

비전 기반의 실시간 대기오염 모니터링 시스템 개발

신윤희*, 정진우*, 유대원**, 박동수**, 김은이*, 우정현*, 임상범*, 주진선*
*건국대학교

**LG 전자 Mobile Communication 사업부
e-mail: ninharsa@konkuk.ac.kr

Vision-based Real-Time Traffic Emission Monitoring System

Jinwoo Jung*, Daewon Yoo**, Dongsoo Park**, Yunhee Shin*, Eun Yi Kim*,
Jung-Hun Woo* and Sang-Beom Lim*
*Konkuk University

**Dept of Mobile Communication, LG Electronics Inc.

요 약

본 논문에서는 비전 기반의 실시간 대기오염 모니터링 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 먼저 실시간으로 제공되는 동영상을 분석하여 차종 별 대수와 평균속도 등의 교통 파라미터를 실시간으로 추출하고, 이를 바탕으로 대기 중의 CO, NO2 등의 밀도를 추정하여 시간대별 대기 오염도를 모니터링 한다. 이를 위해 제안된 시스템은 배경모델을 이용한 차량 추출, 차종 별 윤곽선 및 크기 정보를 이용하여 템플릿 기반으로 차종을 인식하고 이를 추적하여 대수 및 속도를 인식한다. 제안된 시스템의 평가를 위해 교통이 밀집된 공간에 설치하여 테스트하였고, 실제 결과와 비교한 결과, 차량 속도에서 정확도 83.3%, 차종인식에서 정확도 86.98%를 보였다. 이러한 실험 결과는 제안된 시스템이 다양한 지역에서 실시간 대기오염물질 배출량을 산정하는데 적용될 수 있음을 보여주었다.

1. 서론

최근 세계적으로 '저탄소 녹색성장'의 이슈가 대두됨에 따라 적극적으로 환경오염에 의한 피해를 예방하고 이를 저감할 수 있는 구체적인 대안 모색이 요구되고 있다. 특히, 대도시에서 이동오염원에 의한 대기오염의 심각성이 날로 증가하고 있어 이로부터 발생하는 대기 오염량을 실시간으로 산정하여 이들이 대기오염에 미치는 영향을 파악할 수 있는 기술이 필요한 실정이다 [1-2].

현재, 대기오염물질의 배출량 산정은 국가 또는 지자체 별로 연간 취합되는 통계자료를 기반으로 하고 있는데, 이 정보는 주기적인 산출을 통해 얻어지기 때문에 실시간으로 다양하게 변화하는 오염배출을 상세하게 산정하기에는 다소 무리가 있다. 또한 기존의 대기환경측정은 고가의 대형장비가 필요하고, 고지대 등의 설치에 어려움이 따르며, 지속적으로 많은 유지관리 인원과 비용이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 현재의 방식보다 빠르고 더 적은 비용을 사용하여 대기오염물질을 실시간으로 산출할 수 있는 새로운 산정 방법이 필요하다.

이에 따라, 본 논문에서는 웹 카메라를 통해 얻어진 영상을 분석하여 차종 별 대수 및 속도를 자동으로 실측하고, 이를 기반 하여 실시간으로 대기오염물질의 배출량을 산정할 수 있는 비전 기반의 실시간 대기오염 모니터링 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 카메라로부터 얻어진

도로 영상의 실시간 영상을 분석하여 평균 속도 및 차종 별 대수 등의 교통 정보를 실시간으로 추출한 후 교통량에 따라 발생하는 시간대별 대기 오염도를 산정한다. 제안된 시스템의 평가를 위해 교통이 밀집된 공간에 설치하여 테스트하였고, 실제 결과와 비교한 결과, 차량 속도에서 정확도 83.3%, 차종인식에서 정확도 86.98%를 보였다. 실험자가 직접 차종 별 대수를 측정하여 약 10%의 오차가 발생한 것을 감안했을 때, 이러한 실험 결과는 제안된 시스템이 다양한 지역에서 실시간 대기오염물질 배출량을 산정하는데 적용될 수 있음을 보여주었다.

