

웨이브렛 영역에서의 질감 유사성을 이용한 차량검지 및 차종분류

정회원 임채환*, 박종선**, 이창섭**, 김남철*

Vehicle Detection and Classification Using Textural Similarity in Wavelet Domain

Chae Whan Lim*, Jon Sun Park**, Chang Sup Lee**, Nam Chul Kim* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 간단히 한국통신학회본 논문에서는 웨이브렛 영역에서의 질감 유사성을 특징으로 사용함으로써 프레임 간의 급격한 밝기변화에 강건한 특성을 가지는 톨게이트 과금을 위한 차량검지 및 차종분류 알고리즘을 제안하였다. 질감의 유사성을 나타내는 특징으로는 웨이브렛 변환된 입력영상과 배경영상 간의 국부상관계수를 이용하였다. 기존의 차량검지에서 사용되었던 특징인 차영상에 대한 분산과 비교하여 제안된 특징의 유용성을 정성적으로 분석하였으며, 실제 테스트 영상에 대하여 차량과 그림자가 관측되거나 관측되지 않는 도로와의 구분 용이성 정도를 측정함으로써 제안된 특징의 우수성을 보인다. 현장 테스트에 의한 실험 결과는 제안된 차량검지 및 차종분류 알고리즘이 센서의 특성과 그림자의 발생에 의한 프레임 간의 급격한 밝기변화와 같은 상황하에서도 매우 안정적이며 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

We propose an efficient vehicle detection and classification algorithm for an electronic toll collection using the feature which is robust to abrupt intensity change between consecutive frames. The local correlation coefficient between wavelet transformed input and reference images is used as such a feature, which takes advantage of textural similarity. The usefulness of the proposed feature is analyzed qualitatively by comparing the feature with the local variance of a difference image, and is verified by measuring the improvements in the separability of vehicle from shadowy or shadowless road for a real test image. Experimental results from field tests show that the proposed vehicle detection and classification algorithm performs well even under abrupt intensity change due to the characteristics of sensor and occurrence of shadow.

I. 서론

세계적으로 대도시 교통문제는 심각한 사회 문제로 대두되고 있고 이의 해결을 위해 정책적인 분야, 기술적인 분야 등의 다양한 분야에서 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 전자공학의 급속한 발전은 고속 처리 컴퓨터, 대량의 저장매체, 고속의 데이터

통신, 다양한 영상 신호처리 기술의 출현을 가능하게 했고 이러한 첨단기술은 80년대 말 미국, 일본 및 유럽과 같은 몇몇 선진국들로 하여금 대도시 교통문제의 해결책을 제시할 수 있는 ITS(intelligent transportation system) 프로젝트의 시작을 촉발하였다^[1-5]. 이러한 ITS 프로젝트하에서 자동화 및 지능화된 교통관제를 위해 도로교통정보 추출에 대한

* 경북대학교 전자공학과 영상통신연구실(cwlim@vcl.kyungpook.ac.kr, nckim@ee.kyungpook.ac.kr) ** LG전자
논문번호 : 99028-0128, 접수일자 : 1999년 1월 28일

※ 본 연구는 삼성전자 위탁연구과제 지원으로 수행되었습니다.

다양한 연구가 실행되었다^[6-12,16-20]. 도로교통정보를 추출하기 위해 자기장 변화를 감지하는 루프 검지기^[2,3,9], 압력을 감지하는 압력 센서열 검지기, 적외선을 감지하는 적외선 검지기^[11,12], 혹은 광 감지를 이용하는 광 검지기 등에 의한 차량 검지기가 제시되었고 그 중에서 일부는 세계적으로 많은 도시에서 이용되고 있다. 이들 차량 검지기는 응용에 따라서 교차로 교통 감시 및 자동 제어, 고속도로 교통 관제, 전자적 불계이트 과금등에 사용될 수 있는데 일반적으로 현재까지는 루프 검지기, 압력 센서열 검지기가 우수한 안정성으로 인해 많이 적용되고 있는 실정이다.

톨게이트 과금을 위한 시스템에서는 특히 높은 신뢰도의 차량검지 및 차종분류 기능을 요구하므로 흔히 루프 검지기와 압력 센서열 검지기, 적외선 검지기가 상호보완적으로 혼합되어 정확한 차량 검지 및 차종 분류 결과를 내도록 구성하여 적용하고 있다. 그러나, 루프 검지기 혹은 압력 센서열 검지기는 통과 차량과의 지속적인 접촉에 의해 잦은 수리 및 주기적인 교체를 필요로 하게 된다. 이러한 접촉형 방식의 검지기는 유지 보수에 엄청난 비용이 소비되기에 이를 비접촉형인 영상 검지기로 대체하려는 많은 연구가 있어 왔다^[4-8,16-20].

초기의 영상 검지기는 입력영상과 차량이 없을 때 저장된 기준영상과의 차영상에 대한 극부평균 혹은 극부분산을 근거로 이동하는 차량을 검지하고 차량이 검지되는 영역의 크기정보로 대략의 차종을 구분하는 방식을 취하였다^[4,7]. 이후에 제시된 방법에서는 앞서의 방법에 의해 변화가 검출되면 변화가 있는 영역을 추출하여 그룹화하고 사각형으로 감싸거나 미리 정해 놓은 3차원 모델에 정합시켜 지속적으로 추적하며 차량을 검지하고 사각형의 크기 혹은 정합된 3차원 모델의 모양을 이용하여 차종을 구분한 것이 있다^[16-20]. 이 방식은 초기의 방법에 비해 좀더 안정적이고 더 정확한 성능을 낼 수 있으나 알고리즘의 복잡성 때문에 실시간 처리에 상당히 어려움이 있다. 또한, 이들 방법들은 모두 그림자의 발생, 급격한 일기 변화, 입력센서의 특성 등에 의한 프레임간 급격한 밝기변화에 매우 취약한 문제점을 가지고 있다^[14,15]. 이러한 프레임간의 급격한 밝기변화가 발생하는 두 프레임 간에는 평균과 분산이 크게 다르게 관측되는 경향이 있는데, 이는 종종 도로 영역을 차량으로 오판하도록 하여 잘못된 차량검지 및 차종분류 결과를 야기한다.

본 논문에서는 프레임간의 급격한 밝기변화에 강

건한 특징을 사용한 차량검지 및 차종분류 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서는 웨이브렛 변환^[21]된 입력영상과 기준영상간의 국부상관계수를 특징으로 이진화하고 이를 바탕으로 차량을 검지한다. 검지된 차량 영상에 대해서 차량머리부분의 차폭을 측정함으로써 차종을 구분하는데, 이 때에도 차량검지에서와 같은 특징을 이용하여 정확한 차량 측면경계 위치를 찾아서 차폭을 추정한다. 제안된 특징은 도로와 차량의 질감 유사성을 비교함으로써 기존의 방법들에서 문제가 되었던 입력영상에서 흔히 관측되는 급격한 밝기변화 문제를 효과적으로 극복할 수 있었고 차량검지 및 차종분류의 성능을 대폭 개선시킬 수 있었다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 톨게이트 현장 영상에 대해 제안된 알고리즘에서 사용한 특징을 급격한 밝기변화에 강건한 특성과 성능 개선정도 등의 여러가지 관점에서 비교하였다. 그리고, 이러한 개선정도를 검지 용이성을 나타내는 척도를 도입하여 정량적으로 비교하였다. 마지막으로, 실시간으로 차량검지 및 차종분류를 하는 시스템을 두 개의 TMS320C30 DSP 칩으로 구현하고 제안된 알고리즘을 적용하여 톨게이트 현장에서 통과하는 차량들에 대하여 직접 알고리즘의 유용성과 성능을 검증하였다.

