

웨이브렛 변환을 이용한 도심 교차로에서의 대기길이 측정 알고리즘

요 약

본 논문은 도심 교차로에 설치된 영상검지기로부터 들어온 교통정보 중 공간교통정보에 해당하는 차량 대기길이를 측정을 하는 방법으로 각 차선 (lane)별 검지영역에 대하여 웨이브렛 변형(Wavelet Transforms)을 하여 차량을 검지하고, 검지영역 내에서 차량의 대기길이를 측정하는 알고리즘을 제안한다.

기존의 방법으로는 차량 윤곽선 추출(edge detection)을 이용한 대기길이 측정 방법이나 배경(background)정보를 사전에 입수한 후 임계값 이상의 변화가 있을 때 차량을 검지하여 대기길이를 측정하는 방법 등이 연구되어 왔으나 이러한 방법들은 영상의 노이즈에 대하여 크게 영향을 받는다는 문제점이 있다. 그러나 본 알고리즘은 영상의 노이즈에 대하여 크게 영향을 받지 않을 뿐만 아니라 시간대 변화에 따른 도로의 명암값(intensity or gray level)을 추정할 필요가 없다는 특징이 있다. 특히, 야간 영상인 경우 차량 헤드라이트로 인한 검지오류도 감소할 수가 있다.

본 논문에서 실험은 주간, 야간 각각 1개 차선의 80개 표본크기로 실험을 하였으며, 대기길이는 정지 대기길이(standing queue length)와 이동 대기길이(moving queue length)로 나누어 측정을 하였다. 그 결과 주간, 야간의 경우 정지 대기길이는 2.14%, 2.24%, 이동 대기길이는 2.59%, 2.74%의 오차율로 측정이 되었다.

Abstract

Measuring Traffic Queue Length Based on Wavelet Transformation

In this paper an algorithm is introduced. The algorithm detects vehicles in predetermined detection area based on wavelet transformation, and then measures traffic queue length at urban streets.

Previous approaches detect existence of vehicles in a cell by comparing current image and background image or identifying edges of approaching vehicles. The approaches are sensitive to noise and environmental effects such as rainy weather, unexpected changes of weather, snow, or reflection of strong sunbeams. To the contrary, the algorithm suggested in this paper does not suffer from noise, and furthermore, the algorithm needs not estimate possible changes of gray level in the roads with time transition. Especially, detection errors caused by headlight beam in night time can be drastically reduced in the algorithm.

In this research, experiments have been conducted with 80 sample data captured in daytime and

nighttime, respectively. The error rate for standing queue was 2.14% and 2.24% for daytime and nighttime, respectively. The error rate for moving queue was 2.59% and 2.74% for daytime and nighttime, respectively.

1. 서론

최근 국내외를 막론하고 교통부문에 있어서 유도식 루프 검지기(Inductive Loop Detector: ILD)가 주로 사용되어 왔다. 그러나 ILD는 차량이 통행하는 도로에 매설을 해야 하기 때문에 시공방법이나 유지 보수에 있어서 문제점이 있을 뿐만 아니라 활용할 수 있는 교통 정보가 교통량, 점유시간 및 비점유시간 수집에 한정되어 있기 때문에 여행시간(travel time) 예측등과 같은 다양한 정보를 제공할 수 없는 단점이 있다[1,2]. 따라서 ILD에 대한 대체 검지기로서 초음파(Ultrasonic)검지기, 초단파(Microwave)검지기, 영상(Image)검지기 등의 다양한 검지기가 설치되고 있다. 이중 영상검지기는 교통량과 점유시간(occupancy time) 및 비점유시간(non-occupancy time) 등을 계측할 수 있을 뿐만 아니라 이외에 대기길이, 차종구분(약 3-4종), 지점속도 등을 계측할 수 있으며, 아직은 미흡하지만 여행시간 및 여행속도(travel speed) 예측 등의 광역적 정보수집을 위한 연구도 이루어지고 있다.

영상처리를 통한 자동정보 수집장치에 관한 연구는 1970년대 초 미국과 일본에서 시작되었다[1]. 일본의 경우 최초의 연구는 동경대학교에서 시작이 되었고, 미국의 경우는 WADS(Wide Area Detection System)로 최초의 프로젝트가 실시되었다[1,3,4]. 영상검지기에서 대기길이를 측정하는 방법으로 기존의 방법들은 사전에 도로에 해당하는 명암값(intensity or brightness or gray-level) 정보를 획득 하여 이 명암값의 변화량이 임계값(threshold)보다 클 경우 차량을 검지하는 방법을 이용하였다. 그러나 이 방법은 노이즈에 매우 민감하여 정확도가 떨어지며, 시간이 낮 시간대에서 밤 시간대로 변할 경우 Kalman Filter 방법 등을 이용하여 도로의 명암값을 추정해야 하나[3], 이 추정 방법 역시 구름이 많이 있는 낮 시간대 같이 급격한 변화에 대해서는 추정값의 신뢰도가 떨어져 차량 검지의 정확도가 낮아질 수 있다. 특히, 야간인 경우 차량의 헤드라이트로 인하여 검지 오류의 발생은 매우 높게 나타나고 있다.

