

레이저를 이용한 이동차량의 속도/거리 측정용 임베디드 시스템 구현

Implementation of the Embedded System using the Laser for Measurement of Vehicle Speed and Distance

金容權*, 奇長根*, 崔眞圭**

Yong-Kwon Kim*, Jang-Geun Ki*, Jin-Kyu Choe**

요약

본 논문에서는 레이저를 이용한 이동 차량의 속도와 거리 측정 시스템을 설계하고 현장 실험을 통해 시스템을 검증하였다. 구현된 시스템은 크게 레이저모듈과 제어 및 속도 연산 모듈로 구성되어 있으며, 레이저 모듈은 레이저를 발사하고 수신하는 송수신부와 광학계 그리고 LDC(Laser Detection and Counter)로 이루어져 있고, 제어 및 속도 연산 모듈은 마이크로컨트롤러를 이용하여 레이저 모듈을 제어하기 위한 제어부와 레이저 모듈로부터 수집한 데이터를 이용하여 이동차량의 속도와 거리를 계산하는 속도 연산부로 이루어져 있다. 속도 연산을 위한 알고리즘은 레이저의 특성과 환경적인 요인을 고려해 개발하였다. 구현된 시스템은 도로상의 임의의 자동차를 대상으로 실험하였으며, 이를 통해 시스템의 안정성과 속도 알고리즘의 정확성을 검증하였다.

Abstract

In this paper, the measurement system of speed and distance of vehicles using laser is implemented and verified through the outdoor test. The implemented system consists of a laser module and a control/speed-computation module. The Former is composed of a optics part, a transmit/receive part, and a LDC(Laser Detection and Counter), and the latter is a control part that controls the laser module and a speed computation part that calculates velocity of vehicles using a microcontroller. The algorithm to compute speed has been developed to consider characteristics of laser and surrounding conditions. The implemented system has been tested and verified on the high way, and the result shows stability of the system and accuracy of the algorithm.

keywords: TOF, velocity detection

1. 서론

ITS(지능형 교통정보 시스템 : Intelligent Transport Systems)는 교통정보 시스템에 전자, 통신 등의 첨단

* 公州大學校 情報通信工學部

(Division of Info. & Comm. Eng., Kongju Nat. Univ.)

** 韓南大學校 電子情報通信工學部

(School of Info. Tech. & Multimedia Eng., Hannam Univ.)

기술을 접목시킴으로써 효율적이고 빠른 교통정보 시스템을 구축하는 것이며, 이를 통해 교통이용자에게 다양한 서비스를 제공함으로써 물류비용을 줄이고 보다 안전한 교통시스템을 제공 할 것으로 기대된다. 이러한 ITS 실현을 위한 가장 중요한 요소 중 하나는 교통정보의 수집이며 이것은 결국 교통량이나 차량의

* 본 논문은 2004년도 두뇌한국21사업에 의하여 일부 지원되었음.

接受日:2004年 3月 31日, 修正完了日:2004年 7月 14日

* 교신 저자 (Correspondence author)

속도 등을 감지하는 센서의 역할이 중요함을 의미한다. 현재 사용되고 있는 센서는 CCTV와 같은 영상 센서나 도로에 매설하여 사용하는 루프 방식의 센서가 대부분이며 최근 들어 레이저 방식이 교통량이나 혹은 교통 단속시스템에 일부 사용되고 있다.

레이저를 이용한 거리측정 방식^[1]으로는 도플러 효과를 이용한 방식과 TOF(Time Of Flight) 방식^[2-4]이 사용되고 있다. 이 중 도플러 효과를 이용한 거리측정 시스템은 레이저의 특성으로 인해 주로 고정밀도의 근거리 측정용으로 사용되고 있는 반면 TOF 방식의 경우 과거에는 거리 분해능이 좋지 않았기 때문에 정밀한 거리측정용보다는 원거리 물체에 대한 대략적인 거리를 측정하는데 사용되었다. 그러나 최근들어 고가의 도플러 방식보다는 정밀 측정이 가능한 저가의 TOF 방식 시스템 구현에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 이와 같은 TOF 방식 거리/속도 측정 시스템의 구조를 설계하고 실제 운영 환경요소를 고려한 속도계산 알고리즘을 개발, 적용하였으며 현장 실험을 통해 정확성과 안정성을 검증하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 거리와 속도 측정 시스템에 대한 관련 연구와 시스템 구현에 필요한 요구사항을 정리하였으며, 3장에서는 개발된 시스템의 하드웨어 구조에 대해 설명하였다. 4장에서는 속도 연산을 위한 알고리즘에 대해 설명하였으며, 5장에서는 구현된 시스템 검증을 위한 실험 결과를 제시하였고, 6장에서 결론을 맺었다.

