

차량-인프라간 가시광 통신 기반 측위 기술

김 병 욱*, 송 덕 원*, 이 지 환**, 정 성 윤^o

VLC Based Positioning Scheme in Vehicle-to-Infra(V2I) Environment

Byung Wook Kim*, Deok-Weon Song*, Ji-Hwan Lee**, Sung-Yoon Jung^o

요 약

GPS 기반 위치측정 시스템은 많은 분야에 유용하게 사용되고 있지만 오차범위가 크고 터널과 같이 라디오 신호가 통과하지 못하는 지역에서는 사용이 불가능하므로 지능형 교통시스템에는 적합하지 않다. 최근 LED 기술의 급속한 발전으로 LED 조명이 확대되었고, 이와 더불어 조명과 통신 기능을 동시에 제공하는 가시광 무선 통신 기술이 많은 관심을 끌고 있다. 최근 가시광 무선 통신 기술을 이용한 측위 연구는 주로 실내에서만 이루어졌고 여전히 측위 정확도와 구형 난이도를 동시에 해결하기는 어려운 실정이다. 본 논문에서는 도로상에 설치된 LED 조명의 절대좌표정보와 카메라 영상을 이용한 실외 측위 기술을 연구하였다. 차량에 흔히 사용되는 카메라의 영상에서 LED 조명 신호를 추출한 후 V2I 가시광 통신을 통해 얻은 절대좌표를 활용하면 차량의 위치를 정밀하게 추정할 수 있다. 모의 실험을 통해 제안 알고리즘의 성능을 평가하였고, 그 결과 충분한 카메라의 픽셀 수 및 LED 조명과의 거리가 가까울 때 1 m 내외의 측위 오차가 나타남을 확인하였다.

Key Words : Visible light communication, Positioning, light emitting diode, Collinearity condition

ABSTRACT

Although GPS technology for location positioning system has been widely used, it is difficult to be used in intelligent transport systems, due to the large positioning error and limited area for receiving radio signals. Thanks to the rapid development of LED technology, LED lights become popular in many applications. Especially, visible light communications (VLC) has raised a lot of interests because of the simultaneous functioning of LED illumination and communication. Recent studies on positioning system using VLC mainly focused on indoor environments and still difficult to satisfy positioning accuracy and simple implementation simultaneously. In this paper, we propose a positioning system based on VLC using the coordinate information of LEDs installed on the road infrastructure. Extracting the LED signal, obtained through VLC, from the easily accessible camera image, it is possible to estimate the position of the car on the road. Simulation results show that the proposed scheme can achieve a high positioning accuracy of 1 m when large number of pixels is utilized and the distance from the LED light is close.

* 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(14CTAP-C078772-01)에 의해 수행되었습니다.

• First Author : Kyungil University School of Electrical and Railway Engineering, bwkim@kiu.kr, 정회원

o Corresponding Author : Yeungnam University Department of Electronic Engineering, syjung@ynu.ac.kr, 종신회원

* Yeungnam University, Yeungnam University Department of Electronic Engineering, rio_song@naver.com

** Yeungnam University, Yeungnam University Department of Electronic Engineering, leejihwan@ynu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2014-10-433, Received October 27, 2014; Revised February 24, 2015; Accepted February 24, 2015

I. 서 론

GPS는 지표면에서 20,000km 내외의 상공에 항법 신호 송출 기능이 있는 인공위성을 이용하여 현재의 위치를 측정하는데 사용된다. 최근 들어 GPS 신호를 이용한 위치측정 시스템의 이용분야는 차량 내비게이션 및 스마트폰에 활용되는 등 우리의 실생활 전반에 걸쳐 매우 유용하게 사용되고 있다^[1,2].

하지만 GPS는 라디오 전파를 사용하기 때문에 다중경로 또는 전파 간섭 등으로 인해 측정 오차가 종종 수십 미터까지 나게 되므로 교통의 흐름을 예측하고 제어하는 지능형 교통시스템에 사용되기가 어렵다. 게다가 터널 안이나 지하 도로 등에 라디오 전파가 통과하지 못하는 환경에서는 위치 측정이 불가능한 것이 현실이다.

