

비전 기반 고정밀 차량 측위 기술

조상일*, 이재성^o

Vision-Based High Accuracy Vehicle Positioning Technology

Sang-II Jo*, Jaesung Lee^o

요약

최근 활발히 연구되고 있는 차세대 지능형교통시스템(C-ITS), 자율주행 자동차 등 교통관련 IT기술 분야에 있어 차량의 위치를 정밀하게 측정하는 기술은 매우 중요하다. 도로위의 차량 측위를 위한 기술은 GPS가 대표적이거나 도심지로 가면 주위에 고층건물이 많아 GPS 신호가 반사되어 심한 경우는 2~300 m의 오차가 발생할 정도로 정확도가 매우 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 비전기반의 고정밀 차량측위 기술을 제안한다. 개략적인 처리과정은 고정된 카메라로부터 입력받은 영상 속에 관심 영역을 설정한 후 영역 내 차량 객체 검출(Vehicle Detection)을 수행하여 객체가 점유하는 도로영역을 계산, 미리 정의된 Homography 변환행렬을 이용하여 지도영상으로 사용할 항공시점(Aerial View) 상의 점들로 변환하여 측위를 수행한다. 측위성능분석결과 평균적으로 약 20cm이내의 높은 정확도를 가지고 있으며 최대 오차역시 44.72cm를 넘지 않았다. 또한 22~25 FPS의 빠른 처리로 실시간 측위가 가능함을 확인하였다.

Key Words : vehicle positioning technology, image processing, C-ITS, self-driving car

ABSTRACT

Today, technique for precisely positioning vehicles is very important in C-ITS(Cooperative Intelligent Transport System), Self-Driving Car and other information technology relating to transportation. Though the most popular technology for vehicle positioning is the GPS, its accuracy is not reliable because of large delay caused by multipath effect, which is very bad for realtime traffic application. Therefore, in this paper, we proposed the Vision-Based High Accuracy Vehicle Positioning Technology. At the first step of proposed algorithm, the ROI is set up for road area and the vehicles detection. Then, center and four corners points of found vehicles on the road are determined. Lastly, these points are converted into aerial view map using homography matrix. By analyzing performance of algorithm, we find out that this technique has high accuracy with average error of result is less than about 20cm and the maximum value is not exceed 44.72cm. In addition, it is confirmed that the process of this algorithm is fast enough for real-time positioning at the 22~25 FPS.

I. 서론

최근 활발히 연구되고 있는 차세대 지능형교통시스

템(C-ITS), 자율주행 자동차 등 교통관련 IT기술 분야에 있어 차량의 위치를 정밀하게 측정하는 기술은 매우 중요하다. 도로 위 모든 차량들에 대한 식별이 가

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업(IITP-2016-H8601-16-1008)의 연구결과로 수행되었습니다.

• First Author : Korea National University of Transportation Department of Electronic Engineering, lupin715@naver.com, 학생회원

o Corresponding Author : Korea National University of Transportation Department of Electronic Engineering, jaesung.lee@ut.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-09-248, Received September 8, 2016; Revised November 6, 2016; Accepted November 15, 2016

능하고 동시에 각 차량의 정밀 위치 정보를 실시간으로 알 수 있다면 각종 교통 통계 분석과 다양한 교통 법규 위반 행위의 자동 단속은 물론 차량마다 고가의 센서 장비들을 장착하지 않아도 자율주행 자동차의 구현이 가능해지기 때문이다.

도로위의 차량 측위를 위한 기술은 GPS가 대표적이나 도심지로 가면 주위에 고층건물이 많아 GPS 신호가 반사되어 심한 경우는 2 ~ 300 m의 오차가 발생할 정도로 정확도가 매우 떨어진다. 최근 많이 연구되고 있는 DSRC (Dedicated Short Range Communications)^[1], DGPS (DMB-GPS)^[2] 등의 기술은 오픈된 공간에서 측위 오차를 수십 cm 미터이내로 개선하였지만 역시 무선 네트워크 기반 측위 기술의 특성상 막힌 공간에서는 역시 동변 상련의 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 차량에 가속도계(accelerometers)와 자이로스코프(gyroscopes) 등을 장착하거나 휠 오도메트리(wheel odometry)에 의한 보정을 통해 정확도를 개선하는 연구들도 많이 수행되었다. 하지만 도로 지형의 높낮이, 굴곡, 요철, 그리고 타이어 인치 및 공기압 상태에 따라 5m ~ 20m 정도의 오차는 여전하며 이마저도 센서 및 연산 프로세서 추가에 대한 비용 부담으로 저변화대가 쉽지 않은 상황이다.

