

交通流 計測 I

- 초음파용 공간필터법에 의하여 -

田 承 桓*

A Measurement of Traffic Vehicles Flow by the Ultrasonic Spatial Filtering Method

*Seung-Hwan Jun**

<목 차>

Abstract	3.1 초음파를 이용한 差分型 공간필터 검출기의 실현
1. 서론	3.2 계측대상의 모델
2. 교통류 계측	3.3 계측원리
2.1 車種의 분류	3.4 계측계의 구성
2.2 현재의 차량검지 방식	4. 교통류계측을 위한 기초실험
2.3 본 연구에서 제안하는 측정방식	5. 이 외의 차종 판별법
3. 초음파 差分型 공간필터 검출기에 의한 計測系의 구성	6. 결론
	참고문헌

Abstract

For the smooth flow of traffic vehicles and its effective management, it is necessary to have an exact information on traffic condition, i.e., the volume of traffic, velocity, occupancy and classification of vehicles. In particular, for classification of vehicles, there has been only image processing method using camera, where the method can obtain much information but rather expensive.

In this paper, an algorithm for the measurement of velocity and total length of vehicles has been proposed to develop a general traffic management system, which is necessary to discriminate the class of vehicles. In order to realize the proposed algorithm, we have developed an ultrasonic spatial filtering method, which has

* 정회원, 한국해양대학교 해사대학 교수

better performance than that of using the traditional vehicle detector. To have this system to be constructed, we have introduced three sets of ultrasonic devices where each has one transmitter and two receivers which are arranged to obtain the spatial difference of objects.

The velocity of vehicles can be measured by analyzing the occurrence time of pulses and their time differences. The total length of vehicles can be given by multiplying velocity with time interval of pulses sequence.

To confirm the effectiveness of this measuring system, the experiment by the spatial filtering method using the ultrasonic sensors has been carried out. As the results, it is found that the proposed method can be used as one of measurement tools in the general traffic management system.

1. 서 론

최근들어 국내의 자동차 보급율은 급증하고 있다. 이에 따라 일반도로의 이용율과 고속도로의 사용구간등도 매년 현저하게 신장하고 있으며, 아울러 각지에서의 도로의 건설 및 확장 공사도 활발하다. 이러한 현상은 교통사고, 교통체증등의 교통장애의 확대라고 하는 형태로 시민생활을 위협하는 중대한 원인이 되고 있다. 이 때문에, 원활한 도로 교통의 흐름을 확보하기 위하여, 여러가지 제한 및 통제, 관리 또는 도로망의 건설증비등이 이루어지고 있으나, 이들이 보다 효과적이기 위하여서는, 사전에 교통현상에 대하여 충분한 조사를 할 필요가 있다.

교통공학 용어사전¹⁾에 의하면, 교통현상은 「交通路上을 이동하는 사람, 또는 물건(통상은 차량)의 시간적, 공간적 變動」으로 해설되어 있으나, 대체로 교통조사의 항목인 교통량, 차량의 주행속도, 차량의 공간점유율(밀도) 및 시간점유율(occupancy), 車種구성 등의 교통류의 현상으로 생각할 수 있다.

현재, 이들 교통현상을 감시해서 중앙의 대형 컴퓨터로 교통신호기를 집중적으로 제어하는 「교통관제 시스템」이 채용되어 있고, 거기에는 교통류를 파악하기 위하여 방식이 서로 다른 차량 검지기가 各所에 설치되어, 교통량, 車速, 차중량, 車種등의 정보를 수시로 수집하고 있다. 이들 차량 검지기는 전체의 구성이 간단하고 필요한 정보를 쉽게 얻을 수 있는 機器이면 더욱 바람직할 것이다.