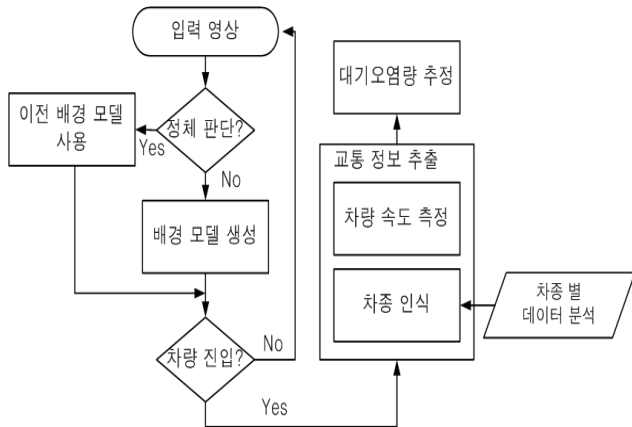
2. 제안된 시스템

제안된 시스템은 카메라로부터 얻어진 실시간 도로 영상을 분석하여 차량의 차종 및 속도, 밀도를 추정하고, 추출된 교통 파라미터를 바탕으로 시간대별 대기 오염도를 추정한다. 그림 1은 제안된 시스템의 구조도이다.

2.1 배경모델 생성

본 논문에서 배경색을 추정하기 위해 일정 구간 내 연속된 프레임에 관찰한다. 충분한 프레임이 제공되는 경우, 관찰하는 프레임에서 각 픽셀별로 가장 빈번히 나타나는 색상을 배경색으로 선택하여 차량의 유무에 관계없이 배경 영상을 추정할 수 있다 [3]. 이를 이용하여 다음과 같

이 배경 모델 $B(I)$ 를 생성한다.



(그림 1) 제안된 시스템의 구조도

Background $B(I) = [B_R(I), B_G(I), B_B(I)]$

$$\begin{aligned} B_R(I) &= [m_r(1), m_r(2), \dots, m_r(m \times n)] \\ B_G(I) &= [m_g(1), m_g(2), \dots, m_g(m \times n)] \\ B_B(I) &= [m_b(1), m_b(2), \dots, m_b(m \times n)] \\ m(p) &= \arg \max_x H(x, p) \end{aligned} \quad (1)$$

배경모델 $B(I)$ 는 각 RGB 색상 차원에 따라 $B_R(I)$, $B_G(I)$, $B_B(I)$ 로 구성되며, 색상 벡터의 구성 요소인 $m(p)$ 는 각 색상 벡터 내 p 번째 화소 값을 나타낸다. $H(x, p)$ 은 p 번째 화소에 대한 히스토그램 분포이며 식 (1)에 의해 가장 높은 빈도수를 가진 화소 값을 $m(p)$ 으로 반환한다. 따라서 제안된 방법은 지속적인 배경 모델의 갱신을 통해 조명 변화나 카메라에 의한 갑작스런 색감 변화 등의 외부 변수에 적응성을 가진다.

그러나 지속적인 배경 모델의 갱신 방법은 도로 상황이 정체 상황인 경우, 정체된 차량들이 배경 모델로 갱신되는 문제가 발생한다. 이를 방지하기 위해 측정 시간 당 도로의 차량 점유율을 적용한다.

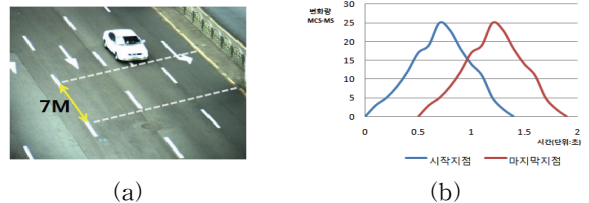
$$D = \frac{\sum_{i=0}^F f_i}{F} \times 100, \quad f_i = \begin{cases} 1; & g_i \geq \theta \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases}$$

점유율 D 는 총 측정된 F 개의 프레임 동안 차량에 의해서 가려진 시간으로 계산되는데 입력 영상과 배경 모델과의 색상 차이 g 가 임계값 θ 을 초과한 시간으로 정의한다. 점유율이 50% 이상인 상태로 30 프레임 이상 연속으로 감지되는 경우 차량이 정체된 것으로 판단하며, 정체 상황으로 판단된 경우 배경 모델을 갱신시키지 않고 정체의 배경 모델을 사용한다.

