

## 자율주행자동차 적용 인식기술

이 준 응\*

### 1. 서 론

자율주행자동차(autonomous vehicle)는 차량 스스로 정해진 목적지까지 주행해야 한다. 이를 위해 이 차량에게 목적지가 미리 주어지고, 이 차량은 어떤 형태로든 현재 위치를 인지해야 한다. 지금까지 자율주행에 관련된 많은 연구는 차량이 스스로 안전하게 주행할 수 있느냐에 초점을 맞추었다. 그러나 차량에게 목적지를 어떻게 쉽게 알려 줄지에 대해서도 관심을 가져야 한다. 자율주행자동차는 남녀노소 불특정 다수가 언제 어디서도 이용해야 하므로 이용하는 데에 애로가 없어야 하기 때문이다.

출발지점에서 목적지까지의 전역경로가 주어졌다는 전제하에 주행의 관점에서 자율주행자동차가 기술적으로 완성되려면 첫째, 차량이 주행할 도로 환경을 인식(perception)해야 한다. 둘째, 인식된 정보를 바탕으로 차량이 안전하게 진행해 나갈 지역경로를 설정(local path planning)해야 한다. 셋째, 차량이 주행중인 현 위치를 실시간으로 인식(self-localization/positioning)해야 한다. 넷째, 차량을 올바르게 주행(control)시켜야 한다.

물론 자율주행자동차에 대한 관심이 고조될수록 이에 상응해서 자율주행자동차의 안전에 대한 회의론도 제기되고 있다. 소위 사이버상의 해킹이나 보안 문제와는 별개로 자율주행자동차에 탑재될 여러 센서들에 대한 문제제기가 그것이다. 최근 능동형 센서들의 역할을 무력화시킬 수 있는 재밍 공격이나 기만공격의 사례가 발표되기도 했고, 악천후 환경에서 센서들의 성능이 저하되는 문제도 제기되었다. 저자는 능동형, 수동형 센서들의 융합성능을 향상시키면 이러한 문제들의 해결방안이 강구될 것으로 기대하지만, 본 논문에서는 이 문제들에 대해서는 다루지 않을 것이다.

본 논문은 앞에서 언급한 네 가지 기능 가운데 도로환경 인식에 초점을 두고 어떤 환경이 어떻게 인지가 되어야 하며 또 그 인지가 왜 필요한지 기술한다. 여기에서 인지 대상은 다음과 같이 분류할 수 있다. 소위 차선인식으로 알려진 차로관련정보, 차량의 주행방향을 기준으로 한 종횡방향의 기울기 및 도로의 휨방향과 휨량으로 표현되는 도로의 지형정보, 현 도로위치에서의 속도 규제정보, 차량이 장애물의 방해받지 않고 주행할 수 있는 자유 주행공간(free space) 정보, 전방 및 좌우 측방 장애물의 거리 및 운동정보, 차로 변경시 측후방 장애물 관련 정보, 정밀 측위시 맵 매칭을 위한 지형지물 정보, 신호등의 신호정보,

\* 교신저자(Corresponding Author): 이준응, 주소: (61186) 광주광역시 북구 용봉로 77, 전남대학교 공과대학 산업공학과  
전화: 062)530-1781 FAX: 062)530-1789, E-mail: joonlee@chonnam.ac.kr

신호등이 없는 전방의 골목이나 좁은 도로에서 언제 불쑥 튀어나올지도 모를 장애물관련 정보 등이다.

이렇게 헤아리기 어려울 정도로 많은 상황을 정확하고 신속하게 인지해야 차량이 자율적으로 주행할 수 있다. 사람 운전자는 이런 모든 상황을 시각뿐만 아니라 촉각, 청각, 후각, 심지어는 느낌과 경험을 이용하여 능동적으로 대처한다. 또한 사람운전자는 제한 속도나 신호등의 적색 신호를 상황에 따라 어쩔 수 없이 의도적으로 어기기도 한다. 넘어가지 말라고 실선으로 그려놓은 중앙선을 의식적/무의식적으로 넘기도 한다. 그러나 자율주행 차량이 그런 특별한 상황을 인지할 수 있을 것이며 또 그런 상황하에서 사람이 하는 것처럼 기능을 발휘할 수 있을지는 현재로서는 의문이다.

이런 특별한 상황은 예외로 치더라도 우리가 상상할 수 있는 도로환경에서 과연 자율주행자동차를 실현하기 위해서는 어느 정도 상황인지능력을 갖추어야 할지 소개해 보겠다.