본 논문에서는 系の 구성이 간단한 공간필터법

을 超音波에 의해 실현하고, 이것이 속도 및 차량 검출에 적용 가능한 것을 실험에 의해 확인하는 동시에, 얻어진 정보로부터 차종판별까지 하는 센싱계의 처리기법에 대하여 기술한다. 여기서 제안하는 센싱系는, 1개의 초음파 발신기와 2개의 수신기를 糲로 이용함으로써, 공간差分을 檢知하는 공간필터 검출기이다. 지금까지 光을 이용한 공간필터법에 관하여서는 많은 연구결과²⁾⁻¹⁰⁾가 보고되고 있으나, 본 논문에서는 光대신 초음파를 이용하여 공간필터를 실현한 것으로, 교통류계측에 적용하는 경우 天候, 晝夜에 따른 차의 반사율등에 영향을 받지 않는 센싱계를 구축할 수 있다는 것이 특징이라 할 수 있겠다.

본 연구에서는 보다 효과적인 교통류 종합관리 시스템의 개발에 필요한 교통류계측에 관한 기초 연구로써, 초음파를 이용한 투과형 공간필터법에 의한 속도계측 및 차종의 자동식별에 필요한 파라미터의 하나인 畧長을 검출하는 수법을 제안함과 동시에 실험에 의해 그 유효성을 입증하고자 한다.

2. 교통류 계측

2.1 차종의 분류

현재 우리나라에서 사용하고 있는 자동차는, 승용차, 승합차, 화물차, 특수자동차로 분류하고 있으며, 분류기준은 자동차 관리법에 명시되어 있다. 이들 분류는 차길이에 대한 정보만으로도 대략적인 차종판별이 가능하다는 것을 직감할 수 있을 것이다.

<표 1> 차량 검지기 비교표

분류	방식	통과형 존재형	수명	설치 난이도	정도	가격	방향판별	속도판별	길이 판별	문제점
형상 감응형	광전식	통,존	중	용이	양호	저	불가능	가능	불가능	환경의 영향을 받기 쉬움
	도플러 레더	통	중	용이	양호	고	조합해서 가능	가능	가능한 것도 있음	무선면허 및 자격이 필요함
	초음파 펄스	통,존	장	용이	양호	고	조합해서 가능	조합해서 가능	가능	강풍에 약함
	초음파 도플러	통	장	용이	양호	고	조합해서 가능	가능	가능한 것도 있음	강풍에 약함
	초음파 차단식	통,존	장	용이	양호	고	조합해서 가능	조합해서 가능	조합해서 가능	강풍에 약함
압력 감응형	고무 호스식	통	단	용이	양호	저	불가능	조합해서 가능	불가능	고무호스가 쉽게 끊어짐
	踏板式	통	중	곤란	양호	저	가능	조합해서 가능	불가능	도로를 파손하기 쉬움
	Tape Sw. 식	통	단	용이	양호	저	불가능	조합해서 가능	불가능	Sw.feeder 접속부 수명이 짧음
	Load Cell 식	통	중	곤란	양호	저	불가능	불가능	불가능	정교한 조정이 필요함
	Sensor Wire식	통	단	용이	양호	저	불가능	조합해서 가능	불가능	마모가 빠름
금속 감응형	Loop Coil 식	통,존	장	곤란	양호	보통	가능	조합해서 가능	가능	메몰 공사가 필요함
	지자기식	통,존	중	곤란	양호	고	가능	조합해서 가능	가능	도로에 금속성이 있으면 감도 저하함
화상 처리형	ITV 카메라 CCD 카메라 VTR 카메라	통,존	장	용이	높음	고	기능	가능	불가능	설치 비용이 많이 들고, 부대 시설이 필요함

2.2 현재의 차량검지방식

현재 이용되고 있는 차량검지기의 제기능을 비교한 것을 표1에 나타낸다.

차량검지기는 측정원리에 따라 형상감응형, 압력감응형, 금속감응형 및 화상처리형으로 크게 4종류로 나눌수 있다. 이들 검지기를 단독 또는 복합적으로 사용하므로써 교통류의 파라미터인 속도, 존재의 유무, 밀도 및 차종등의 검출을 하고 있다. 물론 얻어진 정보를 계측목적에 따라 적절한 변환처리를 하여야 한다.