최근 LED (Light Emitting Diode) 의 저 전력 소비, 저 전압, 긴 수명, 소형화 등의 특성으로 인해 LED 조명을 인프라로 활용하는 분야가 증가하고 있다. 이로 인해 지속적으로 도로의 가로등과 같은 도로상의 인프라 조명이 LED로 대체되고 있다. LED의 특성으로 인해 빛을 이용한 조명 용도로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 빛 신호를 통해 데이터 전송이 가능하다. 최근 조명과 통신 기능을 동시에 수행하는 가시광 무선 통신 기술이 여러 분야에서 많은 관심을 받고 있다.

현재까지 가시광 무선 통신을 이용한 다양한 측위 기술에 대한 연구^[3-8]가 활발히 진행되고 있다. 실내 환경에서 천장에 위치한 LED 의 위치에 따른 localization 성능에 대한 연구가 진행되었고^[3,4], TDOA (time difference of arrival)을 이용한 측위 기법도 연구되었다^[5,6]. 가시광 네트워크와 Zigbee 네트워크 망을 이용한 hybrid localization 기법^[7]과 카메라를 이용해 정밀 측위를 수행한 기법^[8]도 최근에 연구되었다. 하지만, 이 연구 결과들은 주로 실내 환경에서만 이루어 졌고, 추가적인 하드웨어에 대한 부담이 생길 수 있으며, 측위 정확도와 구현 난이도를 모두 해결하기 위한 방법이 아직도 부족한 실정이다.

본 논문에서는 V2I 환경에서 도로상에 설치된 인프라 조명이 절대 좌표를 가지고 있고 이 절대 좌표는 LED 신호를 통해 가시광 통신 방식으로 전송되어 차량의 위치를 측정하는 기법을 제안한다. 인프라 조명의 절대 좌표를 직접 이용하기 때문에 위치 추정 오차가 GPS 기술에 비해 현격히 줄어들게 되고, 터널이나 지하와 같이 GPS 신호를 받기 어려운 지역에서도 위치 및 방향 추정을 이용한 측위가 가능하다. 도로 상에서 측위를 하기 위해 LED 인프라를 이용하는 여러

시나리오들 중 터널 내부의 LED 인프라를 사용하는 환경을 본 논문에서 고려하였다. 제안된 기법은 차량에 쉽게 탑재되는 카메라 영상을 활용하므로 구현 복잡도도 낮은 편이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 도로 인프라를 활용한 V2I 가시광 기반 측위 기술에 대해서 설명하고 3장에서는 본 기법의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

본 논문에서 고려하는 V2I 가시광 기반 측위 기술은 도로상의 인프라에서 사용하는 LED 광원에서 나오는 빛 신호로부터 가로등의 절대 좌표를 이미지 센서로 받아서 차량의 현재 위치를 추정하는데 사용한다. 도로 상에서 LED 인프라를 이용한 다양한 가시광 통신 시나리오가 있지만 본 논문에서는 그림 1과 같이 터널 내부에서 차량의 이미지 센서를 이용해 빛 신호를 받아서 차량의 위치를 추정하는 환경을 고려한다.

2.1 LED lights 영역 추출

터널 안을 지나는 차량에서 찍은 카메라 영상에는 LED 광원의 절대 좌표를 보내기 위해 사용되는 빛뿐만 아니라 터널 곳곳에 위치하고 있는 비상출구등, 터널 끝에서 들어오는 자연광 등 다양한 광원들을 포함한다. 본 논문에서 고려하는 LED 인프라 조명에서 나오는 신호만 받기 위해서는 먼저 그림 1과 같이 영상의 intensity 가 백색에 가까운 신호만 걸러내야 한다. 일반적으로 LED 등은 터널의 천장 쪽에 위치하므로 카메라 영상에서 보면 윗부분에 위치하게 된다. 2차원 카메라 영상으로부터 3차원 공간상에서의 위치 추정을 하기 위해서는 적어도 세 개의 LED 광원이 카메라 센서에 의해 검출되어야 한다. 이 때 측위의 정확성은 카메라 센서의 경사각에 의존한다. 본 논문에서는 현재 차량과 가장 가까운 곳에 위치하는 세 개의 LED를 고려하고 이는 영상의 가장 위에서 세 번째로 검출되는 LED 빛 신호까지를 사용하는 것과 같다.