## 2. 도로환경 인식

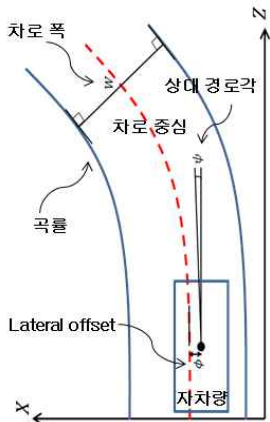
### 2.1 차로관련 정보

차로인식은 포장된 도로상에 차로를 구분하기 위해 대개 페인팅으로 구획되어 있는 표식을 검출하여 차로에 관련된 정보를 추출하는 것으로서 도로환경 인식대상에서 쉽게 이해할 수 있는 분야이다. 그러나 차량이 지나갈 때 물보라가 칠 정도로 노면에 물이 고여 있거나 심하게 비가 오거나 또는 노면에 눈이 쌓여 있는 환경에서 순수하게 차로를 인식하여 차량을 자율주행 시킨다는 것은 현재 상용화되어 있는 센서들이나 소프트웨

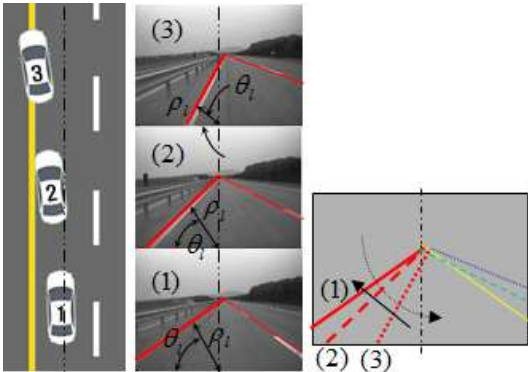
어로는 무리다. 그러나 이런 극단적인 환경을 제외하면 날씨로 인한 영향은 극복할 수 있다. 오히려 곡률이 큰 램프(ramp)나 차로수가 5개 이상 되는 넓은 도로에서 보통의 렌즈를 사용하여 영상을 촬영했을 때 시야확보가 되지 않기 때문에 차로관련 정보인식이 쉽지 않다. 그렇다고 초광각의 렌즈를 사용하는 것도 주의를 기울여야 한다. 왜냐하면 광각렌즈는 협각렌즈에 비해 영상 왜곡(distortion)이 심하고 거리가 멀어질수록 원근투영 효과가 커서 힘이 큰 도로에서 정확한 횡량 검출이 어렵기 때문이다. 이에 대한 대안으로 스테레오 카메라를 활용하여 각 카메라로 하여금 담당할 영역을 나누는 방법을 강구할 수 있다.

대개 차량이 주행중인 자차로와 이 차로의 좌우에 있는 차로만 인식하면 된다고 생각할 수 있다. 그러나 일례로 경부고속도로에서 수원 톨게이트로 진입하려면 수원 IC에 접근해서는 자차량이 현재 어느 차로에서 주행중인지 인식해야 한다. 이 정보를 영상처리만으로 인지할 수 있지만, GPS수신정보와 측위정보를 융합함으로써 인지의 정확도를 높일 수 있다.

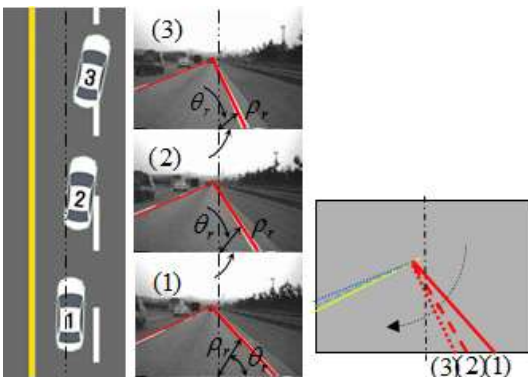
차로정보를 활용하는 방법에 따라 인식해야 할 정보는 그림 1에 보인 바와 같이 다양하다. 차로 폭, 곡률, 차차량 중심과 자차로 좌우경계사이의 거리 또는 차차량 중심과 자차로 중심과의 거리, 차량의 진행방향(heading)과 차로 휩방향 사이의 각도, 자차량의 주행방향에 따른 자차로 좌우경계의 기울기 변화, 탑뷰(top view/bird eye view)로 변환했을 때의 좌우 차로경계의 평행성, 자차량의 바퀴가 자차로의 좌우 경계에 접촉하는 데 걸리는 시간(time to contact) 등이다. 이와 같은 정보를 활용하여 ADAS(advanced driver assistant system)나 자율주행 기능을 구현한다.



(a) 일반적인 차로관련 정보



(b) 좌측으로의 차로이탈시 차로경계의 변화



(c) 우측으로의 차로이탈시 차로경계의 변화

그림 1. 차로관련 정보 인식

이러한 정보를 정확히 추출하려면 무엇보다 먼저 도색된 차선 표식(mark)을 인지해야 한다. 그런데 문제는 이 표식이 항상 깨끗한 도색상태를 유지하고 있지 않는다는 것이다. 더구나 국내 도로는 표식의 색도 백색, 황색, 청색 등 세 종류이

며, 표식의 두께도 도로의 위치나 차로의 역할에 따라 다르며, 차로폭도 3m이상을 원칙으로 하지만 경우에 따라서 2.75m도 허용되며 고속도로에서는 3.5m이상이 되도록 법규화 되어 있다. 즉, 차로폭의 변동이 1m이상 된다. 도로의 포장도 아스팔트와 시멘트가 혼재되어 있다. 특히 시멘트 포장로에서 차선표식의 색과 배경인 노면과의 색 대비가 너무 낮아 햇빛이 강한 날의 오후에는 영상처리에 의한 표식검출이 쉽지 않다. 더구나 노면에는 화살표, 마름모, 방향지시, 글자, 숫자 등 각종 표식들이 있어서 이들이 차선표식을 추출하는 데 방해가 된다. 이외에도 공사 등의 이유로 차로경계의 위치가 자주 변경되어 이전 경계의 흔적이 남아 있기도 하고, 차선표식의 마모, 먼지나 낙엽 등에 의해 차선표식이 가려지는 등 영상처리가 어려운 요인이 많다.

