

A Study on the Improvement of VDS Data Collection Algorithm Using Kalman Filter

NakJin Choi*, SungJin Kim*, YongWan Ju**, SangMin Suh**, JaeHong Choi*, JunDong Lee*

*Student, Dept. of Multimedia Engineering, GangNeungWonju National University, Wonju, Korea

*Student, Dept. of Multimedia Engineering, GangNeungWonju National University, Wonju, Korea

**Professor, Dept. of Information Communcation Engineering, GangNeungWonju National University, Wonju, Korea

**Professor, Dept. of Information Communcation Engineering, GangNeungWonju National University, Wonju, Korea

*Professor, Dept. of Multimedia Engineering, GangNeungWonju National University, Wonju, Korea

*Professor, Dept. of Multimedia Engineering, GangNeungWonju National University, Wonju, Korea

[Abstract]

The development and demand for the system that provides users with traffic information and efficient road use have continued. also, this system provides the basic technology of the Intelligent Transport System (ITS).

The most used traffic information collection tools are Vehicle detectors (VDS) and short-range wireless communication (DSRC) on express way. In order to generate reliable traffic information, it is necessary to efficiently manage and utilize the collected data as well as high-quality traffic data collection and processing technology.

In this study, traffic information collection · processing · provision systems were investigated, and analyze the current status and problems of traffic information collected through VDS. Based on this, we would like to present an improved collection algorithm that utilizes the Kalman filter for vehicle information measurement of VDS data. By using the algorithm of this study, it is possible to minimize the time delay of the estimated value as well as the noise removal that inevitably occurs during measurement.

▶ **Key words:** ITS, VDS, DSRC, Kalman filter, traffic information

-
- First Author: NakJin Choi, Corresponding Author: JunDong Lee
 - *NakJin Choi (choi@ex.co.kr), Dept. of Multimedia Engineering, GangNeungWonju National University
 - *SungJin Kim (tonyksj@naver.com), Dept. of Multimedia Engineering, GangNeungWonju National University
 - **YongWan Ju (ywju@gwnu.ac.kr), Dept. of Information Communcation Engineering, GangNeungWonju National University
 - **SangMin Suh (sangminsuh@gwnu.ac.kr), Dept. of Information Communcation Engineering, GangNeungWonju National University
 - *JaeHong Choi (inform1@gwnu.ac.kr), Dept. of Multimedia Engineering, GangNeungWonju National University
 - *JunDong Lee (jlee@gwnu.ac.kr), Dept. of Multimedia Engineering, GangNeungWonju National University
 - Received: 2021. 08. 26, Revised: 2021. 09. 29, Accepted: 2021. 09. 29.

[요 약]

도로 이용자의 교통정보에 대한 수요 증가와 효율적인 도로 이용을 위해 또한, 지능형 교통체계(ITS, Intelligent Transport Systems)의 기본 기술로 교통정보를 수집하여 제공하는 시스템에 대한 개발과 요구가 지속되고 있다.

고속도로에서 가장 많이 사용하는 교통정보 수집 도구로는 차량검지기(VDS)와 단거리무선통신(DSRC)이 있으며, 신뢰성 있는 교통정보의 생성을 위해서는 질 높은 교통데이터 수집 및 가공 기술과 더불어 수집된 자료의 효율적 관리 및 활용이 필요하다.

본 연구에서는 교통정보 수집·제공 기술의 현황을 기술하고, VDS를 통하여 수집되는 교통정보의 현황과 문제점에 대하여 분석한다. 이를 바탕으로 VDS 데이터의 차량정보 계측에 칼만 필터를 활용하여 개선된 수집 알고리즘을 제시하고자 한다. 본 연구의 알고리즘을 활용하면 계측 시 필연적으로 발생하는 노이즈 제거 뿐만 아니라 추정 값의 시간지연(time delay)을 최소화 할 수 있다.

▶ **주제어:** 지능형교통체계, 차량검지기, 단거리무선통신, 칼만 필터, 교통정보

I. Introduction

도로 이용자의 교통정보에 대한 수요 증가와 효율적인 도로 이용을 위해 지능형 교통체계(ITS, Intelligent Transport Systems)의 기본 기술로 교통정보를 수집하여 제공하는 시스템에 대한 개발과 요구가 지속되고 있다[3].

고속도로에 설치된 차량검지기(VDS)는 노면에 루프를 매설하여 루프 위를 통과하는 차량을 검지하여 속도, 교통량, 점유율 등을 수집하며, 단거리전용통신(DSRC)은 차량의 하이패스 단말기와 고속도로 노변에 설치된 안테나(RSE)간 정보 송수신을 통하여 특정 구간 정보를 수집하여 고속도로 교통정책, 교통관리 및 이용자 서비스를 하는 교통정보 수집체계이다.