II. 영상 검지에 의한 차량검지 및 차종분류

기준에 연구되어 왔던 영상 검지기들은 그림 1에 보인 것과 같이 NTSC나 PAL 방식의 일반 비디오 카메라 신호를 디지털 영상 데이터로 변환하여 주는 영상 센서부(video sensor), 영상 센서부의 출력인 디지털 영상 데이터를 입력으로 받아 변화 검출을 하여 이동하는 차량을 검지하거나 차량의 이동을 추적하며 교통 파라미터들을 추출해 내는 영상 검지부(video detecting processor), 영상 검지부에서 추출된 다양한 교통 파라미터들과 영상 센서부로부터의 영상 데이터를 동시에 출력해 주는 출력부(displayer)로 구성되어 있다. 이들 각 부분 중에서도 영상 검지의 핵심이라 할 수 있는 영상 검지부는 대체로 사거리 교통정보 추출 및 교통관제의 목적으로 차량검지와 차종분류의 기능을 수행하게 되는데 이들 결과를 이용하여 도로상의 차량 점유율, 평균 차량 진행 속도, 통과차량 대수 계수, 대기차량 행렬의 길이, 통과 차량의 차종 등 다양한 교통 파라미터들을 추출한다^[4-10, 16-20]. 그리고 이러한 목적에 대부분의 영상 검지에 관한 연구에서는 그

림 1과 같이 영상 센서부를 일정한 높이의 기둥에 설치하여 사거리 도로의 몇 개 차선을 동시에 바라 보도록 구성하고 있는데, 이러한 구성은 차량들이 밀집한 상황에서 앞선 차량이 뒤에 따라오는 차량을 가림으로 인해 측정된 교통파라미터에 오차를 발생시키는 문제점이 있는 것으로 알려져 있다^[18,20].

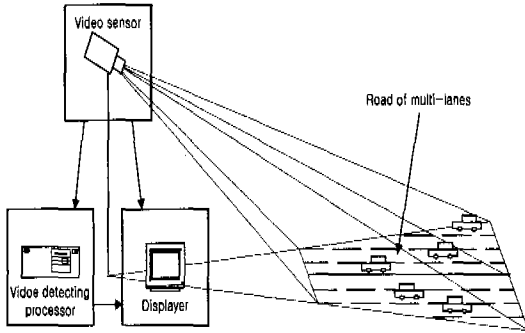


그림 1. 기존의 영상 검지기 구성

1. 차량검지

실시간 처리를 위해 처리해야 할 영상 데이터 양을 줄여 각 차선별 교통정보를 추출하기 용이하도록 그림 2와 같이 각 차선별로 차량이 진행되는 방향을 따라 몇 개의 작은 창을 두고 각 창에서 관측되는 영상 데이터에 의존하여 차량검지를 하고 있다.

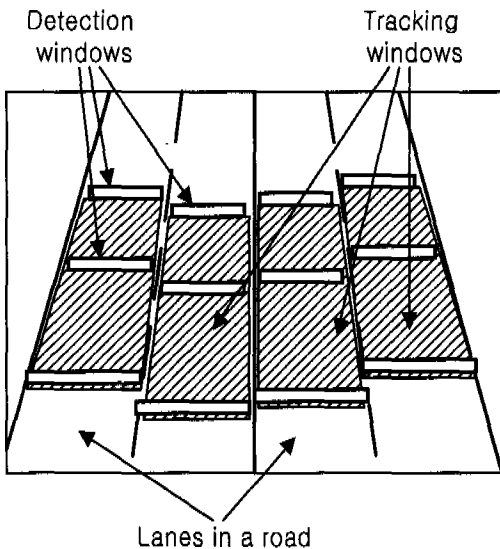


그림 2. 기존 영상 검지기의 화면 구성

초기의 영상 검지에서는 이와 같은 화면 구성으로 각 검지창에서 차량을 검지하고 이들 연속된 검지창들에서의 순차적인 검지 결과를 이용하여 적절한 교통파라미터를 추출한다. 그렇지만 이러한 접근은 이동하는 차량의 그림자가 관측되는 경우, 아침 저녁으로 조명 상태가 악화되는 경우, 급격한 일기 변화가 발생하는 경우에 입력영상의 밝기값이 급격하게 변화함에 따른 문제점이 있는 것으로 알려져 있다^[3,4,14,15].

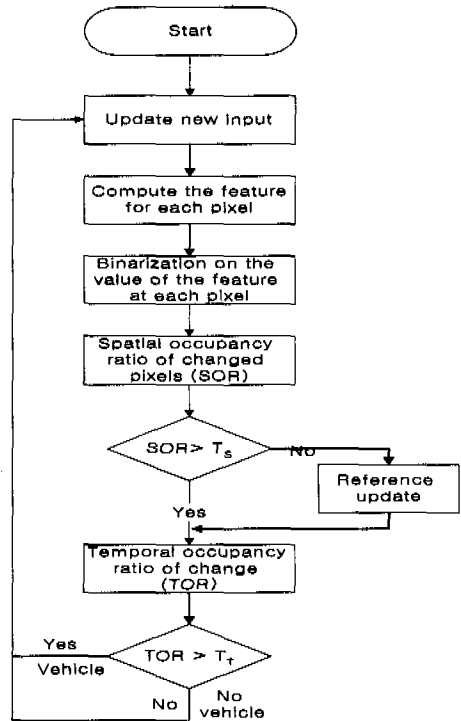


그림 3. 전형적인 차량검지 알고리즘 흐름도

이후에 연구된 방법에서는 움직임 추정 기법과 고수준의 비전 기법을 도입하여 초기 영상 검지에서 문제가 되었던 그림자나 입력영상의 급격한 밝기 변화의 문제를 극복하고자 하였다^[16-20]. 즉, 한 차선의 일정 길이를 덮고 있는 추적창에 차량이 진입할 때 차량을 검지하고 이후에 차량을 움직임 추정 기법에 의해 일정기간 동안을 추적한 뒤에 더욱 안정적인 차량검지 결과를 내거나 추정된 움직임 정보를 바탕으로 다양한 비전 기법을 동원하여 그림 1과 같은 카메라 구성으로 인해 발생하는 가려진 차량을 따로 검지함으로써 한층 더 정확한 차량검지 결과를 내게된다. 그러나 이 방법도 적용되는 알

고리들의 복잡도에 의해 실시간 처리에 큰 어려움을 내재하는 단점을 보이고 있다.