본 논문은 웨이블릿 변형(Wavelet Transform)을 이용하여 각 차선별 검지영역에 대하여 차량 검지(vehicle detection)를 하고, 검지된 영역 내에서 대기길이를 측정하는 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 영상을 주파수 영역(frequency domain)에서 영상처리를 하였기 때문에 공간영역(spatial domain)에서 처리하기 어려운 노이즈에 대하여 민감하지 않을 뿐만 아니라 시간대 변화에 따른 도로의 명암값을 추정할 필요가 없다는 특징이 있다. 특히, 야간 영상인 경우 차량 헤드라이트로 인한 대기길이 측정의 오류도 대폭 감소할

수가 있다.

본 논문에서 이용한 데이터는 도심 교차로를 대상으로 하였으며, 높이 11m의 Pole에 설치된 CCD 카메라로부터 수집된 영상데이터로써 IV-450Pro Grabber를 이용하여 240×320 해상도의 256 gray-level의 영상을 이용하였으며, 실험은 주간과 야간시간대로 나누어 대기길이를 측정하였다.

2. 기존의 연구

2.1 Wide Area Detection System(WADS)

WADS[2,3]는 미국에서 최초로 영상처리를 이용한 차량검지(vehicle detection), 차량 속도측정(vehicle velocity measurement) 및 차량의 추적(vehicle tracking)을 하기 위한 종합적인 교통정보제공시스템으로 이중 검지 영역에서의 차량 검지는 대기길이를 측정하기 위하여 필수적으로 필요한 기능이다. WADS에서 차량의 검지 알고리즘은 각 차선별로 수평방향으로 50픽셀을 하나의 라인으로 하여 5개 라인을 차량검지영역으로 하여 총 10개의 프레임 단위로 검색하였다. 즉, 첫번째 프레임에서 1+j 라인과 11번째 프레임의 6+j 라인 ($j=0,1,2,3,4$)을 검색하여 도로와의 차이가 어느 임계값을 초과할 경우에 차량을 검지 하도록 하는 방법이다. 이 시스템은 차량의 평균속도가 20km/h 이상의 속도로 접근하는 것을 가정하여 10 프레임 단위로 검색하였으며, 차량의 길이가 15m 이내라는 것을 가정하여 5 픽셀 단위로 나누어 검색하였다. 본 알고리즘을 식으로 표현하면 (식 1)과 같다.

$$V_D = \sum_{i=1}^{50} |R'_i - L_i| \quad (\text{식 1})$$

where, $R'_i = \omega R_i + (1-\omega)B_i$: new road estimate, $i=1,2,\dots,50$

L_i : brightness of pixel i for the incoming line.

(식 1)에서 R' 은 시간대별로 도로의 명암값을 추정하는 것으로 WADS에서는 $\omega=0.8$ 로 고정시켜 놓았으나 구름의 움직임에 따라 약간씩 조정할 수가 있다. WADS에서 임계값 T 는 시간대별 도로의 최소 변화량인 B_i 에 의해서 결정되며, 일반적으로 B_i 에 3배의 값으로 결정한다. 따라서 5개 라인중 하나의 라인을 제외한 나머지 라인에 대하여 $V_D > T$ 인 경우에는 차량을 검지한 것으로 판단한다.

2.2 일본에서의 연구

일본에서는 최초로 동경대학교(Univ. of Tokyo)에서 영상처리를 이용한 교통정보수집에 대한 연구가 진행되었다[2,3]. 이 시스템은 우선 도로에 대한 정보를 미리 수집한 후에 시간 t 의 변화에 따라 변화량이 있을 경우에 차량을 검지하는 방법이다. 즉, 도로 표면에 대한 명암값의 최대값 L_u 와 최소값 L_l 값을 결정한 뒤 t 번째 프레임의 n 번째 픽셀의 명암값을 $\mathbf{I}(n,t)$ 라 하면 이 \mathbf{I} 값에 따라 (식 2)와 같이 $p(n,t)$ 를 결정할 수 있다.

$$p(n,t) = \begin{cases} 1, & \mathbf{I}(n,t) > L_u \quad \text{or} \quad \mathbf{I}(n,t) < L_l \\ 0, & L_u > \mathbf{I}(n,t) > L_l \end{cases} \quad (\text{식 2})$$

(식 2)에서 $p(n,t)$ 가 결정이 되면 (식 3)과 같이 현재의 p 값과 시간 $t-1$ 시점에서의 차량 검지 유무와 비교하여 차량을 검지할 수가 있다.