한편 GPS위성이 제공하는 항법신호를 지상시스템(기준국, 중앙처리국, 위성통신국 등)을 이용해 오차를 제거한 뒤 보정 메시지를 생성하여 정지궤도(적도상공 36,000km) 위성을 통해 전송함으로써 GPS 신호의 정확도, 무결성, 가용성, 연속성을 향상시키기 위한 위성기반보정시스템(SBAS: Satellite Based Augmentation System) 구축 사업이 전세계적으로 한창인데, 미국의 WAAS와 유럽의 EGNOS 시스템은 인명안전(SoL) 서비스 인증을 획득해 이미 서비스를 제공 중(2014)이고 일본의 MSAS도 En-Route(항로), 터미널 및 비정밀 접근(NPA)에 활용 중이며, 인도의 GAGAN은 구축은 되었으나 SoL 인증이 되지 않아 시험 중이다. 그 외에도 러시아의 SDCM은 개발 중이고 우리도 2021년까지 한국형 SBAS를 개발키로 결정된 상태이다. 하지만 SBAS 역시 최상위 서비스 레벨에서조차 4m의 오차를 극복하지 못한다^[3]. 무엇보다도 SBAS는 비용이 매우 많이 드는 시스템으로 항공기에 우선적으로 적용할 계획이어서 개인 차량에게 까지 수혜가 확대될지는 미지수이다.

차량 측위 연구의 선두 주자인 Auburn University의 David Bevly는 최근 Kapsch TrafficCom, Penn State University, Stanford Research Institute (SRI)

등의 기관과 함께 기존의 측위 기술들을 총동원하여 이로부터 가장 정확한 측위 정보를 계산해내는 퓨전 알고리즘(fusion algorithm)을 고안하였다^[4]. 이 연구에 동원된 기술들은 GPS, INS (inertial navigation system), wheel odometry, road fingerprinting, LIDAR (light detection and ranging), camera-based LDW(lane-departure warning), visual odometry, DSRC 이다. 이처럼 다양한 기술을 모두 조합하면 측위 정확도를 그만큼 높일 수 있지만 경제성을 고려하면 이러한 접근 방식은 매우 비현실적이다.

본 논문에서는 기존 측위 기술의 낮은 정확도 또는 고비용 문제를 해결하기 위하여 비전기반의 고정밀 차량 측위 기술을 새롭게 제안한다. ITS 인프라 카메라(Infra Camera)로부터 획득한 영상 내 모든 차량의 도로 위 점유영역과 중심점을 계산하여, Aerial View 상의 하나의 점과 사각형으로 변환하는 방식으로 측위를 진행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 비전 기반의 고정밀 차량 측위 알고리즘의 세부 수행 단계를 상세히 설명하고 3장에서는 본 기술에 대한 정확도 확인을 위해 성능 분석을 수행하고 동시에 실시간 처리 능력을 확인하기 위하여 초당 처리 프레임 수를 측정한다. 마지막 4장에서는 본 연구에 대한 결론을 기술한다.

II. 비전 기반 고정밀 차량측위 시스템

비전 기반 고정밀 차량 측위 시스템의 전체적인 알고리즘의 수행과정은 그림 1(좌)와 같다. 고정된 카메라로부터 입력받은 영상 속에 관심 영역을 설정한 후 영역 내 차량 객체 검출(Vehicle Detection)을 수행하고 객체가 점유하는 도로영역을 계산하여 미리 정의된 Homography 변환행렬을 이용하여 지도영상으로 사용할 항공시점(Aerial View) 상의 점들로 변환한다. 각 단계별 영상처리 알고리즘에 대한 세부적인 설명은 다음과 같으며 각 알고리즘은 매 프레임마다 연산을 실시간으로 수행하여야 하기 때문에 가급적 저연산량을 갖도록 포인트 프로세스 위주로 구현하였다.

전체적인 시스템의 구성은 그림 1(우)와 같다. 도로 가변에 설치되어있는 인프라 카메라 모듈이 일정 범위의 설정 영역 내 차량들을 인지하여 맵상의 좌표 값으로 변환하고, RF통신모듈을 통해 그 좌표 값들을 브로드캐스팅 방식으로 해당 영역내의 모든 차량들에게 전달한다. 본 논문에서는 차량 측위를 수행하는 영상처리부에 대해 중점적으로 다룬다.

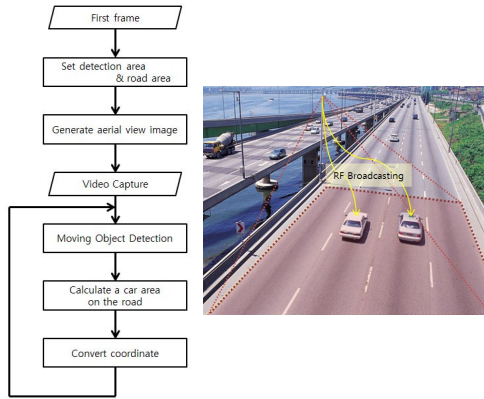


그림 1. 제안하는 알고리즘 흐름도(좌), 시스템 구성도(우)
Fig. 1. Algorithm Flow chart for the proposed system (left) and system configuration (right)