이런 상황에서 차선표식을 강인하게 검출하기 위해 다양한 시도가 이루어지고 있다. 밝기, 색상, 에지(edge)등을 이용한 여러 형태의 필터링(filtering)이 개발되고 있고, 차선표식의 경계상에 있을 것으로 기대되는 픽셀들만을 찾기 위해 다양한 쓰레쉬홀딩(thresholding) 기법이 도입되었으며, 차선표식의 경계검출이라는 관점에서 영상의 잡음도 식별을 위한 퍼지-신경망과 같은 인공지능 알고리즘이 개발되기도 했다. 또한 차로의 직선구간 검출은 대개 하프변환(hough transform)을 응용하지만, 곡로 추정에는 신경망을 이용하는 방법, 2차 다항식을 이용하여 피팅(fitting)하는 방법, 파티클 필터(particle filter)를 기반으로 2차 곡선에 피팅하는 방법 등이 소개되고 있다. 또한 연속되는 영상간에 변화가 크지 않다는 가정하에 차로관련 정보 추적을 위해 이동 평균법이나 칼만필터, 파티클 필터 등이 이용되지만, 앞에서 기술했듯이 차선표식이나 차로의

상태가 급하게 변화하는 구간이 존재하기 때문에 이런 추적기법의 도입이 오히려 문제를 꼬이게도 한다.

어찌되었건 여러 모순된 현상을 극복해야 차로 관련 정보인식의 정확도를 높일 수 있다. 그러나 이를 영상처리에만 의존하기에는 부담이 큰 것도 사실이다. 따라서 사람의 시각기능에 의존하는 운전상황과 달리 자동차의 자율주행이 발전하려면 영상처리나 소프트웨어 개발과는 별개로 도로의 노면을 어떻게 구축하고 유지할 것이냐 하는 근본적인 고민이 필요하다고 본다.

## 2.2 노면의 지형정보

앞 절에서 설명한 도로의 휨 방향이나 휨량은 도로의 지형에 관련된 중요한 정보이다. 그러나 이 절에서는 노면의 지형에 대해 언급하고자 한다. 노면의 종·횡방향의 기울기를 지형으로 간주하고 이 지형을 어떻게 검출하고 왜 검출하는지 설명하고자 한다.

ADAS나 자율주행에 있어서 중요한 기술 가운데 하나가 장애물 검출이다. 장애물은 보통 차량의 진행에 방해가 되는 요소를 총칭한다. 장애물 검출은 레이더(radar), 라이다(lidar), 카메라 등 여러 형태의 센서들을 이용하여 수행되지만, 고속주행을 가능하게 하고, 높이가 낮은 장애물까지 안정적으로 검출하려면 노면의 지형을 정확히 인식할 필요가 있다. 그 이유는 장애물로 간주하기 위한 물체의 높이를 낮게 설정할 경우 노면 영역을 장애물로 오인식하는 사례가 자주 발생하기 때문이다. 일반 국도는 예외이지만, 도심도로나 자동차 전용도로에서는 도로의 가장자리에는 연석이 설치되어 있다. 국내에서 생산되는 연석의 높이는 가장 높은 것이 30cm이다. 이 가운데 5cm는 매몰되기 때문에 많아야 25cm가 노면위

로 솟아 있다. 또한 도로법규에도 연석의 높이를 25cm 이하로 제한하고 있다. 따라서 실제 도로에서는 노면위로 솟은 연석의 높이가 25cm보다 낮은 곳이 많다. 연석도 장애물이기 때문에 검출이 되어야 하는데 노면의 지형검출이 강인하지 않으면 연석검출은 쉽지 않다. 물론 3차원 데이터가 아닌 밝기값의 변화나 색성분에 의한 연석검출 방법이 제안되기도 했지만 일반적 장애물(generic obstacle) 관점에서 보면 이 방법은 특별한 경우에 해당된다. 만약에 도로에 직경이 작은 공이 굴러 들어왔다면 사람 운전자는 이를 보고 차를 세우거나 회피할 것이다. 능동형 센서나 수동형 센서로 이 상황을 사람처럼 정확히 인지하기 위해서는 역시 노면의 지형검출이 필요하다. 일반적으로 장애물은 노면위로 돌출된 경우만으로 한정하기 쉬우나 노면이 깊게 패어 있거나 도로가장자리가 낭떠러지 절벽인 경우도 차량이 진행해서는 안 되기 때문에 인식할 수 있어야 한다.