2.2 차량 속도 측정

차량 속도는 배경 모델과 입력 영상의 샘플링 지점에서의 색상 차이의 변화에 의해 추정된다[3]. 이를 위해, 본 연구에서는 그림 2(a)와 같이 입력 영상에서 속도측정을

위한 2 개의 구간을 설정하고 이 구간에서 배경색과의 차이를 보이는 순간을 차량 진입 순간으로 정의한다. 이 두 개의 구간에 대하여 각각 그래프로 나타내면 그림 2(b)와 같이 일정한 시간차를 가지고 비슷한 모양으로 변하는 그래프를 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 시간 t 와 $t+\Delta$ 일 때의 색상 변화를 비교하여 차량의 속도를 추정하였으며, 두 개의 일련의 색상 변화 값 사이의 상관계수를 계산하여 가장 큰 값을 보이는 K 값을 이동량으로 결정한다.



(그림 2) 속도 측정: (a)속도 측정 구간, (b) 두 구간에서의 색상 변화

시간 t 와 $t+\Delta$ 때의 프레임의 두 구간을 각각 f 와 g 라고 할 때, 두 구간의 상관계수는 식 (2)를 통해 구할 수 있으며, 가장 큰 값을 보이는 상관계수의 K 값을 이동량으로 선택한다.

$$C_k = \frac{\sum_{t=0}^n (f_t - \bar{f}) \cdot (g_{t+k} - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{t=0}^n (f_t - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{t=0}^n (g_{t+k} - \bar{g})^2}} \quad (2)$$

$$K = \arg \max_k C_k$$

이를 이용하여 차량의 진입 순간부터 차량이 지나가는 데 소요된 시간을 계산하였으며, 이 시간을 통해 다음과 같이 차량 속도 V 를 측정한다.

$$V = \frac{L}{K \cdot R}$$

이때, L 은 f 와 g 의 거리 차이이며, R 은 샘플링된 프레임 수를 나타낸다.

2.3 차종 별 인식 및 대수 검출

2.3.1 차량 검출

차종을 인식하기 위해 먼저 영상에서의 차량 영역 검출이 필요하다. 차량의 진입이 감지되면 현재 프레임과 배경 모델의 색상 차이를 이용하여 차량 객체를 검출한다. 현재 프레임의 i 행, j 열 화소의 R,G,B값을 각각 $N_R(i,j)$, $N_G(i,j)$, $N_B(i,j)$ 라고 정의하고 배경모델도 같은 방식으로 각각 $B_R(i,j)$, $B_G(i,j)$, $B_B(i,j)$ 로 정의한다. 실험을 통해 얻은 임계값을 T 라고 정의하면 연산 식은 다음과 같다.

$$(N_R(i, j) - B_R(i, j))^2 > T$$

$$(N_G(i, j) - B_G(i, j))^2 > T$$

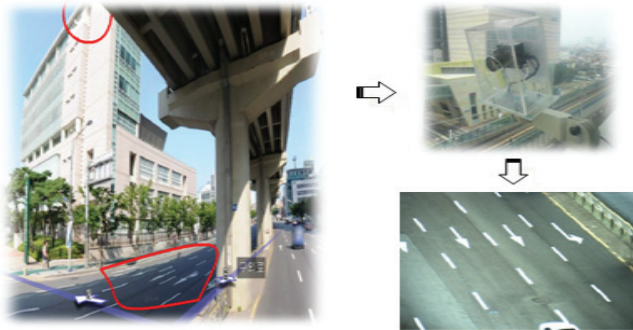
$$(N_B(i, j) - B_B(i, j))^2 > T$$

두 화소의 색상 차이는 두 화소의 RGB 값의 유클리디

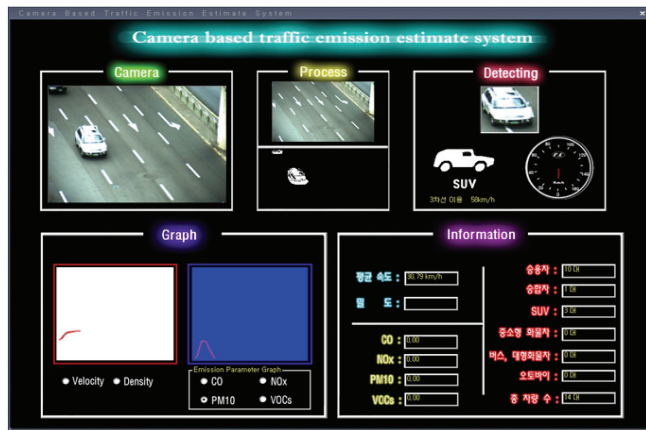
배출량 산정방법이 자동차 주행이 아닌 연료소비량을 기반으로 하고 있어, 본 연구의 방법론과 상이하여 추후에 고려하기로 하였다. 이를 이용하여 대기오염물질 배출량을 산정하며 대기오염물질 배출량을 산출할 때 차종별 차량 주행거리는 각 차종별로 총 주행거리를 식(3)을 사용하여 계산한다.