2.1 객체검출영역 및 도로영역 설정

본 논문이 제안하는 차량측위 알고리즘의 첫 단계는 카메라의 입력프레임으로부터 차량 검출영역의 설정과 도로영역(Road Area)을 설정하는 것이다. 두 영역을 일원화 하지 않고 분리해 정의하는 이유는 아래 그림 2 (a) 와 같이 두 영역을 동일한 한 개의 영역으로 정의하였을 경우 도로 영역 외곽부에서 차량의 통과 과정이 안정적으로 관찰되지 못하고 잘리기 때문에 다음 세그먼트 영역을 관찰하는 카메라에 차량의 객체 모양이 매끄럽게 전달되기 어렵기 때문이다. 그림 2(b)는 분리된 영역을 사용함으로써 도로 영역을 벗어나는 순간에도 안정적으로 차량 모양을 인지해 그 정보를 전달할 수 있다.

입력 영상으로부터 각 영역 분리 과정은 아래 그림 3에 나타내었으며, 입력 프레임에서 객체 검출영역을

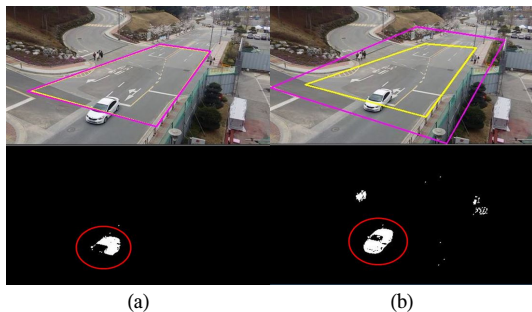


그림 2. 도로영역과 객체검출영역의 분리를 통한 외곽부 왜곡 해소
a) 동일한 영역으로 선정하여 외곽부 왜곡 발생, b) 분리된 영역 사용으로 외곽부 왜곡 해소
Fig. 2. Solution of outer errors using separation of the road and object detection area. a) Occur the outer error by selection of same area. b) Solve the error using separate area

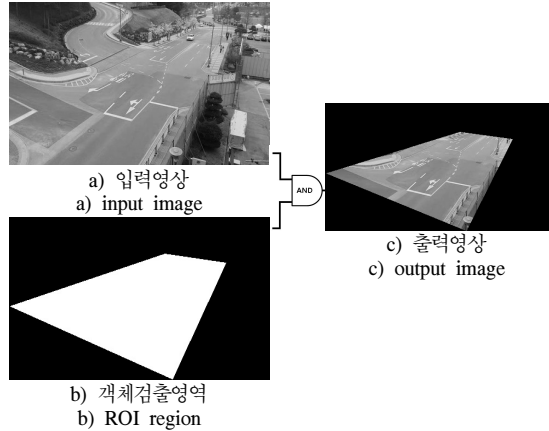


그림 3. 객체검출영역과 도로영역 설정
Fig. 3. Setting the object detection area and road area

결정할 4개의 좌표를 설정하고 설정된 좌표들의 내부를 1로 외부를 0으로 영상 이진화(Image Binarization)를 수행하여 이미지를 생성한다. 생성된 이미지와 입력 프레임간의 논리(AND)연산을 통해 객체 검출영역을 설정한다.

2.2 항공 시점(Aerial View) 이미지 생성

본 과정은 이전 단계에서 얻어진 도로 영역 4개의 꼭지점 좌표를 이용하여 상공에서 도로영역을 내려다 볼 때 얻어지는 이미지(Aerial View Image)를 생성하고 입력프레임에서의 검지된 차량의 좌표를 Aerial view image 상의 한 점으로 투영을 위한 호모그래피(Homography) 변환행렬을 생성하는 단계이다.

한 평면을 다른 평면에 투영(Projection)시켰을 때 투영된 대응점들 사이에는 일정한 변환관계가 성립하는데 이 변환관계를 호모그래피(Homography)라 부르며 두 평면상의 점 X, X' 간의 관계식(식 1)은 다음과 같다⁵⁾.

$$X' = HX \quad , \quad H = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{pmatrix} \quad (1)$$

식 1. 호모그래피 관계식

일반적으로 교통 인프라 카메라는 고정식으로 설치되기 때문에 처음 설치할 때 기준 좌표들을 수작업으로 한번만 정해주면 된다. 본 논문에서는 항공사진을 참조해 해당 도로의 직사각형 세그먼트의 각 꼭지점 좌표를 인프라 카메라 화면상에 수작업으로 표시한 뒤 그 꼭지점들(그림 2. b)의 노란색 사각형의 꼭지점들의 좌표와 항공사진상의 직사각형 각 꼭지점 좌표



그림 4. 도로영역 내 모든 점을 Aerial view상에 투영한 결과
Fig. 4. Result of transform all points of road area into Aerial view

들을 Opencv3.0.0 라이브러리에서 제공하는 getPerspectiveTransform() 함수에 모두 인자로 넣어 변환행렬 H 를 계산하였고, 계산된 변환행렬을 이용하여 도로영역 모든 점을 Aerial View 이미지상으로 변환하여 그림 4와 같은 지도영상을 획득하였다.