이렇게 수집된 교통정보는 수집 알고리즘과 가공 알고리즘을 거쳐 교통정보 수집성과 활용성의 극대화를 통해 안정성(신뢰성) 있는 데이터를 도출하며, 도출된 데이터는 교통소통과 안전운전을 위하여 “고속도로 교통정보 앱” 등을 통해 대국민서비스로 제공되고 있다[6].

본 연구에서는 교통정보 수집·제공 기술의 현황을 기술하고, VDS를 통하여 수집되는 교통정보의 현황과 문제점에 대하여 분석한다. 이를 바탕으로 수집 알고리즘 개선을 통하여 실시간성 교통정보 제공을 위한 해결책을 모색하고자 한다.

II. Preliminaries

초기에는 교통정보를 제공하기 위하여 VDS(Vehicle Detection System), CCTV(Closed-Circuit Television)

와 같이 지점검지를 대상으로 한 수집 시스템, AVI(Automatic Vehicle Identification), DSRC와 같은 구간검지 기반의 수집 시스템을 이용한 교통정보 수집 시스템과 VMS (Variable Message Sign), 교통방송, DFS(Driver Feedback System) 등과 같은 교통정보 제공 시스템이 이용되었다.

그러나 DSRC(Dedicated Short Range Communication), 무선랜(Wireless Local Area Network)통신, WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 등과 같은 양방향 무선통신 기술의 발달로 인해 교통정보의 수집 및 제공이 동시에 가능하게 되었고, 이러한 이유로 인해 시스템을 단순히 수집과 제공으로 분류하기에는 한계가 있다[1].

이러한 한계를 피하기 위하여 table 1. 에서와 같이 크게 분리형과 통합형으로 구분하고, 시스템의 특성에 따라 분리형은 수집기술과 제공기술로 분리하여 각 기술을 위치시킬 수 있다.

Table 1. Classification of transportation information collection · provision technology

Classification		Technology		Application System
Separated Type	collection	branch detection	VDS, CCTV	ITS
		Section detection	DSRC, AVI	
	provision	passive	VMS, traffic broadcasting, DFS	
		active	Website, ARS, Smartphone	
Integrated Type		DSRC, WiFi, WAVE		traffic information on DSRC, UTIS[2]


1. Collection Status

일반적인 고속도로 교통정보는 table 2. 와 같이 차량 검지기(VDS) 등을 통해 수집하고 있다. 루프검지기는 일반적으로 가장 많이 사용하는 지점검지 기술로서 도로면에 인덕턴스 루프코일을 매설한 루프선에 10KHz ~ 200KHz 주파수의 교류전원을 연결하여 루프코일에 균일한 인덕턴스를 가진 교번자장이 형성되어, 루프 위를 차량이 통과할 때 인덕턴스의 변화를 검지하는 방식이다. 이는 검지정보의 신뢰성이 우수하고, 설치비가 저렴하여 기본적인 교통계수 검지에 장점이 있으나, 차종 분류가 어렵고, 설치 시 교통흐름 방해와 도로 파손으로 유지보수 비용이 과다한 단점이 있다[10].

1-1 VDS information collection

차량검지기(VDS) 중 루프검지기는 도로상에서 시시각각으로 변하는 교통정보를 실시간으로 수집하기 위한 장치로 교통량(Volume), 속도(Speed), 점유율(Occupancy) 등을 수집하여 수집서버로 전송하는 시스템이다[9]. 현장에 설치된 루프검지기 기준과 사진은 table 2. 와 같다.

Table 2. VDS installation standards and photos

Classification	VDS
Installation standard	1set/1km,2km(according to traffic)
main function	(branch) speed, traffic, occupancy
photo	
applications	<ul style="list-style-type: none"> o time taken on road signage o traffic on traffic information app

1-2 VDS protocol

VDS 제어기는 수집서버와 TCP/IP 연결을 이용하여 통신을 한다. VDS 제어기가 최초로 TCP 연결 요청을 시작하고 수집서버와 연결이 완료된 이후에는 수집서버의 정보제공 및 제어요청에 대해서 VDS 제어기가 응답을 하는 형태로 통신이 이루어진다. 프로토콜은 수집서버와 VDS 제어기간 요청메시지와 응답메시지를 교환하는 것으로 하는 오퍼레이션들과 그와 관련된 데이터 부분들에 대한 내용을 규정한다. 즉 대부분의 오퍼레이션에 대해서 요청메시지에 대한 응답메시지가 존재하며 요청메시지를 수신하는 VDS 제어기 측에서는 반드시 응답메시지를 수

집서버로 보내야 한다. 다만, 일부 오퍼레이션에 대해서는 예외적으로 응답메시지가 존재하지 않을 수 있다. 제어기와 수집서버 간 데이터 흐름은 Fig. 1. 과 같다[7].

