

비전기반 지능형 자동차를 위한 도로 주행 영상 개선 방법*

김 승 규 박 대 용 최 영 우[†]
연세대학교 컴퓨터과학과 숙명여자대학교 컴퓨터과학과

본 논문에서는 도로 주행에서 취득한 영상을 개선하는 방법을 제안한다. 일반적인 도로 주행 영상은 다양한 조명 환경과 날씨 상태로 인하여 선명하지 못한 영상이 취득되기도 한다. 특히 역광이나 야간에는 품질이 좋은 선명한 영상을 얻기가 더욱 어려우며, 이는 비전기반 지능형 자동차 기술의 응용에 많은 어려움을 준다. 인간의 시각 인지방법은 여러 가지 조명 조건을 고려하여 색을 지각한다. 하지만 기존의 영상 개선 방법들은 광원의 위치와 광도, 기하학적 관계를 고려하지 않기 때문에 완벽한 결과를 얻기가 어려우며, 오히려 영상의 질이 떨어지는 경우도 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 1) 주어진 입력 영상의 전처리 과정을 수행한 후, 2) 선명도를 추정하여 색채의 대비를 평가하고, 3) 과대 및 과소평가 결과를 전처리된 영상과 혼합하여 사람이 지각하는 색상과 같이 개선된 영상을 얻는 효과적인 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 시각적으로 개선된 결과를 보여줄 뿐만 아니라 비전기반 지능형 자동차 기술의 한 응용분야인 교통표지판 검출의 전처리 과정으로 적용되어 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

주제어 : 지능형 자동차, 영상개선, 감마 보정, 색상대비 개선

* 본 연구는 숙명여자대학교 교내연구비지원에 의해 수행되었음(1-1103-0408).

[†] 교신저자: 최영우, 숙명여자대학교 컴퓨터과학과, 연구 분야: 인공지능, 영상처리

E-mail: ywchoi@sookmyung.ac.kr

서 론

지능형 자동차란 다양한 기술의 융합으로 운전자에게 안전성 및 편의성을 획기적으로 향상시킨 자동차를 말한다. 교통사고로 인한 인명 및 재산 손실을 줄이고, 자동차의 안정성 및 편의성 향상에 대한 소비자 욕구를 만족시키기 위해서는 지능형 자동차 개발이 필수적이다. 지능형 자동차 기술은 예방안전, 편의성향상, 사고 회피 등으로 분류할 수 있으며, 이 기술들은 사람을 대신하여 도로 상황을 인지하여 운전자에게 알려주거나 직접 차량을 제어한다. 레이더나 카메라로 도로 상황을 인지하는 기술이 중요하며 특히 카메라 센서를 이용하는 비전 기반의 지능형 자동차 기술이 핵심 기술로 떠오르고 있다.

비전 기반 지능형 자동차 기술은 차량에 설치된 카메라로 취득한 실시간 영상을 통해 주행 상황을 인식하여 운전자에게 알려주거나 차량을 제어하는 기술을 말하며, 운전자의 눈을 보조하는 기술로서 그 활용 범위가 매우 넓다. 비전 기반 지능형 자동차 기술은 운전자 보조 시스템을 넘어서 자동 주행을 위한 가장 중요한 기술이기도 하다.

대표적인 비전 기반 지능형 자동차 기술로는 교통표지판 인식시스템(TSR: Traffic Sign Recognition)과 차선이탈 경보시스템(LDWS: Lane Departure Warning System) 등이 있으며 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 이 시스템들은 영상의 조명이나 날씨에 따라 성능이 크게 좌우되며, 특히 도로 주행에서 자주 발생하는 역광이나 야간 환경에서 안정적인 성능을 얻기가 어렵다. 비전 기반의 지능형 자동차 기술을 위해서 다양한 환경에서 안정적인 결과를 보여주는 것이 중요하며 실시간으로 변하는 도로 상황을 대처하기 위하여 빠른 처리 속도가 필수적이다. 비전 기반 지능형 자동차 기술의 대표적인 교통표지판 인식은 교통표지판의 고유한 색상과 모양 특징을 이용하는 다양한 방법들이 연구되어왔다[1, 2, 3].

교통표지판은 운전자의 안전한 주행을 위한 도로 안전시설로 없어서는 안 될 중요한 시설이며 각종 규제 및 안내 등의 정보를 제공한다. 따라서 교통표지판은 운전자가 주시하는 방향에서 빠르게 지각할 수 있는 색상과 형태로 구성되어 있다. 인간의 시각은 다양한 조명 환경에도 보이는 색은 항상 동일한 색으로 지각하는 색의 항상성을 유지하지만, 디지털 이미징 센서는 조명 변화에 매우 민감하게

색상 정보가 감지된다. 결국 디지털 이미징 또한 사람이 인지하는 색과 동일하도록 영상을 개선하여 인간이 보는 상황을 복원하여 자연스러운 영상에서 주요한 물체를 검출하거나 인식할 수 있게 된다.