$$\mathbf{P}(n,t) = \begin{cases} 1, & \mathbf{P}(n,t-1) = 0 \quad \text{and} \quad p = 1 \quad \text{for} \quad t - \Delta + 1 < \tau < t \\ 0, & \mathbf{P}(n,t-1) = 1 \quad \text{and} \quad p = 0 \quad \text{for} \quad t - \Delta + 1 < \tau < t \end{cases} \quad (\text{식 3})$$

여기서 τ 는 프레임 수를 의미하며 일반적으로 3~5 프레임 단위로 검색하였다. (식 3)에서 $\mathbf{P}=1$ 이면 차량을 검지한 것이고, $\mathbf{P}=0$ 면 차량을 검지하지 않은 것이다. 또한 도로 표면의 명암값은 시간대별로 추정을 하였는데 그 추정 방법은 (식 4)와 같다.

$$\text{if} \quad |\mathbf{I}(n,t-1) - \mathbf{I}(n,t)| < \alpha \quad \text{then}$$

$$\hat{\mathbf{I}}(n,t) = (1 - \varepsilon)\hat{\mathbf{I}}(n,t-1) + \varepsilon\mathbf{I}(n,t)$$

$$\text{if} \quad |\mathbf{I}(n,t-1) - \mathbf{I}(n,t)| > \alpha \quad \text{then}$$

$$\mathbf{I}(n,t) = \mathbf{I}(n,t-1) \quad (\text{식 4})$$

여기서, α 와 ε 는 경험적으로 결정하는 계수로써 일반적으로 $\alpha=1.5$ $\varepsilon=0.01$ 또는 0.02의 값을 주는데 WADS의 $(1-\omega)$ 값과 같다.

2.3 그 이외의 연구

Tokai 대학의 Iwasaki[6]는 도로를 일정하게 30m 씩 나누어 검지영역을 설정하고, 이 검지 영역 내에서 Sobel 마스크를 이용하여 윤곽선 추출(edge detection)을 하고, 명암값의 히스토그램을 통하여 차량을 검지하는 방법을 제

안하였다. 즉, 차량이 존재할 경우에 명암값의 히스토그램 분포를 보면 255의 값의 분포가 많은 반면에 차량이 존재하지 않을 경우에는 명암값의 히스토그램 분포가 0부터 50 사이에 분포되어 있기 때문에 차량을 검지할 수가 있다. (식 5)는 검지 영역 내에서 차량을 검지하기 위한 기준을 표현하고 있다.

$$P_i \geq T_i \quad \text{and} \quad P_{i-255} \neq 0 \quad (\text{식 5})$$

여기서, P_i 는 영역 i 에서의 에지부분의 픽셀수이고 T_i 는 영역 i 에서의 임계값이며, P_{i-255} 는 영역 i 에서 명암값 255인 픽셀수를 의미한다.

교차로에서 150m와 250m의 검지영역을 대상으로 실험을 한 결과 날씨 변화에 관계없이 95%이상의 정확도로 대기길이가 측정되었다고 발표하였다.

M. Higashikubo *et. al.* [7]는 SPITS(Spatial Image processing Traffic flow Sensor)를 제안하였다. 이 알고리즘은 이미지 처리를 통하여 교통량, 속도, 차종, 대기길이 등 종합적인 교통 정보를 수집하는 시스템으로 그 중 대기길이를 특정하기 위하여 검지영역 내에 표본점(sampled point)를 설정하고, 이 표본점에 대한 시간 차이(time difference), 배경차이(background different), 공간차이(spatial different)의 처리를 함으로써 차량을 검지하였다. 여기서 시간차이는 이동차량(moving vehicles)을 검지하기 위한 방법이고, 배경차이는 차량을 추출하기 위한 방법이며, 공간차이는 차량의 윤곽선을 추출하기 위한 방법이다. 이중 배경차이에 의해서 차량을 추출하기 위해서는 배경정보 즉, 도로정보에 대한 시간대별로 수정이 필요하며, 공간차이에 의한 윤곽선 추출에 대해서는 도로의 방향 표시등과 같은 노이즈에 크게 영향을 받는다.

3. 웨이블릿을 이용한 차량 검지 알고리즘

3.1 웨이블릿 변형(Wavelet Transforms)

이산 웨이블릿 변형(Discrete Wavelet Transforms)는 입력신호를 Approximation 정보와 Detail 정보로 나누어 분석할 수 있도록 주파수 영역으로 변환하여 주는 방법이다[8]. 본 논문에서 이용한 웨이블릿 변형은 이미지를 분해(decomposition)할 때의 필터와 복원(reconstruction)할 때의 필터가 다른 biorthogonal 웨이블릿으로 그 내용은 다음과 같다.

