

# 소형 초음파 센서를 이용한 복수차로의 차량 검출

## (Vehicle Detection for Multi-lanes with Ultrasonic Sensor)

전 수 빈 <sup>†</sup>      조 영 태 <sup>†</sup>      정 인 범 <sup>\*\*</sup>  
 (Soo Bin Jeon)      (Young Tae Jo)      (In Bum Jung)

**요약** 본 논문에서는 센서네트워크 기반의 소형화된 초음파를 통한 측면 측정을 시도하여 하나의 측정 장비로 여러 차로의 차량을 검출할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 검출방법을 통해 다양한 도로 환경에서 쉬운 설치 및 유지보수가 가능하며 도로의 크기 및 개수에 따라 가변적으로 차량을 검출할 수 있다. 또한 실제 도로에서의 실험을 통해 차로의 개수와 교통량에 따른 검출 성능을 비교 평가해 본다. 실험 결과를 통해 제안된 측면 검출 방법이 실제 도로에 적용되며 적은 오류율 및 실시간 응답성을 제공하므로 지능형 교통시스템의 교통 데이터 수집 분야에 사용될 수 있다.

**키워드** : 지능형교통시스템, 무선센서네트워크, 초음파 센서, 차량 검출, 복수 차로 검출

**Abstract** The proposed system can simultaneously measure the traffics for multiple drive lanes as applying an ultrasonic sensor and the lateral scanning method. It shows easy establishment and maintenance on the various driveway environments. In addition, the proposed system can adjustably measure the traffic volumes according to the size and the number of drive lanes. The experiment results show that the lateral scanning method of proposed system easily applies to the real roads and provides low error rate and real-time response. It can contribute to the traffic data collection area in intelligent transportation system.

**Key words** : intelligent transportation system, wireless sensor networks, ultrasonic sensor, traffic measurement, multiple driveway detection

### 1. 서론

1800년대 처음 가솔린 자동차가 발명된 이후 자동차는 인류에 기동성, 자유 그리고 시간을 주었지만 인류의 생활수준의 향상은 자동차의 폭발적인 수요증가를 가져왔고, 이에 따라 배기가스, 대기오염, 에너지소비축진, 교통사고 증가 등 많은 문제들을 가져왔다. 이러한 문제

들은 자동차라고 하는 문명의 한 부분이 초래한 미니니 스 효과라고 할 수 있다.

현재 미국, 유럽, 일본등을 중심으로 각국의 정부 및 민간 기업에서는 지능형 교통시스템(ITS : Intelligent Transportation System)에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. ITS는 산업 혁명 이후 빠르게 발전하고 있는 전자, 제어, 컴퓨터, 센서, 정보통신등 첨단 기술을 통해 자동차 증가로 인한 많은 문제들을 직접적으로 혹은 간접적으로 해결하고, 차량의 안전성(safety), 편의성(convenience), 교통환경의 효율성(eficiency)을 극대화 시킬 수 있는 기술로 인식되고 있다.

ITS의 첨단 기술을 응용하여 도로에는 최신 기술이 도입된 많은 장비들이 설치되어 도로의 편의와 사람의 안전을 보장하고 있으며 교통 관리에 필요한 많은 정보들이 수집되고 있다. ITS의 첨단 기술을 응용함에 있어 가장 기본이 되는 기술은 정보 수집 기술이다. 특히 특정 검출 장치를 이용한 교통량 수집 기술은 도로 교통 흐름 분석에 도움을 주고 있으며 교통 체계 변화에 많은 영향을 미치고 있다. 이미 도로 정보 수집에 대한 많은 연구들이 진행되고 있고 특히 차량의 유무, 속도, 위

· 이 논문은 2011년도 정부 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0026296)

<sup>†</sup> 학생회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과  
 j.soobin@gmail.com  
 ytjoe@snslab.kangwon.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수  
 ibjung@kangwon.ac.kr

논문접수 : 2011년 9월 27일  
 심사완료 : 2011년 11월 15일

Copyright©2012 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제18권 제1호(2012.1)

치 등에 대한 정보 수집기술이 활발하게 진행되고 있다.

현재 차량 검출 장비로 도로의 바닥에 설치하는 매설용 검출장치인 루프 디텍터를 가장 많이 사용하고 있다. 하지만 매설용 검출장치의 문제점은 검출기를 통과하는 차량으로 인해 많은 고장을 일으키며 바닥에 설치되었기 때문에 설치 및 유지보수에 많은 비용이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 매설용 검출장치에 비해 설치 및 유지보수가 쉬운 비 매설용 검출장치에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 초음파 시스템은 다른 비 매설용 검출장비보다 비교적 저렴하고 높은 정확도를 가지고 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있는 시스템이다. 대부분의 초음파 센서는 위에서 아래로 측정하는 방법과 측면에서 대각선 방향으로 측정하는 방법을 이용하여 차량 검출을 하고 있다. 하지만 이 방법들은 1대의 검출기로 1대의 차로밖에 검출할 수 없기 때문에 차로별로 추가적인 설치가 필요하며 큰 검출 장비로 인해 도로 측면에 고정해서 사용해야하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 소형화된 초음파를 통한 측면 측정을 시도하여 하나의 측정 장비로 여러 차로의 차량을 검출할 수 있는 복수 차로 검출 알고리즘을 제안한다. 제안하는 검출 알고리즘의 기본적인 목적은 차량의 검출과 차로의 구분이다. 우선 도로의 측면에 설치된 초음파 센서를 통해 도로를 통과하는 차량을 측정한다. 이때 측정된 초음파의 거리 데이터는 차량의 차로 위치에 따라 변하게 되는데 차량은 차로를 지켜 이동하기 때문에 초음파의 데이터는 차로의 위치에 따라 구분할 수 있다. 결론적으로 측정 센서로부터 나온 데이터의 폭과 차량과의 거리를 통해 차량의 검출과 차로의 구분이 가능하다. 검출 알고리즘은 크게 3단계로 분류된다. 첫째, 초음파 센서로 측정된 거리 데이터에서 차로의 구분을 위한 스레시홀드를 생성한다. 둘째, 초음파 센서의 측정 범위로 인해 거리 데이터에 불필요한 노이즈가 생길 수 있다. 그러므로 스레시홀드를 기반으로 불필요한 데이터를 필터링한다. 셋째, 필터링된 데이터와 스레시홀드를 이용하여 차량의 유무 및 차로를 검출 한다. 제안하는 알고리즘은 도로의 측면에 측정 센서를 설치하여 복수 차로의 차량을 정확히 검출하여 실제 도로 환경에서 실시간으로 검출이 가능하도록 하는 것을 목적으로 한다. 그러므로 알고리즘의 정확성 및 효율성을 측정하기 위하여 제작된 시스템을 실제로도 환경에 설치하여 실험을 진행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ITS와 무선센서네트워크에 대해 알아보고 차량 감지 센서에 대한 연구동향을 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 센서네트워크 기반의 초음파 센서를 이용한 검출 방

법에 대해 알아본다. 4장에서는 실험 도로 및 실험 환경과 제안하는 알고리즘의 성능평가를 기술하고 5장에서는 결론 및 향후 계획을 제시한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 ITS와 무선센서네트워크

ITS는 교통·전자·통신·제어 등 첨단기술을 도로·차량·화물 등 교통체계의 구성요소에 적용하여 실시간 교통정보를 수집·관리·제공함으로써, 교통시설의 이용효율을 극대화하고, 교통 이용편의와 교통안전성을 제고하며, 에너지 절감 등 환경 친화적 교통체계를 구현하는 차세대 교통 시스템이라고 할 수 있다. ITS는 교통체계의 효율성과 안전성을 제고하기 위하여 교통관리, 정보제공, 대중교통, 화물차량의 운영과 차량의 제작에 이르기까지 교통 전 분야에 걸친 신기술을 응용한 총체적인 교통체계의 혁신 분야이다. 따라서 현재 선진 각국에서는 국가 주도하에 다양한 연구가 이루어지고 있으며 각종 서비스 시스템 개발 및 시험운용을 경쟁적으로 진행하고 있다[1].