최종적으로 LED 광원 식별영상이 얻어지면 2차원 영상 평면상에서의 LED 광원의 2차원 좌표값과 함께 V2I 가시광 통신을 통해 LED 광원에서 보낸 3차원 좌표값 데이터도 함께 얻을 수 있게 된다. 이를 바탕으로 3차원 공간에서의 현재 카메라 센서의 위치, 즉 차량의 위치를 추정해 낼 수 있다. 3차원 공간과 2차원 영상사이를 연결시키기 위해서는 Collinearity condition을 사용해야 한다^[9]. 카메라를 이용해서 얻은

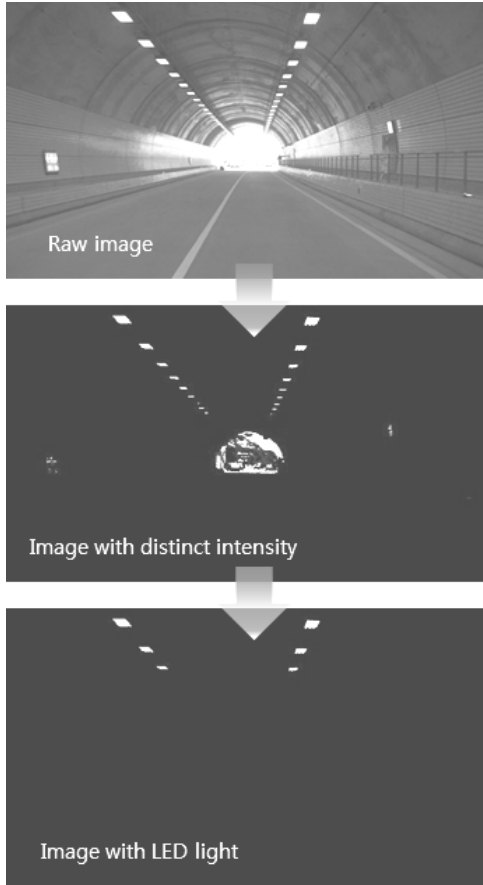


그림 1. 가시광통신 시나리오 환경과 카메라 영상에서의 LED 조명 위치
Fig. 1. VLC scenario and positions of LED lights in the camera image

이미지 평면상에 맺히는 LED 신호 영역을 검출하고 나서 LED 신호가 위치하는 이미지 평면상의 2차원 좌표값을 이용하면 이미지 센서의 3차원에서의 중심점 위치를 구해낼 수 있다.

2.2 Collinearity condition

Collinearity condition을 활용하여 2차원 영상으로부터 3차원 공간에서의 위치를 측정하기 위해서는 기본적으로 카메라 영상과 3차원 공간과의 관계를 그림 2와 같이 정의하여야 한다. 여기서 카메라 영상 좌표축은 x_i 축, y_i 축, 3차원 공간 좌표축은 X축, Y축, Z축으로 표현한다. Collinearity condition은 공간상의 임의의 점과 그에 대응하는 이미지 평면상의 점 및 이미지 센서의 중심이 동일 직선상에 있어야 한다는 조건이다. 즉, perspective center로부터 카메라 영상의 물체를 나타내는 어떤 한 점까지의 벡터는 perspective

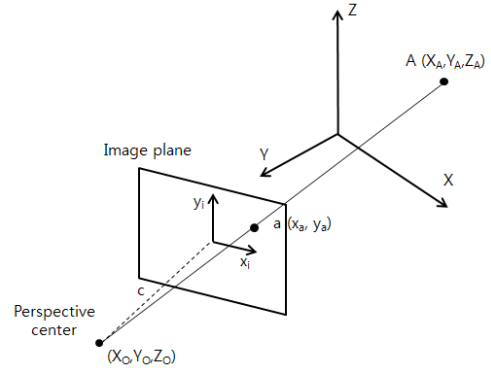


그림 2. Collinearity condition 기반의 공간 좌표와 이미지 좌표
Fig. 2. Space coordinates and image coordinates based on collinearity condition

center로부터 3차원 공간에서의 물체까지의 벡터의 스케일링이 된 버전이다. 그러므로 perspective center (PC)와 이미지 평면에서의 한 점 a는 아래의 식 (1)과 같이 카메라 영상 좌표에 대해 표현이 된다.