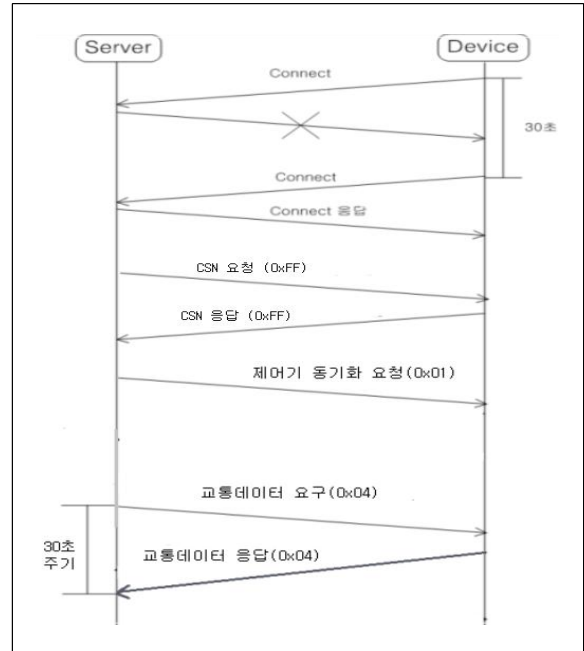


Fig. 1. Data flow between controller and collection server

2. information processing status

현재 교통정보를 제공하기 위해서 VDS 정보를 수집, 필터링 및 소통정보를 생성하기까지는 약 1분 35초가 소요되며, “고속도로 교통정보 앱”에 표출하는 시간까지 약 2분 내외가 소요된다[7].

2-1 VDS information processing

VDS 정보는 30초 단위로 수집되며, 필터링, 평활화 등을 거쳐 1분 단위로 가공처리하여 소통정보를 생성하게 되며, VDS 정보 가공과정은 Fig. 2. 와 같다.

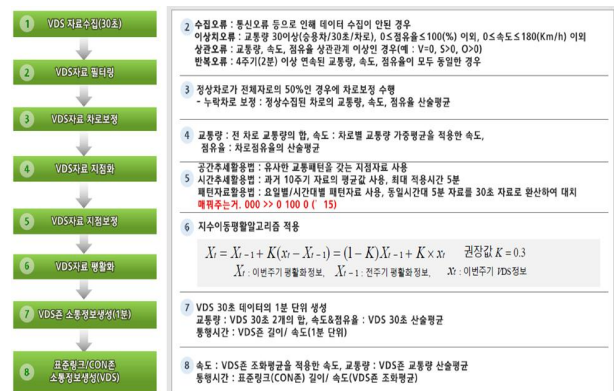


Fig. 2. VDS information processing process

또한, 수집된 정보를 이용하여 차량 속도와 교통량을 산출하는 공식은 아래와 같다.

1. 속도 = $\frac{\text{루프간거리(일정값)}}{\text{통과시간(변동값)}}$
2. 교통량 = 루프에 검지된 차량수

3. Provide communication information through traffic information app

수집된 VDS 정보는 일반인이 알아보기 쉽게 표현해 주어야 한다. 정보의 표현에는 다양한 방식이 존재하나 스마트폰이 일반화된 현재 가장 접근하기 쉬운 방법 중 하나가 “고속도로 교통정보 앱”을 통한 정보의 제공이다.

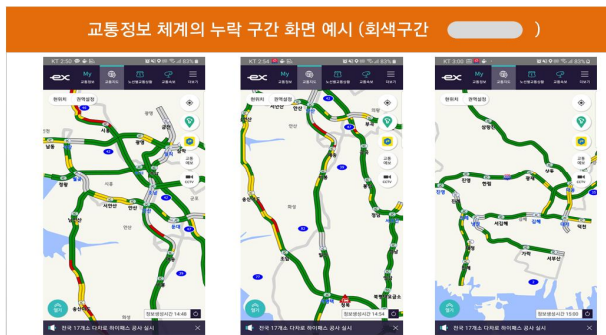


Fig. 3. VDS information on traffic app

Fig. 3. 에서 교통정보 앱의 표시되는 속도정보 표출 기준은 다음과 같다.