ITS와 관련되어 네트워크 측면에서 저렴한 무선센서네트워크(WSN : Wireless Sensor Network) 환경은 기존 네트워크와의 결합과 뛰어난 확장성 제공으로 ITS에 크게 기여할 수 있다. 국내·외 연구를 비취볼 때 WSN은 도로 표면에 센서(온도, 습도, 결빙감지, 자기장)를 장착하여 결빙을 감지하거나 차량의 유무, 속도등을 감지할 수 있다. WSN을 통해 수집된 정보들은 중앙센터에서 수집 보정하거나 직접 사용자에게 도로 정보를 제공할 수 있다. 차량 및 기존 네트워크와의 연동으로 운전자 연계 서비스를 통해 제공된 정보는 보행자 및 운전자의 안전을 확보하고 원활한 교통 상황을 유지할 수 있다[2].

소형화된 WSN은 다양한 도로의 환경에 적용시킬 수 있을 뿐만 아니라 도로의 여러 장소에 설치되어 개별네트워크를 통해 차량 정보를 수집할 수 있다. 차량 정보 수집 방법에는 센서 네트워크에 자기장센서를 융합하여 도로의 바닥에 설치하는 방법이 있다[3,4]. 하지만 도로의 바닥에 설치 할 경우 설치 및 유지 보수에 많은 비용이 발생하고 설치 구역이 제한될 수 있다. 본 연구에서는 센서네트워크와 초음파 센서를 융합하여 도로의 측면 구조물에 센서를 설치 및 차량정보를 수집 한다. 이를 통해 도로의 제약 없이 다양한 환경에서 차량 정보 수집 네트워크를 구성할 수 있으며 쉬운 설치와 저렴한 유지보수가 가능하다.

### 2.2 차량 감지 센서

ITS의 첨단 기술을 융용함에 있어 가장 기본이 되는 기술은 정보 수집 기술이다. 이미 도로 정보 수집에 대

한 많은 연구들이 진행되고 있고 특히 차량의 유무, 속도, 위치 등에 대한 정보 수집기술이 활발하게 진행되고 있다. 차량 정보 수집 방법에는 크게 매설용 검출장치와 비 매설용 검출장치로 나누어진다.

매설용 검출장치에는 현재 가장 많이 사용하고 있는 루프 디텍터(Inductive Loop Detector)를 비롯해 공기 튜브 디텍터(Pneumatic Road Tube), 압전 케이블 디텍터(Piezoelectric Cable) 등이 있다. 매설용 검출장치는 정확한 차량 검출로 현재 가장 많이 이용되고 있다. 하지만 온도에 민감하고 고장이 빈번한데다 도로에 매설되어 있기 때문에 유지 보수가 어렵고 많은 비용이 요구되는 단점이 있다.

비 매설용 검출장치에는 마이크로 웨이브(Microwave radar), 적외선 시스템(infrared-based System), 영상처리 시스템(Video Image Processing), 초음파 시스템(Ultrasonic System) 등이 있다. 비 매설용 검출장치는 보통 도로의 상단이나 측면에 설치되는데 도로에 영향을 주지 않고 설치 및 수리가 가능하기 때문에 유지보수가 쉽고 비용이 적은 장점이 있다. 하지만 마이크로 파, 음파, 적외선 등을 직접 쏘아 측정하는 방식이기 때문에 정확도가 높지 않고 차로마다 각각의 측정장치를 설치해야 하는 단점이 있다. 본 연구에서는 비용이 적게 발생하고 설치 및 유지보수가 쉬운 초음파 센서 시스템을 연구한다. 초음파 센서는 대부분의 환경에 영향을 받지 않고 차량의 유무, 속도, 방향등을 측정할 수 있다. 또한 평균 1.2%정도의 낮은 에러율을 보이기 때문에 다른 비 매설용 측정 장비와 같이 많은 연구가 진행되어 왔다[5].

초음파 센서는 일반적으로 그림 1(a)와 같이 도로의 위쪽에서 초음파를 발생시켜 지면 또는 차량으로 인해 반사되는 반사파를 이용한다. 검출 범위를 설정하여 검출 범위 내의 차량이 없을 때의 초음파의 길이를 일반적으로 사용하고 검출범위 안으로 차량이 지나갔을 때 초음파의 길이가 짧아지는 것을 이용하여 차량의 유무를 판단한다. 이 방법을 각각 차로에 한 개의 초음파를 설치하여 사용했을 때 약 99.5%의 검출 정확도를 보인다. 이 방식은 차량의 유무를 비교적 정확하게 검출할 수 있지만 장치를 각 차로마다 하나씩 설치해야 하고 차량의 높이에 따라 충돌 위험성이 생기는 단점이 있다[6,7].

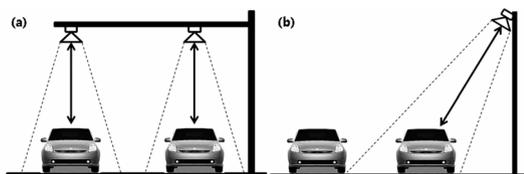


그림 1 초음파 센서의 종류

위의 단점을 보완하기 위해 그림 1(b)와 같이 도로 측면에서 대각선 방향으로 차량을 감지하는 방법이 제안되었다. 이 방식은 검출 범위에서 지면을 향해 대각선 방향으로 초음파를 송출하기 때문에 지면으로부터 반송파가 돌아오지 않는다. 만약 차량이 검출 범위에 들어오면 차량의 모서리 부분으로부터 반송파가 반사되기 때문에 이 반송파를 이용해 차량을 검출한다. 또한 차량의 평균 길이와 초음파센서로부터 검출된 차량의 검출 거리를 이용해 평균 속도를 구할 수 있다. 이 방법을 사용했을 때 검출 정확도는 약 95~97%이고 속도 측정은 94~97%의 정확도를 보인다. 하지만 이 방법을 이용하면 차량의 모서리에서만 반송파가 나오기 때문에 파형 강도가 높지 않아 검출에 민감할 수 있다. 또한 이 방법도 한 개의 차로 당 하나의 센서가 하기 때문에 추가적인 비용이 예상된다[8,9].

### 3. 무선 센서네트워크 기반의 초음파 센서를 이용한 복수 차로 차량 검출

#### 3.1 차량 검출 시스템의 구조

측면 검출 방식에는 도로의 측면에서 대각선 방향으로 차량을 검출하는 방식이 이용된다. 하지만 이 장비들은 하나의 장비로 한 개의 차로밖에 측정할 수 없을 뿐만 아니라 장비의 크기가 크기 때문에 측면에 여러 대의 장비를 설치하기가 쉽지 않고 많은 비용이 예상된다. 따라서 측정 장비의 소형화 및 센서 네트워크와의 융합을 통해 이동성을 높이고 차로의 수에 따라 하나의 장비가 가변적으로 차량을 측정할 수 있는 방법을 제안하여 한 개의 차로밖에 검출 할 수 없었던 상단 검출 및 대각선 검출 방식의 단점을 보완 하고자 한다.

그림 2는 제안하는 차량 검출방법의 구조도를 보여주고 있다. 도로는 왕복 2차선을 나타내며 각 방향에 2개의 측정 센서 노드를 설치한 것을 볼 수 있다. 차량을 검출하는 장비는 하나의 측정 센서 노드로 구성된다. 각 센서 노드는 도로의 측면에 설치되며 필요한 목적에 따라 여러 구역에 설치되어 이용될 수 있다. 설치된 센서 노드들은 측정된 초음파 데이터를 중앙 제어 모듈에 RF통신을 통해 보내게 되며 중앙 제어 모듈은 각 노드의 데이터를 이용 차량의 유무, 속도, 위치 등을 계산하게 된다.