노면의 지형 검출은 크게 두 단계로 이루어진다. 노면 지형정보를 담고 있는 원시데이터 취득과 이를 가공하여 지형을 알아내는 것이 그것이다. 원시데이터 취득은 레이저 스캐너를 이용하는 방법과 스테레오 카메라를 이용하는 방법이 있다. 전자의 방법은 비용이 많이 든다는 단점이 있다. 그 이유는 차량 진행방향 전방으로는 100m 이상, 좌우로는 도로 전영역이 커버되어야 하기 때문이다. 그림 2는 레이저 스캐너를 이용하여 포인트 클라우드(point cloud) 형태의 원시 데이터를 취득한 예다. 스테레오 카메라를 이용하는 경우는 정확한 시차(disparity,  $d$ )를 검출해야 한다는 단점이 있다. 그림 3은 스테레오 영상에 적용된 시차 검출법을 이용한 방법 가운데 한 가지를 소개한 것으로서 영상의 각 행마다 최소 시차부터 최대 시차까지 각각의 시차별로 해당 시차를 갖는 픽

셀들의 빈도를 계산하고 이 빈도정보로부터 노면에서 추출된 것으로 기대되는 시차 빈도를 얻는다. 그리고 이 빈도정보를 라인으로 핏팅함으로써 영상의 각 행별로 노면에 해당될 가능성이 높은 시차를 얻을 수 있다. 이와 같은 방법으로 노면 시차를 얻은 후 이 시차 이외의 시차는 배경이나 장애물로부터 기인된 것으로 보고 장애물 검출에 활용한다.

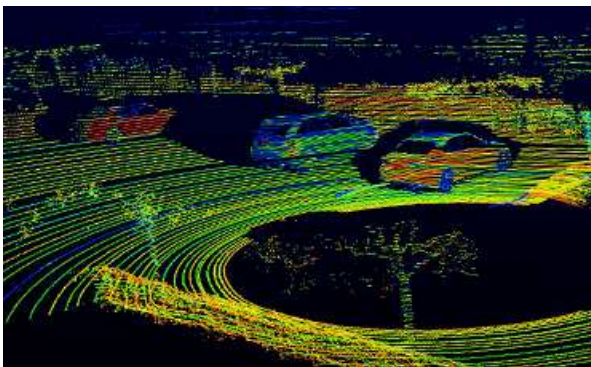


그림 2. 레이저 스캐너에 의한 도로의 3D 포인트 클라우드

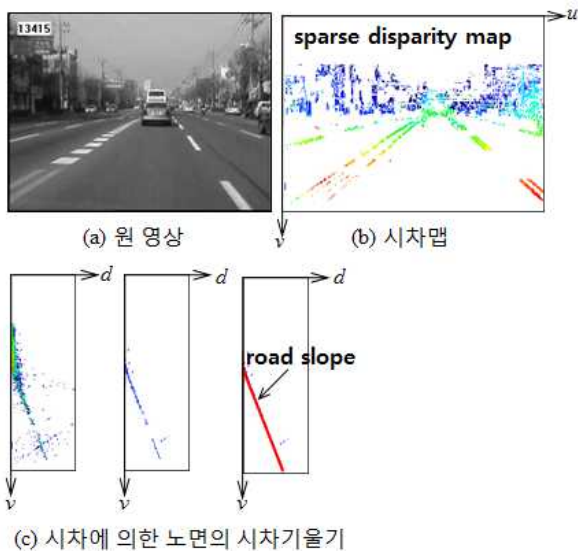


그림 3. 스테레오 시차를 이용한 노면지형 예측

### 2.3 신호등(traffic light) 인식

다이플러 벤츠의 버싸벤즈 메모리얼 라우트 트

래블링(Bertha Benz Memorial Route Travelling)에서 보았듯이 신호등 인식은 도로교통환경 인식에 있어서 난제중 하나다. 자율주행 기술개발 선두주자로 알려진 다이플러 벤츠도 자율주행 데모에서 GPS수신기 등의 센싱 정보를 지원받았음에도 신호등 인식 실패가 33%에 달했다. 그 이유를 구체적으로 밝히지 않았지만, 도로 주변에는 그만큼 신호등 빛과 유사색이 많고, 보는 위치에 따라 채에 가려 신호불빛이 제대로 보이지 않았을 수 있으며 신호등 하우징이 검은색이다 보니 야간에 신호등 본체와 배경의 분리가 어려웠을 것이다. 또한 빨강, 주황, 녹색 램프(lamp)부는 정확한 원이지만 촬영된 영상에서 불빛부가 원형을 유지하는 경우는 없다.

국내에 설치된 신호등은 유럽과 달리 신호등 본체가 지주에 가로로 2개 이상 매달려 있고 종류도 그림 4에 보인 바와 같이 다양하다.