II. 관련연구 및 시스템 요구사항

2.1. 관련연구

이동 물체의 속도나 거리를 측정하기 위한 방식으로는 루프를 이용한 방식과 스위치를 이용한 방식, 도플러 효과를 이용한 방식, TOF(Time Of Flight) 방식 등이 있다^[5]. 국내에서 주로 사용되고 있는 루프방식의 경우 차량 감지 센서를 도로에 반드시 매설해야 하기 때문에 위치를 고정시켜 사용해야 한다는 점과 매설된 루프가 차량의 무게에 의해 쉽게 파손되기 때문에 지속적인 유지보수가 필요하고, 다리와 같이 철재로 이루어진 특정한 부분에는 설치할 수 없는 단점을 가지고 있다.

레이저 방식 중 도플러 효과를 이용한 거리측정 시

스템은 특성상 위상이 일정한 싱글모드 레이저를 이용하며 레이저의 파워가 TOF 방식에 사용되는 파워보다 낮다. 하지만 매우 정밀한 측정을 할 수 있기 때문에 레이저 스캔에 의한 3차원 영상 획득 시스템이나 의료용 시스템등 주로 근거리 정밀 측정에 사용되고 있다. 원거리 측정용으로 도플러 방식을 사용하기 위해서는 파워가 높은 레이저를 사용해야 하지만 높은 파워의 싱글모드 레이저 가격이 매우 고가이기 때문에 국내에서는 사용되지 않고 있다.

TOF 방식은 레이저를 발사한 후 반사된 레이저가 되돌아오는 시간을 측정하여 반사체의 거리를 측정하는 방식으로 TOF에 의한 거리측정은 도플러 효과에 의한 방식보다 레이저의 파워를 높일 수 있기 때문에 원거리에 있는 불특정 이동차량의 거리를 측정하기에 적합한 방식이다. 그러므로 본 논문에서는 TOF 측정 방식을 이용하여 차량의 거리를 측정하고 측정된 데이터를 이용하여 차량의 속도를 계산할 수 있는 방안을 제시하고 구현하였다.

구현된 시스템은 센서를 도로에 매설해 사용하는 루프 방식에 비해 이동성을 보장할 수 있으며 유지보수가 쉽고 설치 장소에 대한 제약이 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 레이저 방식 중 하나인 도플러 방식에 비해 파워가 높으면서도 저가로 구현할 수 있어 가격 대비 성능이 우수하다.

2.2. 시스템 구현을 위한 고려사항

레이저를 이용하여 차량의 속도를 측정하는 경우 일반적인 루프방식과는 다르게 환경적인 요소와 레이저 특성, 그리고 반사체인 차량에 따라 영향을 받게 되므로 전자회로 설계나 속도 계산을 위한 알고리즘 개발 시 시스템에 영향을 줄 수 있는 요소들에 대한 연구가 필요하다. 다음은 속도 측정에 영향을 줄 수 있는 주요 요소들을 정리한 것이다.

- i) 차종에 의한 영향 : 차량의 종류에 따라 도로면과 차량과의 높이가 다르고 차량의 폭이 다르기 때문에 레이저가 차량에 반사되어 되돌아오는 시간이나 수집데이터 량이 다르다.
- ii) 반사 매체의 색상에 따른 영향 : 레이저는 일반적으로 반사체의 표면색에 따라 반사되는 광량이 다르다.
- iii) 차량의 전면 장식에 따른 영향 : 차량 장식의 모양이나 재질에 따라 반사되는 광량이 변하게 된다.

- iv) 측정 거리에 따른 영향 : 속도 측정 시스템과 차량과의 거리에 따라 수집되는 광량이 변화할 수 있다.
- v) 주위환경에 의한 영향 : 주위환경이 밝고 어두운 정도에 따라 수집되는 광량과 노이즈의 량이 변화한다.

이러한 요인들은 대부분 반사되는 광량과 노이즈량에 영향을 미치고 이러한 영향은 결과적으로 거리오차를 유발하게 된다. 거리오차를 유발할 수 있는 예로서, 수집되는 광량이 적은 경우 광 수신부에서 이를 증폭하게 되고 이러한 증폭은 시간적 오차를 발생 시킬 수 있다. 그림 1은 증폭에 따른 오차를 보여주고 있는 것으로 그림에서 a 지점이 반사되어 되돌아온 레이저의 실제 시간이지만 이를 증폭하게 되면 파형은 자연스럽게 증가하게 되고 이 과정에서 시간적 오차(T_d)를 가지게 된다. 이러한 오차는 광속계산에 있어 오차를 유발시키고 결국 차량의 거리계산에 영향을 주게 된다.