현재, 존재검출에는 압력감응형, 금속감응형, 형상감응형이, 속도검출에는 형상감응형의 도플러 효과를 이용한 것이, 밀도검출에는 금속감응형이 이용되고 있지만, 이들 검출기는 그 기능상 한 개의 장치로는 한정된 정보밖에 추출해낼 수 없다. 그 때문에 최근에는 새로운 방법으로 측정대상에 관한 대부분의 정보를 알아낼 수 있는 화상처리형 검출기가 개발사용되고 있지만, 설치비용, 신호처리 시간 및 야간계측에서의 精度등에 문제점이 남아 있다.

표 1에서도 알수 있듯이 일반적으로 많이 이용되고 있는 검출기는 光 또는 초음파를 계측수단으

로 사용하고 있다. 光을 이용하는 경우, 특별한 조명시설이 필요하고, 天候 및 汚損등에 의해 많은 영향을 받는 문제점이 있지만, 초음파를 이용하는 경우 이들 문제점을 쉽게 해결할 수 있다.

측정위치에 관해서는 대상물에 대하여 橫方, 上方, 下方(도로에 파묻는 것)등을 생각할 수 있으며, 계측목적과 측정위치에 따라 여러가지 측정방식이 연구·개발되고 있다.

2.3 본 연구에서 제안하는 측정방식

본 연구에서 제안하는 측정방식은 다음과 같다.

- ① 초음파 센싱계에 공간필터법을 적용하여 얻어진 신호를 처리한다.
- ② 대상물의 측면에서 측정한다.

3. 초음파 差分型 공간필터 검출기에 의한 計測系의 구성

3.1 초음파를 이용한 차분형 공간필터 검출기의 실현

그림 1의 (a)에 나타낸 것처럼, 초음파의 발신기

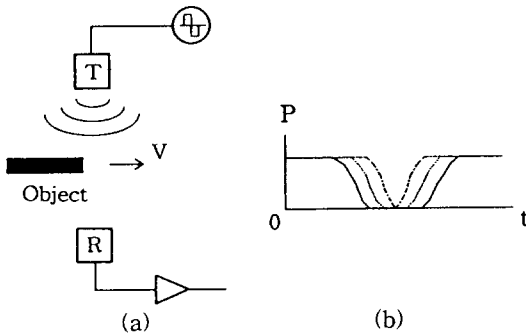


그림 1 물체의 이동에 따른 음압의 변화

와 수신기를 서로 마주보게 설치하고 그 사이에 어떠한 물체를 통과시키면, 수신기에서 검출되는 초음파의 음압은 음을遮閉하는 장애물의 크기와 이동속도에 따라 그림 1의 (b)처럼 변화한다. 즉, 속도가 작거나 또는 장애물이 클수록 음압이 감소해 있는 시간은 길게된다.

다음으로, 그림 2와 같이 발신기 1개와 差動접속된 수신센서 2개를 1組로 한 초음파 센싱계를 생각하고, 이들 사이를 장애물이 직선상으로 통과할 때의 신호변화에 주목한다. 이때 수신센서의 차동이득은 같게하고 발신기는 수신기의 정면에 있는 것으로 한다. 장애물이 없을 때에는 수신센서의 출력은 定常電壓值(0 레벨)이지만, 장애물이 통과할 때에는 장애물이 초음파를 차례로 차단하기 때문에, 正負(+ -)의 값을 지닌 펄스형의 신호가 나타난다. 이것은 장애물의 통과에 의한 초음파場의 공간적 음압 변화에 대하여 차분을 하는 공간적처리에 의한 것으로, 초음파를 이용한 차분형 공간필터 검출기를 구성한 것이 된다.