$$PC = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ c \end{bmatrix}, \quad a = \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 c는 이미지 센서의 focal length를 의미한다. 3차원 좌표상의 perspective center에서 이미지 평면위의 점 a까지의 벡터 v를 카메라 영상 좌표에 대해 표현하면 아래와 같다.

$$v = \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ -c \end{bmatrix} \quad (2)$$

그 다음 perspective center에서 3차원 공간에서의 물체 A까지의 벡터 V를 3차원 좌표로 표현하면 식 (3)과 같이 된다.

$$V = \begin{bmatrix} X_A - X_0 \\ Y_A - Y_0 \\ Z_A - Z_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Collinearity condition에서 카메라 영상위에서의 좌표는 3차원 회전변환 행렬 M을 사용하면서 3차원 좌표값으로 표현이 된다. 여기서 회전변환 행렬 M은 회전변수인 ω, ϕ, κ 로 표현되며 두 좌표 시스템을 정렬시켜 준다. 이 행렬 M은 벡터 v와 벡터 V와의 관

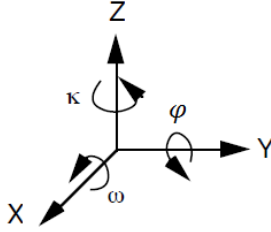


그림 3. 회전 변환 변수
Fig. 3. Rotation parameters

계를 나타내어 준다. 이를 식으로 나타내어 보면 아래의 식 (4)와 같다.

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ -c \end{bmatrix} = \lambda M^T(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} X_A - X_0 \\ Y_A - Y_0 \\ Z_A - Z_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 λ 는 스케일링 변수이다. 위의 방정식을 정리하면 아래와 같은 collinearity condition 으로 표현이 된다.

$$x_a = -c \frac{m_{11}(X_A - X_0) + m_{12}(Y_A - Y_0) + m_{13}(Z_A - Z_0)}{m_{31}(X_A - X_0) + m_{32}(Y_A - Y_0) + m_{33}(Z_A - Z_0)}$$

$$y_a = -c \frac{m_{21}(X_A - X_0) + m_{22}(Y_A - Y_0) + m_{23}(Z_A - Z_0)}{m_{31}(X_A - X_0) + m_{32}(Y_A - Y_0) + m_{33}(Z_A - Z_0)} \quad (5)$$

여기서 $m_{11}, m_{12}, \dots, m_{33}$ 은 행렬 M 의 원소들이다.

2.3 회전 행렬 구성

회전 행렬 M 은 3×3 행렬이므로 총 9개의 원소로 구성이 되지만 각 원소는 서로 독립적이지 않다. 그러므로 Euler angle 방식을 이용하면 9개의 원소는 총 3개의 변수로 표현이 된다. 이 변수들은 세 개의 좌표축 주위를 회전하는 회전각으로 표현되고 이는 그림 3과 같이 표현된다. 그림에서 볼 수 있듯이 ω, ϕ, κ 는 각각 X, Y, Z축으로 회전하는 회전각을 뜻한다. 본 논문에서 회전 행렬 M 을 정의하기 위해 회전 순서를 Z축 회전, Y축 회전, X축 회전 순으로 좌표축을 정렬하기로 정한다. 그 결과 행렬 M 은 아래의 행렬 곱으로 표현이 된다.

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$= \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$$

그리고 행렬의 각 원소는 아래와 같다.

$$m_{11} = \cos \phi \cos \kappa$$

$$m_{21} = \sin \omega \sin \phi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa$$

$$m_{31} = -\cos \omega \sin \phi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa$$

$$m_{12} = -\cos \phi \cos \kappa$$

$$m_{22} = -\sin \omega \sin \phi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa$$

$$m_{32} = \cos \omega \sin \phi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa$$