선형벡터공간(linear vector space)가 $\dots, V_1 \subset V_0 \subset V_{-1}, \dots$ 로 구성되어 있고,

$f(x, y), (1 \leq x \leq X, 1 \leq y \leq Y)$ 를 좌표 $X \times Y$ 크기의 이미지라고 할 때 벡터공간 V_0

에서 $f(x, y)$ 는 (식 6)과 같이 표현할 수가 있다[9].

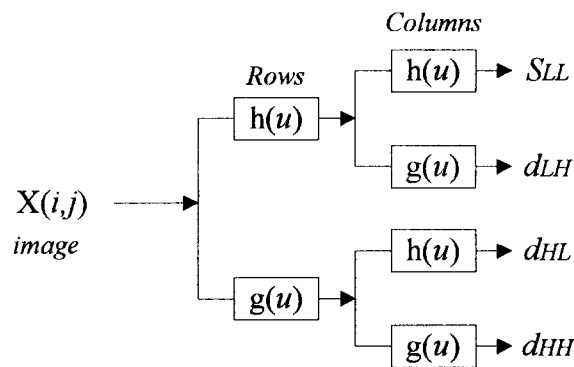
$$f(x, y) = \sum_n \sum_p a_0(n, p) \phi(x-n) \phi(y-p) + \sum_n \sum_p b_0(n, p) \phi(x-n) \psi(y-p) + \sum_n \sum_p c_0(n, p) \psi(x-n) \phi(y-p) + \sum_n \sum_p d_0(n, p) \psi(x-n) \psi(y-p) \quad (\text{식 6})$$

where, $\phi(\cdot), \psi(\cdot)$: scaling function.

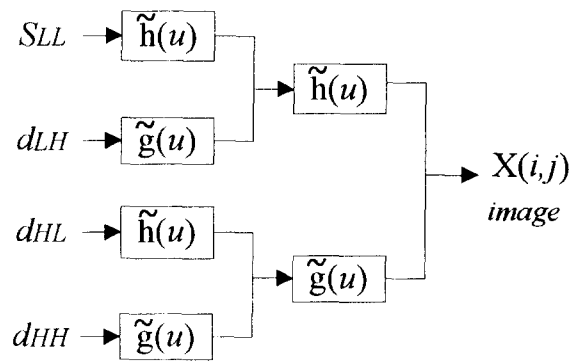
$$\begin{aligned} \langle f(x, y) \cdot \phi(x-n) \phi(y-p) \rangle &= 0, & \langle f(x, y) \cdot \phi(x-n) \psi(y-p) \rangle &= 0 \\ \langle f(x, y) \cdot \psi(x-n) \phi(y-p) \rangle &= 0, & \langle f(x, y) \cdot \psi(x-n) \psi(y-p) \rangle &= 0 \end{aligned}$$

여기서, approximation 에 해당하는 $a_0(n, p)$ 는 이미지를 x 방향, y 방향으로 각각 저주파필터(lowpass filter), $h(u)$ 를 곱하여 downsampling 을 한 계수이고, details 에 해당하는 $b_0(n, p)$ 는 x 방향으로 고주파 필터(highpass filter), $g(u)$ 를 곱하고, y 방향으로 $h(u)$ 를 곱하여 나온 계수이다. $c_0(n, p)$ 는 x 방향으로 $h(u)$ 를 곱하고, y 방향으로 $g(u)$ 를 곱하여 나온 계수이며, $d_0(n, p)$ 는 x, y 방향 모두 $g(u)$ 를 곱하여 나온 계수이다.

또한 웨이블릿 계수에 $\tilde{h}(u)$ 와 $\tilde{g}(u)$ 를 곱하여 원래의 이미지를 복원할 수가 있다. 이를 그림으로 표현하면 (그림 1)과 같다[10].



a) 분해(Decomposition)



b) 복원(Reconstruction)

(그림 1) Biorthogonal 웨이블릿 변형의 필터뱅크

3.2 차량검지 알고리즘

본 논문은 교차로의 각 차선별로 검지영역을 설정하여(교차로에서 약 120m 후방) 그림 2 와 같이 검지영역을 N 개의 cell 로 나누었으며, 이 cell 단위로 웨이블릿 변형을 하여 차량을 검지하였다.



(그림 2) 검지역역 설정

각 cell 의 크기는 교차로의 원근에 따라 그 크기가 다르므로 일정한 크기로 정규화를 시켰으며, 이 정규화된 영상을 웨이블릿 변형을 하였다. cell 내에 차량을 검지하기 위하여 본 연구에서는 식 7, 식 8 과 같이 x,y 방향으로 각각 고주파 필터인 $g(u)$ 를 곱하여 d_{HH} 를 구한 다음 이 d_{HH} 부분만 $\tilde{g}(u)$ 를 곱하여 복원을 하였다.