이와 같은 각 영상 점지 방법에서 행해지는 기본적인 차량검지 알고리즘은 대체로 그림 3과 같다^[4,6,7]. 즉, 각 검지창의 입력영상이 새롭게 갱신되면 검지창 내부 화소의 위치에서 특징을 계산하고 주어진 문턱값을 이용해서 변화가 검출된 화소와 그렇지 않은 화소로 이진화한다. 특징 변화가 검출된 화소의 공간적 점유도가 미리 설정된 문턱값보다 낮을 경우 순수한 도로영상으로 판단하고 기준영상을 현재의 입력 영상으로 갱신한다. 그렇지 않은 경우 입력영상이 기준영상에 비해 변화가 발생한 것으로 판단하고, 일정 기간 동안 판단 결과들의 시간적 점유도를 구하고 이에 대한 문턱값을 적용하여 최종 차량검지 결과를 내리게 된다.

변화 검출을 위해 사용하는 특징으로 영상 검지기에서는 일반적으로 입력영상과 차량이 관측되지 않을 때 저장된 도로영상인 기준영상간의 차영상에 대한 국부평균 혹은 국부분산을 이용한다^[3-8,13,16-20]. 즉,

$$P(x, t) = \frac{Bin}{T} [|\mu_{j-r}(x, t)|], \quad (1)$$

또는

$$P(x, t) = \frac{Bin}{T} [|\sigma_{j-r}^2(x, t)|], \quad (2)$$

여기서, $\frac{Bin}{T} [\cdot]$ 은 문턱값 T 이상의 큰 값은 1로 문턱값 T 미만의 작은 값은 0으로 이진화하는 연산을 나타내고, x 는 창에서의 화소위치를 그리고 t 는 시간을 나타내는 인덱스이다. 이때 문턱값은 아래의 식과 같이 기준신호의 국부적인 분산에 비례하도록 주어지고 있다.

$$T = k\sigma^2(x, t) \quad (3)$$

여기서 비례상수 k 는 하루 중 현재의 시간대 사계절 중 현재의 계절 등과 같은 입력영상의 특성에 따라서 $1 \leq k \leq 4$ 의 범위에서 선택되었다. 그런데 진입차량이나 도로 주위에 설치되어 있는 구조물의 그림자가 발생하거나 아침 저녁으로 조명 상태가 악화되는 경우, 급격한 일기변화가 발생하는 경우 카메라의 자동 이득 조절 기능, 자동 조리개 조절 기능 등에 의해 국부적 혹은 전역적인 평균 밝기 및 밝기 활동폭은 연속된 프레임 간에도 급격하게

변화하게 된다. 이는 (1)식과 (2)식에서와 같은 특징을 사용하는 기존의 영상 검지에 있어서 도로영역을 차량으로 잘못 검지할 가능성을 높이게 된다.

2. 차종분류

영상에 의한 차종분류에서는 검지된 차량 영상에서 차량의 크기, 모양 등의 정보를 추출하여 대략적인 차종을 분류하고 있다. 초기방법에서는 차선별로 차량이 검지되는 것으로 판단되는 연속된 위치의 검지창 수로써 대형, 중형, 소형의 차종으로 분류한다^[4,7]. 이 경우는 차종분류에 많은 오류가 나타날 수 있지만 대략적인 차선별 차종의 진행 정보를 제공해 준다. 이에 비해 이후에 적용된 방법에서는 추적영역에서 특징 변화가 검출되는 화소들을 그룹화하고 추적하면서 그룹화된 영역의 크기에 따라 대형, 중형, 소형으로 구분하거나^[20], 버스, 승용차, 트럭 정도로 미리 정해놓은 3차원 모델과 추적하고 있는 차량영상을 정합해서 가장 정합도가 높게 나타나는 차종으로 분류하는 방식을 취한다^[16,19]. 이 경우도 특징 변화 검출에서의 오류가 변화 검출 화소의 잘못된 그룹화를 초래하므로 차종분류의 오류를 유발하는 문제가 있다. 이와 같은 차종분류는 그 사용상 목적이 주로 사거리 혹은 고속도로에서의 교통관제에 있었기 때문에 차종분류에 대한 대략의 정확도만을 충족시켜주는 결과를 제공한다. 따라서 차량검지 및 차종분류 결과에 매우 높은 신뢰도를 요구하는 틀게이트 과금과 같은 응용에서는 매우 부적절하게 된다.

III. 밝기변화에 강건한 특징 및 적용

차량검지를 위해 이용하는 특징으로 입력영상과 기준영상의 국부적 혹은 전역적인 밝기 평균 및 활동폭 변화에 크게 영향을 받지 않는 두 신호간의 질감성분에 대한 유사성을 이용할 것을 제안한다. 이러한 유사성의 척도로서 아래의 식과 같이 주어지는 두 신호 사이의 정규화된 상관도를 나타내는 입력영상 $f(x, t)$ 와 기준영상 $r(x, t)$ 간의 국부상관계수 $\rho_{fr}(x, t)$ 를 사용할 수 있다.

$$\rho_{fr}(x, t) = \frac{E[(f(x, t) - E[f(x, t)])(r(x, t) - E[r(x, t)])]}{\sigma_f(x, t)\sigma_r(x, t)} \quad (4)$$

그런데 이러한 상관계수는 입력영상과 기준영상에서 신호에 포함된 대부분의 전력을 가지는 개략

적인 신호 성분에 영향을 많이 받기 때문에 단순히 원 영상에 대한 상관도를 이용하게 되면 도로 바닥의 질감이 약하게 나타나는 부분들이 차량의 편평한 부분과 유사한 경우가 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 결과적으로 이러한 높은 유사성을 보이는 부분에서의 상관계수값은 잘못된 차량검지를 초래할 수 있다. 그렇지만, 차량과 도로 바닥의 편평한 부분에서 개략적인 신호 성분을 제거하고 질감만을 비교하면 차량을 도로로부터 더욱 쉽게 구분할 수 있다. 또한, 입력영상의 국부적 혹은 전역적인 밝기평균 및 활동폭이 크게 변화하더라도 도로면 고유의 질감은 기준영상에 나타나는 도로면의 질감과 매우 유사한 형태가 유지될 것이므로 개략적인 신호 성분이 제거된 질감 신호간의 상관계수를 이용한다.

원영상에서 개략적 신호를 제거하고 질감에 해당하는 성분만을 추출하기 위하여 입력 및 기준영상을 직교웨이브렛 변환^[22]하여 다층 스케일 별로 분리해보면, 각각 $\{W_i^f(x, t), S_i^f(x, t) | 1 \leq i \leq s\}$, $\{W_i^g(x, t), S_i^g(x, t) | 1 \leq i \leq s\}$ 와 같이 i 번째 스케일에서의 직교웨이브렛 변환된 상세신호들 $W_i^f(x, t)$, $W_i^g(x, t)$ 과 스케일 s 에서의 개략신호 $S_i^f(x, t)$, $S_i^g(x, t)$ 로 분해되는데 이 중에서 도로면의 주요한 국부 주파수 성분이 가장 많이 나타나는 스케일 j 에서의 직교웨이브렛 변환된 상세신호 $W_j^f(x, t)$ 와 $W_j^g(x, t)$ 를 찾는다. 결과적으로, 국부적 혹은 전역적인 평균의 영향이 제거된 직교웨이브렛 변환 상세신호에 대해서 신호 활동폭이 다른 것을 보상할 수 있도록 각 신호의 표준편차로써 정규화한 국부 상관계수를 구하고 이를 아래의 식과 같이 이진화하여 특징 변화 검출을 한다.

$$P(x, t) = \frac{\overline{Bin}}{T} [\rho_{W_j^f/W_j^g}(x, t)] \quad (5)$$

여기서 $\overline{Bin}[\cdot]$ 은 문턱값 T 를 초과하는 큰 값은 0으로 문턱값 T 이하의 작은 값은 1로 이진화하는 연산을 나타내고, 상관계수에 대한 문턱값 T 은 유의 수준 α 를 갖는 유의 테스트에 의해 결정된다.