$$m_{13} = \sin \phi$$

$$m_{23} = -\sin \omega \cos \phi$$

$$m_{33} = \cos \omega \cos \phi$$

2.4 3차원 공간에서 측위 계산

본 논문에서는 총 3개의 LED 신호를 이미지 센서에서 검출하게 되므로 수식 (5)를 이용하면 총 6개의 식을 얻을 수 있다. 하지만 실제로 구해야 하는 3차원 공간에서의 이미지 센서의 위치는 (X_A, Y_A, Z_A) 인 총 3개의 변수로 표현할 수 있다. 그러므로 Collinearity condition 이용하여 연립방정식을 풀어서 3차원 점의 정보를 얻어낼 때 기본 역행렬을 이용해서 구할 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 pseudo 역행렬을 구하여 3차원 공간에서의 이미지 센서의 위치를 측정하였다. 즉, 비 정방 행렬에 그 전치행렬을 곱하여서 정방행렬을 다시 만든 후 역행렬을 취하면 이미지 센서의 위치 측정이 가능하다. 이렇게 만들어진 연립방정식의 해는 구하려는 미지수의 개수보다 연립방정식의 수가 적으므로 근사적으로 해를 구하게 된다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션

본 소단원에서는 소단원 II에서 설명한 이미지 센서를 이용한 V2I 환경에서의 가시광통신 기반 측위 기술의 성능을 분석해 본다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 성능의 결과를 분석하였고 시뮬레이션 환경은 그림 4와 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 차량의 위치 추정을 위해 사용한 LED 등은 터널 좌측에 3개 (L1, L2, L3), 우측에 3개 (R1, R2, R3)가 위치하고 있고, 좌측 LED 등만을 고려하여 얻은 측위 정보와 우측 LED 등만을 고려한 경우를 비교하여 더 정확하게 위치를 측정할 결과를 그래프로 나타내었다. 터널 내에서는 보통 차선변경을 하지 않는 것이 보편적이고, Y축의 이동반경은 차량의 X축 이동반경에 비해 무시될 만큼 작으므로 X축 이동에 대한 고려만 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이미지 센서의 크기는

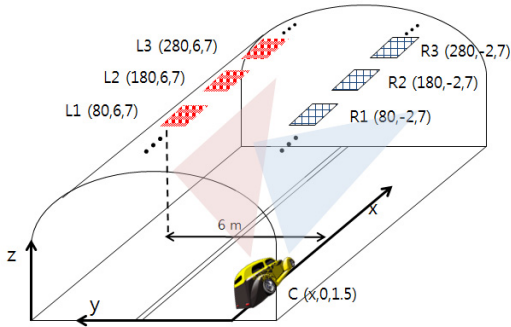


그림 4. 가시광 기반 V2I 측위 시뮬레이션 환경
Fig. 4. Simulation environment for the VLC based V2I positioning system

36mm×24mm 이고 3차원 공간에서의 카메라 센서의 위치는 차량 윗부분 쪽에 달려있다고 가정하여 좌표 값을 (0,0,1.5) 으로 정하였다. 여기서 이미지 센서의 각도 파라미터는 $\omega = 110, \phi = 0, \kappa = -80, c = 18$ 으로 두었다. 이 파라미터로부터 식 (6)을 활용하면 회전 행렬 M 을 구할 수 있다.

Collinearity condition을 활용하여 얻을 수 있는 이미지 평면 상의 LED 조명 위치는 아래의 표 1과 같다. 이 때 이미지 센서의 중심점은 이미지 평면상의 원점이라 가정한다.

그림 5는 이미지 센서의 pixel size를 변화 시켜 가면서 실제 위치와의 측정 오차를 보여준다. 이 때 X축, Y축, Z축에 대해 각각 측정 오차를 나타내어 보았다. 여기서 X축에 대한 위치 추정 오차가 Y축, Z축 보다 큰 이유는 차량이 그림 4에서 알 수 있듯이 X축 방향으로 차량이 움직이는 시나리오를 사용하였기 때문이다. 그림에서 볼 수 있듯이 이미지 센서의 pixel 개수가 증가할수록 위치 측정 오차도 감소하는 것을 볼 수 있다. 차량의 위치는 공간상의 한 점으로 표현되고, 차량의 공간상에서의 좌표 위치가 이미지 공간

표 1. 이미지 평면에 나타나는 LED 조명의 위치 좌표
Table 1. Locations of the LED lights on the image plane

	x axis	y axis
L1	3.05	5.14
L2	3.23	5.91
L3	3.28	6.14
R1	3.36	5.16
R2	3.37	5.92
R3	3.37	6.14

