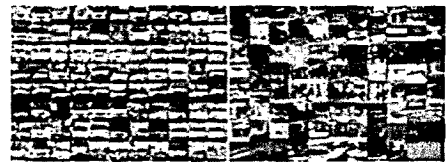


그림 3. 차량후보 추출과정

Training data: vehicles and non-vehicles

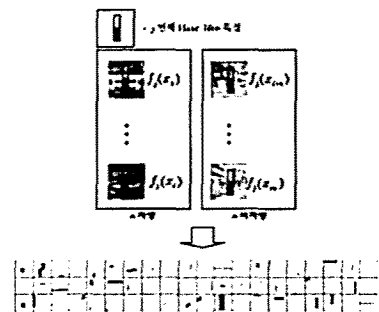


Harr-like features with various sizes



(a) 학습데이터와 하특징

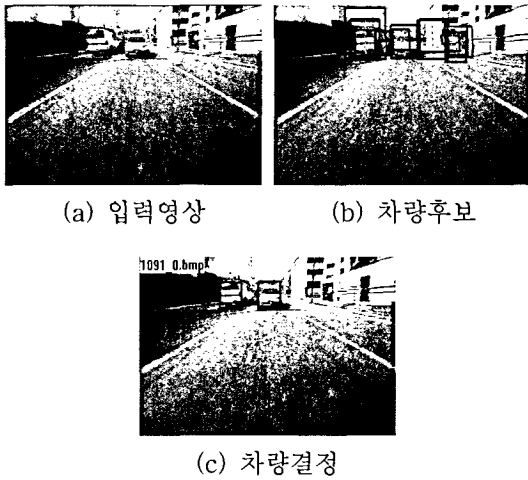
AdaBoost Learning to select good features



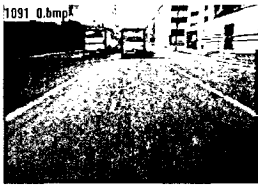
Select Q features among 162336 features

(b) 에이다부스트 알고리즘을 통한 하특징 선택

그림 4. 에이다부스트 알고리즘에 의한 차량분류기 구축



(a) 입력영상 (b) 차량후보



(c) 차량결정

그림 5. 차량결정 예

값을 계산하여 학습시 구축된 분류기에 입력하면 이 후보영역이 차량인지 아닌지 결정된다. 그림 5는 이에 대한 한 예를 소개한 것이다.

3.2 스테레오비전에 의한 차량검출

스테레오비전은 거리계측이 가능한 컴퓨터비전시스템이다. LIDAR나 RADAR와 달리 영상처리하는 검출된 장애물이 어떤 것인지 인지할 수 있다는 점에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 단원에서는 스테레오비전에 의한 차량검출방법으로 저자가 기 수행한 방법들 가운데 하나를 소개하고자 한다[6,7].

그림 6(a)에 보인 것처럼 스테레오영상이 입력되면, 그림6(b)에 보인 바와 같이 탐부로 변환하고, 변환된 탐부영상에서 수직에지를 추출한다. 그리고 그림 6(c)에 보인 것처럼 카메라원점을 기준으로 미리 정의된 원주방향의 스캔라인을 따라 그림 6(d)에 보인 것처럼 수직에지를 누적하여 좌측 PAF와 우측 PAF를 구축한다. 그리고 이 두 PAF에서 피크를 추출한다. 다음은 그림 6(e)에 보인 것처럼 이 두 PAF상의 피크들 가운데 서로