각각의 측정 센서 노드는 도로의 측면에서 초음파 센서를 이용하여 차량을 검출하게 되는데 각 센서는 도로의 측면에서부터 중앙선까지의 거리 안에서 검출 범위를 설정하고 범위 안으로 진입하는 차량의 정보를 수집하게 된다. 이때 검출 범위는 그림 2의 센서노드와 같이 설정되는데 차량이 진입하고 통과하는 구역을 말하며 본 연구에서는 실험에 사용한 초음파 센서 검출 범위인

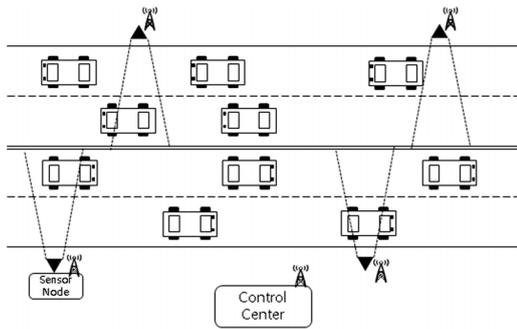


그림 2 차량 검출 구성도

30도로 설정한다[10]. 차량 검출 방법에는 일반적으로 차량이 없을 때와 차량이 있을 때로 나뉜다. 만약 설정된 검출 범위 안으로 초음파를 발생시켰을 때 반송파의 거리 데이터가 센서의 최대 값을 나타내면 측정 센서는 차량이 감지되지 않은 상태를 보인다. 그림 3은 제안하는 측면 차량 검출 방법을 보여준다. 만약 그림 3(a)와 같이 범위 안에서 반송파가 돌아온다면 차량의 유무를 판단 할 수 있다. 이 반송파는 차량의 차로 위치에 따라 돌아오는 시간이 달라지는데 이를 이용하여 센서와 차량과의 거리를 판단할 수 있다. 거리를 구하기 위해서는 먼저 초음파의 속도가 필요한데 속도  $c$ 를 식 (1)을 통해 구해보면 15°C의 온도에서 평균적으로 340m/s의 속도가 나오는 것을 알 수 있다[11].

$$c = (\gamma RT/M)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

where

- $\gamma$  = ratio of specific heats;
- R = gas constant;
- T = absolute temperature;
- M = molecular weight;

식 (1)을 통해 나온 속도를 이용하여 차량과의 거리를 구하는 식은 식 (2)와 같고 이 식을 이용하여 만약 차량을 통해 반사되어 돌아온 반송파가 26 ms 이라면 차량과의 거리는  $((26(\text{ms}) \times 340(\text{m/s}))/2 = 4.4\text{m})$ 가 나온다.

$$\frac{\text{총 걸린 시간}(\text{m/s}) \times 340(\text{m/s})}{2} \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 검출 범위 내에서 차량을 통해 반사되어 돌아온 초음파의 거리 데이터는 그림 3(b)와 같다. 이 데이터는 시간별로 반송된 차량의 데이터를 나타낸 것으로 상단 부분이 초음파의 최대 거리를 나타낸다. 데이터의 값이 최대거리를 나타낼 때에는 차량이 지나가지 않는 상태이지만 차량이 검출 범위를 지날 때는 거리 값이 줄어들게 된다. 이때 줄어든 값을 이용하여 차량의 차로를 구분할 수 있는데 그림 3(a)의 차량 위

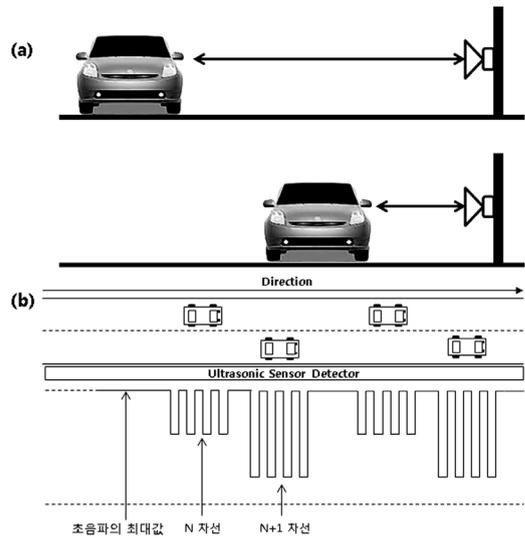


그림 3 측면 차량 검출 과정 및 검출 데이터

치에 따라 그림 3(b)의 N 차로 및 N+1 차로로 구분할 수 있다. 여기서 차로는 중앙선을 기점으로 하여 차로의 순서를 정하기 때문에 그림 3(a)의 첫 번째 그림이 1차로, 두 번째 그림을 2차로로 설정 한다. 그림 3(b)에서 보는 것과 같이 각 차로를 지나가는 차량의 거리 데이터는 명확하게 구분할 수 있기 때문에 구분된 거리 데이터를 이용하여 각 차로별로 차량을 검출할 수 있다.

### 3.2 검출 알고리즘

측정 센서 노드를 통해 도로의 측면에서 차량을 측정을 하게 되면 그림 3(b)와 같이 센서와 초음파와의 거리 데이터를 얻을 수 있다. 초음파를 통해 계산된 기초 자료는 차량의 유무 및 차로상의 위치를 계산할 수 있으며 그림 4에서 제안한 알고리즘을 사용한다.

본 알고리즘의 기본적인 목적은 차량의 검출과 차로의 구분이다. 차량의 평균 길이는 보통 5.6m로 차량이 검출 범위를 지나갈 때 그림 3(b)와 같이 일정 부분의 시간동안 데이터가 변하게 된다[12]. 또한 차량과 초음파의 거리 데이터는 차량의 차로 위치에 따라 변하게 되는데 차량은 차선을 지켜 이동하기 때문에 거리 데이터는 차량의 차로 위치에 따라 명확하게 구분할 수 있다. 결과적으로 측정 센서로부터 나온 데이터의 시간의 폭과 차량과의 거리를 통해 차량의 검출과 차로의 구분이 가능하다.

검출 알고리즘은 그림 4와 같이 크게 3부분으로 나뉜다. 먼저 (1) �레시홀드를 생성하고 (2) �레시홀드를 기반으로 불필요한 데이터를 필터링 한다. 그리고 (3) 필터링된 데이터와 (1)에서 생성한 �레시홀드를 이용하여 차량의 유무 및 차로를 검출 한다. 필터링과 차량 검

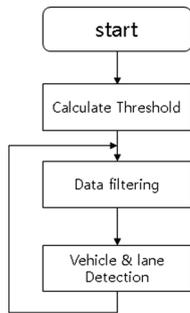


그림 4 검출 알고리즘

출이 수행되기 전에 스레시홀드를 생성하는 과정은 독립적으로 실행된다. 이때 스레시홀드가 생성되는 과정에서 차량의 검출 과정을 함께 수행하는데 이는 통과된 차량의 데이터들을 이용하여 최적의 스레시홀드를 찾아내기 위함이다. 스레시홀드를 측정된 후 이를 이용한 필터링과 차량 디텍팅 과정은 차량의 데이터가 수신될 때마다 실시간으로 반복된다. 수신된 데이터는 필터링과 차량 검출 대기 큐에 각각 차례대로 진입하게 되며 FIFO 방식으로 해당 과정을 수행하게 된다. 차량의 데이터는 측정 노드로부터 수신되며 1초당 30개의 데이터가 실시간으로 수신된다. 또한 실시간으로 수신된 원본 데이터와 필터링 및 디텍팅 과정을 거친 데이터는 서로 다른 구역에 기록되어 보관된다.

3.2.1 스레시홀드(Threshold) 측정

측정 센서 노드를 통해 수신된 차량과의 거리 데이터는 차량의 유무 및 차량의 정보 검출에 이용되게 된다. 차량 검출의 기준이 되는 것은 차량과의 거리와 시간의 폭이고 그림 3(b)와 같이 차량이 센서 노드를 지나갈 때마다 아래와 같은 거리 데이터가 측정되게 된다. 거리 데이터는 센서와 가까운 차량 데이터부터 먼 곳의 차량 데이터까지 다양하게 측정되게 되는데 이 데이터를 나누는 기준이 없어 어느 차량이 어느 위치에 있는지 판단할 수 없다.