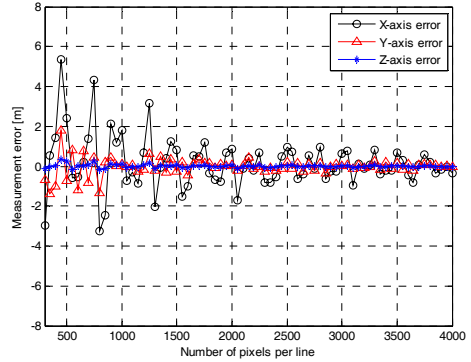


그림 5. 이미지 라인 당 픽셀 수에 따른 측위 오차
Fig. 5. Positioning error depending on the number of pixels per line

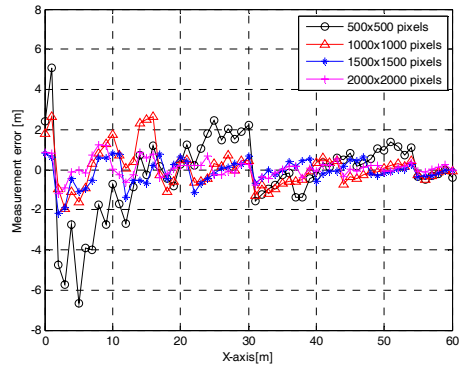


그림 6. X축 이동 경로에 따른 측위 오차
Fig. 6. Positioning error depending on the moving location along the X axis

상의 좌표로 투영된다. 이 때, 이미지 센서의 픽셀 수가 증가할수록 공간 상에서의 차량의 위치가 정확하게 표현되므로 측위 오차도 함께 줄어들게 된다. 카메라 센서의 한 line 당 3000 픽셀 이상이 된다면 X, Y, Z 축 모두 위치 추정 오차가 1 m 이내로 들어오게 된다.

그림 6은 이미지 센서와 LED 신호의 위치와의 상대적인 위치가 측위 오차에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 고정된 이미지 pixel 개수를 고려하여 차량의 X 좌표의 위치만 변화 시켰을 때의 측위 오차를 보여준다. 즉, 차량이 터널 내 LED 인프라와 점점 가까워지는 상황에서 측위 오차 성능을 검증해보았다. 여기서 이미지 센서의 총 픽셀 수는 을 사용하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 X축 좌표가 증가할수록, 즉 차량에 탑재된 이미지 센서가 터널 내 LED 조명과 가까워질수록 위치 측정 오차가 감소하게 됨을 알 수 있다. 이 때 첫 번째 LED와의 거리가 40 m 내외가 된 후부터는 위치 추정 오차는 1 m 이내로 줄어들게 됨

을 알 수 있다. 그러므로 터널 내 차량의 정확한 측위를 위해서는 충분한 픽셀수를 가진 이미지 센서를 사용하여 이미지 안에 포함되는 LED 광원 중에서 차량과 가장 가까운 세 점을 활용해야함을 알 수 있다.

측위 오차가 발생하는 원인은 이미지 평면상의 LED 표식자들 사이의 거리와 resolution 에 깊은 연관이 있다. 공간상에서의 카메라와 LED 표식자들과의 거리가 가까울수록 이미지 평면상에서 LED 표식자들 사이의 거리는 늘어나게 되므로, 공간좌표상에서의 카메라 위치가 더 정밀하게 계산된다. 이 때 카메라의 resolution 이 클수록 LED 표식자들 사이에 존재하는 픽셀의 개수가 증가하므로 기하학적으로 더 정밀한 측위가 가능하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 V2I 환경에서 가시광 통신과 이미지 센서를 활용하여 기존의 GPS에 비해 정밀 측위가 가능한 기법을 제안하였다. Collinearity condition을 활용하여 이미지 센서로 얻은 이미지 평면에 위치한 LED 광원 위치좌표 및 3차원 절대좌표 정보를 추출하여 차량에 탑재된 카메라의 3차원 좌표값을 얻어내었다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 충분한 수의 픽셀수를 가지는 이미지 센서를 이용하여 차량과 가장 가까운 LED 광원 세 개를 기반으로 위치 추정을 하면 1 m 내외의 정확한 측위가 가능함을 알 수 있다.