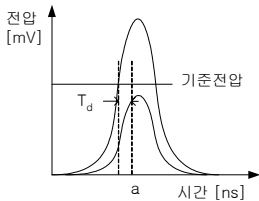


그림 1. 반사 광량 차이에 의한 오차

Fig. 1. Error from difference by quantity of light

III. 속도 및 거리 측정 시스템의 하드웨어 구현

구현된 시스템은 크게 하드웨어와 소프트웨어 부분으로 나눌 수 있다. 소프트웨어는 시스템을 제어하고 속도 연산 알고리즘을 구현한 프로그램이며, 하드웨어 부분은 크게 레이저를 구동시키고 TOF를 측정하기 위한 레이저 모듈과 레이저 모듈을 제어하고 레이저 모듈로부터 수집된 데이터를 이용하여 속도를 계산하는 제어 및 속도 연산 모듈로 구성되어 있다.

3.1 시스템의 하드웨어 구성

시스템의 하드웨어 구성도는 그림 2와 같다. 그림에서 화살표는 제어 신호와 시스템 내에서의 데이터 흐름을 나타낸다. 레이저 모듈은 TOF 측정과 레이저 트리거 신호 생성을 위한 LDC와 레이저 송수신부, 송수신 광학계, 필터/증폭기 등 6개의 서브모듈로 구성되어 있으며, 제어 및 속도 연산 모듈은 시스템 관리부와 레이저 모듈 제어를 위한 제어부, 데이터 수집부, 속도 연산부로 구성되어 있다.

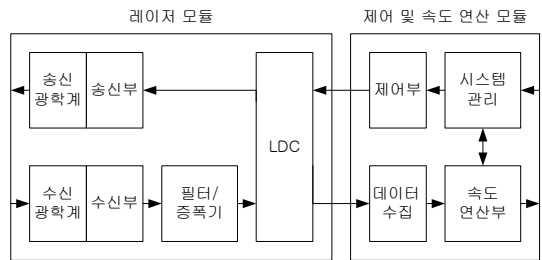


그림 2. 속도 검출 시스템의 구조도

Fig. 2. Structure of the implemented system

시스템의 외부 신호로는 사용자가 제한 속도나 거리, 동작모드 등을 설정하기 위한 제어신호들과 속도 연산 모듈에 의해 계산된 차량의 속도와 거리를 출력하기 위한 신호 그리고 경찰용 과속 차량 단속 시스템의 영상 시스템과 연결되는 경우 필요한 영상 캡처 트리거 신호 등이 있다.

그림 3은 구현된 시스템으로 그림에서 알 수 있듯이 레이저 모듈을 위한 송수신부와 광학계 및 필터와 증폭기, LDC(Laser Detection and Counter)가 있으며 레이저 모듈 뒤쪽에 제어 및 속도 연산 모듈이 구현되어 있는 마이크로컨트롤러 회로가 부착되어 있다. 구현된 시스템의 설계 사양 및 특성을 요약하면 다음과 같다.

- Beam width 0.4m at 100m
- Adjustable illuminated Red Dot Sight
- Detectable to 1,000m
- Distance Accuracy ±2cm
- Speed Maximum ±320Km/h
- Speed Accuracy ±1.5km/h

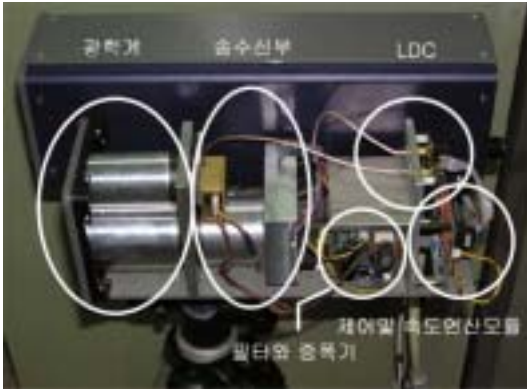


그림 3. 구현된 시스템
Fig. 3. Implemented system

3.2 레이저 모듈

레이저 모듈은 레이저를 발사하는 레이저 드라이버, 발신된 레이저 신호를 감지하는 레이저 수신부로 구성된 회로들과 발광부 광학계, 수광부 광학계, 그리고 레이저의 시간차를 계산하기 위한 LDC로 구성되어 있다. 거리측정 방법으로는 빛이 발사되는 시간과 측정 물체에 맞고 산란된 빛이 되돌아오는 시간 차이를 측정하여 거리를 측정하는 TOF(Time Of Flight) 방식을 사용하였다.