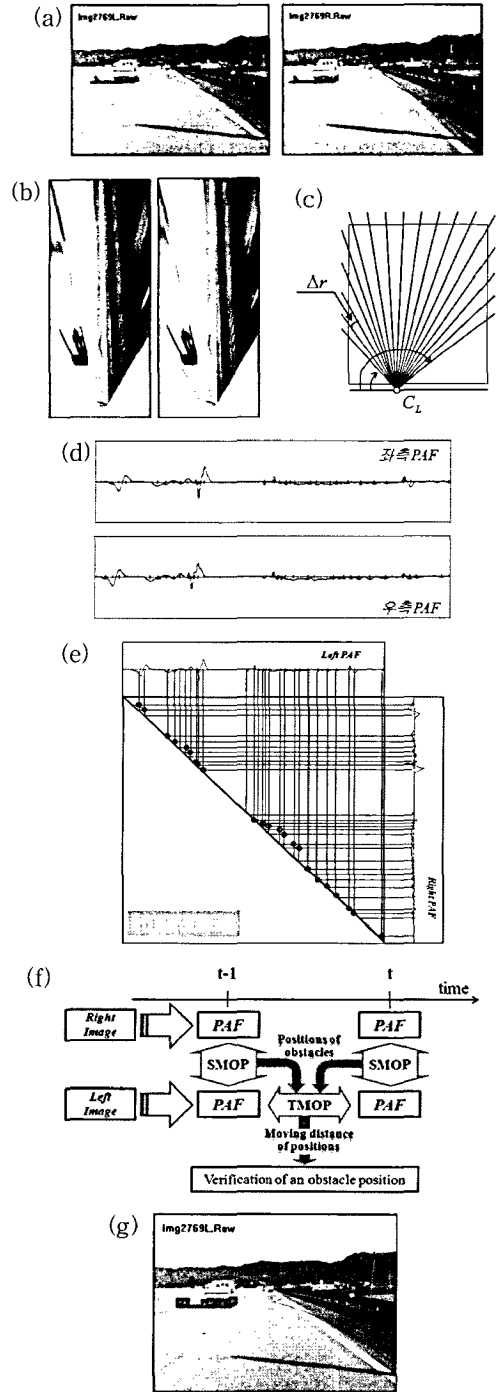


그림 6. 스테레오비전에 의한 차량검출: (a) 입력된 스테레오영상, (b)변환된 탐부영상, (c) 스캔라인, (d) PAFs, (e)동적계획법에 의한 SMOP, (f) TMOP, (g) 차량후보점

대응되는 피크를 2차원 탐색평면상에서 탐색하는데 이 피크매칭은 동적계획법에 의해 구현되며, 피크매칭과정을 SMOP(spatial matching of PAFs)라 명명한다. 이 때 서로 매칭이 이루어진 한 피크쌍은 도로상의 장애물의 수직경계가 노면과 접하는 곳의 위치와 카메라로부터 이 위치까지의 거리를 결정한다.

문제는 SMOP과정에서 잘못된 피크매칭이 이루어질 수 있다는 점이다. 이 잘못된 피크를 제거할 목적으로 TMOP(temporal matching of PAFs)를 실행한다. TMOP는 현 좌측 영상의 PAF의 피크와 이전 좌측 영상의 PAF의 피크간에 대응되는 피크쌍을 찾는 과정이다. TMOP결과를 가지고 SMOP의 에러를 제거한다. 그림 6(g)는 TMOP 이후의 결과를 나타낸 것이다.

5. 결 론

현재 컴퓨터비전이 지능형안전자동차에 적용된 역사에 비해 실용화율이 저조하다. 가장 큰 이유는 사전예측이 불가능한 자연환경에 대한 대응성이 떨어진다는 점이다. 운전자에게 영상을 보여주는 것은 별 문제 없지만 사물을 인식하는 수준에 이르렀을 때는 시장의 요구가 까다로워진다. LDWS가 시장에 출시된지 10년이 지났지만 실제 자동차에 탑재된 비율을 그리 높지 않다. 차간거리정보시스템이나 ACC(adaptive cruise control)에 스테레오비전 시스템이 적용되었지만, 현재 시장에 출시되는 ACC 시스템의 대부분은 RADAR를 주 센서로 채택하고 있다.