본 논문에서는 이를 해결하기 위해 그림 5(a)와 같이 스레시홀드를 설정한다. 스레시홀드는 도로상에서 차량의 위치를 구분하기 위한 최소 경계선이라고 말할 수 있으며 그림 5(a)의 데이터를 보면 총 2대의 차량 Car1, Car2가 N과 N+1의 총 2개의 차로로 구분된 도로를 통과한 것을 볼 수 있다. 여기서 N 스레시홀드로부터 0까지의 범위가 N차로의 범위가 되며 N+1 스레시홀드로부터 N 스레시홀드까지가 N+1 차로의 범위가 된다. 예를 들어 만약 센서노드와 차량과의 거리 데이터가 그림 5(a)의 Car 1과 같이 N 차로의 스레시홀드 범위에 있으면 차량의 위치는 N차로에 포함되며 Car 2와 같이 N+1 스레시홀드 범위에 있으면 차량의 위치는 N+1 차

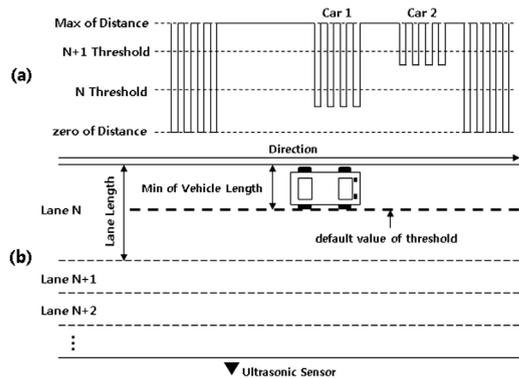


그림 5 스레시홀드 구분 및 최소 생성 방법

표 1 도로 구분에 따른 차량의 최소 폭

도로의 구분	차로의 최소 폭(미터)			
	지방지역		도시지역	
고속도로	3.50		3.50	
일반도로	설계속도 (킬로미터/시간)	80 이상	3.50	3.25
		70 이상	3.25	3.25
		60 이상	3.25	3.00
		60 미만	3.00	3.00

\* 도로의 구조, 시설기준에 관한 규칙, 1999. 8. 건설교통부령 제 206호

로에 포함된다.

스레시홀드는 기본적으로 도로의 폭(LL : Lane Length)을 이용하여 각 차량의 경계선으로 구분한다. 도로의 폭은 표 1과 같이 정부에서 규정한 데이터를 기반으로 하며 측정하는 장소의 기준에 따라 기본 값을 설정한다. 도로의 폭을 이용해 구분된 경계선은 데이터 상에서 각 차량의 스레시홀드가 된다. 하지만 센서는 도로의 측면에 거리를 두어 설치되며 실제 도로에서 센서의 위치는 규격화되지 않기 때문에 이론적으로 설정된 도로의 경계선과는 오차가 발생할 수 있다. 또한 도로의 폭을 스레시홀드로 할 경우 그림 5(b)와 같이 차량의 폭이 도로의 폭보다 작기 때문에 각 차량의 차량은 스레시홀드를 통과하지 않아 검출할 수 없게 된다.

본 논문에서는 이러한 상황은 보완하기 위해 표 1에서 규정한 데이터와 차량 폭의 최소 값을 이용하여 초기 스레시홀드를 설정한다. 차량 폭의 최소값은 통계자료를 기반으로 하며 이 값을 스레시홀드에 적용시킬 경우 도로를 통과하는 차량의 최소 검출범위로 설정되기 때문에 차량의 모든 차량을 검출할 수 있다[12]. 그림 5(b)와 같이 해당 차량의 도로의 폭(LL)에서 차량 폭(VL : Vehicle Length)을 뺀 거리를 스레시홀드의 기본값(DVT : default value of Threshold)으로 설정한다. 또한 증가하는 차로(N)에 따라 각 차로에 대한 기본 스레시홀드는 식 (3)을 통해 구할 수 있다.

$$\sum_{k=1}^N LL \times k - VL \quad (3)$$

초기 스톱시점(DVT)의 설정이 완료 되었지만 이 설정 값은 도로 시설 기준법과 차량의 평균 최소 폭을 이용하여 이론적으로 최대 검출 범위를 설정한 값이고 실제 도로 환경과 다를 수 있다. 본 논문에서는 이론적으로 측정된 스톱시점(DVT)와 실제 도로환경의 차이를 줄이기 위해 실제 차량 측정값을 이용한다. 측정 환경에 따라 변할 수 있지만 평균적으로 500~1000대의 차량을 초기 스톱시점(DVT)를 이용하여 측정 데이터(MD : Measurement Data)로 생성한다. 최종 스톱시점은 초기 스톱시점(DVT)와 측정된 데이터(MD)의 차가 가장 낮은 값을 이용하며 식 (4)를 통해 구할 수 있다.

$$f_{(MD)_{min}} = DVT - MD \quad (4)$$

3.2.2 가변적인 윈도우 사이즈를 이용한 노이즈 필터링  
 측정 센서는 측면에서 초음파 센서를 이용해서 차량을 검출한다. 초음파는 목표 지점으로 음파를 송출하여 반사되어 오는 음파의 시간을 통해 거리를 측정한다. 이런 초음파 센서는 각각의 종류마다 음파의 지향각이 달라지게 되는데 보통 10°~300° 사이로 다양하다. 지향각은 크면 클수록 음파가 퍼지는 각은 넓어지기 때문에 다양한 곳으로 퍼질 수 있지만 음압이 낮아지며 작은 경우에는 반대의 경우가 된다. 본 시스템에서 사용하고 있는 SRF-04의 경우는 지향각이 약 ±30도 정도로 범위가 좁은 경우에 속하며 비교적 정확한 데이터가 수신되지만 경우에 따라 불필요한 데이터가 수신된다. 보통 이런 불필요한 데이터는 차량이 센서의 범위에 근접할 때와 빠져나갈 때 많이 발생하며 짧은 시간의 폭과 거리의 차이가 미세한 경우가 대부분이다[10].

하지만 이런 불필요한 데이터가 스톱시점 주위에서 일어날 경우 차량 검출 과정에서 많은 혼란을 겪을 수 있다. 그림 6(a)는 검출된 데이터를 시간에 따라 나타내고 있으며 데이터가 스톱시점의 아래쪽으로 향하고 있으므로 차량이 측정 센서를 통과하고 있는 과정을 보여주고 있다. 이 그림에서 4tick과 8tick부분의 데이터가 스톱시점 범위를 벗어나는 것을 볼 수 있다. 이런 경우 검출 과정에서 차량은 스톱시점을 통과하고 들어오는 경우가 2번이나 더 발생되기 때문에 1대의 검출 과정에서 총 3대의 검출 결과를 보여줄 수 있다. 또한 그림 6(c)의 경우에는 차량이 스톱시점을 빠져나간 상황에서 5tick 과 7tick 부분에서 불필요한 데이터가 다시 스톱시점으로 진입하고 있다. 이와 같은 경우에는 차량이 없는 상태인데도 불구하고 검출 과정에서 2대의 차량이 검출되는 결과를 낼 수 있다.

그러므로 차량 검출과정에서 불필요한 데이터로 인한 차량의 검출 에러를 방지하기 위해 검출 전에 미리 불

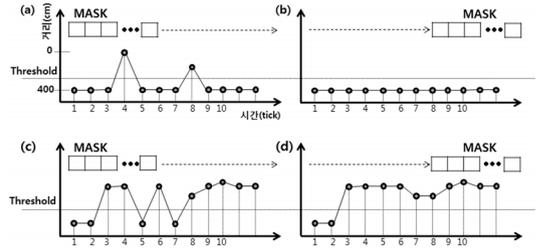


그림 6 노이즈 필터링 과정

필요한 노이즈를 제거한다. 노이즈의 제거는 그림 6(a)에서처럼 일정 개수의 마스크 윈도우를 생성하여 데이터를 통과하게 한 후 이 과정에서 만약 마스크의 양 끝을 제외한 나머지가 스톱시점을 통과 했다면 그 부분을 양 끝 데이터 중 스톱시점과 가장 가까운 데이터와 같은 데이터로 만들어준다. 마찬가지로 그림 6(c)의 경우도 같은 방법으로 제거 할 수 있다. 윈도우의 크기가 늘어날수록 변경하는 데이터의 범위도 늘어난다. 만약 윈도우의 크기가 그림 6과 같이 3이 되면 변경 범위는 1이 되며 윈도우의 크기에 비례하여 변경 범위도 늘어난다. 그림 6(b)와 6(d)는 6(a)와 6(c)의 데이터가 노이즈 제거 과정을 통해 정리된 결과를 나타낸다.

또한 통과하는 노이즈는 보통 그림 6(c)와 같이 여러 데이터중 하나씩 독립적으로 나타나는 경우가 많지만 그림 6(a)의 8~9tick 부분처럼 2~3tick의 데이터가 그룹으로 묶여 나타나는 경우도 존재한다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 윈도우의 크기를 3에서 6까지 늘려 실험하여 최적의 결과를 나타낸 윈도우 크기를 사용한다.

3.2.3 차량 및 차량의 차로위치 검출

그림 7(a)는 편도 2차로의 실제 도로를 측정한 데이터로 노이즈 제거 과정을 거쳐 변형된 데이터를 시간의 흐름에 따라 나타내고 있다. 스톱시점은 그림 7(a)의 Lane1, Lane2와 같이 2개의 차로로 구분되게 된다. 데이터는 스톱시점과 시간의 폭을 통해 첫 번째 과정으로 차량을 검출할 수 있고 두 번째 과정으로 차량의 차로위치를 검출을 할 수 있다.