그림 4. 국내에서 사용되는 신호등 모양

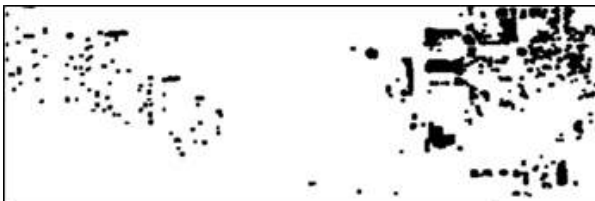
대부분의 신호등 인식 연구는 영상에서 색상분리부터 시작하여 신호등 본체의 외곽을 분리하고, 신호등 후보영역을 추출한 후 이 후보들이 학습 알고리즘에 있는 패턴과 얼마나 유사한지 판별하는 방법이 주를 이룬다. 또 다른 범주는 후보영역을 추출하는 과정은 비슷하지만 후보가 연속된 일련의 영상속에서 신호등이 갖는 형태적 속성이나 위치정보에 얼마나 일관되게 부합하는지 평가를 하여 신호등을 인식하는 연구가 있다. 그러나 어느 방법도 도심지 건물의 외벽의 색깔, 건물에서 새나오는 불빛, 현수막의 무늬나 글씨 색깔, 나뭇잎 색깔, 전방에서 주행중인 트럭이나 버



스 차량의 후미에 설치된 램프 등 신호의 빛과 유사한 부분이 너무 많아 완벽하게 신호등을 검출하는 일이 쉽지 않다. 더구나 신호등 내부에서도 적색과 황색의 구분이 어려울 때가 많다. 그림 5는 이런 상황을 보여 주는 예다.



(a) 원영상과 신호등 검출 관심영역



(b) 관심영역내에서 검출된 신호등 후보영역

그림 5. 도심지에서의 신호등과 유사영역

또한 신호등이 설치된 위치가 노면으로부터 상당히 높기 때문에 신호등에 가까워질수록 카메라의 FOV(field of view)도 중요하게 고려해야 할 사항이며, 신호등과 자차량과의 거리도 검출해야 할 중요 변수다. 그 이유는 신호등을 인식했어도 신호등과 자차량과의 거리를 모르면 차량의 주행제어를 정확히 할 수 없기 때문이다. 신호등 검출에 있어서 또 한 가지 어려운 점이 있다. 자차량이 지하차도를 통과해야 할 때, 그 지하차도 위의 도로에 신호등이 설치되어 있는 경우 그 신호등이 자차량에 설치된 카메라의 시야에 들어오기 때문에 자연스럽게 신호등 검출이 이루어지고, 그 검출결과에 따라 차량제어기는 차량의 속

도를 줄이는 등 제어를 실시한다.

사실 운전자의 안전과 편의를 도모하는 ADAS에서는 운전자가 운전을 하므로 신호등 인식이 절실한 과제는 아니지만, 자율주행에 있어서는 반드시 해결되어야 할 과제다. 따라서 신호등 인식분야도 단안 영상보다는 양안 영상을 이용했을 때 이용할 정보가 많아지기 때문에 더 유리하며, 차량 측위정보와 맵매칭 정보를 이용할 수 있다면 훨씬 더 정확한 신호등 인식이 가능할 것이다.

#### 2.4. 전방차량 인식

보행자나 싸이클리스트, 또는 연석이나 공과 같은 높이가 낮은 사물이 아닌 차량이 인식대상인 경우 인식문제는 상대적으로 쉽다. 차량의 전면이나 후면은 수평, 수직의 에지성분이 강하게 나타나고, 좌우 대칭성을 유지하기 때문에 이런 특징(feature)과 속성을 잘 활용하면 단안 영상만으로도 인식률을 크게 향상시킬 수 있다. 만약에 그림 6에 보인 바와 같이 능동형 센서와의 융합을 통해 차량을 인식할 경우 차량인식 인식 신뢰성은 매우 높다.

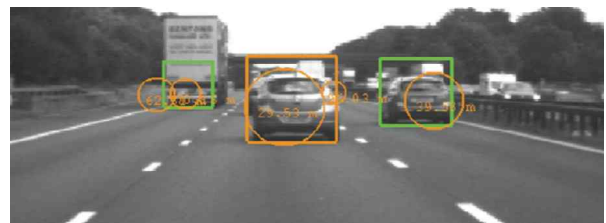


그림 6. 능동형 센서와 카메라 융합기반 차량검출

#### 2.5 보행자 인식

보행자 인식은 유로(Euro) NCAP(new car assesment program)에서도 매우 중시하는 분야이며 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 그러나 여전히 풀어야 할 숙제가 많다. 보행자는 어린이부터 성인까지 크기가 다양하며, 입은 옷에 따라 색깔도 다양하며 여러 보행자가 싸이클리스

트, 모터사이클리스트, 차량 등과 혼재해 있기도 하고, 이들이 한 방향으로만 이동하지 않으며, 또 급작스럽게 이동방향을 바꾸기도 한다. 보행자가 노면에 있는지 보도에 있는지 구분이 필요하며, 보도에 있더라도 이동 방향과 이동 속도에 따라 가까운 미래에 자차량에 위협이 될 수 있는지 판단해야 한다. 덧붙여 도로 주변에는 보행자와 비슷한 형태적 특징을 갖는 유사 물체도 많다. 횡단 보도 주변에는 노면에 서 있는 보행자들도 많다. 사람 운전자도 이 상황에서 주행방향을 변경하지 않으면 이들을 칠 수 밖에 없다. 횡단보도가 아닌 곳에서 무단으로 도로를 횡단하는 사람도 많다. 더군다나 야간이나 일기가 좋지 않은 때는 이들을 구별하기가 더욱 어렵다. 더욱이 인식 시스템 개발도 다른 인식 대상과 달리 대부분 상황을 촬영하여 오프라인(off-line)으로 수행하거나 데이터를 사용하여 이루어지지 실제 현장에서 자율주행 실험을 실시하기 어렵다.