3.1 차량검지를 위한 특징의 분석

기존의 영상에 의한 차량검지에서 사용한 대표적인 특징인 차영상에 대한 국부분산과 입력영상과 기준영상간의 상관계수 특징을 비교해 보고 이를

본 논문에서 제안한 특징인 직교웨이브렛 변환에 의해 추출된 질감신호간의 상관계수와 비교 분석하기로 한다.

(1) 차영상에 대한 국부분산

기존의 차량검지에서 흔히 쓰이는 특징인 (2)식과 같은 차영상의 국부분산에 대한 이진화 수식은 이진화 과정의 특성 중 $Bin_T[a+b] = \frac{Bin}{T-a} [a]$ 와 $Bin_T[-a] = \frac{\overline{Bin}}{T} [a]$ 의 관계와 (4)식에서 보인 입력영상과 기준영상간 국부상관계수의 정의식으로부터 다음과 같은 국부상관계수에 대한 이진화 수식으로 변형하여 볼 수 있다.

$$P(x, t) = \frac{Bin}{T, \sigma(x, t)} \left[\frac{\sigma_f^2(x, t) + \sigma_g^2(x, t)}{-2\sigma_f(x, t)\sigma_g(x, t)\rho_{fg}(x, t)} \right] \quad (6)$$

$$= \frac{\overline{Bin}}{T, \sigma(x, t)} [\rho_{fg}(x, t)]$$

여기서, 국부상관계수에 대한 문턱값 $T_\rho(x, t)$ 은 아래의 식과 같이 국부분산에 대한 문턱값 $T_\rho(x, t)$ 의 변형으로 주어진다.

$$T_\rho(x, t) = \frac{[\sigma_f^2(x, t) + \sigma_g^2(x, t) - T_\rho(x, t)]}{[2\sigma_f(x, t)\sigma_g(x, t)]} \quad (7)$$

기존의 차량검지에서는 입력영상의 특성에 따라서 (3)식에서 보인 것과 같이 문턱값 $T_\rho(x, t)$ 을 적응적으로 조절한다고는 하나 계절의 변화, 시간대의 변화 등에 대해 전역적으로 조절하고 있으므로 입력영상과 기준영상간의 유사성에 대해서 상황에 따라 적절하지 못한 문턱값을 적용하고 있음을 알 수 있다. 즉, 입력영상에서 센서특성에 의해 도로영역에서의 국부분산이 기준영상에 비해 매우 커질 경우 $T_\rho(x, t)$ 는 1보다 큰 값을 나타내게 되고 결국 도로영역을 차량으로 오판하게 된다. 반대로 차량이 관측되는 입력영상에서 차량 앞부분의 편평한 부분의 국부분산이 기준영상에 비해 매우 작게 관측되는데 이는 $T_\rho(x, t)$ 를 음의 값으로 떨어뜨리게 되며 결국 차량인데도 도로영역으로 오판하게 된다.

(2) 원 영상에 대한 국부 상관계수

입력차량영상 $f_b(x, t)$, 입력도로영상 $g_b(x, t)$, 또는 기준영상 $r(x, t)$ 이 각각 차량신호 $u(x, t)$, 도로신호 $b(x, t)$ 기준도로신호 $v(x, t)$ 에 평균이 0, 분산이 σ_u^2 인 가산성의 가우시안 백색잡음 $n(x, t)$ 이 더해진 형태의 영상신호로 관측된다고 하면 각각 아래의 식과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} f_a(x, t) &= v(x, t) + n(x, t), \\ f_b(x, t) &= b(x, t) + n(x, t), \\ r(x, t) &= b'(x, t) + n(x, t), \end{aligned} \quad (8)$$

입력영상과 기준영상 사이의 국부상관계수는 직교 웨이브렛 변환의 직교성질에 의해 아래의 식과 같이 직교 웨이브렛 변환된 입력신호(차량신호 혹은 도로신호)와 직교 웨이브렛 변환된 기준도로신호와 의 국부상관계수의 가중 합으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \rho_{f_a, r}(x, t) &= r_{S_a S_r}^a \rho_{S_a S_r}(x, t) \\ &+ \sum_{i=1}^S r_{W_i^a W_i^r}^a \rho_{W_i^a W_i^r}(x, t) \\ \rho_{f_b, r}(x, t) &= r_{S_b S_r}^b \rho_{S_b S_r}(x, t) \\ &+ \sum_{i=1}^S r_{W_i^b W_i^r}^b \rho_{W_i^b W_i^r}(x, t) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, 각각 $\{W_i^a v(x, t), S_a^i v(x, t) | 1 \leq i \leq S\}$ 와 $\{W_i^b b(x, t), S_b^i b(x, t) | 1 \leq i \leq S\}$ 는 직교 웨이브렛 변환된 차량 혹은 도로신호를 나타내고, $\{W_i^a b'(x, t), S_a^i b'(x, t) | 1 \leq i \leq S\}$ 는 직교 웨이브렛 변환된 기준도로신호를 나타낸다. 그리고, $0 \leq r_c^a \leq 1$, $0 \leq r_c^b \leq 1$ 는 각각 아래 식과 같이 u 에 대한 C_u 의 전력비 r_c^a 를 나타내고 $C_u + C_n$ 에 대한 C_u 의 전력비 q_c^a 를 나타낸다.

$$r_c^a = \frac{\sigma_{C_u} \sigma_{C_r}}{\sigma_{f_a} \sigma_r}, \quad q_c^a = \frac{\sigma_{C_u} \sigma_{C_r}}{\sigma_{C_u} \sigma_{C_r}} \quad (10)$$

여기서, C_u 는 부대역 C 에서 신호 u 의 성분을 나타낸다. 각 웨이브렛 변환된 신호들의 전력비를 살펴보면 우선 웨이브렛 변환된 개략신호의 경우 전력비 r_c^a 가 대체로 1에 가까운 값을 가지고, 웨이브렛 변환된 상세신호들의 경우 전력비 $r_{W_i^a}^a$ 가 스케일 i 가 작아질수록 0에 가까운 값을 가지는 것을 볼 수 있으며 또 다른 전력비 q_s^a , q_w^a 의 경우도 이와 유사한 경향을 보임을 알 수 있다. 따라서 (9) 식으로부터 원신호에 대한 국부상관계수는 웨이브렛 변환된 개략신호에 대한 국부상관계수의 영향을 많이 주고 받음을 예측할 수 있다.