2.3 배경제거를 통한 객체검출

본 논문에서는 움직이는 객체(Moving Object)를 검출하는 기법으로 카메라 입력프레임으로부터 배경을 제거하는 방법을 사용하였다. 연산속도가 빠르고 시스템 메모리 요구사항이 적은 것으로 알려진 Running Gaussian Average 알고리즘⁶⁾을 사용하여 이동 평균 배경을 만들어 현재의 입력영상과 이동평균배경 간 차 연산(Difference Operation)을 구함으로써 배경을 제거하였다. 아래 식 2 는 입력되는 연속적인 프레임에서 누적을 통해 배경영상을 획득하는 running average 계산 수식을 나타내고 있다.

$$\mu_t = \alpha I_t + (1 - \alpha)\mu_{t-1} \tag{2}$$

식 2. Running average 계산식

위 식에서 I_t 는 현재 프레임 t 에서 입력된 영상의 픽셀 값, μ_t 는 t 까지의 평균 픽셀 값, 그리고 α 는 가중치를 나타낸다. 여기서 가중치는 새로이 입력된 영상 I_t 가 이전까지 평균값 μ_{t-1} 에 얼마만큼 영향을 주는지에 대한 값으로, 적절한 이동평균배경을 얻기



그림 5. Running Average 이미지(배경 이미지)
Fig. 5. Running average image (background image)

위해서 적절하게 설정해 주어야 한다. 예를 들어 200 프레임의 영상을 누적하여 배경을 획득할 경우 α 의 값은 $\frac{1}{200}$ 의 값이 된다.

배경영상에서 객체를 추출하는 것은 아래 식 3을 이용하여 배경영상과 현재입력영상의 차 연산(Difference Operation) 결과를 절댓값으로 두고 해당 값이 기준 값 이상 이면 객체가 점유하는 픽셀로 이진화(Image Binarization)를 수행한다.

$$|I_t - \mu_t| > threshold \tag{3}$$

식 3. 입력영상(I_t) 내 객체 추출

아래 그림 6은 식 3의 판단기준을 적용하여 객체를 검출한 영상이다.

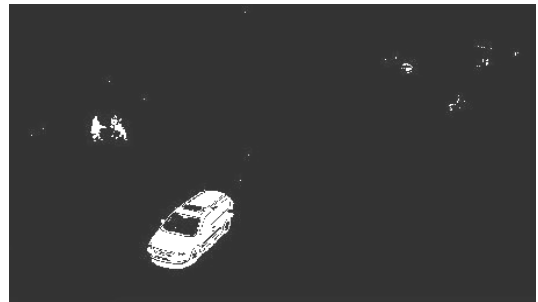


그림 6. 객체 검출 결과
Fig. 6. Object detection result

2.4 차량 외곽선 검출

2.4.1 모폴로지 연산

위 단계를 통해 얻어진 객체 영상은 단순히 휘도(밝기) 값을 기준으로 판단한 결과여서 잡음이 발생할 수 있다. 잡음을 줄이고 객체의 선명도를 향상시키기

위해 모폴로지(Morphology) 연산을 적용한다. 먼저 배경이미지와 객체의 픽셀 밝기 차가 거의 없어서 하나의 객체의 연결요소가 끊어져 두 개의 객체로 오인식되는 것을 방지하기 위해 팽창(Dilation)연산을 진행한다. 아래 식 4 는 팽창 연산 정의 이다.

$$f \oplus M = \bigcup_{X \in M} f_X \quad (4)$$

식 4. Dilation 연산

팽창영상은 입력되는 객체의 영상 f 의 값이 1인 픽셀에 구조요소(Mask) M 을 씌우고 M 의 1인 점과 겹치는 곳을 모두 1로 바꾸는 과정이다(합집합). 결과적으로 영상에 있는 객체는 구조요소만큼 외부로 팽창한다.

차량의 연결요소가 바람직하게 연결되었다면 다음은 침식(Erosion)연산을 통해 팽창연산 후 외부로 팽창한 객체를 침식시켜 원래 크기로 복원시킨다. 아래 식 5는 침식연산의 정의이다.

$$f \ominus M = X | M_{(X)} \subseteq f \quad (5)$$

식 5. 침식연산

아래 그림 7은 모폴로지연산을 적용한 결과 영상이다.



그림 7. 모폴로지가 적용된 객체영상결과
Fig. 7. Object detection with morphology

2.4.2 외곽선 검출

외곽선은 영상에서 폐곡선으로 표현가능하며 본 논문에서는 영상에서 차량을 나타내는 흰색(픽셀 값이 1인)픽셀의 최외곽 곡선을 검출하여 사용하였다^[7].