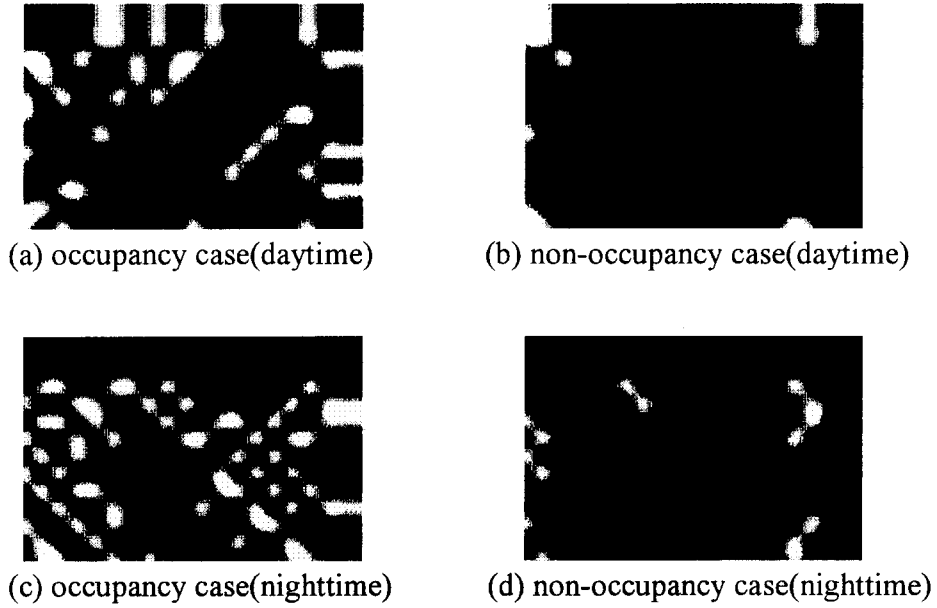
$$d_{HH}(x', y') = \sum_y \sum_x f(x, y) g(u) g(u) \quad (\text{식 7})$$

: decomposition of diagonal detail

$$f_D(x, y) = \sum_x \sum_y d_{HH}(x, y) \tilde{g}(u) \tilde{g}(u) \quad (\text{식 8})$$

: reconstruction of dialonal detail.

그림 3.은 하나의 cell 내에 차량이 점유하고 있는 경우와 검지하지 않은 경우의 웨이블릿 변형을 한 후 diagonal 부분만을 다시 복원한 결과이다.



(그림 3) 검지영역 점유상태와 비점유상태의 웨이블릿 변형 패턴
Fig. 3 Pattern of occupancy and non-occupancy case

그림 3 의 결과로 식 9 와 같이 cell 내의 차량을 검지하였다.

$$D_i = \begin{cases} 1, & \text{if } N_i \geq \theta, \text{ VehicleDetect} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{식 9})$$

여기서, D_i : i 번째 cell 에서의 차량 검지 여부

N_i : i 번째 cell 내에서 명암값 200 이상인 픽셀 수

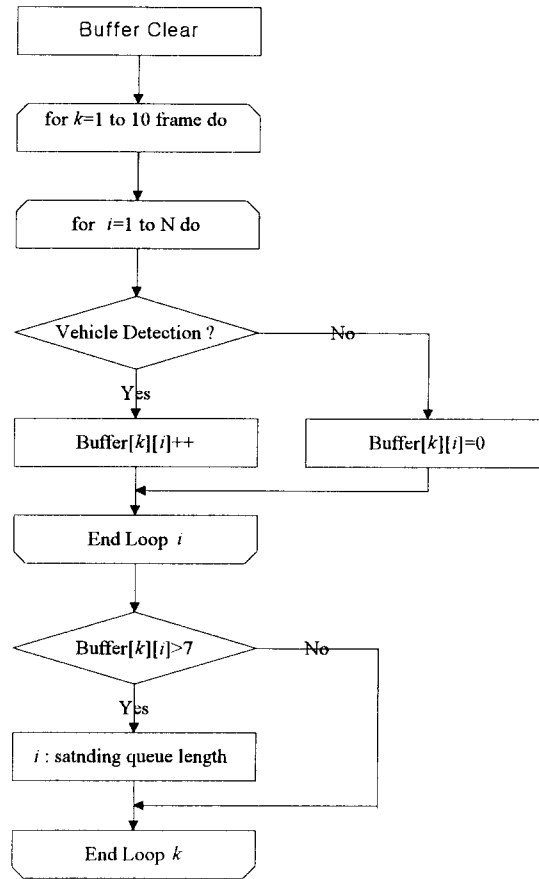
θ : 임계값

4. 도심교차로에서의 대기길이 측정 알고리즘

본 연구에서 대기열의 속성을 정지대기길이(*standing queue length*)와 이동 대기길이(*moving queue length*)로 나누어 측정하였다. 정지대기길이는 주행신호(파란불)가 들어오기 전까지 차량이 대기하고 있는 길이의 최대지점을 설정하는 것이고, 이동 대기길이는 주행신호가 들어왔을 때 교차로의 차량주행이 시작되는 길이를 측정하는 방법이다. 이 두 가지 방법 모두 프레임 단위로 판단하였다.