- 적색 : ~40km
- 황색 : 40km~80km
- 녹색 : 80km이상

Fig. 3. 에서 나타나듯 고속도로의 일부 구간에서는 회색으로 교통정보가 제공되지 않는 구간이 발생하고 있다. 이는 도로의 확장·개량공사, 수집 장비 불량 등이 주요 원인이나 정확한 정보를 산출하기 위해서는 VDS 정보의 잡음 제거와 실시간성이 요구되고 있다. 이는 신뢰성 있는 교통정보의 생성을 위해 질 높은 교통데이터의 수집 및 가공기술이 필수적이기 때문이다[8].

본 연구에서는 수집되는 데이터의 시간지연 및 노이즈 제거를 통해 보다 양질의 소통정보를 제공하기 위한 수집 알고리즘 개선 방안을 제시하고자 한다.

III. The Proposed Scheme

기존의 방법과 달리 본 연구에서는 VDS 데이터 가공에 칼만 필터(Kalman filter)[4]의 사용을 제안한다. 칼만 필터를 사용하면 노이즈 제거뿐만 아니라 추정 값의 시간 지연(time delay)을 최소화 하여 실시간으로 차량 정보를 예측할 수 있기 때문이다.

1. The Method of Speed estimation

연속시간영역(continuous time domain)에서 위치 정보로부터 속도를 얻기 위해서는 위치정보를 매 순간 미분을 하여 얻을 수가 있다. 그러나 VDS와 같이 위치 정보가 매 순간 들어올 수 없는 이산시간영역(discrete time domain)의 경우는 아래와 같은 차분방정식(difference equation)을 이용하여 속도를 계산하여야 한다.

$$\text{추정속도} = \frac{\text{현재 위치} - \text{이전 위치}}{\text{측정시간 간격}} \quad (1)$$

그런데, 이와 같은 방법으로 속도를 계산하게 되면 측정 노이즈에 민감하게 되고, 이를 해결하기 위해서는 일반적으로 IIR 필터(Infinite Impulse Response Filter)나 FIR 필터(Finite Impulse Response Filter)를 사용한다[11].

IIR 필터는 일반적으로 응답특성이 빠른 대신에 그룹 지연(group delay)이 있어서 신호의 왜곡을 유발하며, 또한 안정성(stability)을 보장하지 못한다. IIR 필터는 다음과 같은 전달함수(transfer function)로 표현된다.

$$IIR(z) = \frac{\prod_{i=1}^{i=m} (z - z_i)}{\prod_{j=1}^{j=n} (z - p_j)} \quad (2)$$

여기서 z 는 이산시간영역에서 복소수 변수이며, p_i 는 극점(pole)을, z_i 는 영점(zero)을 나타낸다. 또한, 이산시간영역에서 전달함수가 안정성(stability)을 보장하기 위해서는 아래의 식을 만족해야 한다.

$$|p_j| < 1, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

식 (3)이 의미하는 것은 모든 극점이 단위 원(unit circle)안에 존재하여야 함을 의미한다.

FIR 필터는 다음과 같은 전달함수(transfer function)로 표현된다.

$$FIR(z) = \sum_{i=0}^n b_i z^{-i} = \frac{b_0 z^n + b_1 z^{n-1} + \dots + b_n}{z^n} \quad (4)$$

위의 식을 보면 모든 극점은 원점(origin) (0,0)에 존재하는데, 이는 모든 극점이 단위원에 존재하므로, FIR 필터는 안정성이 항상 보장된다는 것을 알 수가 있다.

FIR 필터나 IIR 필터는 주파수 영역에서 설계가 되며, 주로 고주파 노이즈를 제거하기 위해서 저역 통과 (low pass) 필터로 구현된다. 이와는 다르게 시간영역에서 고주파 노이즈를 해결하는 방법으로써, 이동평균 (moving average, MA)이라는 방법이 있다. 이동평균은 과거의 정보들의 평균을 구하여 노이즈를 제거하는 방법이며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$x(n) = \frac{\sum_{i=1}^N x(n-i)}{N} \quad (5)$$

현재의 값 $x(n)$ 은 현재로부터 N 개전의 측정값들의 평균값으로 표현되는데, N 은 몇 개까지 평균을 계산할지를 정의하는 윈도우(window) 값이다. 일반적으로 잡음이 많은 경우 N 값을 키운다.

그러나 위와 같은 IIR 필터, FIR 필터, MA와 같은 방법은 출력 신호에서 지연이 발생한다. 이것은 신호가 각 필터를 통과하면서 출력 신호에 지연이 발생하는 것은 물리적으로 당연한 결과이다.