윤곽선 검출은 순차 탐색 진행하여 어떤 객체 덩어리(White pixel)을 만나면 외곽선의 시작점(Point)으로 판단하고, 우측으로 8개의 방향을 탐색하여 객체 덩어리를 조사한다. 이러한 탐색과정이 반복되어 시작



그림 8. 차량 외곽선 검출 결과
Fig. 8. Vehicle's contour detection result

점으로 다시 돌아오면 온전한 객체의 외곽선이 생성되게 된다. 그러나 다시 시작점으로 돌아오지 않아 폐곡선이 형성되지 않으면 해당 외곽선은 제거된다.

2.5 차량의 도로 위 점유영역 계산

차량의 도로 위 점유공간은 이전 단계에서 얻어진 외곽선을 구성하는 점의 집합을 이용해 차량의 특성에 따른 점유영역을 계산한다. 점유영역 계산 단계는 총 3단계로 구성되며 첫 번째 단계로는 외곽선 정보를 이용해 차량의 하단 부를 구성하는 점을 추출하고, 두 번째 단계에서 추출된 하단 부 점의 집합을 3개의 점으로 근사화한다. 마지막 단계로 근사된 3개점을 이용한 점유영역을 계산한다.

2.5.1 차량 하단 부 검출

전 단계에서 얻어진 차량의 외곽선을 구성하는 점의 집합을 이용하여 하단 부 점들을 추출하는 단계를 수행한다. 그림 9는 그 과정을 도식화하여 보여준다. 그림 8의 결과로부터 x 축을 기준으로 y 축 방향의 픽셀들을 조사해 y 축 좌표 값이 가장 큰 픽셀을 선정하며 본 과정을 x 축을 기준으로 외곽선의 가로 폭(Width) 만큼만 수행하면 차량 하단 부를 구성하는 점들의 집합을 구하는 것이다.

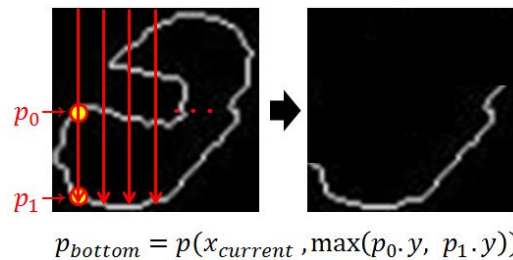


그림 9. 차량의 하단 부 검출과정
Fig. 9. Detect the bottom line of the vehicle

4.5.2 직선 근사를 이용한 차량의 전·측면 하단 검출

도로 위 점유 공간이 직사각형 모양인 차량을 도로 평면에 대해 사선으로 바라볼 경우 그 점유공간은 육안으로 보이는 3개의 점과 1개의 가려진 점으로 구성

된 평행사변형 형태로 보이게 된다. 전 단계에서 얻어진 차량 하단의 3개의 점으로부터 1개의 가려진 점을 근사하여 점유 영역인 평행 사변형을 완성한다.

직선 근사 전 차량의 전/측면 하단 부 양 끝점이 이루는 x 축 거리 차이를 적절한 비율로 나누고, 나누어진 거리만큼 양측에 간격을 주어 최 하단 y 값 점의 좌표를 차량의 전/측면 양 끝점으로 대체한다. 이러한 보정은 카메라 시점에 따른 하단 부 포인트 검출 오차를 줄이기 위해 수행한다. 그림 10은 직선 근사 알고리즘의 수행 과정을 설명한다. 먼저 그림 10 (a)의 보정된 차량 하단 점의 집합 이미지에서 가장 멀리 떨어져 있는 두 개의 점을 찾아 그림 10 (b)와 같이 직선으로 연결한다. 이렇게 생성된 직선으로부터 가장 멀리 떨어진 점하나를 찾아 직선으로부터 이 점까지의 거리가 판단 기준값 ϵ 보다 크면 근사 점(Approximate Point)으로 선정한다.

첫 근사점이 찾지면 첫 번째 점과 근사 점 사이 점들의 거리를 다시 조사하여 다른 근사 점을 선정하고 ϵ 와의 비교도 다시 수행한다. 그림 10 (c)은 기준 직선과 근사 점 후보 간 거리가 ϵ 보다 작아 근사 점에서 제외된 경우를 나타내고 있다. 이러한 과정을 반복적으로 수행하면서 가장 멀리 떨어져 있는 점을 최종 꼭지점으로 선정한다.^[8] 본 예제에서는 그림 10 (b)의 단계에서 쉽게 꼭지점이 발견되었지만 그림자가 심하게 생기거나 촬영 각도가 차량의 정면에 가까울 경우는 근사점 조사를 여러 번 반복해줘야 한다.