(3) 웨이브렛 변환 상세신호의 국부상관계수

신호와 잡음간의 비상관성을 이용하여 입력영상과 기준영상의 직교 웨이브렛 변환 상세신호의 국부상관계수를 구해보면 아래의 식과 같이 가중치로 전력비 q_w^a 를 가지는 차량 및 도로신호와 기준도로신호의 직교 웨이브렛 변환된 상세신호간의 국부상

관계수를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_{W_i^a, W_i^r}(x, t) &= q_w^a \rho_{W_i^a W_i^r}(x, t), \\ \rho_{W_i^b, W_i^r}(x, t) &= q_w^b \rho_{W_i^b W_i^r}(x, t), \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, 전력비 q_w^a 는 i 번째 스케일에서의 웨이브렛 변환된 상세신호에서의 잡음의 영향을 나타내며, i 번째 스케일은 도로바다에 주로 존재하는 질감이 잘 관측되는 스케일을 나타낸다. 일반적으로 가장 낮은 스케일에서는 신호의 전력비 매우 작으므로 잡음의 영향이 신호에 비해 커지는 경향이 있어서 관측되는 상관계수의 값이 매우 낮은 값으로 나오는 경우가 많다. 그렇지만 도로면의 질감이 두드러지게 나타나는 스케일의 신호를 적절히 선택하게 되면 잡음 전력보다 신호의 전력비 커서 전력비 q_w^a 가 작지 않은 값을 가지게 된다. 그리고 이러한 결과는 (11)식에서 보는 것과 같이 웨이브렛 변환된 개략신호의 영향을 제거한 웨이브렛 변환된 상세신호들 사이의 국부상관계수가 되므로 더욱 안정된 차량검지를 기대할 수 있다.

3.2 제안된 특징에 의한 차량검지 및 분류

제한한 영상 검지기는 단일 차선에 대해서 매우 정확한 차량검지 및 차종분류를 하기 위해 기존의 방식과는 다른 구성을 갖도록 하고 있다. 톨게이트 과금을 위한 차종으로 분류하기 위해 국내 운행중인 차량들의 차종별 사양을 조사한 결과 차량 전폭을 기준으로 하거나 차량 바퀴폭과 윤간 거리의 조합을 기준으로 차종이 구분될 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 제안된 영상 검지기에서는 차량 전폭을 측정함으로써 차종분류를 하도록 하고 있다. 단일 카메라로 전폭을 측정할 경우 차량의 높이에 따라 카메라와 차량간 거리에 의해 발생하는 전폭측정 오차를 줄이고 정확한 차량의 전폭을 측정하기 위해 그림 4와 같이 영상 센서부가 두 개의 카메라로 구성된 영상 검지기를 제안한다. 두 대의 카메라를 각각 톨게이트 진입도로 가장자리 위치에서 6~7m 높이의 톨게이트 지붕에 설치하여 3m 폭의 단일 차선에 대하여 진입 차량의 각 좌우측 부위를 볼 수 있도록 구성하였다. 이와 같은 구성은 기존의 영상 검지기에서의 영상 센서부와는 달리 인접한 차량들의 밀집으로 인한 뒷 차량의 가림 문제가 없지는 장점이 있다. 영상 검지기부에서는 이들 카메라 영상을 입력으로 하여 PC로부터 차량검지 및 차종분류 알고리즘을 다운 받아 진입차량 검지, 계수, 차량전폭 측정 및 차종분류를 수행하고 그 결과를

출력부를 통해 각 좌우측의 모니터에 디스플레이하고 지역 컴퓨터에 전달한다.

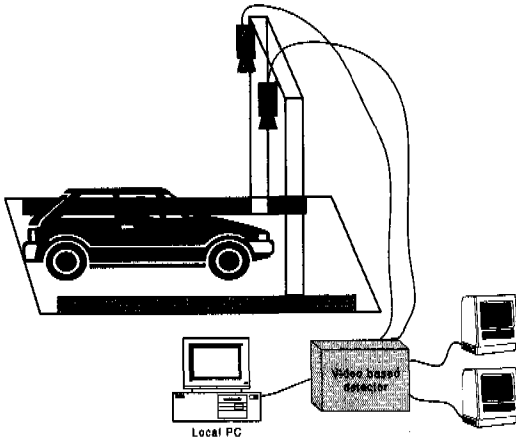


그림 4. 제안된 영상 검지기의 구성

(1) 차량검지

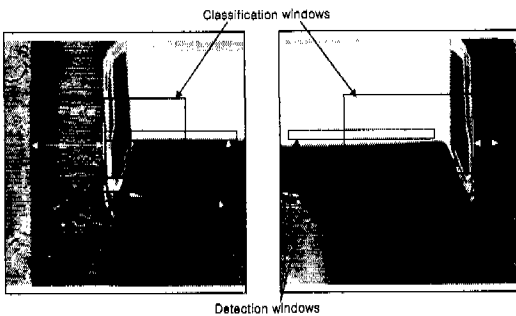


그림 5. 제안된 영상 검지기의 화면구성

톨게이트 진입 차량을 검지하고 차량전폭 측정에 의해 차종을 분류하는 경우 차량의 전폭 측정 부위가 짐을 싣는 위치가 될 경우 과도하게 실린 짐에 의해 큰 오차가 생길 수 있다. 그러나, 차량의 머리 부분에서는 이러한 문제가 발생하지 않으므로 정확한 차량의 전폭을 측정할 수 있다. 따라서 정확한 차량전폭을 측정할 수 있도록 차량의 머리부분을 포착하는 기능이 필요하게 된다. 그리고, 톨게이트 과금을 위해서는 통과한 차량에 대한 정확한 계수도 필수적이다. 이러한 기능을 보장하기 위하여 제안된 영상 검지기는 각 카메라 입력 영상에 대하여 그림 5와 같은 구성으로 두 개의 검지창과 하나의 전폭측정창을 두고 있다. 두 검지창에서의 순차적인

차량검지 결과를 바탕으로 차량의 진행방향을 추정하고, 통과하는 차량을 계수하며, 차종분류를 위해 추가적으로 차량의 머리부분을 포착하여 전폭측정창에서의 차종분류 기능이 활성화 되도록 한다^[22,23]. 이러한 차량검지에서 입력영상에 존재하는 급격한 밝기 변화 영향을 효과적으로 줄일 수 있는 제안한 특징을 이용한다.