첫 번째 과정은 각 차로의 스톱시점에서 차량의 통과 여부를 이용하여 차량을 검출한다. 예를 들어 그림 7(b)의 1번 차량이 측정센서 노드를 진입하면 측정된 데이터는 그림 7(a)와 같이 Lane 1 스톱시점을 통과하여 진입하게 된다. 진입한 차량은 측정센서를 지나게 되며 차량이 지나는 동안 측정된 데이터는 Lane 1 스톱시점 범위에 계속 머무르게 된다. 일정 시간이 지난 후 차량이 측정 센서노드를 통과하게 되면 측정데이터도 스톱시점 범위를 벗어나며 이 과정에서 1대의 차량이 검출되게 된다. 그림 7(b)의 3번 차량을 7(a)의 데

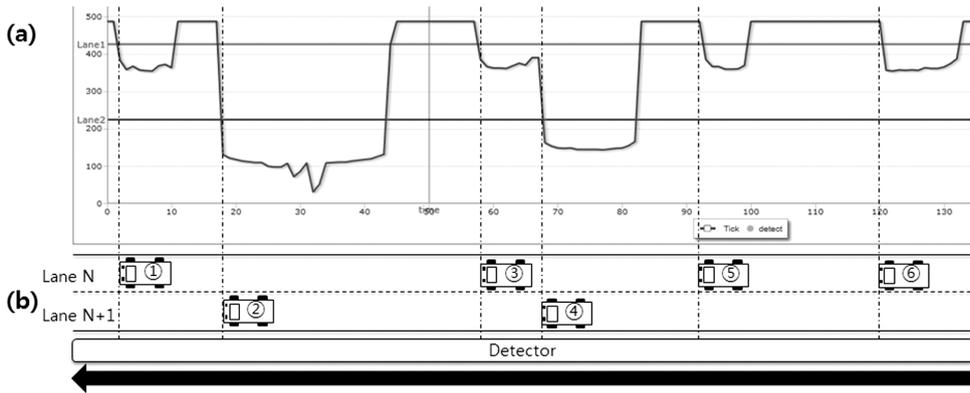


그림 7 측정된 차량 검출 데이터

이터와 비교해보면 1번 차량과 다른 패턴을 보여주고 있다. 이 과정에서는 3번 차량이 Lane 1 스텔시홀드에 진입하여 통과하고 바로 4번 차량이 Lane 2로 진입하였기 때문에 데이터는 Lane 2의 범위로 넘어가게 된다.

두 번째 과정으로 차량의 차로 위치 검출은 스텔시홀드를 이용하여 검출할 수 있다. 그림 7과 같이 2차로 도로의 스텔시홀드는 2개의 구역으로 설정된다. 차량이 측정 센서노드를 통과하게 되면 차량의 차로 위치에 따라 해당 차로의 스텔시홀드 범위를 통과하게 되므로 차량의 차로 위치를 검출 할 수 있다. 예를 들어 그림 7(b)의 1번 차량의 데이터를 그림 7(a)에서 보면 Lane 1의 스텔시홀드를 통과하고 있는 것을 볼 수 있다. 그러므로 이 차량은 첫 번째 차로의 차량으로 판단할 수 있으며 2번 차량의 경우에는 Lane 2의 스텔시홀드를 통과하므로 두 번째 차로의 차량으로 판단할 수 있다.

그림 8은 위에서 설명한 차량 및 차로 검출 알고리즘을 나타낸다. 측정 센서노드를 통해 차량 데이터(LD : Length Data)가 측정되면 노이즈 데이터 필터링(Data Filtering)후 검출 과정으로 넘어가게 된다. 검출 과정은 차로의 수(NL : Number of Lanes)에 따라 반복되며 차로의 수만큼 반복되면 다음 차량 데이터를 수신한다. 검출과정은 각 차로별로 반복하며 측정한다. 데이터가 해당 차로(L : Lane)의 스텔시홀드 범위(HTh : High Threshold, LTh : Low Threshold)에 접근하게 되면 해당 차로에 차량이 진입(Detect)했음을 알리고 다음 데이터를 받을 준비를 한다. 만약 데이터가 해당 차로의 범위를 벗어났을 때 이전 데이터가 차로에 진입한 상태였다면 차량이 통과한 상태이므로 차량검출 횟수(VC : Vehicle Count)를 늘려준다. 위와 같은 과정은 데이터가 들어올 때 마다 반복하게 된다.

### 3.3 초음파 센서 모듈 제작

본 논문에서는 측정 장비를 소형화시켜 설치가 쉽고 센서네트워크와의 융합을 통해 이동성을 높이는 초음파 센서 모듈을 제작하였다. 최근 센서기술의 발전으로 인해 작고 고성능의 초음파 센서들이 제작되고 있으며 DEVANTECH의 SRF-04 모듈을 이용하여 모듈을 구성하였다[11]. SRF-04 초음파 모듈은 43×20×17mm의 크기를 가지며 최대 검출 범위가 7m 정도로 소형 모듈에 비해 긴 편이다. 그러므로 SRF-04 1개의 모듈로 최대 2개의 차로까지 검출이 가능하며 차로 양쪽으로 설치할 때에는 최대 4개의 차로를 검출할 수 있다. 최대 검출 범위는 초음파 센서의 특성이기 때문에 성능이 더 좋은 초음파 센서를 설치할 경우 더 좋은 성능을 낼 수 있을 것이다.

초음파 센서는 그림 9와 같이 크게 ST232CD와 LP311 그리고 PLC12C508로 구성된다.

PLC12C508을 통해 거리측정 명령어가 들어오면 ST232CD

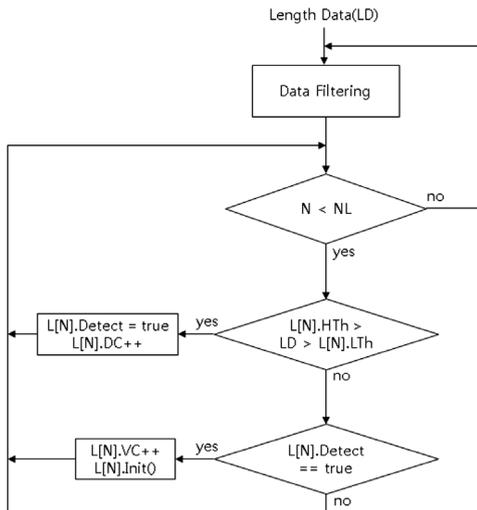


그림 8 차량 검출 알고리즘

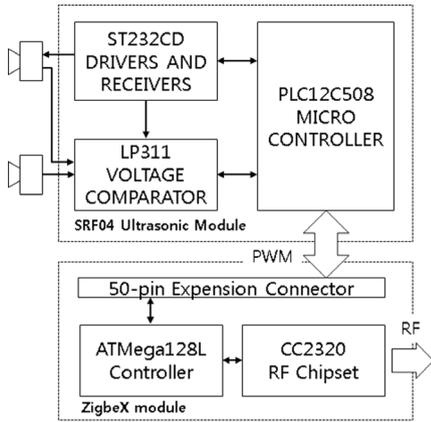


그림 9 초음파 센서와 통신모듈의 구성도

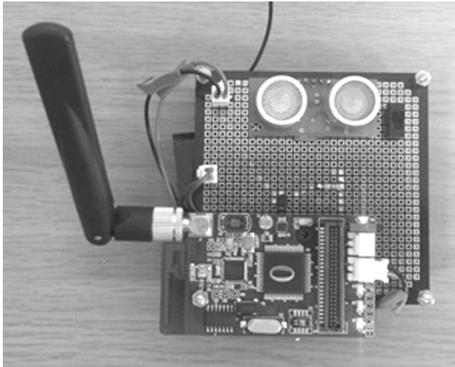


그림 10 초음파 측정 센서 노드

를 통해 초음파가 발진된다. 발진된 초음파는 2개의 초음파 송/수신기를 통해 수신되며 LP311을 거쳐 PLC12C508을 통해 거리 데이터를 송신한다. 초음파 센서는 ZigBee module의 ATmega128L 컨트롤러에서 제어하며 초음파의 명령 데이터와 거리 값은 PWM 신호를 통해 ZigBee로 수신되거나 송신된다. 계산된 거리 데이터는 ZigBee의 RF 모듈을 통해 중앙 제어 모듈로 보내져 검출 알고리즘을 수행할 수 있도록 한다. 완성된 초음파 측정 센서 노드는 그림 10과 같이 구성된다. 10×10cm의 보드에 각각 ZigBee 모듈과 SRF-04모듈을 설치한 후 5V의 전원 공급 장치를 연결하였다. 측정 센서 노드는 작고 가볍기 때문에 다양한 장소에서 무선 통신을 통해 독립적으로 작업을 수행할 수 있다.