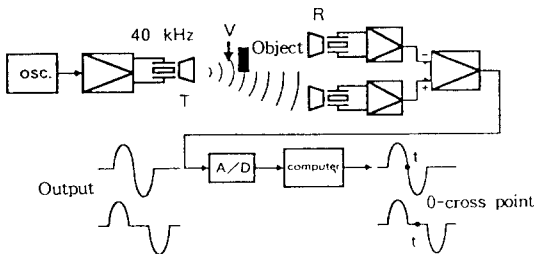


그림 2 초음파용 차분형 공간필터의 구성

그리고 그림2에서 t로 표시되어 있는 점은 정부의 펄스가 定常電壓值와 교차하는 점으로, 본 논문에서는 0-cross point라고 한다. 이 점에서는 장애물이 2개의 수신센서를 균등하게 차단하였다고 생각할 수 있으며, 이 순간 장애물의 중심위치와 2개의 수신센서의 중심점은 일치하고 있다고 볼 수 있다.

이처럼 차분형 공간필터법은, 측정대상이 검출기 사이를 통과하는 순간 정부의 펄스파를 출력한다는 것과 공간차분을 하기 때문에 同相노이즈의 영향을 제거할 수 있다는 특징이 있다. 이 특징을 이용하면 다음 3가지 측정이 가능하다.

- ① 펄스파의 시간적 변화를 이용한 특정장소를 통과하는 대상물의 검출과 통과시간의 측정
- ② 차분형 센서를 複數 배치하여 얻어지는 공간적 정보를 이용한 대상물 위치의 측정
- ③ 1개의 차분형 센서에 주목하여 출력과형인 펄스파의 정부의 순번에 의한 이동방향의 판별

3.2 계측대상의 모델

초음파소자를 이용하여 공간차분처리를 실현하고, 교통류계측을 가능하게 하기 위하여 측정대상에 다음과 같은 제한을 두기로 한다.

- ① 대상물은 정지하지 않을 것
정지한 자동차를 대상으로 하는 경우, 정지차량에 의하여 초음파빔의 차단이 계속되어, 공간차분을 하여도 유효한 펄스파가 얻어지지 않는다.
- ② 계측구간 내에서 대상물은 직선운동을 할 것
자동차가 계측구간 내에서 지그재그운동을 하는 경우 정확한 순간속도를 얻을 수가 없다.
- ③ 어느 정도의 대상물 간의 거리가 확보될 것
센서로 검출한 신호로부터 속도등의 정보를 얻기 위하여 신호처리에 약간의 시간이 걸린다. 따라서 신호처리 중에 새로운 신호가 입력되어도 처리할 수가 없다.

3.3 계측원리

3.3.1 펄스발생시각의 결정방법

대상물에 관한 공간적 또는 시간적 정보를 지닌

펄스파의 0-cross point를 구하는 방법은 다음과 같다.

대상물이 진행함에 따라 그림 2에서 보이는 출력파형과 같은 펄스파 신호가 검출기로부터 출력된다. 먼저, 대상물이 없을 때의 전압(0 레벨의 전압)으로부터 정부 각각의 펄스파형의 최대진폭의 1/2이 되는 점을 구한다. 다음, 이 두 점을 직선으로 연결하고 전압이 0인 선과의 교점을 구하여 0-cross point로 한다.

길이가 다른 두가지 대상물을 이용하여 실제 실험에서 얻어진 파형에 대한 0-cross점의 결정예를 그림 3에 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} V_o \\ a \end{bmatrix} = \frac{D}{(\tau_B - \tau_A)(\tau_C - \tau_B)(\tau_C - \tau_A)} \quad (1)$$

$$\cdot \begin{bmatrix} (\tau_C^2 - 2\tau_B^2 + \tau_A^2) \\ -2(\tau_C - 2\tau_B + \tau_A) \end{bmatrix}$$

$$V_{AB} = \frac{D}{(\tau_B - \tau_A)}, \quad V_{BC} = \frac{D}{(\tau_C - \tau_B)} \quad (2)$$