(2) 차종분류

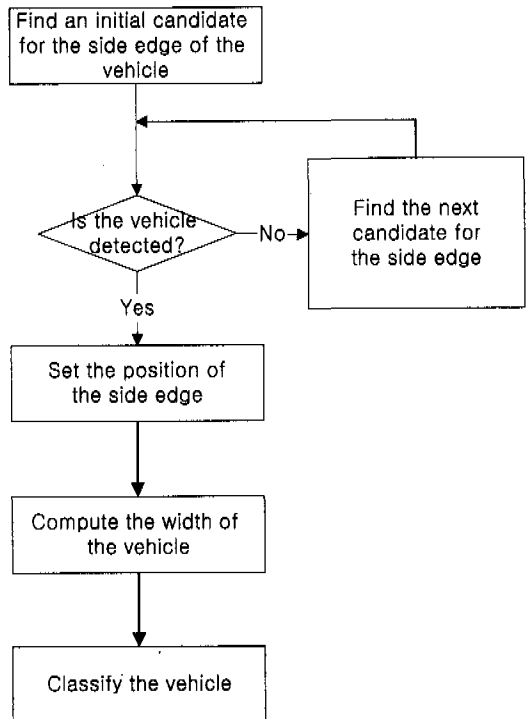


그림 6. 제안된 차종분류 알고리즘의 흐름도

제안된 전폭측정에 의한 차종분류 알고리즘은 그림 6과 같다. 영상 센서부의 각 카메라로부터 입력되는 영상에서 통과 차량의 머리부분을 포착한 뒤에 그림 5와 같이 전폭측정창 내부에 관측되는 영상에 대해 각 카메라가 위치하고 있는 도로 가장자리 부위부터 시작하여 차량의 각 측면경계 후보 위치를 찾는다. 이때 경계후보가 실제로 차량측면경계인지 아니면 그림자나 도로면에 존재하는 경계인지를 판단하기 위하여 경계후보를 기준으로 도로중심 쪽에서 제안한 특징을 이용하여 차량검지를 하게 된다. 여기서 차량이 검출되지 않으면 경계 후보 위치는 차량측면경계가 아닌 그림자 혹은 도로면에 존재하는 경계로 판단하고 실제의 차량측면경계로

판단되는 위치가 나타날 때까지 다음 경계후보 위치로 옮겨서 이러한 과정을 반복한다. 좌우측 카메라 영상에서 각각 좌우측 차량측면경계를 찾게 되면 각 경계 위치에서 도로 가장자리까지의 실제거리를 계산하고 이를 도로 전체의 넓이에서 뺄으로써 차량의 전폭을 추정한다. 마지막으로 추정된 전폭을 바탕으로 4가지의 톨게이트 과금에 적합한 차종으로 분류한다^[23].

IV. 실험 결과

제안된 밝기 변화에 강건한 특징의 차량검지에서 유용성을 검증하기 위하여 톨게이트에서 획득한 톨게이트 진입로에 대한 실제 입력영상과 기준영상에 대해 다양한 실험을 하였다. 급격한 밝기 변화가 관측되는 톨게이트 진입로 영상들에 대하여 제안한 특징과 기존의 방법에서 사용하던 특징을 분석하고 차량검지 용이성을 비교함으로써 제안한 특징의 유용성을 보인다. 그리고 두 개의 TMS320C30 DSP를 사용하여 톨게이트 전자 징수를 위한 영상 검지 시스템을 구현하고 이에 제안된 알고리즘을 탑재하여 실제로 톨게이트에 설치하고 운용함으로써 차량 검지 및 차종분류 성능을 평가하였다.

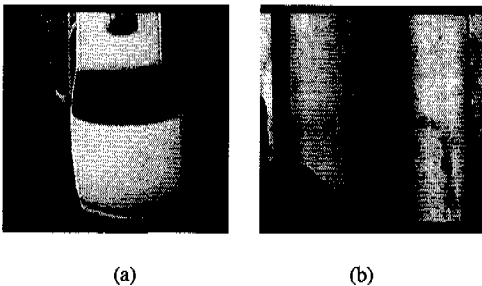


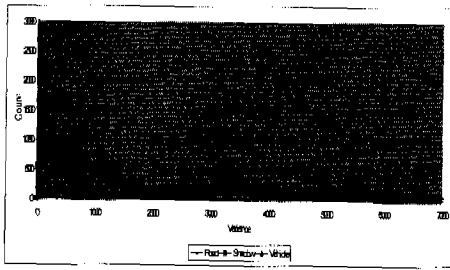
그림 7. 특징의 유용성 실험을 위한 톨게이트 진입차량 입력영상 및 도로 기준영상 (a) 입력영상 (b) 기준영상

우선 기존의 영상 검지에서 사용되던 특징과 밝기 변화에 강건한 제안된 특징을 분석 및 비교하기 위하여 그림 7과 같이 차량과 차량 그림자가 일부 덮여 있는 도로면이 관측되는 입력영상과 차량이나 차량 그림자도 관측되지 않는 기준영상을 실험 대상으로 이용하였다. 이들 영상을 살펴 보면 차량 그림자와 같은 매우 급격한 밝기 변화에도 그림자가 관측되지 않는 동일한 도로부분에서 카메라의

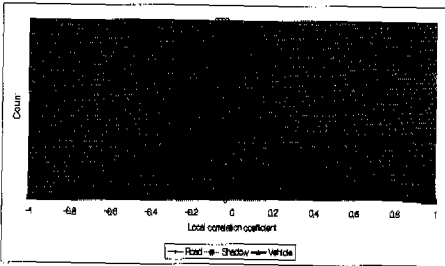
자동이득조정 기능에 의해 입력영상과 기준영상의 평균적인 밝기와 도로면의 질감 크기가 서로 다른 것을 볼 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 실험영상을 그림자가 관측되는 도로영역, 그림자가 관측되지 않는 도로영역, 그리고 차량영역으로 나누어 각 영역에서의 특징들 분포를 비교 분석하였다. 비교 대상 특징으로써 기존의 영상 검지에서 주로 사용하던 특징인 차영상에 대한 분산과 입력영상과 기준영상간의 국부상관계수를 보이고 있다. 특히 국부상관계수의 경우는 원영상, 웨이브렛 변환 개략신호, 그리고 웨이브렛 변환 상세신호의 경우에 대해 그림 8과 같이 각각 그 분포를 비교하고 있다.

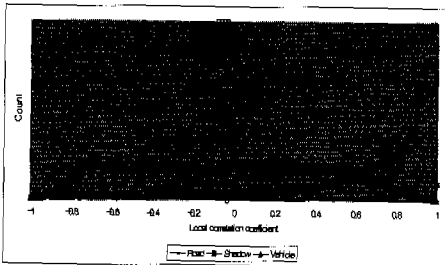
기존의 영상 검지에 사용하던 특징인 차영상에 대한 분산은 그림 8(a)에서 보듯이 차량과 도로를 구분하기가 상당히 어려운 분포를 보이고 있다. 대체로 도로 영역에서는 낮은 분산값을 가지고 있지만 차량영역에서도 낮은 분산값을 갖는 부분이 상당히 많아서 차량 존재 테스트에서 오류가 많이 발생할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 그림자가 관측되는 도로영역에서는 분산값을 이용할 경우 차량과 도로를 구분하기가 매우 어려운 상황을 보인다. 한편, 그림 8(b)의 국부상관계수를 이용할 경우는 차영상에 대한 분산에 비해 차량과 도로를 구분하는 것이 비교적 쉬운 분포를 보이고 있다. 국부상관계수를 적용하는 신호별로 비교해보면 우선 그림 8(c)에 보이는 웨이브렛변환 개략신호의 경우는 차량영역에서의 국부상관계수 분포의 편차가 매우 크며 높은 상관관계수값을 나타내는 경우가 많이 보이고 있다. 이는 차량의 편평한 부분에서 도로면과 유사한 부분이 많이 관측되기 때문이다. 이에 비해 웨이브렛변환 상세신호의 경우인 그림 8(d)는 차량영역에서의 국부상관계수 분포 편차가 작아지며 낮은 값으로 몰리는 것을 볼 수 있는데 이는 차량영역의 편평한 부분이 도로면과 질감신호가 매우 다르기 때문이다. 한편, 도로영역에서는 상세신호에 대한 국부상관계수값이 전체적으로 작아지는데 이는 잡음 전력에 대한 신호전력의 영향력을 나타내는 전력비 q_{w}^2 가 작아짐으로 인한 현상으로 볼 수 있다. 이러한 특성을 갖는 국부상관계수의 가중합으로 표현되는 그림 8(b)의 원영상에서의 국부상관계수는 개략신호의 전력비 $r_{s_s}^2$ 와 $q_{s_s}^2$ 의 큰 값으로 인해 그림 8(c)와 같이 개략신호에서의 분포와 유사하게 차량영역에서도 국부상관계수가 높은 값이 많이 관측되며 분포의 편차가 커지는 것을 볼 수 있다.