앞으로 컴퓨터비전이 지능형자동차 분야에서 더 많은 주목을 받고 적용율이 높아지려면 변화무쌍한 자연환경에 대응할 수 있는 카메라와 렌즈개발은 필수적이며 영상처리 알고리즘도 실패에 대

한 검증기능을 강화하고 동적 환경요인에 대한 분석이 철저히 이루어져야 한다.

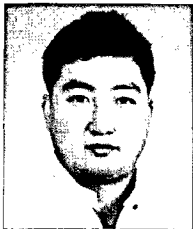
본 논문에서는 지능형자동차에 적용될 수 있는 컴퓨터비전 시스템 세 가지를 소개했지만 이런 시스템 외에도 주차보조 시스템이나 도로 표지판 인식시스템, 노면상태인식시스템, 교각인식시스템, 보행자 인식시스템 등 많은 시스템이 개발되고 있다. 문제는 이런 시스템들이 시스템마다 독립적으로 적용된다면 시장에서 채택되기 어렵다. 따라서 서로 유기적인 형태로 개발되어야 하고, 서로 인식정보를 공유할 수 있는 구조를 가져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Lee, "A Machine Vision System for Lane-Departure Detection," CVIU, Vol.86, pp. 52-78, 2002.
- [2] J. W. Lee and U. K. Yi, "A Lane-Departure Identification Based on LBPE, Hough Transform and Linear Regression" CVIU, Vol. 99, Issue 3, pp. 305-528, 2005.
- [3] R. Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses," IEEE Robotics and Automation, Vol.RA-3, No.4, pp. 323-344, 1987.
- [4] G. Y. Song, K. Y. Lee and J. W. Lee, "Vehicle Detection by Edge-Based Candidate Generation and Appearance-based Classification," IEEE IV'08 Symposium, 2008.
- [5] 송광열, 이준웅, "예지특징의 단계적 조합과 수평대칭성에 기반한 선형차량검출," 제어로봇시스템학회, Vol.14, No.7, pp. 679-688, 2008.
- [6] K.Y. Lee, J.W. Lee and N. Houshang, "A Stereo Matching Algorithm based on Top-View Transformation and Dynamic Program-

ming for Road-vehicle Detection,” Int. J. of Control and Automation, Vol.7, No.2, pp. 221-232, 2009.

- [7] 이기용, 이준웅, “차량분리를 위한 스테레오매칭 데이터의 클러스터링,” 제어로봇시스템학회, 심사중.
- [8] Chris Urmson, “Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge,” J. of Field Robotics, Vol.25, No.8, pp. 425-466, 2008.
- [9] 송광열, 윤팔주, 이준웅 “어안렌즈왜곡 및 원근 왜곡의 보정,” 한국정밀공학회, 제 27권, 제 10호, pp. 22-29, 2006.
- [10] 이준웅, “지능형자동차 개발에 있어서의 컴퓨터 비전의 응용,” 오토저널, 8월호, pp. 11-16, 2004.
- [11] <http://iis.chonnam.ac.kr>



이 기 용

- 2002년 전남대 산업공학과 졸업
- 2004년 동 대학원 석사
- 2004년~현재 전남대 동 대학원 박사과정. 관심분야는 지능형안전자동차, 영상처리, 컴퓨터비전



송 광 열

- 2007년 전남대 산업공학과 졸업. 2009년 동대학원 석사.
- 2010년~현재 전남대 동 대학원 박사과정. 관심분야는 컴퓨터비전, 패턴인식, 지능형안전자동차.



이 준 웅

- 1984년 2월 전남대학교 산업공학과(공학사),
- 1986년 2월 KAIST(공학석사)
- 1997년 2월 KAIST 자동차 및 설계공학과(공학박사)
- 1986년~2000년 기아자동차연구소, 현대기아자동차 연구개발본부 근무
- 2000년~현재 전남대학교 산업공학과 교수. 2006년 미국 퍼듀대학교 방문교수, 관심연구분야는 컴퓨터비전, 지능형자율주행자동차.