3.2.1 레이저 발신부

레이저를 이용하여 거리를 측정하고 그 거리의 변화율을 가지고 물체의 이동 속도를 산출하기 때문에 레이저 펄스가 진행하면서 생기는 분광(dispersion)으로 발생하는 오차를 최대한 줄이기 위하여 레이저 펄스폭은 수십 ns이내로 하는 레이저 드라이버를 설계하였다.

레이저 드라이버는 고속 FET를 사용하여 높은 전압으로 커패시터를 충전하고 있다가 레이저 발신 신호(start signal)에 동기를 맞추어 충전된 전류를 순간적으로 방출하여 레이저 다이오드를 동작시킨다. 실험을 통하여 측정된 결과 펄스폭은 70ns 이었다. 발신부 광학계는 측정하고자 하는 물체의 크기를 감안하여 빔 사이즈를 결정하였으며 레이저 다이오드의 확산각(divergence angle)을 감안하여 광학계를 설계하였는데 100m 전방에서 40cm를 가지도록 하였다. 사용된 레이저 다이오드는 인간의 눈에 지장을 주지 않는 클래스 1급으로서 광원의 파장은 약 905nm이다. 그림 4는 구

현한 레이저 발신부의 블록도이다.

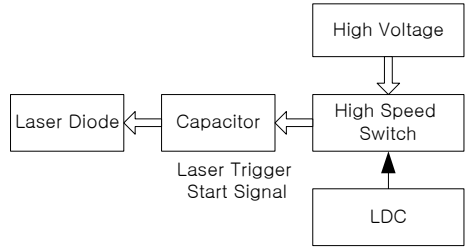


그림 4. 발신부 블록도
Fig. 4. Transmission block

3.2.2 레이저 수신부

수신부는 반사광이 아닌 산란광을 측정해야 하기 때문에 수광소자로써 APD(Avalanche Photo Diode)를 사용하였다. 수광부는 발신부에서와 마찬가지로 광신호의 분광에서 오는 오차를 최대한 줄여야 하며 반사도가 높은 물체와 낮은 물체 간에서 생기는 오차도 줄일 수 있어야 한다. 그림 5는 구현한 레이저 수신부의 블록도이다.

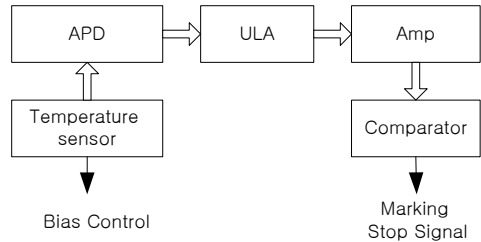


그림 5. 수신부 블록도
Fig. 5. Receiving block

APD는 특성상 온도에 따라 이득(Gain)이 변하기 때문에 바이어스(Bias) 전압을 조절해야 한다. 그러므로 APD에 온도 센서를 부착하여 APD의 온도 변화에 따라 바이어스를 조절하여 안정된 이득을 얻을 수 있도록 하였다.

물체에 맞고 감지된 광 신호는 APD를 통해 광전변환을 하더라도 신호가 매우 작기 때문에 ULA(Unit Level Amp)라는 회로를 거쳐 일정한 크기로 증폭을 한다. ULA를 거치더라도 stop 신호로 사용하기에는 전압이 낮기 때문에 증폭회로를 한 번 더 거치고 비교기를 통하여 얻은 신호를 stop 신호로 사용한다. 실험 결과 20mV 이상만 APD에서 감지하면 stop 신호로

만들 수 있었다. 수광부 광학계는 APD의 Effective area가 500nm이기 때문에 렌즈를 통과한 빛의 레이들이 500nm 안에 모두 들어가도록 설계하였다.

3.3 제어 및 속도 연산모듈

제어 및 속도 연산모듈은 레이저 모듈을 제어하기 위한 부분과 레이저 모듈로부터 수집된 데이터를 이용하여 속도를 연산하는 부분으로 구성된다. 제어 및 속도 연산 모듈의 구현은 PIC 계열의 마이크로컨트롤러⁸⁾를 사용하였으며 마이크로컨트롤러의 메인 클록은 20MHz를 사용하였다. 마이크로컨트롤러의 주요 기능은 다음과 같다.