#### 4. 실험 및 결과

##### 4.1 실험환경

첫 번째 도로로 춘천시 효자동의 강원대학교 3거리를 사용하였다. 이 구간은 편도 2차로 도로이며 70km/h의



그림 11 실제 측정 센서 설치(2차로 도심지)



그림 12 실제 측정 센서 설치(2차로 고속국도)

고정 속도제한을 가진다. 새벽시간대를 제외하면 강원대학교와 시내에서 외곽지역으로 통하는 구간에 차량의 통행이 많이 발생하는 지역이다. 두 번째 도로로는 춘천시 효자동의 서부 대성로를 사용하였다. 이 구간은 편도 1차로 도로로 60km/h의 고정 속도 제한을 가진다. 이도로는 1차로지만 출퇴근 시간에 차량이 많이 붐비는 지역으로 첫 번째 도로와 비교하여 측정할 수 있는 구간이다. 세 번째 도로는 춘천 외곽 순환대로를 사용하였다. 이구간은 첫 번째 도로와 같은 편도 2차로 도로이며 80km/h의 제한속도를 가지는 고속 국도이다. 편도 2차로의 고속국도인 반면 시내 외곽을 지나는 순환로이기 때문에 차량의 통행이 많지 않고 대부분의 차량이 빠른 속도로 통과한다. 본 알고리즘의 실험을 위해 측정센서는 그림 11과 그림 12와 같이 각도로의 측면에 한 개씩 설치하였으며 왕복 4차로 중 한쪽 방향의 편도 2차로 및 1차로를 측정한다. 또한 실험 시간은 차량통행이 많은 오전 11시와 저녁 8시에 측정하며 측정시간은 10분 간격으로 1시간동안 진행한다.

##### 4.2 차량 검출 결과

제한하는 알고리즘은 도로의 측면에서 복수 차로를

표 2 편도 2차로 도심지 차량 검출 결과

time	actual passing vehicle			detected vehicle			error rate			type of error					
	lane1	lane2	total	lane1	lane2	total	lane1	lane2	total	missing			overcounting		
										lane1	lane2	total	lane1	lane2	total
11:00~11:10	144	24	168	142	26	168	2.8	8.3	3.6	3	0	3	1	2	3
11:10~11:20	133	40	173	128	42	170	3.8	5.0	4.0	5	0	5	0	2	2
11:20~11:30	108	22	130	106	24	130	1.9	9.1	3.1	2	0	2	0	2	2
11:30~11:40	134	33	167	133	34	167	2.2	3.0	2.4	2	0	2	1	1	2
11:40~11:50	139	56	195	137	56	193	2.9	0.0	2.1	3	0	3	1	0	1
total	520	121	638	510	128	635	2.34	5.48	3.27	13	2	12	3	9	9
20:00~20:10	114	37	151	115	37	152	2.6	0.0	2.0	1	0	1	2	0	2
20:10~20:20	121	41	162	124	41	165	4.1	0.0	3.1	1	0	1	4	0	4
20:20~20:30	112	31	143	114	33	147	1.8	12.9	4.2	0	1	1	2	3	5
20:30~20:40	148	32	180	148	30	178	0.0	12.5	2.2	0	3	3	0	1	1
20:40~20:50	157	21	178	157	22	179	2.5	4.8	2.8	2	0	2	2	1	3
total	1,015	262	1,274	1,011	269	1,277	2.17	6.18	2.95	15	6	18	11	13	21

표 3 편도 1차로 도심지 차량 검출 결과

time	actual passing vehicle			detected vehicle			error rate			type of error					
	lane1	lane2	total	lane1	lane2	total	lane1	lane2	total	missing			overcounting		
										lane1	lane2	total	lane1	lane2	total
11:00~11:10	78	0	78	78	0	78	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:10~11:20	76	0	76	76	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:20~11:30	68	0	68	68	0	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:30~11:40	73	0	73	73	0	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:40~11:50	83	0	83	84	0	84	1.2	0	1.2	0	0	0	1	0	1
total	520	121	638	510	128	635	2.34	0	0.3	13	2	12	3	9	9
20:00~20:10	77	0	77	78	0	78	1.3	0	1.3	0	0	0	1	0	1
20:10~20:20	86	0	86	86	0	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:20~20:30	80	0	80	80	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30~20:40	91	0	91	92	0	92	1.1	0	1.1	0	0	0	1	0	1
20:40~20:50	85	0	85	86	0	86	1.2	0	1.2	0	0	0	1	0	1
total	1,015	262	1,274	1,011	269	1,277	2.17	6.18	2.95	31	8	33	11	13	21

검출할 수 있기 때문에 측정하는 차로의 개수가 많아질 수록 차량 검출율에 변화를 줄 수 있기 때문에 차로의 증가량에 따른 차량 측정이 필요하다. 하지만 도로의 측정을 위해 설치된 초음파 센서는 최대 거리가 7m이기 때문에 최대 2차로의 도로만 측정할 수 있다. 그러므로 본 실험에서는 1차로 및 2차로의 도로를 선정하여 측정 및 비교 하였다. 또한 차량의 통행량에 따른 검출율의 변화도 알아볼 필요가 있기 때문에 통행량이 서로 다른 편도 2차로의 도로를 비교 측정한다.

표 2는 도심지역의 편도 2차로 도로에 대한 실제 교통량과 측정 센서를 통해 검출된 교통량을 비교한 데이터이다. 이 도로는 학교 앞에 위치하고 있기 때문에 모든 시간대에 교통량이 많아지는 장소이며 오전 11시와 오후 8시에 대한 교통량을 측정한다. 실제 교통량과 검출된 교통량을 비교해 보면 오전 시간대의 경우 3.0%의 에러율을 보이며 오후 시간대의 경우 2.8%의 에러율을 보이고 있는데 특히 검출 실패(missing) 부분을 보면

오전에는 1차로에만 15대의 검출 실패를 보이고 있다. 1차로의 검출 실패는 대부분 도로의 측면에서 차량을 측정하기 때문에 생기는 오류로 차량의 통행량이 많은 도로에서 1차로와 2차로의 차량이 동시에 측정센서를 지나치는 경우 측정 센서는 센서와 가까운 2차로의 차량만 검출하게 된다. 또한 측정 센서 범위에서 차량의 차로변경으로 인해 차량의 구분이 명확하지 않은 경우가 생기기 때문에 검출 실패와 초과 측정(overcounting)이 발생하게 된다.

표 3은 편도 2차로의 측정 결과와 비교해 보기 위해 도심지역의 편도 1차로 도로에 대한 실제 교통량과 검출된 교통량을 비교한 데이터이다. 이 구역도 다른 지역에 비해 차량의 통행량이 비교적 많은 구역이고 상황에 따라 정체현상이 자주 발생하는 구역이다. 편도 1차로의 경우 편도 2차로에서 발생하는 차량 가림현상이나 차로 변경 현상으로 인한 에러는 발생하지 않는다. 하지만 차량 정체로 인해 차량이 측정 센서 범위에 오랜 시간 머무르면

표 4 편도 2차로 고속국도 차량 검출 결과

time	actual passing vehicle			detected vehicle			error rate			type of error					
										missing			overcounting		
	lane1	lane2	total	lane1	lane2	total	lane1	lane2	total	lane1	lane2	total	lane1	lane2	total
11:00~11:10	38	56	94	35	56	91	7.89	0	3.1	3	0	3	0	0	0
11:10~11:20	61	54	115	61	55	116	0	1.8	0.8	0	0	0	0	1	1
11:20~11:30	71	46	117	68	48	116	4.2	4.3	4.2	3	0	3	0	2	2
11:30~11:40	53	44	97	53	47	100	0	6.8	3.0	0	0	0	0	3	3
11:40~11:50	44	38	82	42	38	80	4.5	0	2.4	2	0	2	0	0	0
total	224	202	423	218	208	423	3.0	2.5	2.8	7	2	6	1	8	6
20:00~20:10	26	16	42	25	16	41	3.8	0	2.3	1	0	1	0	0	0
20:10~20:20	32	16	48	32	17	49	0	6.2	2.0	0	0	0	0	1	1
20:20~20:30	27	16	43	27	16	43	0	0	0	0	0	0	0	2	2
20:30~20:40	27	13	40	27	14	41	3.7	0	2.5	0	0	0	1	0	1
20:40~20:50	21	13	34	22	13	35	4.7	0	2.9	0	0	0	1	0	1
total	336	263	596	329	271	597	2.3	1.4	1.9	8	2	7	2	11	10

서 초음파 센서의 노이즈가 발생하는 경우가 생긴다.