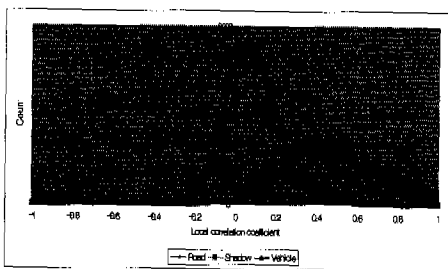
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. 차량 존재 테스트를 위한 특징값의 분포 (a) 차영상에 대한 분산 (b) 원영상에 대한 국부상관계수 (c) 개략신호에 대한 국부상관계수 (d) 상세신호에 대한 국부상관계수

그림 8에서 주어진 각 특징의 분포에 대해서 차량검지를 위한 차량과 도로의 분리 용이성의 정량적인 비교를 위해 부류 1과 부류 2 분포의 평균과

표준편차가 각각 m_1 , m_2 와 σ_1 , σ_2 로 주어지는 경우 $(m_1 - m_2)^2 / \sigma_1 \sigma_2$ 와 같이 부류간 분리 용이성 S 를 수치화하여 나타내어 표 1에서 비교하고 있다. 국부상관계수에 의한 차량과 도로 부류간 분리 용이도가 그림자 관측여부에 관계없이 모두 우수한 특성을 보이고 있다. 차영상에 대한 분산의 경우는 그림자가 관측되는 도로에서 부류간 분리 용이도가 매우 낮은 값을 보이고 있어 차량이 존재하는 것으로 판단할 가능성이 매우 높음을 알 수 있다. 국부상관계수에 의한 부류간 분리 용이도에서는 상세신호에 대한 결과가 그림자가 관측되지 않는 도로에서 가장 좋은 특성을 보이고 있으며 그림자가 관측되는 경우라 하더라도 원영상에 대한 결과와 유사한 분리 용이도를 가짐을 볼 수 있다.

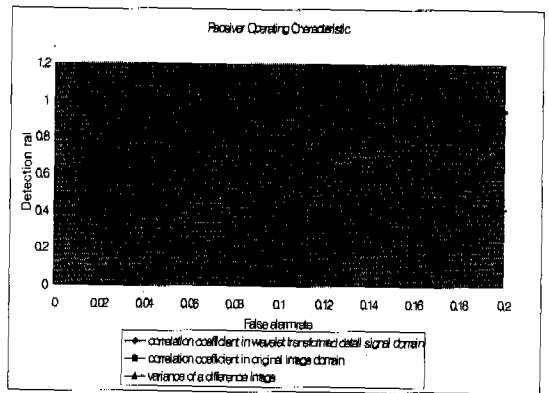


그림 9. 특징별 차량 존재 테스트의 검지 성능비교

차량 검지에 사용하는 특징에 따른 차량검지 성능을 비교하기 위하여 그림 9에 보이는 것과 같이 동일한 테스트 영상에 대해서 각 특징에 의한 ROC (receiver operating characteristic)를 구하여 비교하였다. 각 ROC 곡선을 살펴보면 국부상관계수를 이용하는 것이 차영상에 대한 분산을 조사하는 방법에 비해 월등히 우수함을 알 수 있다. 그리고 낮은 오경보율에서는 상세신호에 대한 국부상관계수를 이용하는 것이 원영상에 대한 국부상관계수를 구하는 것보다 좋은 성능을 보이는 것을 볼 수 있다.

제한된 알고리즘에 의한 차량검지 및 차종분류 성능 분석을 위하여 두 개의 TMS320C30 DSP로 영상 검지부를 구현하고 그림 10과 같이 대구 화원 톨게이트 지붕에 영상 센서부로 두 대의 디지털 카메라를 설치하여 97년 5월부터 97년 10월까지 9년에 걸쳐서 현장시험을 하였다. 이 때 각 카메라는

톨게이트 진입로 바로 위의 좌우측 도로 가장자리 위치에서 진입로를 내려다 보도록 설치하였으며 제안된 알고리즘을 PC에서 수정하고 영상 검지부에 이식되어 실시간으로 동작하도록 하였다.

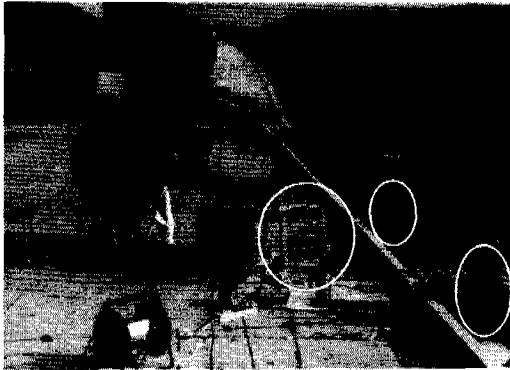


그림 10. 화원 톨게이트 지붕에 설치된 영상 검지기의 현장 시험 장면

신이 발생함으로써, 차종분류에서는 차창밖으로 뻗은 운전자의 손이나 차량 측면에서 관측되는 차량 그림자의 매우 불규칙적인 경계를 차량측면경계로 판단함으로써 오류가 발생하였다. 그렇지만, 그림자나 센서부 특성에 의한 급격한 밝기 변화 영향을 대부분 효과적으로 극복하는 것을 볼 수 있었다.