$$L = V \cdot |T_{\max} - T_{\min}| \quad (3)$$

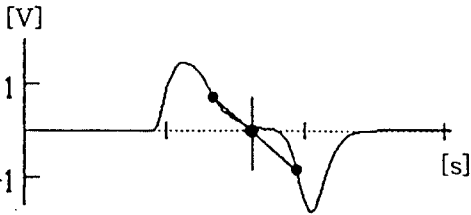
단, $V = (V_{AB} + V_{BC}) / 2$

V_o 는 $t = \tau_A$ 에서의 속도, a 는 등가속도, D 는 발신기 간의 거리, τ_A, τ_B, τ_C 는 수신기 A, B, C로부터 얻어진 펄스의 0-cross점, V_{AB}, V_{BC} 는 구간 AB, BC에서의 평균속도, L 은 대상물의 길이이고, T_{\max}, T_{\min} 은 각각 펄스가 최대, 최소가 되는 시각을 뜻한다.

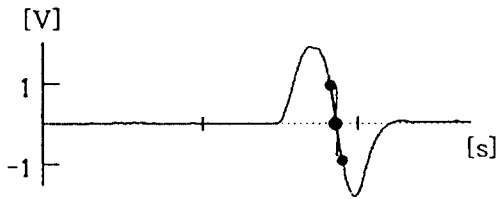
3.4 계측계의 구성

계측계의 구성을 그림 4에 나타낸다. 이것은 대상물이 등가속도 운동을 하는 경우, 대상물의 속도 및 가속도를 측정하고, 이들로부터 대상물의 길이를 구하기 위한 시스템이다. 그림과 같이 40kHz의 초음파 발신기를 3곳에 배치하고, 정면에 음압의 공간차분을 할 수 있도록 수신기 A, B, C를 배치하였다. 송·수신기 사이에 레일을 설치하여 이 위에 모형 자동차를 싣고 여기에 아주 가는 와이어를 연결하여, 이 와이어를 이동방향의 전방에 설치한 모터를 이용하여 정해진 일정한 속도로 끌어당기도록 하였다.

수신센서로부터의 아날로그 출력신호는 全波整流회로, 저역통과필터, 차동증폭기를 거쳐, 12bit ADC를 통해 디지털신호로 변환되어 컴퓨터에 입력·처리되고 샘플링 주파수는 2kHz이다. 포토센서는, 차분형 공간필터법에 의해 구해진 속도와 비교를 하기 위한 기준속도를 구하기 위하여 설치하였다.



(a) 대상물의 길이가 발신기 간격보다 긴 경우



(b) 대상물의 길이가 발신기 간격보다 짧은 경우

그림 3 0-cross point의 결정

3.3.2 속도 및 길이 측정

차분형 센서를 2組 이용할 경우 대상물의 속도 측정이, 3組 이용할 경우 계측구간 내의 속도 및 가속도 측정이 가능하다. 대상물이 등가속도 운동을 하는 경우, (1)식에 의해 속도 및 등가속도, (2)식에 의해 계측구간 내에서의 평균속도, (3)식에 의해 대상물의 길이를 구할 수 있다.

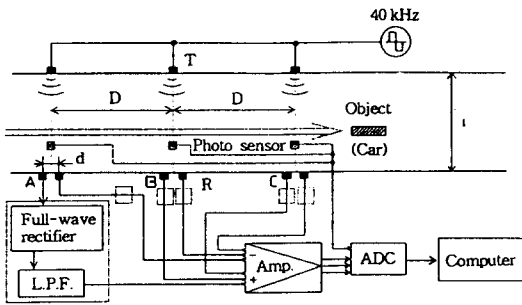


그림 4 계측계의 구성

4. 교통류 계측을 위한 기초실험 - 속도 및 길이의 측정 -

길이 9cm와 18cm인 2종류의 나무로 만들어진 대상물을 이용하여, 속도 및 길이 측정실험을 하였다. 실제 실험에서 얻어진 파형의 한 예를 그림 5에 나타낸다. 얻어진 신호파형에는 주위로부터의 반사파의 영향, 대상물을 이동시킬 때 대상물을 실은 선반의 자체진동에 의한 영향, 모터회전의 불균형 등에 의한 영향이 포함되어 있다. 또한, 발·수신 센서의 지향성에 의한 영향도 상당히 포함되어 있는 것으로 여겨진다.