차량 소통이 비교적 원활한 편도 2차로의 고속국도에 대한 교통량 비교 데이터는 표 4와 같다. 이 도로는 춘천시의 외곽에 설치되어 있어 편도 2차로임에도 차량의 통행이 많지 않다. 특히 밤 시간대에는 낮 시간대보다 교통량이 50%정도로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 차량 소통이 많고 가로수가 있는 도심지역의 경우 가로수 옆에 구조물을 숨겨 통과하는 차량이 의식하지 못하는 상태에서 차량을 검출 할 수 있다. 하지만 고속 국도는 도로 측면에 특별한 가림 장치가 없기 때문에 측정 센서를 도로 측면에 노출할 수 밖에 없다. 이 때문에 측정 센서를 지나치는 차량이 측정 센서를 의식하여 측정 센서 범위 안에서 자주 차로 변경을 하게 되며 표 4의 데이터 에러율을 보면 도심지역보다 낮은 교통량임에도 불구하고 비슷한 에러율을 나타내고 있다.

그림 13은 측정된 도로의 에러율을 비교한 그래프이다. 편도 2차로의 도심지와 고속 국도의 경우 교통량이 많은 낮 시간대보다 교통량이 적은 밤 시간대의 에러율

이 낮은 것을 볼 수 있다. 편도 1차로의 도심 도로의 경우 밤보다 낮의 교통량이 적기 때문에 밤 시간대보다 낮은 에러율을 보이고 있다. 또한 편도 1차로의 경우 차로 변경이나 차량 중복으로 인한 검출 및 초과측정 에러가 발생하지 않기 때문에 편도 2차로의 경우보다 낮은 에러율을 보이고 있다.

그림 14부터 그림 16은 각 도로의 실제 교통량과 측정 센서를 이용한 검출결과를 각 도로 및 시간대별로 비교한 그래프 이다. 그림 14와 그림 15는 각 차로별 실제 교통량과 검출 결과를 비교하고 있으며 그림 16은 전체 교통량을 비교한 그래프이다. 3개의 그래프를 통해 실제 교통량과 비교하여 측정 센서가 비교적 정확한 검출을 하고 있는 것을 볼 수 있다.

4.3 윈도우 사이즈별 노이즈 필터링 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 차량 검출과정에서 불필요한 데이터로 인한 차량의 검출 에러를 방지하기 위해 검출 전에 미리 불필요한 노이즈를 제거한다. 노이즈는 시간에 따라 측정되는 정상적인 데이터에서 1tick

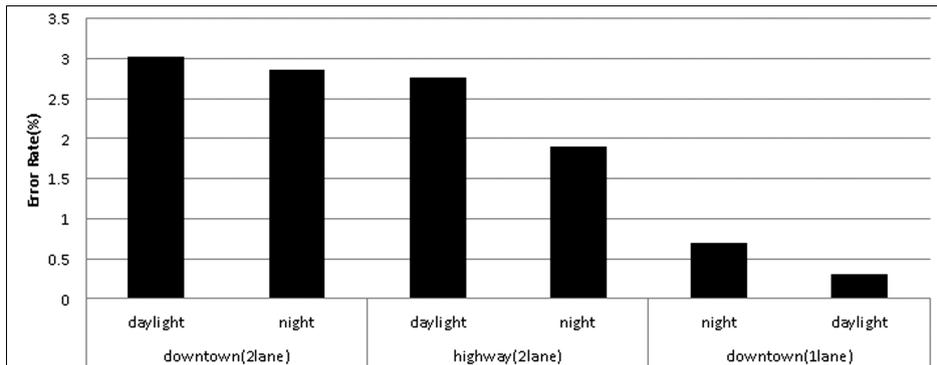


그림 13 각 도로의 시간대별 에러율 비교

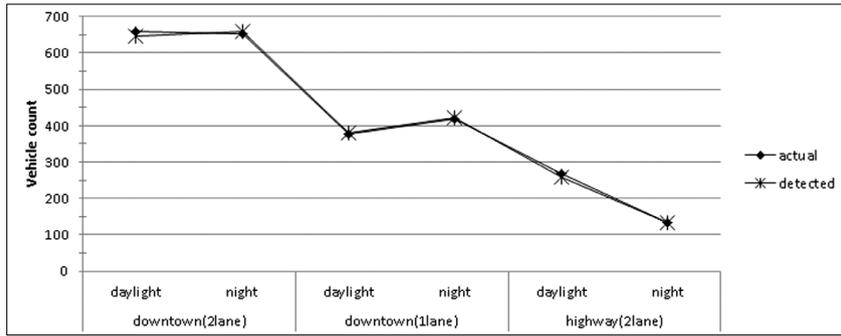


그림 14 각 도로의 시간대별 교통량 비교(1차로)

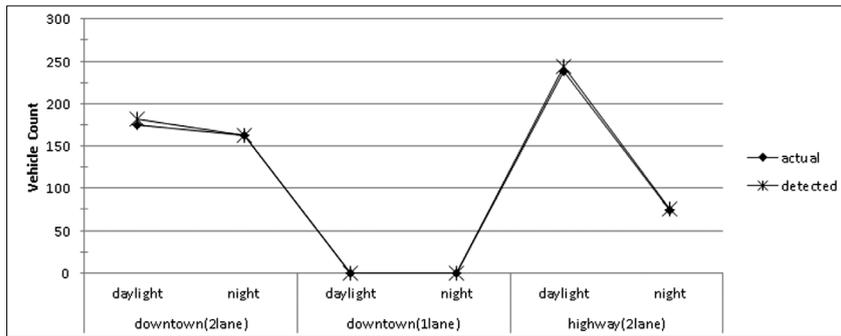


그림 15 각 도로의 시간대별 교통량 비교(2차로)

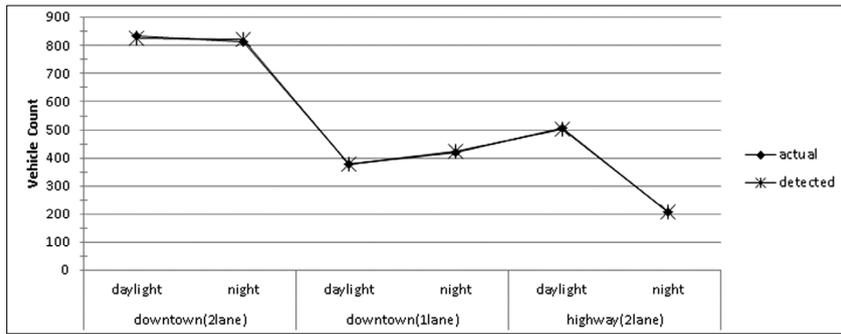


그림 16 각 도로의 시간대별 교통량 비교(전체)

의 독립적으로 나타나는 경우가 많지만 2~3tick의 데이터가 한 그룹으로 묶여 나타나는 경우도 존재한다. 이때 윈도우 크기가 3인 기본 필터로 노이즈를 제거할 경우 1tick의 노이즈를 제거할 수 있지만 2~3tick이 한 그룹으로 나타나는 경우 제거가 되지 않아 많은 에러율이 발생한다. 그러므로 본 연구에서는 윈도우의 크기를 3에서 6까지 늘려 실험하여 최적의 결과를 나타낸 윈도우 크기를 사용한다.