이와 같이 보행자 관련하여 다양한 시나리오가 존재하지만, AEB(autonomous emergency braking)를 포함하여 ADAS나 자율주행 기술이 실현되려면 보행자에 관련된 정보가 강인하게 검출되어야 한다. 컴퓨터비전 연구자들은 컴퓨터비전 기법을 적용하면 이런 보행자 인식문제가 해결될 것으로 주장한다. 그러나 능동형 센서와 영상의 융합은 물론이고 차량의 요레이트(yaw rate) 센서, 속도 센서등과의 융합 없이는 해결의 실마리를 찾기 어렵다. 또 지금까지의 많은 연구가 보행자를 검출한 후 추적을 하기 위해 EKF(extended Kalman filter), MS(mean shift), 파티클 필터 등을 채용하고 있는데, 앞에서 언급했듯이 보행자는 상황에 따라 뛰어 가다가도 180° 방향을 바꾸기도 하므로 이런 상황까지 고려하지 않으면 추적은 실패할 수밖에 없다. 그림 7은 보

행자검출을 위한 라이다와 카메라의 융합 개념도를 보인 것이다. 라이다 센싱을 통해 보행자가 될 만한 후보와 이 후보까지의 거리를 얻고 이들 후보 영역에 대해 영상정보를 활용하여 보행자를 선별하는 방법이다.

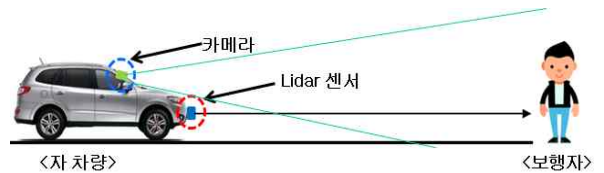


그림 7. 보행자 검출을 위한 라이다와 카메라의 융합

### 2.6 스테레오 카메라 시스템

현재까지 ADAS나 자율주행자동차 관련기술 측면에서 보면 능동형 센서들이 수동형 센서들보다 더 큰 주목을 받고 있다. 그 이유는 카메라와 같은 수동형 센서들에 비해 라이다와 레이더 같은 능동형 센서들은 개발비용도 크고 가격도 매우 높은 편이지만, 날씨나 조명 등 실외 자연환경에 대한 영향을 적게 받기 때문이다. 그러나 능동형 센서들은 일반적으로 카메라에 비해 한 번에 제공하는 정보량이 적다. 한 장의 사진은 많은 정보를 담고 있다. 이런 정보를 잘 검출하고 활용하면 카메라도 센서로서 경쟁력을 갖출 수 있다. 특히 거리정보까지 획득할 수 있는 스테레오 카메라 시스템은 앞으로 차량에 장착되는 비율이 더욱 높아질 것이다. 전자기술이나 소프트웨어 기술이 발전하면 현재 카메라가 안고 있는 환경에 대한 취약점이 상당히 개선될 것으로 기대된다. 이 기대를 충족하려면 환경대응력만으로는 부족하다. 계측할 수 있는 거리와 계측된 거리에 대한 정확도 및 계측거리 분해능(resolution)이 확보되어야 한다. 이 문제는 소프트웨어 개발력과 컴퓨팅 파워에 상당부분 의존할 수밖에 없다. 그 이유는 이런 성능을 만족시키려면 사용하는 영상의

해상도가 높아야 하는데, 해상도가 높은 만큼 처리시간에 대한 부담이 커지기 때문이다.

스테레오 카메라 시스템에 의한 절대거리 계측 수식은  $fb/d$ 이다. 여기에서 분자항인  $f$ 는 렌즈의 원점과 영상평면 사이의 거리이고,  $b$ 는 베이스라인으로 알려진 두 카메라 렌즈의 원점(focal point)사이의 거리이며, 분모 항인  $d$ 는 공간상의 한 점이 좌우 영상평면에 투영되었을 때 이 투영된 점의 수평거리이다.  $f$ 와  $b$ 는 카메라 사양에 관련되며 정확한 값은 캘리브레이션에 의해 구하는데 반해  $d$ 는 절대적으로 소프트웨어에 의해 구한다.  $d$ 가 계산되지 않으면 수식에서 본 바와 같이 거리는 구할 수 없다. 소프트웨어에 의해  $d$ 를 서브픽셀(subpixel) 레벨까지 구할 수 있지만 그 값의 신뢰성을 담보하기 어렵다. 결국 영상의 해상도가 커야 계측가능 거리도 늘릴 수 있고, 그 거리의 정확도와 분해능도 확보할 수 있다. 영상의 한 픽셀로 커버할 수 있는 공간거리가 작을수록 정확도와 분해능은 좋아지지만, 영상은 본질적으로 원근투영효과 때문에 카메라로부터 거리가 멀어질수록 한 픽셀이 커버하는 공간거리가 커지는 모순이 존재한다. 계측거리를 늘리기 위해  $f$ 와  $b$ 를 키우는 것도 고려할 수 있지만, 그 경우 카메라 앞의 음영지역이 커지는 단점 때문에  $f$ 와  $b$ 를 늘리는 데에는 한계가 있다. 따라서 결국  $d$ 를 얻어야 한다. 이러한 문제로 인해 현재 상용화 수준에 있는 스테레오 카메라 시스템은 신뢰할만한 계측거리가 60~80m 수준인데, 200m까지 검지가 가능한 능동형 센서들을 대체하려면 이 검지거리는 두 배 이상 늘어나야 한다. 그렇게 해야 100km/h 이상으로 주행하는 차량에서 사용할 수 있다. 이를 위해 고해상도 카메라를 채택해야 하는데, 이로 인해 파생되는 처리시간 문제는 전용의 칩과 병렬처리 알고리즘으로 해결하는 연구가 수행되

고 있다.