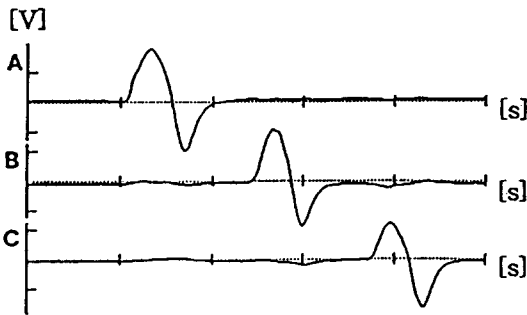
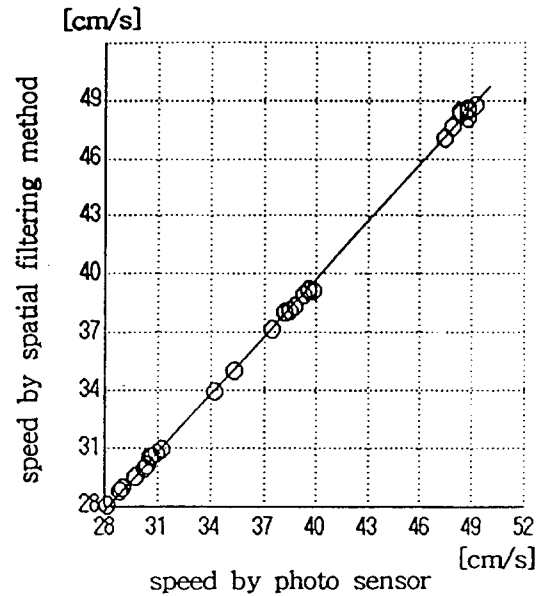
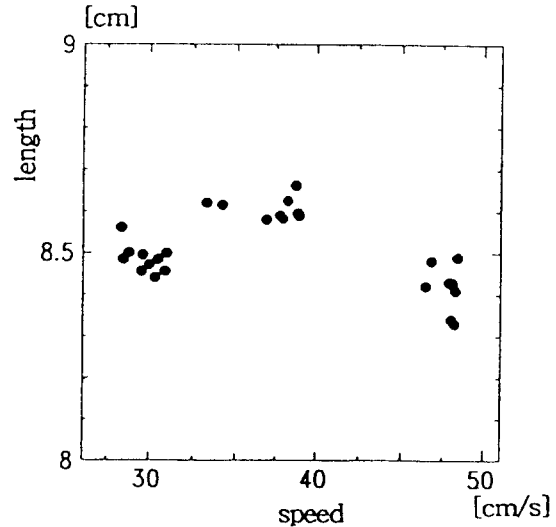


그림 5 실측된 신호파형의 한 예

그림 6과 그림 7에는 속도 및 길이 측정의 실험 결과를 나타낸다. 대상물의 길이를 구하기 위하여, T_{max} 와 T_{min} 은 검출기 B의 신호를 이용하였다.