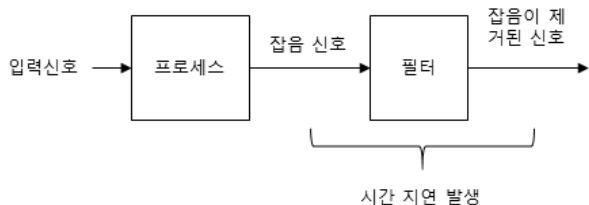


Fig. 4. General filtering systems

위의 그림에서 잡음이 있는 신호 끝에 필터를 추가하여 잡음이 제거된 신호를 생성하는데, 이는 필연적으로 필터에 의한 출력신호의 지연을 야기한다.

그러나 이와는 전혀 다른 방법으로 노이즈를 제거하는 방법이 있는데, 그것은 칼만 필터(kalman filter)이다. 칼만 필터는 이름은 필터이지만, 앞선 그림처럼 추가적인 필터를 요구하지 않는다. 칼만 필터의 구조를 Fig. 5에 나타내었다.

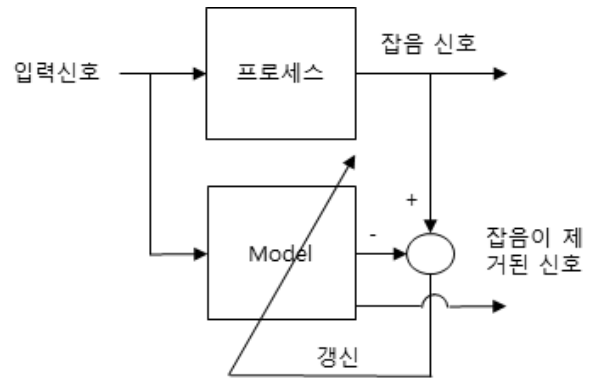


Fig. 5. Kalman filter

칼만 필터는 프로세스를 수학적으로 복사 모델링 (modeling)을 하여 사용하며 측정된 잡음이 있는 신호와 모델에서 나온 두 신호의 오차를 이용하여 칼만 필터를 갱신하는 구조로 되어있다. 그러므로 필터를 추가하는 기존의 구조와는 근본적으로 다르며, 시간 지연을 유발하는 필터 자체를 사용하지 않는다. 그러므로 칼만 필터는 단순히 노이즈를 제거하는 기능만을 하는 것이 아니라 시간 지연까지 제거할 수 있는 필터이다. 그러므로 이 논문에서는 기존의 필터 방식의 시간 지연 문제점을 해결하고자 칼만 필터를 이용한 방식을 제안하고자 한다.

2. System Modelling

칼만 필터를 사용하기 위해서는 차량의 운동방정식을 계산한 후 이를 상태공간(state-space)으로 표현하여야 한다. 우선 연속시간영역(continuous time domain)에서 차량의 운동 방정식은 다음과 같다.

$$s = vt \quad (6)$$

여기서, s 는 이동 거리, v 는 차량의 속도, 그리고 t 는 차량이 이동한 시간이다. 그런데, 실제 VDS는 일정한 주기로 이산시간영역에서 측정을 하기 때문에 식 (6)을 이산 시간영역(discrete time domain)으로 변환하여야 한다. 식 (6)은 속도를 기준으로 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\frac{s}{t} = v \quad (7)$$

그리고 속도는 이동한 거리를 측정한 시간 간격으로 나눈 값이기 때문에 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$v(n) = \frac{s(n) - s(n-1)}{t(n) - t(n-1)} = \frac{s(n) - s(n-1)}{\Delta t} \quad (8)$$

여기서 Δt 는 측정된 시간 간격을 의미하여 샘플링 시간(sampling time)을 나타낸다. 식 (7)를 상태 공간으로 나타내기 위하여 거리 ($x_1(n)$)와 속도 ($x_2(n)$) 두 변수를 정의한다. 그러면 식(8)은 다음과 같이 표현된다.

$$x_1(n) = x_1(n-1) + (\Delta t)x_2(n) \quad (9)$$

그리고 짧은 시간 구간에서는 정속 주행을 한다고 가정 할 수 있으므로 다음의 식이 성립된다.

$$x_2(n) = x_2(n-1) \quad (10)$$

그리고 식(10)을 식(9)에 대입하면 다음과 같은 상태 공간행렬식이 구해진다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(n) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(n-1) + \mathbf{G}_1w(n-1) \\ y(n) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(n) + \mathbf{G}_2v(n) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,
 $\mathbf{x}(n) = [x_1(n) \ x_2(n)]$,
 $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, $\mathbf{C} = [0 \ 1]$

여기서 $w(n-1)$ 과 G_1 는 프로세스 노이즈와 그 강도(intensity)이며, $v(n)$ 과 G_2 는 측정 잡음과 그 강도이다. 식(11)은 칼만 필터 설계를 위하여 VDS를 상태 공간으로 표현한 것이며, 다음 절에서는 이것을 이용하여 칼만 필터를 설계한다.