- i) 사용자의 제어 신호에 따라 레이저모듈 제어
- ii) 레이저 모듈로부터 데이터 수집
- iii) 수집된 데이터를 이용하여 속도 연산 알고리즘에 의해 속도와 거리 계산
- iv) 시리얼 포트를 이용한 속도/거리 데이터 전송, 영상 캡처 트리거신호 생성 및 전송
- v) 일정 간격으로 레이저를 발사하도록 제어

레이저 발사간격은 속도 연산에 있어 기준시간이 되므로 항상 일정한 간격으로 레이저 트리거 신호가 발생하도록 구현하였으며, 발생 간격은 사용자 설정에 따라 ms단위로 설정할 수 있다. 이렇게 구현된 모듈은 크게 3가지 모드로 동작한다. 첫 번째 모드는 자동모드로서 알고리즘에 의해 계산된 속도와 거리 데이터가 연속하여 전송되는 모드이다. 두 번째 모드는 수동모드로서 사용자가 스위치를 누를 때 마다 계산된 속도와 거리를 출력하는 모드이며, 마지막 모드는 경고모드로서 사용자가 설정한 제한 거리와 속도에 의해 동작한다. 즉, 사용자가 설정한 거리 이내에서 알고리즘에 의해 계산된 속도가 제한속도를 초과할 때만 속도와 거리를 사용자에게 전송한다.

IV. 속도연산 알고리즘과 구현

속도연산 알고리즘 개발에 있어 알고리즘에 반영되어야 하는 조건에 대한 고찰이 필요하다. 즉 레이저 모듈에 의해 수집되는 데이터의 신뢰성 문제나 차간 거리가 짧을 경우 앞차와 뒤차를 구분할 수 있는 방안

등이 필요하다. 아래 사항들은 이러한 조건이나 고려 사항 중 중요 항목을 정리한 것이다.

- i) 속도 연산을 위해 p 개의 초기데이터가 신뢰성을 가질 수 있는 범위 내에 있어야 한다.
- ii) 차량의 종류와 색상 등에 따른 데이터의 변화에도 신뢰성 있는 속도를 연산해야 한다.
- iii) 일정 구간에서의 데이터만을 고려해야하며 이 구간에서의 데이터는 신뢰할 수 있어야 한다.
- iv) 차량의 차간 거리가 좁은 경우 두 차량을 구분할 수 있는 방안이 고려되어야 한다.

이동중인 차량의 속도 계산을 위해서는 수집 되는 데이터의 신뢰성이 가장 큰 문제로 대두되며 또한 수집된 데이터가 앞에서 언급한 여러 환경적인 요소로 인해 변화하는 문제를 고려해야만 한다. 그러므로 본 논문에서는 순수한 수학적 방법에 의한 알고리즘의 개발보다는 기본적인 알고리즘을 바탕으로 실제 실험을 통해 차량의 종류와 색상, 주위환경에 따른 데이터의 경향을 고려해 알고리즘을 개발하였다. 그림 6은 알고리즘 개발에 필요한 데이터를 수집하고 구현된 시스템을 실험하기 위한 실험방법을 나타낸 것이다. 속도 측정 시스템이 도로의 가장자리에서 레이저를 비추고 있는 동안 차량이 접근하면 그림의 A지점에서 레이저가 처음으로 반사되고, 차량이 B 지점까지 진행하는 동안 차량의 거리 데이터를 수집한 후 수집된 데이터를 이용하여 속도를 계산하게 된다. 식1은 레이저 모듈에 의해 수집된 데이터가 주위환경이나 차종과 색상에 관계없이 이상적인 데이터일 경우 A지점부터 B 지점까지의 거리와 차량이 A 지점을 통과해 B 지점까지 이동하는데 걸린 시간을 이용하여 속도를 계산하는 일반적인 속도계산 식을 나타낸 것이다.

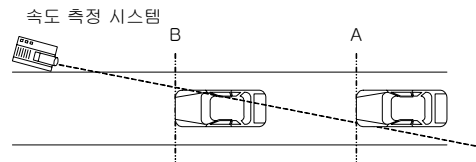


그림 6. 레이저를 이용한 속도 검출 실험 방법
Fig. 6. Speed detection method with laser

$$v = \frac{3600 \cdot (D_b - D_a)}{T_b - T_a} [km/h], (D_a = \frac{1}{2} \cdot c \cdot L_a) \quad (1)$$

D_a, D_b = 측정 시스템으로부터 A 또는 B 지점까지의 거리 [m]
 T_a, T_b = 차량이 A 또는 B지점에 진입했을 때 시스템이 차량을 감지한 시간 [ms]
 L_a, L_b = 시스템이 레이저를 발사한 후 A 또는 B 지점에서 차량에 반사되어 되돌아 올 때까지의 시간 [ns]
 c = 빛의 속도