$d$ 는 코레스판던스(correspondence) 문제로 알려진 3차원 공간상이 한 점이 투영된 좌우 영상 각각에서 그 투영점(우리는 이 투영점을 대응점이라 한다.)을 동시에 정확하게 찾아야 알 수 있다.  $d$ 를 알면  $f$ 와  $b$ 는 주어지므로 카메라로부터 공간상의 점까지 거리를 알 수 있다. 그러나 이 대응점을 찾는 일이 쉽지 않다. 노면만 보더라도 노면 이곳저곳은 너무나 유사한 색들로 되어 있어서 좌 영상의 어떤 점이 우 영상의 어떤 점에 대응이 되는지 알기 어렵다. 또 좌 영상에는 보이는데 우 영상에는 보이지 않은 곳이 있는데, 이때도 대응점을 찾을 수 없다. 그 외에도 패턴이 너무나 유사한 곳이 많아서 어떤 점이 어떤 점과 대응이 되는지 알기 어려울 때도 있으며, 공간상에서는 동일한 점임에도 좌우 카메라에 입사되는 광량이 서로 달라 좌우 영상에 투영된 점의 밝기나 색에 차이가 발생하고, 이로 인해 대응점을 찾기 어려울 때도 있다. 이렇게 현실 세계에 존재하는 수많은 잡음요소를 극복해서 올바른 대응점들을 찾아내야 스테레오 카메라 시스템을 자율주행차량에 적용할 수 있다. 본 논문에서는 대응점을 찾는 구체적인 기법이나 이에 관련된 처리시간문제에 대해서는 언급하지 않을 것이다.

차량은 주행하는 물체이므로 진동이 많고 사시사철 사용해야 하므로 열문제도 많다. 이 때문에 차량에 장착된 스테레오 시스템의 위치나 자세에 변형이 야기될 수 있고, 이 문제는 거리계측의 정확도에 바로 영향을 미친다. 따라서 스테레오 카메라 시스템의 하우징(housing) 재질이 진동이나 열에 강해야 하지만, 시스템 내부적으로도 상시 캘리브레이션이 이루어져 관련된 파라미터 갱신이 되어야 한다. 그러므로 시스템의 소프트웨어 모듈에는 온라인 캘리브레이션 로직이 포함되어



상시 구동이 되도록 해야 한다.

이렇게 확보된 스테레오 카메라 시스템의 영상 정보와 거리정보는 앞에서 언급한 노면의 지형검출이나 도로상의 장애물을 검출하는 데에 활용된다. 장애물에는 정적 장애물과 동적 장애물이 있기 때문에 장애물의 동특성 정보도 동시에 측정되어야 ADAS나 자율주행에 활용할 수 있다.

## 2.7 기타

다임러 벤츠의 버싸벤즈 실험차량에는 레이더 13개, 카메라 4개(이 가운데 2개는 전방주시 스테레오 시스템임)가 부착되어 있다. 여기에도 GPS 수신 장치나 INS(inertial navigation system)도 별도로 장착되어 있으며 차량의 속도나 요레이트 측정 센서까지 포함하면 그 수량은 훨씬 많다. 앞으로 자율주행기술이 상용화가 되었을 때, 이렇게 많은 센서들이 장착되고 이 센서들의 제공정보를 가공하여 운영하는 소프트웨어와 ECU가 차량에 탑재될 때 그 가격은 얼마나 될지 쉽게 상상이 되지 않는다. 과연 고객은 이 비용을 기꺼이 지불하고 차량을 구입할 수 있을까? 이러한 문제에 대한 해결책으로 많은 정보를 한꺼번에 제공할 수 있는 스테레오 카메라 시스템의 성능을 높이는 연구가 필요하다.

센서들이 고장을 일으켰을 때 그 상황의 진단은 실시간으로 이루어질 수 있을 것이며, 또 정비는 쉽게 이루어질 수 있을까? 만약에 V2V(vehicle to vehicle)나 V2I(vehicle to infrastructure) 통신 기능까지 차량에 탑재해야 한다면 가격은 얼마나 더 상승할까? 많은 센서와 많은 기능을 효율적으로 사용하기 위한 HMI(human machine interface)는 제대로 설계될 수 있을까? 신체적 기능이 떨어진 나이 드신분들이나 장애가 있는 분들이 자율주행자동차를

손쉽게 사용할 수 있을까? 자율주행자동차가 이런 분들을 위한다는 대의명분도 있기에 이런 의문이 든다. 이와 같이 답을 쉽게 찾을 수 없는 여러 가지 의문스런 상황이 그려진다.