3. Kalman filter design

칼만 필터는 크게 추정(prediction), 칼만 이득계산, 그리고 측정갱신(measurement update)로 구분하며, 추정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{x}}(n) &= \mathbf{A}\bar{\mathbf{x}}(n-1) \\ \bar{\mathbf{P}}(n) &= \mathbf{A}\bar{\mathbf{P}}(n-1)\mathbf{A}^T + \mathbf{Q} \end{aligned} \quad (12)$$

칼만 이득 계산은 다음과 같다.

$$\mathbf{K}(n) = \bar{\mathbf{P}}(n)\mathbf{C}^T(\mathbf{C}\bar{\mathbf{P}}(n)\mathbf{C}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (13)$$

그리고 측정갱신과 오차공분산(error covariance)계산은 다음과 같이 수행된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(n) &= \bar{\mathbf{x}}(n) + \mathbf{K}(n)(y(n) - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}) \\ \mathbf{P}(n) &= \bar{\mathbf{P}}(n) - \mathbf{K}(n)\mathbf{C}\bar{\mathbf{P}}(n) \end{aligned} \quad (14)$$

칼만 필터는 Octave [5]를 사용하여 구현하였으며, 그 소스 코드는 아래와 같다.

```
% Kalman filter
for i = 1:size(t,2)
    % prediction
    x_bar = A*x;
    P_bar = A*P*A' + Q;

    % calculate Kalman gain
    K = P_bar*C' * inv(C*P_bar*C' + R);

    % measurement update
    x = x_bar + K * (pos_noisy(i) - C*x_bar);

    % update error covariance
    P = P_bar - K*C*P_bar;

    % monitoring
    x_hat_1(i) = x(1); % estimated position
    x_hat_2(i) = x(2); % estimated velocity
endfor
```

Fig. 6. Kalman filter

코드는 식(12)~(14)를 구현한 것이며, 초기 값으로 $x = [0, 0]^T$ 와 $P = \text{diag}([1, 1])$ 를 사용하였다.

4. Simulation and discussion

여기서 VDS는 차량의 위치만을 검출 가능하다고 가정하고 시뮬레이션을 진행하였고, 기존 방식의 속도 측정 방법은 각 위치 정보를 단위 시간으로 나눈 값으로 아래와 같이 계산하였다.

$$vel(n) = \frac{pos(n) - pos(n-1)}{\Delta t} \quad (15)$$

그리고 시뮬레이션을 위한 위치 정보는 아래와 같이 인가하였다.

$$pos(n) = \sin(2\pi 1t) + 0.002n \quad (16)$$

식 (16)의 우변 항에서 첫 번째는 노이즈가 없을 때의 위치 정보를 나타내며, 두 번째 항은 노이즈를 나타내는데 n 은 정규화된 랜덤 노이즈를 나타낸다. Fig 7. 은 위치정보에서 노이즈가 있을 때와 노이즈가 없을 경우에 식 (15)에 의하여 계산된 속도를 도식적으로 보이고 있다.

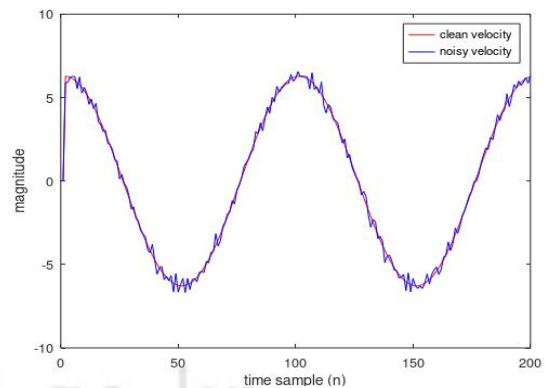


Fig. 7. Compared velocities

식(16)에서 위치 정보는 sin함수를 나타내므로 그 속도는 cos함수를 나타낸다.