4.1 정지대기길이 측정(*Standing Queue Length Measurement*)

정지 대기길이는 10 개의 프레임 별로 판단을 하였다. 즉, 각 프레임별로 N 개의 cell 에 대하여 차량을 검지하여 차량이 검지 되었으면 $buffer_k[i]=1(on)$, (여기서, $1 \leq i \leq cell$ 의 수, $1 \leq k \leq 10 frames$)로 하고, 점유가 안되었으면, $buffer_k[i]=0(off)$ 로 하여, 정지 차량에 대한 대기길이를 측정하였으며, 다음 10 개 프레임 영상에서도 같은 방법으로 반복하여 수행한다. 여기서 같은 cell 에 대하여 10 개 프레임 중 7 개 프레임에서 차량이 검지 되었으면 해당 cell 은 차량이 점유하고 있는 것으로 판단하며, N 개의 cell 을 모두 검색하여 차량이 검지 된 cell 까지를 정지대기길 이로 설정한다. 정지 대기길이 측정 절차는 그림 4 와 같다.

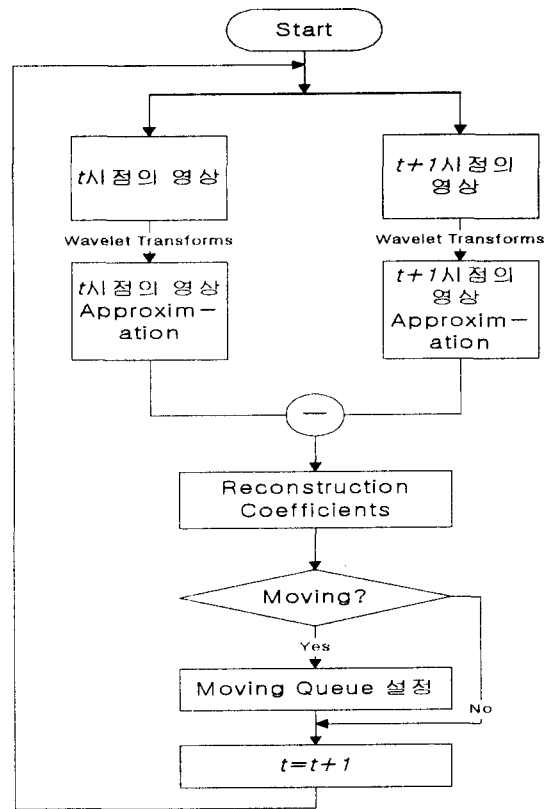


(그림 4) 정지대기길이 측정

4.2 이동 대기길이 측정(Moving Queue Length Measurement)

이동 대기길이는 cell 내의 차량의 점유정보를 기반으로 하여 이동정보가 있는지를 한번 더 판단해 주어야 한다. 이동정보는 프레임별 차영상(difference image)을 구한 후 이 차영상의 범위가 임계값을 초과할 경우에는 차량이 주행하고 있다고 판단하고, 주행하고 있는 차량까지 이동대기길이를 설정한다.

본 논문에서 차영상은 노이즈에 대한 영향을 줄이기 위하여 웨이블릿 변형을 한 다음 Approximation 부분에 대한 계수의 차를 구한 다음 이 계수를 복원하여 차영상을 구하였다. 이동 대기길이 측정 방법은 그림 5와 같다.