A 지점과 B지점 사이에 들어오는 거리 데이터가 이상적으로 들어오는 경우 속도 계산을 쉽게 수행 할 수 있지만 앞에서 언급한 여러 가지 요인들로 인해 수집되는 데이터가 불규칙하게 변화되므로 식 1과 같은 단순한 속도 계산식으로는 정확한 차량의 속도를 계산할 수 없다. 실제 실험에 의한 데이터들은 시간에 따라 거리 데이터들이 일직선상에 있지 못하고 불규칙한 랜덤 오차를 내포하게 된다. 이러한 거리데이터들의 불규칙한 분포에 대해 최적화된 직선의 방정식을 구하는 작업이 필요하며 이를 위해 속도 계산 알고리즘으로서 회귀분석을 이용하였다. 적용된 회귀분석 식은 식 2와 같다.

$$Min = \sum_{i=1}^N (D_i - R(x_i))^2 \quad (2)$$

$$R(x) = ax + b$$

위 식은 실제 측정된 데이터 D 와 $R(x)$ 의 차이 값을 구하고 이 값이 최소가 되는 $R(x)$ 함수를 구하는 것이다. 결과적으로 $R(x)$ 일차방정식의 기울기 a 는 시간과 거리 변화에 의한 차량의 속도가 된다. $R(x)$ 방정식에서 a 와 b 는 일정기간 동안의 시간(x)와 거리(y) 데이터를 수집한 후 식 3과 4를 이용하여 계산할 수 있다.

$$a = \frac{n(\sum xy) - (\sum x \sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum x \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (4)$$

그림 7은 속도 검출을 위해 구현된 함수 중 일부를 나타낸 것으로 시스템이 경모드로 동작하고 있는 경우를 나타낸 것이다. 함수에서 n, m 은 데이터의 유효성을 검사하기 위한 것으로 과거의 데이터를 매개 변수로 $P(D)$ 함수를 이용하여 추세예측 값을 구하고, 현재의 거리데이터(D)가 예측되는 범위(n, m) 내에 있는지를 검사하는 것으로 만약 현재의 거리 데이터가 범위를 벗어나면 속도 계산에서 현재의 데이터를 제외시킨다. 시스템이 차량의 속도와 거리를 사용자에게 송신하는 경우는 차량이 정해진 거리이내로 진입했고 그때의 속도가 제한속도 이상이 되는 경우이다.

```

VelocityDetect( D )
{
  if( n < D < m ) // 데이터의 유효성 검사
  {
    Velocity = R( D ); // 속도 계산
    if( D == DistanceLimit ) // 거리범위 검사
    {
      if( Velocity >= SpeedLimit )
        return Velocity;
      else
        return 0; // 제한속도를 넘지 않았음
    }
    else
    {
      n, m = P(D); // 추세예측 값 추출
      return 0;
    }
  }
  else
  {
    return 0; // Data 무시
  }
}
// n, m : 추세예측 값
// R(D) : 속도계산 함수
// P(D) : 직전 데이터를 이용한 추세예측 함수
    
```

그림 7. 속도 계산 함수
 Fig 7. Function for speed computation

구현된 시스템이 속도 계산을 수행하기 위한 전체적인 순서를 그림 8에 상태로 간략히 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 알고리즘의 상태는 기본적으로 다음 4가지 상태를 가지게 된다.

- S1 : 초기화 상태
- S2 : 초기 데이터 수집 (p 개)
- S3 : 속도 연산을 위한 데이터 수집 (q 개)
- S4 : 속도 계산

S1은 기존에 저장된 데이터들과 변수들을 초기화시켜 처음부터 다시 데이터를 수집하기 위한 상태로서, S1 상태에서 데이터가 하나 입력되면 S2 상태로 이동한다. S2 상태에서는 유효하지 않은 데이터가 하나라

도 들어오면 S1 상태로 이동하고, 수집된 데이터의 수가 p 개 이상이 되면 S3로 이동한다. S3에서는 속도 연산에 필요한 q 개의 데이터를 수집할 때까지 데이터를 수집하며, 만약 중간에 유효하지 않은 데이터가 연속해서 e 개 이상 입력되면 S1 상태로 이동한다. S4 상태에서는 q 개의 데이터를 이용하여 속도 계산을 수행하며, 만약 데이터 수집 중 유효하지 않은 데이터가 e 개 이상 수신되면 S1 상태로 이동하고, 알고리즘에 의해 정상적으로 속도가 연산되면 계산된 속도와 거리 데이터를 출력하고 다음 차량의 속도 연산을 위해 S1 상태로 이동한다.

속도 연산을 위한 S4 상태에서는 슬라이딩 윈도우(Sliding Window) 기법을 이용하여 속도를 계산하게 된다. 즉, 적정 데이터 수가 수집되면 속도 계산을 수행하고 다시 새로운 데이터가 수신되면 윈도우를 옆으로 이동하여 새로운 데이터를 포함하여 속도를 재 계산하게 된다.