실제 VDS는 노이즈가 있는 환경이므로, 식(16)과 같이 노이즈가 있는 위치 정보로부터 얻은 노이즈가 있는 속도 (Fig 7. 의 파란선)와 이를 개선하기 위해서 현재 사용하고 있는 지수평활화(exponential smoothing), 그리고 이 논문에서 제안하는 칼만 필터로부터 얻는 속도를 비교한다. 지수평활화 방법은 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$X(n) = (1-K)X(n-1) + Kx_n \quad (17)$$

여기서 X 는 평활화된 수정된 위치 정보를 나타내며, x_n 은 평활화하기 전의 raw 데이터를 의미한다. 식 (17)을 보면 위치 정보에 노이즈나 잡음이 많을 때는 K 값을 낮추어 현재 정보의 가중치를 줄이고, 노이즈나 잡음이 상대적으로 적을 때는 K 값을 높여 현재 정보에 대한 가중치를 높이는 방법이다. 다음의 Fig 8. 은 지수평활화에 사용된 소스 코드이다.

```
% exponential average (smoothing)
pos_ea = zeros(size(pos_noisy));
N = 5; % window size
K = 0.3; % weighting value
previous_ea = 0;
current_ea = 0;
for idx = N:length(pos_noisy)
    current_ea = (1-K)*previous_ea + K*pos_noisy(idx);
    pos_ea(idx) = current_ea;
    previous_ea = current_ea; % state update
endfor
vel_ea = [0, diff(pos_ea)]/delta_t;
```

Fig. 8. Exponential average

코드에서 가중치는 일반적으로 가장 많이 사용되는 값인 0.3을 적용하였으며, 윈도우 크기는 5를 선정하였다. 노이즈가 많을수록 가중치는 작아져야 하며 윈도우 크기는 커져야 한다. 그러나 여기에는 시간지연(time delay)이라는 모든 필터에서 필연적인 문제가 발생한다. 이 논문에서는 그 지연을 없애고자 칼만 필터를 제안한다.

식(11)의 시스템 행렬 A , C 와 Fig. 4. 의 칼만 필터 코드를 이용하여 칼만 필터를 설계한다. 이 시뮬레이션에서 공분산 행렬(covariance matrix) $Q = \text{diag}([1, 9e3])$, $R = 0.1$ 을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

Clean velocity는 이상적인 속도를 나타내며, noisy velocity는 잡음이 있는 위치 정보로부터 얻은 속도이다. 이 잡음을 제거하고자 현재 지수평활법(EA, exponential average) 속도를 사용하고 있다. 지수평활법을 사용하면 확실히 속도에서 잡음이 줄어드는 것을 확인할 수가 있다.

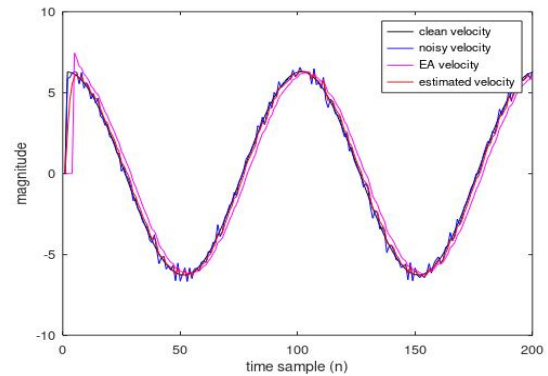


Fig. 9. Velocity of Kalman filter

그러나 이상적인 속도와 비교하면 상당한 시간지연을 보이고 있다. 이에 반하여 칼만 필터의 속도 출력을 보면 잡음은 지수평활법과 유사하면서도 시간지연은 거의 보이지 않고 있다. 이러한 특성은 실시간으로 차량을 모니터링 해야 하는 상황에서는 매우 유용한 특징이다.

IV. Conclusions

도로 이용자의 교통정보에 대한 수요 증가와 효율적인 도로 이용을 위해 지능형 교통체계(ITS, Intelligent Transport Systems)의 기본 기술로 교통정보를 수집하여 제공하는 시스템에 대한 개발과 요구가 지속되고 있다.

본 연구에서는 고속도로에서 가장 많이 사용하는 교통정보 수집도구인 차량검지기(VDS)를 이용한 교통정보 수집 시스템에 관하여 살펴보았다. 이러한 수집 장비를 활용한 교통정보는 차량의 속도와 교통량을 산출하는 데에는 효율적이지만, 보다 정확한 정보를 산출하기 위해서는 VDS 정보의 잡음 제거와 실시간성이 요구되고 있다.

VDS와 같이 위치 정보가 매 순간 들어올 수 없는 이산 시간영역(discrete time domain)의 경우는 차분방정식(difference equation)을 이용하여 속도를 계산하여야 하므로, 측정 노이즈에 민감하게 되고, 이를 해결하기 위해서는 필터를 활용해야 한다.