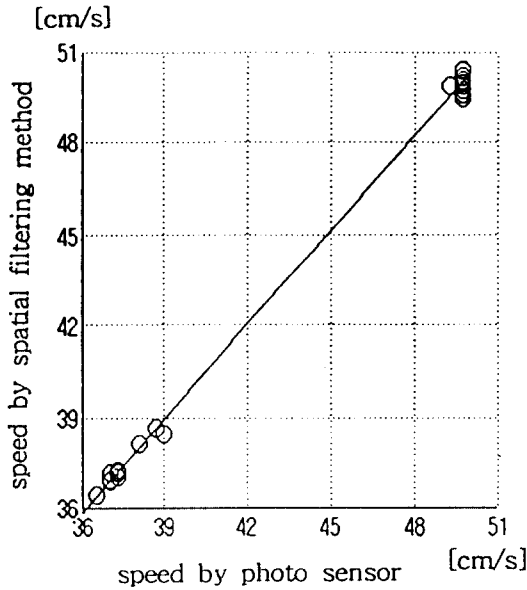
(a) 속도계측



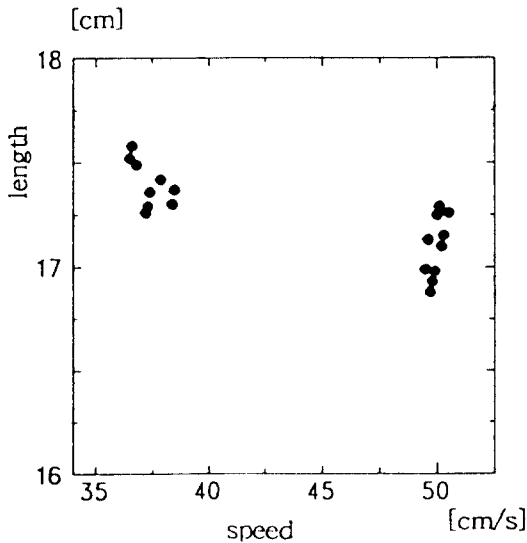
(b) 길이계측

그림 6 실험결과 I(수신기간의 거리(d)=6cm, 발신기간의 거리(D)=25cm, 대상물의 길이(L)=9cm)

속도 측정의 경우, x축은 포토센서에 의한 속도이고, y축은 차분형 공간필터법에 의해 구한 속도이다. 그래프 내의 직선은 측정 데이터를 이용하여



(a) 속도계측



(b) 길이계측

그림 7 실험결과 II(수신기간의 거리(d)=6cm, 발신기 간의 거리(D)=25cm, 대상물의 길이(L)=18cm)

최소 2승법으로 구한 것으로, 기울기가 45° 로 거의 원점을 지나고 있음을 알 수 있다.

길이 측정의 경우 대상물의 길이가 9cm일 때 4~7%의 오차가, 18cm일 때 2~6%의 오차가 있었

다. 이 오차는, 실험장치를 제작할 때 다소 미비한 점이 있었으며 이로 인한 것으로 사료된다. 예를 들면 레일의 마찰에 의해 대상물의 이동이 다소 매끄럽지 못한 점, 대상물을 이동시키기 위하여 장난감용 마부치 모터를 사용하였으며 이는 마찰과 대상물의 무게를 고려해 볼 때 모터의 토크가 부족한 점 등이 (3)식의 파라미터에 영향을 미친 것으로 여겨진다.

이러한 여건하에서 이상의 분석결과를 고려해 볼때, 본 방식은 교통류계측에 충분히 활용될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

5. 이 외의 車種판별법

본 논문에서 제안한 계측계 구성과는 다른 센서 배치에 의한 교통류계측의 가능성을 검토해보았다.

(1) 투과형 초음파센서의 複數배치에 의한 방식
그림 8에 보이듯이, 路面과 수직방향으로 일정 간격으로 발·수신기를 설치하고 수신기로부터 검출된 펄스의 발생시각에 의해 대상물의 형상정보를 검출할 수 있으며, 이 발·수신기를 2,3組 설치하므로써 속도 및 가속도 측정이 가능하다.

(2) 반사형 초음파센서 배치에 의한 방식
옆방향이 아닌 上方에서 측정하는 방식으로써, 초음파의 반사를 이용하는 방식이다. 그림 9와 같이, 대상물에 초음파가 부딪히는 부분의 경사도 및 높이에 의해 반사되어 얻어지는 펄스파의 간격 및 진폭이 차의 이동에 따라 변화하는 것을 이용하므로써 차속 및 차종판별 등이 가능하다.