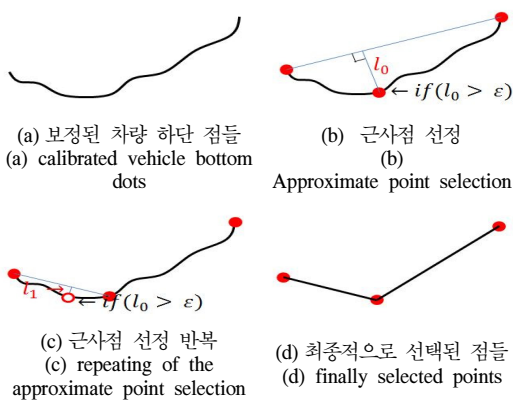


그림 10. 직선 근사 알고리즘의 처리과정
Fig. 10. Process of the line approximation algorithm

2.5.3 차량의 도로 위 점유영역 계산

이전 단계에서 얻어진 3개의 점을 이용해 아래 그림 11과 같은 도로 위 평행사변형 형태의 점유영역을

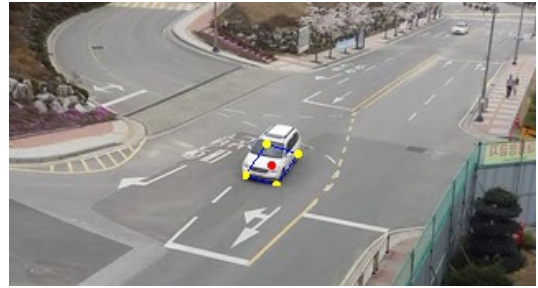


그림 11. 차량 점유영역 계산 결과
Fig. 11. Calculation results of the area occupied by vehicles

계산할 수 있다.

3개 점 중 x 축 좌표가 가장 작은(왼쪽)점을 P_1 , 가운데 점을 P_2 , 가장 좌표가 큰 점을 P_3 로 정의하고 아래 식6 을 이용해 P_1 과 P_2 사이 거리 ($\Delta x, \Delta y$)를 이용한 평행사변형의 가려진 나머지 한 점(P_4)을 계산하여 점유영역과 중심점을 구한다.

$$P_4(x, y) = P_3(x, y) - P(\Delta x, \Delta y) \quad (6)$$

식 6. 평행 사변형 꼭지점 계산

2.6 호모그래피 변환행렬을 이용한 좌표 변환

지금까지 도로 시설물에 부착된 카메라로부터 입력 되는 영상을 처리하여 도로 위 차량의 점유공간좌표와 중심좌표를 획득하였다. 최종적으로 그 좌표들을 항공 시점 이미지 에 표시하기 위해서는 호모그래피 변환 행렬 요소가 필요한데 이는 II-2절에서 이미 계산되었으므로 그것을 사용하여 변환을 수행한다. 입력 프레임으로부터 얻어진 중심좌표 값을 $X = (x, y)$ 라 했을 때 생성된 Aerial view이미지 상의 투영되는

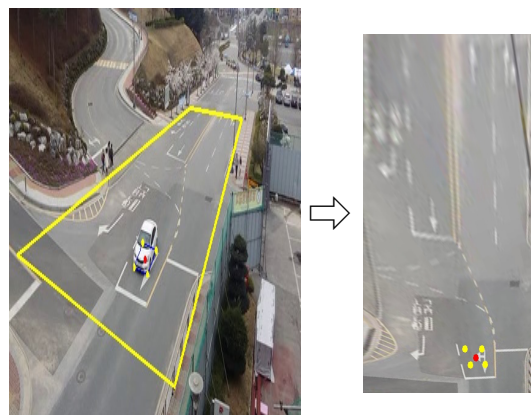


그림 12. 좌표변환 결과
Fig. 12. Result of coordinate transformation

점 $X' = (x', y')$ 는 호모그래피 변환행렬 H 를 사용해 아래 수식과 같이 계산한다.

$$X' = H \times X \tag{7}$$

식 7. 좌표변환 관계식

변환된 좌표결과는 카메라로부터 떨어진 거리에 비례하여 아래 그림 13의 좌측 빨간색 좌표와 같은 시간에 따른 위치 오차가 발생한다. 따라서 그 거리와 카메라 각도에 비례하여 보정하고 최근 2~4프레임의 평균 변환 좌표를 활용하여 좀 더 정밀하게 보정한다.

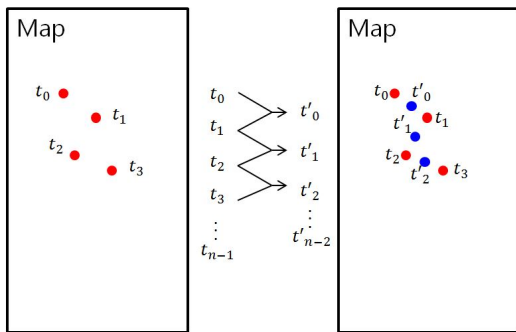


그림 13. 변환된 좌표에 대한 카메라 거리 및 각도에 의한 오차 최소화
 Fig. 13. Error minimization of transformed coordinate due to camera angle and distance

III. 비전 기반 차량 측위 실험 및 성능 분석

본 절에서는 지금까지 제안한 비전 기반 차량 측위 시스템에 대한 성능 평가 및 분석을 수행한다. 평가 방법은 인프라 카메라 시스템이 실시간 차량 측위를 수행하여 그 좌표를 RF모듈을 통해 전송하도록 하고 수신기(노트북)에서 USB 동글 타입 RF모듈로 좌표 데이터를 수집하도록 하였으며 인프라 카메라 시스템에 녹화된 영상 처리 전 순수 비디오파일을 육안으로 보며 선택한 픽셀 좌표 데이터와 비교를 통해 정확도를 평가하였다. 절대 기준 좌표(Ground Truth)는 주행 중인 실제 차량에 대해 구하기가 현실적으로 불가능하여 본 방법을 택하였다.