본 연구에서는 칼만 필터를 활용하여 수집되는 데이터의 잡음을 제거하고 시간지연이 거의 발생하지 않도록 알고리즘을 개선하였다.

본 연구의 알고리즘을 활용하면 보다 양질의 소통정보를 실시간으로 제공할 수는 있으나, 고속도로 전 구간의 교통정보를 제공하기에는 한계가 있을 것으로 보인다.

따라서 향후 DSRC 및 표준노드링크(민간정보 포함)를 이용한 교통정보의 수집 및 가공 알고리즘 개발이 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by X-mind Corps program of National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT (NRF-2017H1D8A1029391).

REFERENCES

- [1] KyungPyo Kang, SangHyup Lee and 9 others, "A study on how to collect and provide traffic information on urban arterial roads", Korea Transportation Research Institute, Korea Institute of Construction Technology, 2010. 09.
- [2] GyeHyung Ahn, EunJung Kim, YongGeol Ki, KwangSoo Bae, JinWook Choi, YongJu Ahn "The Development and Utilization Plan of Urban Traffic Information System (UTIS) Standard S/W", Transportation technical data 2010-2, Vol. 26, 2010. 11
- [3] DongMin Kim, YongMoo Jung, SooYoung Min, "A study on building the platform and development of algorithm for collecting real-time traffic data", The Spring Conference of the Korea Information and Communication Society, 2012.
- [4] G. F. Franklin, J. D. Powell, and M. L. Workman, "*Digital Control of Dynamic Systems*," Addison-Wesley Publishing Company, 1997.
- [5] <https://www.gnu.org/software/octave/index>, July, 2021.
- [6] NakJin Choi, SungJin Kim, JaeYong Oh, SangMin Suh, YongWan Ju, JaeHong Choi, JunDong Lee, "A study on the development of a traffic information app to provide highway traffic information using VDS", The Summer Conference of the Korea Society of Computer and Information, 2021.
- [7] Detailed Design of Expressway Traffic Management System (exTMS) for ITS Processing System Reorganization, Korea Expressway Corporation, 2020.12
- [8] A study on the integrated traffic data quality monitoring system, Korea Expressway Corporation, 2015.11
- [9] NakJu Kim, Research on establishing a traffic detection system to improve the accuracy of highway traffic information, Dissertation, Ajou University, 2011. 8
- [10] A study on ITS information reliability improvement and evaluation, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2008. 6.
- [11] Kumar, Nishant. "Optimal Design of FIR and IIR Filters using some Evolutionary Algorithms". 2013.

Authors



NakJin Choi is team leader at Korea Expressway Corporation. He received as M.S. degree in Computer Science from Korea University, Korea in 2006 and currently receiving Ph.D. in data science part

in multimedia engineering at GangNeung-Wonju National University. He has been in is information system engineer and data analysis for 33 years with the IT department at Korea Expressway Corporation. He is currently an team leader and data analysis expert at Korea Expressway Corporation. His research interests include AI, IoT, advanced data analyst, and platform.



SungJin Kim is a visiting professor with the Department of Computer Science and Engineering at Myongji College. He received as B.S., M.S. degree in Computer Science from Halla University in Wonju, Korea

2013, 2015 and currently receiving Ph.D. in data science part in multimedia engineering at GangNeung-Wonju National University. He is currently a specialist in the Bigdata Consulting and worked for 27 years in the IT Business. His research interests include AI, IoT, BigData, advanced data analyst, business process architecture.



YongWan Ju is a professor at GangNeung-Wonju National University. He received as B.S., M.S. in Business Administration from Hankook U.niversity of Foreign Study respectively and as Ph.D. at

Soongsil University in Korea. His research interests include platform business, convergence, big data, IoT etc.



Sangmin Suh received B.S., M.S., and Ph.D degree in the electronics engineering in the Hanyang university of Seoul Korea in 1991, 1994, and 2003 respectively. From 1994 to 1999, he has been with Daewoo telecommunication.

From 2003 to 2019, he was in Samsung electronics. He currently holds assistant professor in the department of information and telecommunication engineering at Gangneung-Wonju national university. His current research interests include artificial intelligence and robotics.



JaeHong Choi is a Professor at Gangnung-Wonju National University. He received a Ph. D from Hanyang University's the Dept. of Electronic Engineering. His research interests in Amazon Business, Convergence, AI



JunDong Lee is a professor with the Department of Multimedia Engineering at GangNeung-Wonju National University. He received as B.S., M.S., and Ph.D. degree in Computer Science from HongIk Unversity,

Seoul, Korea in 1990, 1993, and 2001, respectively. His research interests include programming language, IoT, and platform.