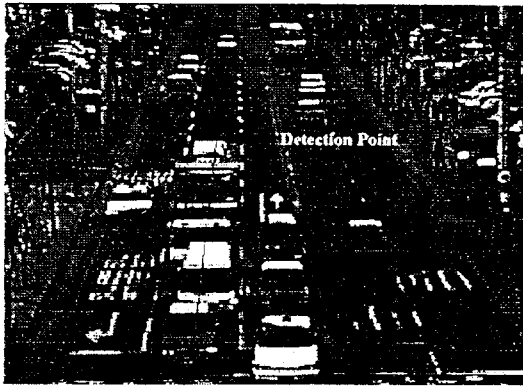


(그림 5) 이동 대기길이 측정 절차

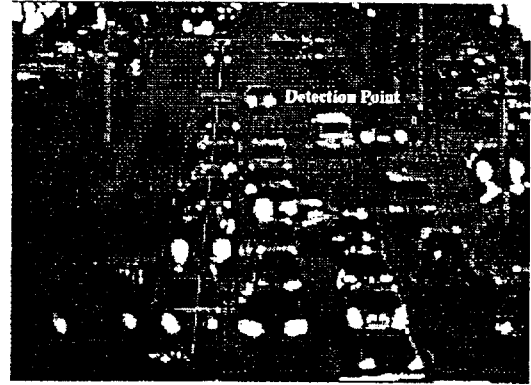
5. 실험 및 결과분석

본 논문은 아주대학교 입구 11m 높이의 pole 에 설치된 CCD 카메라로부터 수집된 영상데이터로써 IV-450Pro Grabber 를 이용하여 240x320 해상도, 256 명암값의 영상을 이용하였고, Visual C++로 영상처리를 하였다. 차선은 1 개 차선을 대상으로 하였고, 차선별 cell 은 15 개로 나누었으며, 총 측정길이는 약 120m 로 하였고, 측정 시간대는 주간과 야간으로 나누어 측정하였다.

정지대기길이 측정은 정지신호가 들어온 후 차량이 신호대기하고 있는 최대대기길이를 기준으로 하였으며, 이동대기길이는 정지신호에서 주행신호로 바뀐 후 주행을 시작하는 차량의 최대대기길이를 기준으로 한 것으로 (그림 6)은 정지대기길이의 결과를 나타내고 있다.



(a) 주 간



(b) 야 간

(그림 6) 정지 대기길이 측정 결과

대기길이 측정 평가는 실제 육안으로 확인한 관측값과 본 알고리즘에서 계산된 측정값에 대한 오차율로 비교하였다. 오차율은 식 10에 의하여 산출하였다.

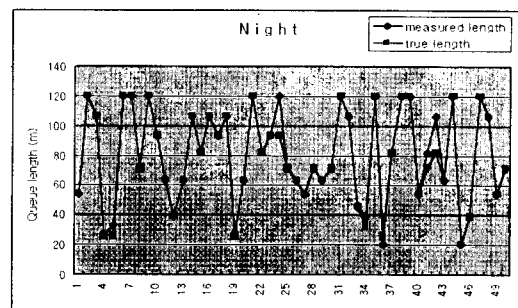
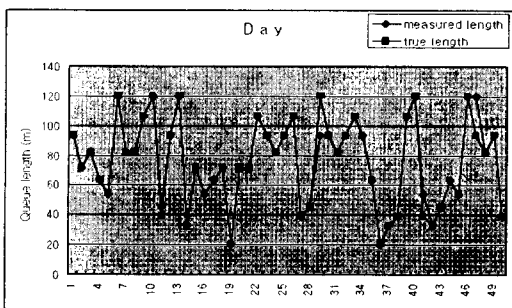
$$\text{오차율(\%)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|v_i - v_m|}{v_i} \times 100 \quad (\text{식 } 10)$$

여기서, v_i : observed queue length.

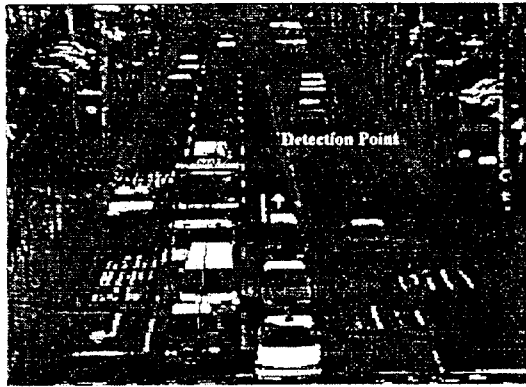
v_m : measured queue length.

n : number of sample point.

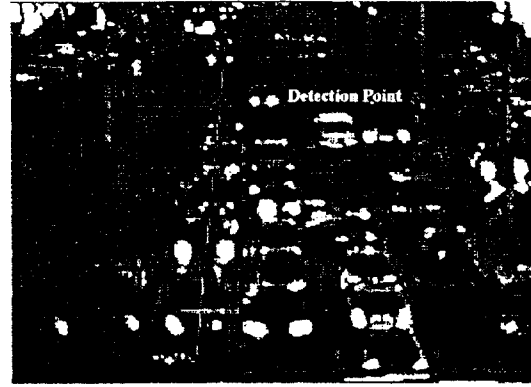
(그림 7)은 80개의 표본을 추출하여 정지대기길이와 이동대기길이의 관측값과 실제 측정값을 비교한 그래프이다.



(a) 정지 대기길이



(a) 주간



(b) 야간

(그림 6) 정지 대기길이 측정 결과

대기길이 측정 평가는 실제 육안으로 확인한 관측값과 본 알고리즘에서 계산된 측정값에 대한 오차율로 비교하였다. 오차율은 식 10에 의하여 산출하였다.