3.1 실시간 카메라 입력에 따른 처리속도 분석

영상을 이용한 모든 시스템에서 실시간성은 정확도와 함께 중요하게 고려해야할 포인트다. 특히 차량의 측위 시스템에서는 달리는 차량에 실시간으로 좌표를 전달하여야하기 때문에 실시간성이 보장되어야만 한

다. 따라서 영상 범위 내 차량의 대수에 따른 처리속도를 비교하였다. 사용된 인프라 카메라 시스템의 사양은 Intel(R) core i5-3570x4, 8GB RAM, Geforce GTX 750 PC에 Visual studio 2013 community & opencv3.0.0라이브러리를 사용하였고, 촬영된 비디오(30FPS file)의 경우 평균 24~25FPS, 실시간 입력 영상(640x480)의 경우 22~23FPS의 처리속도를 확인하였다.

3.2 측위 정확도 실험 및 성능분석

측위 정확도에 대한 성능분석을 위해서는 실제로 자동차 측위에 사용하는 기준 좌표계인 WGS84 또는 GRS80 상의 실측 자료(Ground Truth)가 먼저 확보되어야 한다. 하지만 이를 위해서는 검사 구간 도로의 사방에 레이저 거리 측정 장치를 빈틈없이 촘촘히 설치해야만 가능하다. 현재 본 연구팀은 그러한 환경을 구축할 수 있는 경제적 환경적 여건을 마련하고 있지 못하여 본 절에서는 차량 10대의 주행 동영상에서 10M에서 70M까지 10M단위로 각 위치마다 차량의 점유 영역 꼭지점 3개의 좌표를 매 프레임마다 영상을 보면서 수작업으로 표시한 좌표 데이터와 제안하는 시스템이 영상 처리를 통해 자동 계산해낸 좌표 데이터와 상호 비교하여 성능평가를 수행하였다. 실측 자료(Ground Truth)를 기반으로 평가를 하여야 본 기술을 자동차 측위에 활용할 수 있는 지 여부를 명확하게 판단 할 수 있기 때문에 다음번 연구에서는 환경을 갖추어 평가를 할 수 있도록 할 예정이다.

아래 표 1에서 ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 는 II-5.3절에서 정의한 차량의 점유공간을 구성하는 3개의 점 위치 각각에 대하여 수작업으로 지정한 좌표와 영상 처리를 통해 얻은 좌표간 평균 차이를 의미하여 이를 픽셀 거리와 (촬영 거리에 비례해) cm 로 환산한 거리

표 1. 평균 오차 거리
 Table. 1. Average distance error

	ΔP_1		ΔP_2		ΔP_3	
	pixel	cm	pixel	cm	pixel	cm
10m	1.55	3.6	2.78	6.48	2.41	5.6
20m	2.83	10.51	2.49	9.23	2.55	9.48
30m	1.97	8.59	2.07	9.01	2	8.73
40m	1.23	6.1	1.57	7.85	1.55	7.78
50m	1.14	7.17	1.26	7.9	0.68	4.3
60m	1.2	8.93	0.9	6.7	1.93	14.35
70m	1.05	10.59	1.22	12.2	1.39	13.93

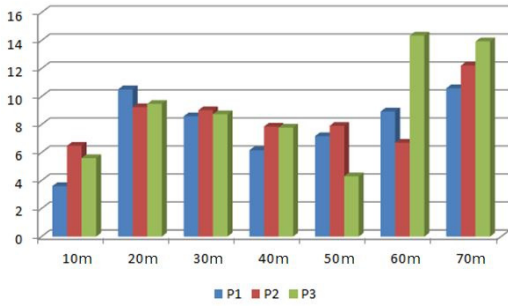


그림 14. 표 1에 대한 그래프
Fig. 14. Graph for Table 1

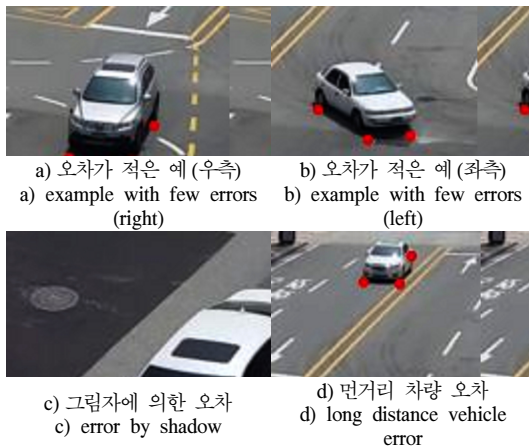


그림 15. 측위 결과의 일반적인 예시
Fig. 15. Typical errors of positioning result

값으로 기입되었다.