자율주행이 되려면 무엇보다 자차량이 주행 중인 위치와 진행 방향을 실시간으로 인지해야 한다. 이 문제는 자차 측위(self-localization)로 명명되는데, 이를 위해 GPS의 수신 정확도를 향상시키는 장치와 기법이 개발되고 있다. 그럼에도 여전히 GPS 수신 음영지역이 발생하므로 휠 오도메트리(wheel odometry)나 비주얼(visual) 오도메트리 기법이 연구되고 있고, 고성능의 IMU(inertial measurement unit)가 차량에 탑재되며 고정밀도의 디지털 맵매칭 기술이 개발되고 있다. 맵매칭의 신뢰도는 기본적으로 맵에 포함된 정보의 양과 그 정확도에 크게 좌우되지만, 도로 주변의 특징검출이 안정적으로 강인하게 이루어질 때 신뢰도 향상을 꾀할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문은 ADAS나 자율주행 실현을 위한 도로교통상황의 인식문제에 초점을 맞추었다. 특별한 기법을 소개하기보다는 왜 그리고 어떻게 인식해야 하는지 그 필요성을 개괄적으로 고찰해보았다. 또한 인식 소프트웨어가 개발될 때 주안점을 뒤야 할 부분은 무엇인지를 살펴보았다. 중간 중간 능동형 센서와 수동형 센서를 비교해 보았고, 이들의 융합이 낳을 장점에 대해서도 언급하였다. 그러나 이 논문의 주된 초점은 영상처리 시스템에 맞추었다. 현재 카메라 기반의 영상은 날씨나 조명변화에 취약하다는 약점을 노출하고 있으나 능동형 센서에 비해 값이 싸고 많은 정보를 동시에 제공할 수 있다는 장점으로 인해 산학연 모두 큰 관심을 가지고 있다. 따라서 언급된

취약점을 극복하면 ADAS나 자율주행 실현에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

이 논문에서는 표지판 인식문제에 대해서는 다루지 않았다. 그 이유는 자차 측위와 맵매칭이 정확히 실현되면 표지판인식은 그 필요성이 현격히 줄어들기 때문이다. 디지털 맵에 제한속도나 해당지역의 교통규제 관련 제반 상황을 저장할 수 있고, 측위가 이루어지면 저장된 정보에 접근할 수 있다. 또한 정지선이나 속도 방지턱, 횡단보도 인식문제도 다루지 않았는데, 이는 다음에 기회가 되면 다루고자 한다. 또 한편으로는 이런 객체의 인식은 차로정보인식의 범주로 볼 수도 있다.

ADAS나 자율주행의 실현은 센서와 소프트웨어만으로는 한계가 있다. 노면을 포함한 도로의 인프라 설계부터 ADAS나 자율주행 기술 개발의 편의성을 고려하여 이루어질 필요가 있다. 도로포장 재질만 보더라도 시멘트보다는 아스팔트가 차로정보검출에 유리하다. 시멘트를 사용하더라도 차로경계 표식의 국부적인 배경을 검은색으로 페인팅을 한다면 아스팔트 포장의 효력을 가질 수 있다. 또 노면에 눈이 쌓이지 않고 빗물도 고이지 않게 도로가 구축되는 것도 매우 중요한 문제다.

### 참 고 문 헌

[ 1 ] 이준웅, 2013 무인자율주행자동차 경진대회, 오토저널, 2013.  
 [ 2 ] <https://www.youtube.com/2015> 자율주행자동차 콘테스트-YouTube.  
 [ 3 ] 이기용, 송광열, 이준웅, 컴퓨터비전과 지능형 안전자동차, 한국멀티미디어학회지, 제13권 제4호, 2009.  
 [ 4 ] 이기용, 스테레오 시차를 이용한 자유주행공간의

실시간 검출, 전남대학교 박사학위논문, 2011.

[ 5 ] 송광열, 역투영변환과 에이다부스트 알고리즘을 이용한 차량검출, 전남대학교 석사학위논문, 2009.  
 [ 6 ] 송광열, 시차 기울기를 고려한 스테레오 정합과 확률기반의 보정을 통한 3차원 복원, 전남대학교 박사학위논문, 2015.  
 [ 7 ] 박정민, 파티클 필터와 가중치 관심영역을 이용한 차선검출 및 추적, 전남대학교 석사학위논문, 2015.  
 [ 8 ] 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.  
 [ 9 ] Joon Woong Lee, A Lane-Departure Identification Based on LBPE, Hough Transform and Linear Regression, CVIU, Vol. 99, No. 3, pp. 359-383, 2005.



이 준 응

- 1984년 전남대학교, 산업공학과 학사
- 1986년 KAIST, 산업공학과 석사
- 1997년 KAIST, 자동화 및 설계공학과 박사
- 1986년~2000년 기아자동차/현대기아 연구개발본부 선임 연구원
- 2000년~현재 전남대학교 산업공학과 교수
- 2006년 Purdue University 파견근무
- 관심분야 : Computer Vision, Stereo Processing, Autonomous Vehicle