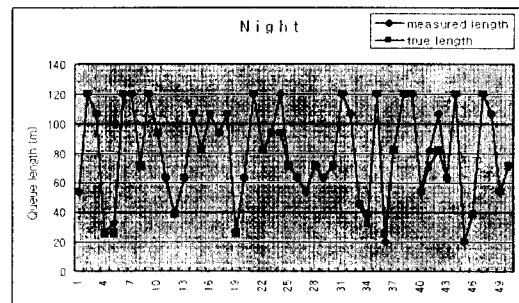
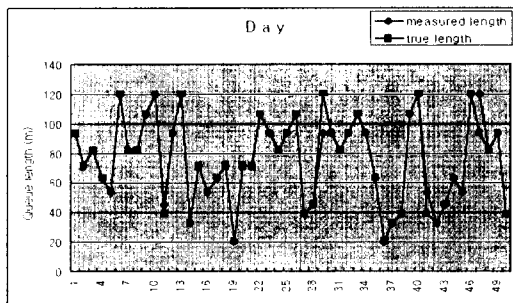
$$\text{오차율}(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|v_i - v_m|}{v_i} \times 100 \quad (\text{식 } 10)$$

여기서, v_i : observed queue length.

v_m : measured queue length.

n : number of sample point.

(그림 7)은 80개의 표본을 추출하여 정지대기길이와 이동대기길이의 관측값과 실제 측정값을 비교한 그래프이다.



(a) 정지 대기길이

6. 결론

최근까지 교통정보를 수집하기 위하여 널리 사용된 검지기는 ILD (Inductive Loop Detector)이다. 그러나 ILD는 설치 및 유지 보수에 있어서 효율성이 떨어지기 때문에 초음파 검지기, 적외선 검지기, 영상 검지기 등의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문은 영상검지기를 이용하여 대기길이를 측정하는 데 있어서 기존의 윤곽선추출방법이나 배경정보 차이(background difference), 공간정보 차이(spatial difference)방법을 이용한 것이 아니라 웨이블릿 변형을 이용하여 대기길이를 측정하는 방법을 제안하였다. 본 논문의 특징으로는 다음과 같다.

첫째, 공간영역에서 전처리를 하지 않고, 주파수 영역에서 전처리를 하여 특징을 추출 하였기 때문에 영상의 노이즈에 크게 영향을 받지 않는다.

둘째, 기존의 방법은 야간 영상인 경우 주간에 결정된 모든 파라미터를 조정하여 주어야 하나 본 알고리즘은 주간에 적용한 파라미터를 그대로 야간에도 적용하여 차량을 검지할 수가 있다.

셋째, 특히 야간인 경우 차량의 헤드라이트에 크게 영향을 받아 차량 검지에 있어서 오차가 많이 발생하나 본 알고리즘은 차량 헤드라이트에 크게 영향을 받지 않는다.

본 알고리즘은 맑은 날씨의 영상만을 대상으로 실험을 하였으나 그 적용 범위를 비오는 날씨나 또는 눈 오는 날씨와 같이 악천후 조건에서도 적용할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 오영태, 조형기, 정의환, “영상처리를 이용한 여행시간 및 속도계측 알고리즘 개발,” 대한교통학회지, Vol. 14, No. 4, 1996, pp.107-129.
2. 조형기, 정의환, 이승환, “영상처리 기반의 Voting Technique 을 이용한 대기 길이 계측 알고리즘의 개발,” 대한교통학회지, Vol. 16, No. 3, 1998, pp.113-121.
3. R. M. Inigo, "Traffic Monitoring and Control using Machine Vision: A Survey," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. IE-32, No. 3, Aug. 1985, pp.177-185
4. R. M. Inigo, “Application of Machine Vision to Traffic monitoring and Control,” *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 38, Aug., 1989, pp.112-122.
5. S. Gil, R. Milanese and T. Pun, “Comparing Features for Target Tracking in Traffic Scenes,” *Pattern Recognition*, Vol. 29, No. 8, 1996, pp.1285-1296.
6. Y. Iwasaki, “A Measurement System for Vehicular Queue Lengths by using Image Processing,” *3rd Annual World Congress on Intelligent Transport System*, Orland, USA., Oct., 1996.
7. M.Higashikubo, T. Hinenoya, K. Takeuchi, “Traffic Queue Length Measurement using an Image Processing Sensor,” *3rd Annual World Congress on Intelligent Transport System*, Orland, USA., Oct., 1996.
8. R. Polika, “The Engineer’s Ultimate Guide to Wavelet Analysis - The Wavelet Tutorial,” <http://www.public.iastate.edu/~rpolikar/WAVELETS/WTpart4.html>
9. R.M. Rao, A.S. Bopardikar, “Wavelet Transforms - Introduction to Theory and application,” Addison Wesley Longman Inc., 1998.
10. R. N. Strickland, H. I. Hahn, “Wavelet Transform Methods for Object Detection and recovery,” *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, No. 5, May, 1997, pp.724-735.