References

[1] K. Y. Kim, "Analysis of anti-jamming techniques for satellite navigation systems," *J. KICS*, vol. 38, no. 12, pp. 1216-1227, Jan. 2014.

[2] J. S. Han, K. Y. Kim, S. J. Kim, H. D. Kim, and H. J. Choi, "Analysis of adaptive digital signal processing for anti-jamming GPS system," *J. KICS*, vol. 32, no. 8, pp. 745-757, Aug. 2007.

[3] W. Zhang and M. Kavehrad, "A 2-D indoor localization system based on visible light LED," in *Proc. IEEE Photonics Soc. Summer Topical Meeting Series*, pp. 80-81, Seattle, USA, Jul. 2012.

[4] A. M. Vegni and M. Biagi, "An indoor localization algorithm in a small-cell

LED-based lighting system," in *Proc. Int. Conf. Indoor Positioning Indoor Navigation (IPIN 2012)*, pp. 1-7, Sydney, Australia, Nov. 2012.

[5] S. Y. Jung, S. Hann, and C. S. Park, "TDOA-based optical wireless indoor localization using LED ceiling lamps," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 57, no. 4, pp. 1592-1597, Nov. 2011.

[6] J. Hwang and M. Yoo, "The analysis on positioning error of recognition schemes of pilot signal in indoor TDoA positioning system using visible light communication," *J. KICS*, vol. 37, no. 9, pp. 787-794, Sept. 2012.

[7] Y. U. Lee and M. Kavehrad, "Long-range indoor hybrid localization system design with visible light communication and wireless network," in *Proc. IEEE Photonics Soc. Summer Topical Meeting Series*, pp. 82-83, Seattle, USA, Jul. 2012.

[8] M. S. Rahman, M. M. Haque, and K.-D. Kim, "High precision indoor positioning using lighting LED and image sensor," in *Proc. Int. Conf. Comp. and Inf. Technol. (ICCIT 2011)*, pp. 309-314, Dhaka, Bangladesh, Dec. 2011.

[9] Z. Zhang, Y. Zhang, J. Zhang, and H. Zhang, "Photogrammetric modeling of linear features with generalized point photogrammetry," *Photogramm. Eng. RemoteSens.*, vol. 74, no. 9, pp. 1119-1127, Sept. 2008.

김 병 옥 (Byung Wook Kim)



2005년 : 부산대학교 전자전기
통신공학과 졸업
2005년~2007년 : 한국과학기술
원 전기및전자공학과 석사학
위 취득
2007년~2012년 : 한국과학기술
원 전기및전자공학과 박사학
위 취득

2012년~2013년 : 한국전기연구원 선임기술원

2013년~현재 : 경일대학교 조교수

<관심분야> Visible Light Communication (VLC),
Optical Camera Communications (OCC),
Wireless Multimedia Sensor Networks, Power
Line Communications (PLC)

송 덕 원 (Deok-Weon Song)



2014년 2월 : 영남대학교 전자
공학과 졸업
2014년 3월~현재 : 영남대학교
전자공학과 석사과정
<관심분야> Visible Light Com-
munication (VLC), Optical
Wireless Communication (OWC),

Optical Camera Communications (OCC)

이 지 환 (Ji-Hwan Lee)



2014년 2월 : 영남대학교 전자
공학과 졸업
2014년 3월 : 영남대학교 전자
공학과 석사과정
<관심분야> Visible Light Com-
munication (VLC), Optical
Wireless Communication (OWC),
Optical Camera Communications (OCC)

정 성 윤 (Sung-Yoon Jung)



2000년 : 고려대학교 전기전자
전파공학부 졸업
2000년~2002년 : 한국과학기술
원 전자전산학과 석사학위
취득
2002년~2006년 : 한국과학기술
원 전자전산학과 박사학위
취득

2006년~2009년 : 삼성전자 통신연구소(현, DMC연구
소) 책임연구원

2009년~2014년 : LED-IT 융합산업화연구센터 부센
터장(2012) 및 부과장

2009년~현재 : 영남대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> Wireless Personal Area Networks
(WPAN), Optical Wireless Communications
(OWC), Visible Light Communication (VLC),
Optical Camera Communications (OCC),
Ultra-wideband (UWB), Smart Utility Networks