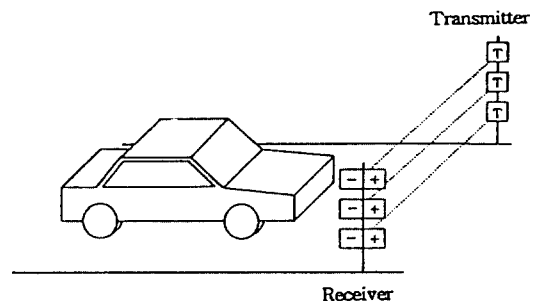


그림 8 투과형 초음파센서에 의한 속도 및 차종식별

참 고 문 헌

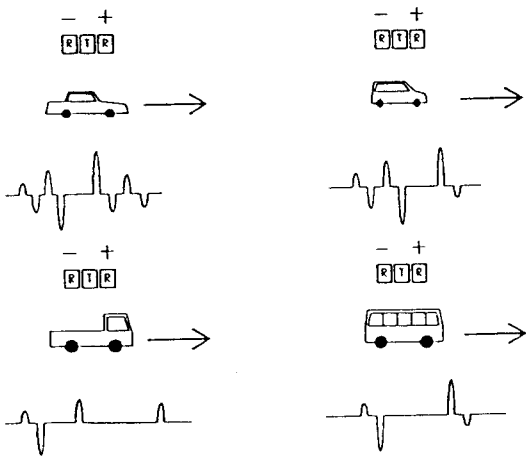


그림 9 반사형 초음파센서에 의한 속도 및 차종식별

6. 결론 및 연구과제

현재까지 이용되고 있는 교통류계측 방식과는 다른, 초음파를 이용한 차분형 공간필터법에 의한 교통류계측의 실현가능성을, 기초실험을 통해 확인하였다. 본 방식은 계측계의 구성이 비교적 간단하고 설치도 용이하다. 또한, 초음파를 이용하므로 수명도 길고 속도와 길이의 계측 뿐만 아니라 정보처리장치를 추가함으로써 교통량, 시간점유율 등의 파라미터도 동시에 계측가능하므로 여러 방면에 활용할 수 있을 것이다.

한편, 복수의 차선이 있는 일반도로에서의 적용을 고려한다면, 측면에서의 측정보다는 上方에서의 측정방식이 더욱 汎用性이 있을 것으로 여겨지며, 이에 대해서는 앞으로의 연구과제로 두고자 한다.

1. 交通工學 研究會・高速道路 調査會, "交通工學用語辭典", 技術書院 (1985)
2. 內藤, 小林, "空間フィルタによる速度計測", 計測と制御, Vol.7, No.11, 761/772 (1968)
3. R.Fritsche, F.Mesch, "Non-contact speed measurement — a comparison of optical systems", MEASUREMENT & CONTROL, Vol.6, July (1973)
4. 小林, 中山, "非接觸回轉速度計測と集積化された空間フィルタ検出器", 計測自動制御學會論文集, Vol.15, No.1, 89/96 (1979)
5. 中山, 山浦, "非接觸2次元速度ヘクトル計測用光學的空間フィルタ検出器", 計測自動制御學會論文集, Vol.18, No.6, 609/616 (1982)
6. M.Funada, et al. "An Application of the Spatial Filter to the Measurement of Traffic Vehicle Flow", Proc.of 3rd SENSOR SYMPOSIUM, 61/64 (1983)
7. 山浦, "パターン계측용空間フィルタ検出器", 光技術kontakt, Vol.26, No.1 (1988)
8. 山浦富雄, "可變型空間フィルタ検出器のwalsh-Hadamard 變換機能を用いた形狀計測", 電氣學會研究會資料-産業計測制御合同研究會, IM-89-10 (1989)
9. Y.AMARI, I.MASUDA, "Velocity Sense Detection Based on the Spatial Filter Method", IEEE Tr. on INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol.39, No.4 (1990)
10. T.Akai, "Measurement of congestion using Variable Spatial Filtering Detector with Multi-Valued Weighting Function", Proc.of 11th SENSOR SYMPOSIUM, 253/256 (1992)