그림 15는 제안하는 비전기반 측위의 일반적인 측위 결과 예시이다. 그림 15 (a), (b)는 비교적 차량의 측위가 잘 이루어진 예를 보여주고 있다. 하지만 차량의 바닥면 검출을 기반으로 측위를 수행하기 때문에 (c)와 같이 그림자에 의한 오차가 발생함을 알 수 있으며, (d)와 같은 먼 거리에 있는 (70m 이상) 차량의 측위 결과에서 차량 하단 후미점에 오차가 존재함을 알 수 있었다.

거리별 차량 측위 실험결과 평균적으로 대략 20cm 이내의 높은 정확도를 보였고 최대 오차는 44.72cm로 나타났다.

IV. 결론

DSRC, DGPS, SBAS 등 기존 무선 통신 기반 측위 기술의 한계(낮은 정확도, 고비용)를 극복하고자 본 논문에서는 인프라 카메라를 이용한 실시간 고정

밀 차량 측위 기술을 제안하였다. 본 기술의 각 단계별 영상 처리 알고리즘들은 실시간 처리가 가능하도록 가급적 연산량이 낮은 포인트 프로세싱 함수들을 주로 사용하여 구성하였다. 제안된 알고리즘 블록들을 OpenCV 로 코딩 후 시스템 형태로 구축하여 샘플 촬영 영상에 대해 성능 평가를 수행하였다. 그 결과 측위 오차를 기존 최고 기술의 4m 에서 20cm 로 95% 까지 줄일 수 있음을 확인하였다. 뿐만 아니라 본 기술은 단순히 차량 중심 좌표만을 검출하는 것이 아니라 도로 위 차량의 점유 공간 정보를 함께 제공하고 동시에 실시간으로 주변 차량의 점유 공간 정보까지 함께 제공하기 때문에 교차로 등에서 회전(turn)이 필요한 경우 사각 지역으로부터 우려되는 접근 객체와의 충돌 위험을 미리 알려주는 초정밀 실시간 네비게이션 시스템의 구현이 가능해질 것이며 자율주행 자동차 및 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance Systems)의 완성도를 더욱 높일 수 있는 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 측위 성능 개선을 위해 그림자 제거 및 정면 차량과 측면 차량의 측위도 함께 하며, 교차로와 같은 차량의 밀집한 곳에서 2대 이상의 카메라를 이용해 각 차량 하단 부를 입체적으로 검출 병합하여 보다 정확한 차량 측위를 수행할 예정이다.

References

- [1] Lane-Level Vehicle Positioning using DSRC as an Aiding Signal, Transportation Systems Research Group, College of Engineering - Center for Environmental Research and Technology (CE-CERT), University of California, Riverside (UCR).
- [2] H.-I. Kim, J. Kim, K.-T. Kim, K.-D. Park, and D. Kim, "Accuracy evaluation of DGPS service via terrestrial digital multimedia broadcasting," *J. Navig. Port Res.*, vol. 36, no. 6, pp. 437-442, 2012.
- [3] C. S. Sin, J. H. Kim, and J. Y. Ahn, "Technical development trends of satellite based augmentation system," *Electron. and Telecommun. Trends*, vol. 29, no. 3, Jun. 2014.
- [4] David M. Bevely, J. Britt, S. Martin, and C. Rose, *Auburn's next generation vehicle positioning*, http://www.eng.auburn.edu/~dmbevely/FHWA_AU_EAR2/FHWA_final_demo_presentation.pdf

- [5] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2nd Ed., 2003.
- [6] M. Piccardi, "Background subtraction techniques: a review," *IEEE Int. Conf. Systems, Man and Cybernetics*, vol. 4. Oct. 2004.
- [7] M. Yokoyama and T. Poggio, "A contour-based moving object detection and tracking," in *Proc. 2nd Joint IEEE Int. Workshop on VS-PETS*, pp. 271-276, Beijing, Oct. 2005.
- [8] D. Douglas and T. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points required for represent a digitized line or its caricature," *Canadian Cartographer*, vol. 10, pp. 112-122, 1973.
- [9] H. K. Lee, J. G. Lee, and G.-I. Jee. "Channelwise multipath detection for general GPS receivers," *J. Inst. Control, Robotics and Syst.*, vol. 8, no. 9, pp. 818-826, Sept. 2002.

조 상 일 (Sang-Il Jo)



2011년 3월~현재 : 한국교통대학교 전자공학과 학사과정
<관심분야> 영상 처리, 멀티미디어 SoC 설계

이 재 성 (Jaesung Lee)



2008년 8월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2001년 2월~2011년 8월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
2011년 9월~2013년 9월 : 한국교통대학교 조교수

2013년 10월~현재 : 한국교통대학교 부교수
<관심분야> 영상 처리, 멀티미디어 SoC 설계