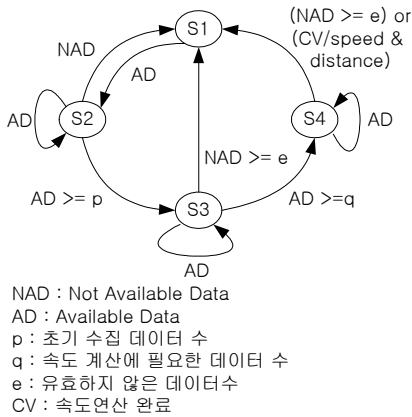


그림 8. 속도 연산을 위한 상태도
Fig 8. State diagram for speed computation

V. 실험방법과 시스템 검증

본 논문에서는 구현된 시스템을 검증하기 위해 TS(Tape Switch)를 이용한 속도 검출시스템을 사용하여 이를 기준으로 삼았다. TS 속도 검출 시스템은 그림 9와 같이 도로 바닥에 스위치를 설치한 후 차량의 바퀴가 통과할 때 스위치가 눌리는 시간을 측정하여 속도를 계산하므로 차량의 실제 속도를 정확히 측정할

수 있다.

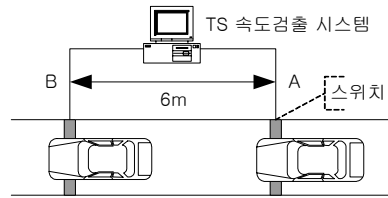


그림 9. TS를 이용한 속도 검출 실험 방법
Fig. 9. Speed detection method with TS

본 논문에서 개발된 시스템을 이용한 실험방법은 앞에 나타내었던 그림 6과 같으며, 그림 10에 구현된 시스템을 이용하여 도로상의 임의의 차량을 대상으로 실험한 결과 그래프의 예를 나타내었다. 그래프에서 X축은 시간을 의미하며 Y축은 측정된 차량의 거리를 나타낸다. 실험시 시스템은 경고모드로 설정하였으며 이때의 제한 거리는 80m이고 제한 속도는 3mk/h로 통과하는 모든 차량의 데이터를 수집할 수 있도록 하였다. 그림에서 실선은 레이저에 의해 측정된 이동차량의 거리 변화를 나타낸 것이며, 점선은 차량의 속도가 계산된 시점을 의미하고 그래프 중간의 수치는 알고리즘에 의해 계산된 최종 속도 데이터이다.

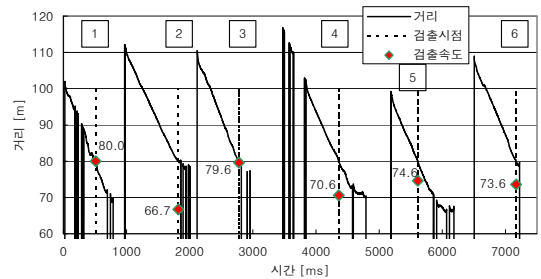


그림 10. 레이저를 이용한 속도 측정 데이터
Fig. 10. Measurement data using laser

그림에서 1번과 4, 5번 차량은 트럭을 측정한 것이며, 2, 3번은 밴, 6번은 승용차이다. 그림에서 알 수 있듯이 차량의 종류에 따라 수집되는 데이터 량이 다르며 데이터가 수집되는 시점 또한 다르다 이것은 차량의 폭과 차량의 진행 위치에 따라 레이저가 차량에 맞는 시간이 다르기 때문이다. 구현된 시스템 검증을 위해 그림 10에서 수행한 실험과 동일 시간, 동일 차량에 대해 TS 속도 검출기를 이용해 실험한 결과를 표

1에 같이 나타내었다. 표에서 차량번호는 그림 10의 번호와 동일한 차량을 의미하며, 표의 결과로부터 개발된 시스템의 속도 계산이 정확함을 확인할 수 있다. 결론적으로 본 논문에서 개발된 시스템은 다양한 실제 운영환경에서 반복 시험되었으며, 전체적인 실험결과에 의한 속도오차는 최대 2%이내로서 개발된 속도 알고리즘의 정확성과 시스템의 안정성을 검증하였고, 차종이나 차량의 색상 등에 관계없이 오차가 일정한 범위내에 있는 것을 확인하였다. 2%이내의 속도 오차는 경찰용 속도 검출기 시스템의 허용오차 5%^[9]인 것을 감안할 때 ITS 시스템에 충분히 적용할 수 있는 우수한 정밀도를 가진다고 할 수 있다.