그림 17은 노이즈 필터의 윈도우 크기를 0부터 6까지 변경하여 각 크기별 에러율을 나타낸 그래프이다. 실험

은 이미 측정된 각 도로의 밤과 낮 데이터를 이용하여 윈도우 크기별로 검출 한 후 각각 평균 에러율을 구한다. 실험 결과 필터가 없을 경우 평균 16%의 높은 에러율을 보이고 있으며 노이즈 필터링 후 에러율이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 특히 에러율은 윈도우 크기가 4일 때 평균 2.9%로 가장 낮은 것을 볼 수 있으며 4이후 크기가 늘어날수록 에러율이 다시 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 본 알고리즘에서는 차량 검출에 사용할 노이즈 필터의 최적 크기를 4로 설정하여 이용한다.

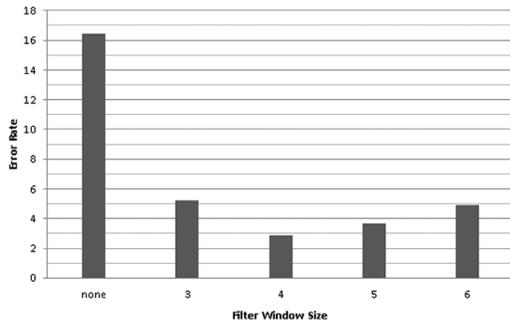


그림 17 윈도우 사이즈별 평균 에러율 비교

## 5. 결론

현재 교통 분야에서 빠른 발전을 보이고 있는 선진국들은 ITS의 첨단 기술을 이용하여 도로에 많은 장비들을 설치하고 있다. 특히 특정 검출 장치를 이용한 교통량 수집 기술은 ITS의 가장 기본이 되는 기술로서 도로의 교통 정보 분석에 많은 도움을 주고 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 매설용 검출 장치인 루프 디텍터는 도로의 바닥에 설치해야 하게 때문에 검출기를 통과하는 차량으로 인한 고장이 많고 설치 및 유지보수에 많은 비용이 발생할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 비 매설용 검출 장치에 대한 많은 연구들이 진행되고 있으며 특히 초음파 시스템은 다른 비 매설용 검출 장치에 비해 저렴하고 높은 정확도를 가지고 있다. 초음파 센서의 측정 방법에는 위에서 아래로 측정하는 방법과 측면에서 대각선 방향으로 측정하는 방법이 있다. 하지만 이 방법들은 1개의 검출기로 1개의 차로밖에 검출할 수 없기 때문에 차로별로 추가적인 설치가 필요하다.

본 논문에서는 소형의 초음파 센서를 센서네트워크와 융합하여 도로의 측면에서 복수 차로의 차량을 검출하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 총 3단계로 구성되며 도로의 측면에서 복수 차로의 차량을 정확하게 검출할 수 있도록 설계 되었다. 제안한 시스템은 3곳의 실제 도로 환경에 설치하여 실험하였고 실제 교통량과 비교하여 평균 98%의 정확도를 보이는 것을 확인 하였다. 편도 2차로의 경우 측정 센서 검출 범위 내에서의 차선 변경으로 인해 검출 및 초과측정 에러가 발생 하였다. 특히 교통량이 많은 도심지에서는 측정 센서와 근접한 차로의 차량이 먼 쪽 차량을 가리는 중복 현상이 발생 하였다. 이로 인해 교통량이 증가할수록 검출 에러율이 조금씩 상승하는 것을 볼 수 있다. 하지만 차량 밀집한 도심 지역에서 3%정도의 작은 에러율을 보이고 있기 때문에 비교적 정확한 차량 검출을 할 수 있을 것으로 보인다.

현재 각 측정 센서에 설치된 초음파 센서는 최대거리

가 7m밖에 되지 않는다. 이는 도로의 기준 폭이 최대한 도로에서는 최대 2차로밖에 측정할 수 없기 때문에 1대의 측정 센서로는 3차로 이상의 도로에서는 적용할 수가 없다. 본 논문에서 제안한 측정 센서는 비용이 저렴하고 크기가 작기 때문에 손쉬운 설치가 가능하며 이동성도 뛰어나다. 그러므로 도로의 양쪽에 측정 센서를 설치하여 2대의 측정 센서로 최대 4차로까지 측정할 수 있다. 만약 더 긴 최대거리를 가지는 고성능의 초음파 센서를 부착하여 측정하면 1대의 장비로 더 많은 차로를 측정 할 수 있을 것이다. 또한 소형으로 제작되어 설치가 용이하며 정확한 검출율을 가지고 있기 때문에 지방의 도시나 고속국도와 같이 교통 정보 및 교통 제어가 요구되지만 높은 비용의 측정센서로 설치되지 못한 많은 도로에 설치되어 응용될 수 있다.

현재 각 센서노드들은 특정한 규칙 없이 하나의 중앙 싱크노드로 데이터를 전송하고 있다. 이는 불필요한 배터리 소모를 발생시켜 시스템을 장시간 유지시킬 수 없고 센서노드를 넓은 범위로 설치할 경우 장거리 통신을 할 수 없기 때문에 전송상의 문제점이 발생한다. 또한 신호제어와 같은 교통 제어 시스템에서는 실시간으로 정확한 데이터를 요구하기 때문에 정확한 신호가 신속하게 중앙 센터로 전송 되어야 한다. 따라서, 차후에는 센서노드간의 전송 규칙에 대한 연구를 통해 네트워크 상의 문제를 해결할 것이며 도로의 정확한 측정을 위해 온·습도, 자기장 센서를 이용한 통합 검출 시스템에 대해 연구할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Torin, "War Rooms" of the Street: Surveillance practices in Transportation Control Centers," *The Communication Review*, vol.10, no.4, pp.367-389, Dec. 2007.
- [2] J. Jang, J. Choi, B. Jang, "USN Based Telematics Service and Technology Development," *Journal of ETRI: trend analysis of electronics and communication*, vol.22, no.3, pp.1-11, Jun. 2007. (in Korean)
- [3] T. Matsuo, Y. Kaneko, M. Matano, "Introduction of intelligent vehicle detection sensors," *Intelligent Transportation Systems*, pp.709-713, 1999.
- [4] Andreas F., Alban H., "Vehicle-to-vehicle and road-side sensor communication for enhanced road safety," *ITS World Congress*, 2008.
- [5] Sing. Y. C., Pravin V., "Traffic surveillance by wireless sensor networks: final report," *California path research report*, 2007.
- [6] T. M. Hussaion, T. N. Sadawi, and S. A. Ahmed, "Overhead infrared sensor for monitoring vehicular traffic," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.42, pp.477-483, Nov. 1993.

- [7] J. Fang, H. Meng, H. Zhang, X. Wang, "A Low-cost Vehicle Detection and Classification System Based on Unmodulated Continuous-wave Radar," *ITS Conference*, pp.715-720, Oct. 2007.
- [8] H. Kim, J. Lee., S. Kim., "Ultrasonic vehicle detector for side-fire implementation and extensive results including harsh conditions," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol.2, no.3, pp.127-134, Sep. 2001.
- [9] M. Feng, Z. Qingying, "The Ultrasonic Vehicle Flow Detection System Based on Ethernet," *Journal of Wuhan Technology*, 2007.
- [10] "SRF04-UltraSonic Ranger," "<http://www.robot-electronics.co.uk/html/srf04tech.htm>"
- [11] D.Ensminger, "Ultrasonics:Fundamentals," Technology, Applications, 2nd ed, NewYork, NY:Marcel Dekker, 1998.
- [12] Hyundai Motor Company, "Motor industry statistics," Hyundai Motor Company, 2008.



전 수 빈

2010년 강원대학교 정보통신공학과 학사  
2010년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 지능형교통시스템, 센서네트워크, 멀티미디어 시스템



조 영 태

2007년 강원대학교 정보통신공학과 학사  
2007년~2011년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사. 2009년~2010년 University of Minnesota Duluth 방문연구원  
2011년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정. 관심분야는 멀티미디어 시스템, 센서네트워크, 지능형 교통시스템



정 인 범

1985년 고려대학교 전자공학과 학사. 1985년~1995년 (주) 삼성전자 컴퓨터 시스템 사업부 선임 연구원. 1992년~1994년 한국과학기술원 정보통신공학과 석사. 1995년~2000년 8월 한국과학기술원 전산학과 박사. 2001년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 전공 교수. 관심분야는 운영체제, 소프트웨어 공학, 멀티미디어 시스템, 센서네트워크