3. 실험 및 결과

제안된 시스템을 평가하기 위해 건국대학교 캠퍼스를 중심으로 한 약 2km×2km 지역을 대상지역으로 선정하여, 2009년 11월 18일, 19일, 20일 오전 10시~11시, 오후 4시~5시 까지 카메라로 촬영한 영상을 초당 10프레임으로 샘플링하였다. 그림 6은 이러한 실험 환경과 샘플링된 입력 영상을 보여준다.



<그림 6> 실험 장소 및 입력 영상의 예제



<그림 9> 실제 프로그램 구동 화면

본 논문에서는 카메라로부터 얻어진 입력 시퀀스로부터 차종별 교통량과 통과 속도를 자동으로 추정함으로써 대상도로의 시간대별 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 그림 7은 실제 제안된 시스템의 인터페이스를 보여준다. 그림 7에서 보이듯이, 인터페이스의 상단에는 입력 영상과 입력 영상에서 추출된 교통 파라미터를 보여주며 하단에는 이들을 기반으로 산정된 시간대별 대기오염물질 배출량을 보여준다.

표 2-3은 제안된 시스템에서 측정된 차량 평균 속도와 차종별 대수 인식률을 보여준다.

<표 2> 차량 속도 결과 (Unit : km/h)

	측정 속도	실제 속도	오차
11월 18일	46.69	58.5	-11.81
11월 19일	48.25	54.67	-6.42
11월 20일	44.2	52.8	-8.60

<표 3> 차종 별 대수 인식 결과 (Unit : 대)

	측정 차량 수	실제 차량 수	인식률(%)
승용차	1018	1235	82.43
승합차	426	492	86.59
승합차(대형)	10	11	90.91
화물차(경차)	267	302	88.41
이륜차	213	246	86.59
통합	1934	2286	86.98

제안된 시스템의 관측 결과와 실제 결과를 비교했을 때, 차량 속도에서 정확도 83.3%, 차종 별 대수 인식에서 정확도 86.98%를 보였다. 실험 결과, 차량의 그림자 발생으로 실제 차량 윤곽선의 검출이 어려워 차종 인식의 정확도가 다소 감소하였는데, 향후 그림자 제거를 통해 차종 인식의 정확도가 향상될 것으로 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 비전 기반의 실시간 대기오염 모니터링 시스템을 제안하였다. 카메라를 통해 입력된 실시간 영상으로부터 차량의 속도, 차종 별 차량의 수와 같은 실시간 교통 정보를 추출하여 시간대별 대기오염 물질의 양을 추정할 수 있다. 본 논문에서 제시된 방법들은 다양한 시간대와 날씨에서 테스트를 거쳤으며 주변 환경에 영향을 받지 않고 안정적인 결과를 나타내 주었다. 이에 따라, 제안된 시스템을 사용하여 설치에 제한이 있는 고가의 센서장비를 카메라로 대체하여 다양한 지역의 대기오염물질 배출량을 실시간으로 파악할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] 환경부 수도권대기환경청, 수도권 대기환경정보, 2006.
- [2] 국립환경과학원, 수도권대기환경특별대책의 평가 및 사후관리방안 지침(안), 2006.
- [3] S. Park, K. Jung, J. Hea, and H. Kim, "Vision-based Traffic Surveillance System on the Internet", ICCIMA, 1999, pp. 201-206.
- [4] Y. Shin, J. Ju, E. Kim, "Welfare interface implementation using multiple facial features tracking for the disabled people", PRL, 2008, pp. 1784-1796.
- [5] T. Chan, L. Vese, "Active Contour without edges", IEEE Tran. Image Processing, 2001, pp. 266-277.
- [6] 환경부, 수도권 지역 배출총량관리제 추진방안, 2004.