표 1. 속도 측정 비교표

Table 1. Comparison of speed data

차량 번호	차종	차량 색상	검출속도 [km/h]	검출거리 [m]	TS속도 [km/h]	오차 (%)
1	트럭	검정	80.0	79.9	80.7	0.9
2	밴	흰색	66.7	80.0	66.0	1.1
3	밴	흰색	79.6	80.0	79.0	0.7
4	트럭	흰색	70.6	80.0	70.7	0.1
5	트럭	청색	74.6	79.9	74.2	0.5
6	승용차	붉은색	73.6	80.0	73.6	0.0

VI. 결론

본 논문은 이동중인 차량의 속도를 기존의 루프방식이 아닌 레이저를 이용해 속도와 거리를 검출할 수 있는 방안을 연구하고 구현하였다. 구현된 시스템은 레이저를 구동시키고 광속도를 검출할 수 있는 레이저 모듈과 이를 제어하고 수집된 데이터를 이용하여 거리 및 속도를 계산하기 위한 제어 및 속도 연산 모듈로 구성되어 있으며, 수집된 데이터를 이용하여 레이저 특성이나 차량의 종류, 외부 환경적 요인에도 안정적으로 속도를 검출할 수 있는 속도 계산 알고리즘을 개발하고 이를 바탕으로 독립적으로 동작할 수 있도록 임베디드 시스템으로 구현하였다. 구현된 시스템은 실제 도로상에서 임의의 차량을 대상으로 실험하였으며, 실험결과 반사체나 주위 환경의 영향에 관계없이 속도

계산 오차는 최대 2%이내로서 속도의 정확성과 시스템의 안정성을 검증하였다.

본 논문에서 구현된 시스템은 이동차량의 속도와 거리 측정 이외에도 특정 위치에서의 차량 평균 속도나 구간 평균 속도, 특정 시간대의 차량의 흐름을 판단하기 위한 시스템 등 다양한 분야에 응용할 수 있으며, 특히 교통 정보 시스템 구축을 위한 데이터 수집 센서로 충분히 활용될 수 있다.

참고문헌

- [1] William Castro, "Range Measurement System Using Lasers", 1999, <<http://innovexpo.itee.uq.edu.au/1999/thesis/castro/rangefinder.pdf>>
- [2] Pasi Palojarvi, "Integrated electronic and optoelectronic circuits and devices for pulsed time-of-flight laser rangefinding", Oulu University, March 2003, <<http://herkules.oulu.fi/isbn9514269667/html/i251381.html>>
- [3] OMC, "OMC Technical Brief-Laser Time of Flight", Optical Metrology Centre, 2001, <http://www.optical-metrology-centre.com/Downloads/Tech_Briefs/TechBrie_LaserTimeOfFlight.pdf>
- [4] CANBERRA, "Timing and Coincidence Counting-Coincidence Techniques", CANBERRA, <<http://www.canberra.com/literature/934.asp>>
- [5] 오상건, 강영훈, 이주장, "스캐너 레이저 거리 센서를 이용한 차량 종적 속도 제어기의 설계", 대한전자공학회 학술발표회 논문집 (제어계측/로보틱스/자동화연구회), 1998년
- [6] K. Gaami, "Single Counting and Display Electronics for Laser Based Rangefinders," Measurement Science and Technology, Vol 9, No. 12, Dec. 1998, pp.2013-2015
- [7] T. Liu, G. Hu, "Time standards and calibrating methods of ultrashort laser pulse detection", Proceeding of SPIE, Vol. 4231, Nov. 2000
- [8] Microchip, "PIC16F87X Data Sheet", Microchip Technology Inc., 2001
- [9] 도로교통 안전관리공단, "이동식단속장비 규격서 개정", June 2003

저 자 소 개

金 容 權 (學生會員)



1999년 공주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2001년 공주대학교 대학원 전기전자정보공학과 졸업 (공학석사)
2001년 ~ 현재 공주대학교 대학원 전기전자정보공학과 박사과정 재학중

<관심분야> 차세대 인터넷 기술, 인터넷 망 관리

奇 長 根 (正會員)



1986년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1988년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1992년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1992년 ~ 현재 공주대학교 정보통신공학부 교수

2002년 - 2003년 미국 Univ. of Arizona 방문교수

<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 차세대 네트워크, 멀티미디어 통신

崔 眞 圭 (正會員)



1980년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1982년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1987년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1987년 9월 - 1990년 8월 대전공업대학 조교수

1999년 - 2000년 미국 Oregon State Univ. 방문교수

1990년 8월 - 현재 한남대학교 교수

<관심분야> 통신망 성능평가, 디지털시스템설계