표 2. 최종 3차 현장시험에서의 차량검지 및 차종분류 결과

Test date (Clear and sunny)	The number of passing cars	Detection accuracy (%)	Classification accuracy (%)	Processing rate (frames/sec)
Aug. 26	200	100.0	97.8	14
Oct. 25	400	99.5	96.3	14
Oct. 30	142	100.0	97.9	14

표 1. 각 특징에 따른 분포간 분리 용이도 S

Feature Input Image	Local variance of a difference image			Local correlation coefficient in image domain			Local correlation coefficient in wavelet transformed detail domain		
	Mean	STD	S	Mean	STD	S	Mean	STD	S
Road without shadow	50.9	72.2	6.4	0.6	0.1	10.2	0.7	0.1	22.8
Vehicle	873.9	1460.6		0.0	0.3		0.1	0.2	
Road with shadow	680.0	1252.5	0.0	0.3	0.3	4.9	0.5	0.2	4.9

V. 결론

본 논문에서는 톨게이트 과금과 같은 높은 신뢰도의 차량검지 및 차종분류에 적합한 영상검지 알고리즘을 제안하고 기존의 영상검지에서 많이 문제가 되어 왔던 그림자 혹은 입력영상간 급격한 밝기 변화에 강건한 특징으로서 웨이브렛 변환된 상세신호에 대한 국부상관계수를 도입하여 제안된 알고리즘에 적용하였다. 제안된 특징에 대한 다양한 각도에서의 분석은 웨이브렛 변환된 상세신호의 국부상관계수 특징이 기존의 영상검지에서 일반적으로 사용하던 차영상에 대한 분산 특징에 비해 월등히 우수한 특성을 나타냄을 보였다. 제안한 알고리즘을 TMS320C30 DSP를 이용해 차량검지 및 차종분류를 위한 영상 검지 시스템으로 구현하고 실제 톨게이트 현장에서 그림자가 관측되는 맑은 날씨에 적용하여 차량검지에서 99.5~100% 차종분류에서 96.3~97.9%의 성능을 확인함으로써 입력영상의 급격한 밝기변화에 강건한 특징을 사용한 제안된 영상 검지 알고리즘의 유용성을 확인할 수 있었다.

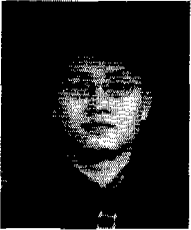
참고 문헌

[1] ITS America, "System architecture definitions," the National ITS Architecture Docu-

- ments, Washington D.C., 1996.
- [2] A. A. Cimento, "Traffic control systems hardware," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. VT-29, no. 2, pp. 106-124, May 1980.
- [3] E. E. Hilbert, P. A. Rennie, and W. A. Kneidl, "A sensor for control of arterials and networks," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. VT-29, pp. 208-215, no. 2, May 1980.
- [4] R. M. Inigo, "Traffic monitoring and control using machine vision: survey," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. IE-232, no. 3, pp.177-184, Aug. 1985.
- [5] R. M. Inigo, "Application on machine vision to traffic monitoring and control," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. 38, no. 3, pp. 112-122, Aug. 1989.
- [6] P. G. Michalopoulos et al., "Vehicle detection through image processing for traffic surveillance and control," U.S. Patent #4,847,772, July 11, 1989.
- [7] P. G. Michalopoulos, "Vehicle detection video through image processing: The Autoscope system," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. 40, no. 1, pp. 21-29, 1991.
- [8] A. Rourke, M. G. H. Bell, and N. Hoose, "Road traffic monitoring using image processing," *Proc. the 3rd Int. Conf. Road Traffic Control, IEEE-IEE*, 1990.
- [9] E. Rowe, "The Los Angeles automated traffic surveillance and control (ATSAC) system," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. 40, no. 1, Feb. 1991.
- [10] R. J. Blissett, V. Stennett, and R. M. Day, "New techniques for digital CCTV processing in automatic traffic monitoring," *Proc. IEEE-IEE VNIS'93*, pp.137-147, 1993.
- [11] T. M. Hussain, T. N. Saadawi, and S. A. Ahmed, "Overhead infrared sensor for monitoring vehicular traffic," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. 42, no. 4, pp. 477-483, Nov. 1993.
- [12] R. A. Olson, R. L. Gustavson, R. J. Wangler, and R. E. McConnell, II, "Active-Infrared overhead vehicle sensor," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol 43, no. 1, pp. 79-85, Feb. 1994.
- [13] T. Aach, A. Kaup, and R. Mester, "Statistical model-based change detection in moving video," *Signal Processing*, vol. 31, no. 2, pp. 165-180, Mar. 1993.
- [14] L. Wixson, "Illumination assessment for vision-based traffic monitoring," *Proc. ICPR'96*, vol. 3, pp. 56-62, Aug. 1996.
- [15] P. Gamba and M. Lilla, "A fast algorithm for target shadow removal in monocular colour sequences," *Proc. ICIP'97*, vol. 1, pp. 436-439, Oct. 1997.
- [16] D. Koller, K. Daniilidis, and H. H. Nagel, "Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes," *International Journal of Computer Vision*, vol. 10, no. 3, pp. 257-281, 1993.
- [17] W. Y. Kan, J. V. Krogmeier, and P. C. Doerschuk, "Model-based vehicle tracking from image sequences with an application to road surveillance," *Opt. Eng.*, vol 35, no. 6, pp. 1723-1729, June 1996.
- [18] D. Beymer, P. McLauchlan, B. Coifman, and J. Malik, "A real-time computer vision system for measuring traffic parameters," *Proc. IEEE CVPR'97*, pp. 495-501, June 1997.
- [19] M. Ebbecke, M. B. H. Ali, and A. Dengel, "Real time object detection, tracking and classification in monocular image sequences of road traffic scenes," *Proc. ICIP'97*, vol.2, pp. 402-405, Oct. 1997.
- [20] T. Ikeda, S. Ohnaka, and M. Mizoguchi, "Traffic measurement with a roadside vision system - individual tracking of overlapped vehicles," *Proc. IEEE ICPR'96*, vol. 3, pp. 859-864, Aug. 1996.
- [21] S. Mallat and S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, vol. 14, no. 7, pp. 221-243, July 1992.
- [22] J. S. Park, "Vehicle detection algorithm using local similarities in video sequence," M.S. thesis, Dept. Electronics, Kyungpook National Univ., Taegu, Korea, Dec. 1997.
- [23] N. C. Kim, "Development of a Video Vehicle

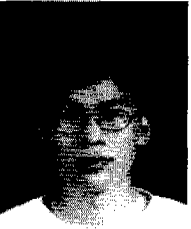
Detection System for Electronic Toll Collection, Final Research Report, Samsung Electronics Co. Ltd., Nov. 1997.

임 채 환(Chae Whan Lim) 정회원



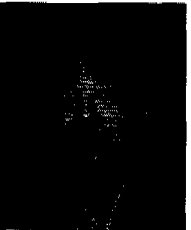
1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
1995년 6월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정
<주관심 분야> 영상신호처리, 컴퓨터 비전, 영상압축

박 종 선(Jong Sun Park) 정회원



1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
1998년 3월~현재 : LG전자 연구원
<주관심 분야> 영상신호처리, 컴퓨터 비전

이 창 섭(Chang Sup Lee) 정회원



1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
1999년 3월~현재 : LG전자 연구원
<주관심 분야> 영상신호처리, 컴퓨터 비전

김 남 철(Nam Chul Kim) 정회원



1978년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
1980년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 석사
1984년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 박사
1984년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 교수

1990년 1월~1994년 12월 : 생산기술연구원 HDTV 신호처리분과위원

1994년 1월~1996년 12월 : 한국통신학회 편집위원

1994년 1월~1996년 12월 : 대한전자공학회 편집위원

1996년 1월~현재 : 한국방송공학회 편집위원, 이사

1996년 11월~현재 : 국방과학연구소 국방과학기술 분류 및 수준 조사위

1997년 1월~1998년 12월 : 한국통신학회 신호처리 연구회 위원장

<주관심 분야> 영상신호처리, 영상압축, 영상복원, 컴퓨터 비전