본 논문은 다양한 조명 환경에서 취득한 도로 주행 영상을 개선하는 방법을 제안한다. 특히 역광이나 야간 주행과 같은 환경에서도 적용할 수 있는 실시간 도로 영상개선 방법을 제안한다. 이를 위해서 2장에서는 기존의 연구를 소개하고 문제점을 분석한다. 3장에서는 본 논문이 제안하는 방법을 설명하고, 4장에서는 다양한 도로영상에 대한 실험으로 제안하는 방법의 우수성을 입증한다. 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 기술한다.

관련연구

주행 영상을 실시간으로 처리하고 개선하는 연구는 아직 충분하게 진행되지는 않고 있지만 일반적인 영상개선에 대한 연구는 오랫동안 활발하게 진행되어 왔다. 영상개선 관련 연구들은 영상의 가시성을 높여주는 연구와 레티넥스 이론에[4] 근거한 영상처리와 색의 항상성(Color Constancy)을 유지하는 연구 등으로 나눌 수 있다.

Land와 McCann은 밝기와 색채는 물체 표면에서 반사성분과 조명성분에 대응한다는 레티넥스 이론을 발표했으며, 색채는 인접 영역에서 반사된 빛 과장과의 관계 속에서 결정된다고 하였다[4, 5]. 인간의 색 지각 시스템은 다양한 조명변화에도 눈에 보이는 색은 항상 동일한 색으로 지각하는 색의 항상성을 유지한다. 영상에서 조명성분과 반사성분을 분해하는 것은 불량조건문제(ill-posed Problem)에 속하지만[6], 어떤 가정이나 제약을 둔 상태에서 레티넥스 이론을 기반으로 영상개선 연구가 진행되어 왔다.

Jobson은 Single Scale Retinex(SSR) 방법을 제안하였고[7], SSR에서 발생하는 문제점들을 해결하여 Multi Scale Retinex with Color Restoration(MSRCR)도 뒤이어 제안하였다[8]. MSRCR은 SSR을 다양한 가우시안 커널의 크기로 조합하여 색 정보가 소실되는 문제를 방지하는 색상 복구 방법을 추가하였다. Fattal은 영상의 세부 표현을 유

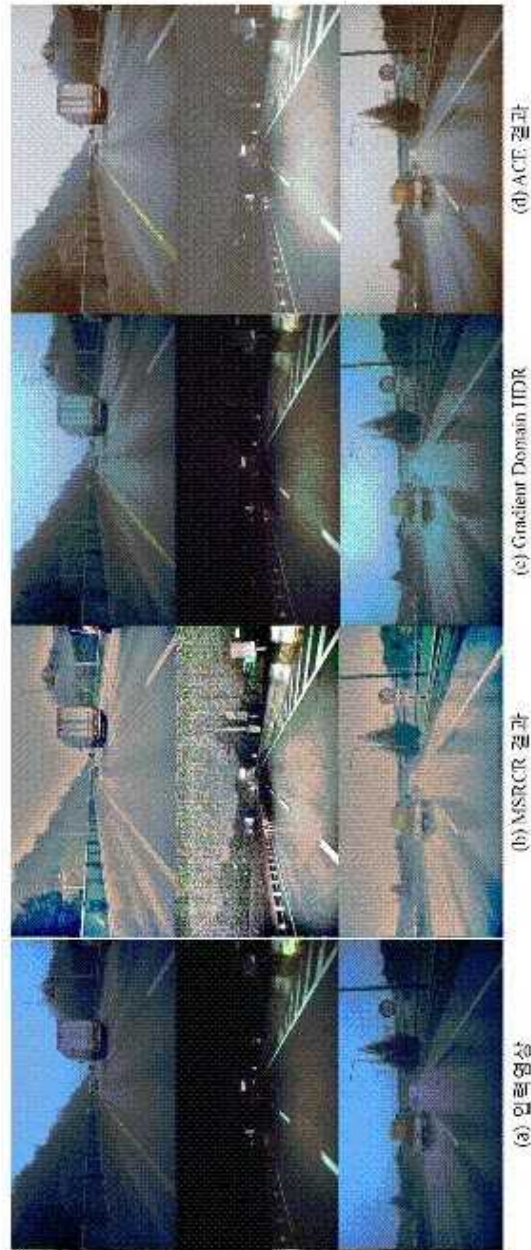


그림 1. 영상 개선 결과 비교

지하면서 조명에 의한 변화량이 큰 부분의 대비를 줄여서 이미지를 다시 만들어내는 Gradient Domain HDR Compression 방법을 제안하였다[9]. 이는 원본 영상과의 차이를 적게 유지하면서 개선된 영상을 만들기 때문에 자연스러운 영상을 만들어 주는 장점이 있다. Gatta는 영상의 지역대비를 개선하기 위하여 인간의 시각 체계의 외측억제(Lateral Inhibition) 속성을 모방한 연산 수행 방법인 ACE(Automatic Color Enhancement) 방법을 제안하였다[10]. 주변 픽셀을 고려하여 영상을 개선하기 때문에 효과적으로 영상의 색상대비를 개선할 수 있다. Bertalmio는 이를 개선하여 시간 복잡도를 줄이는 방법을 제안하였다[11].

영상개선을 위한 다양한 방법들이 제안되었지만 실시간 처리가 필수인 도로 주행 영상처리를 위해서는 처리시간이 반드시 고려되어야 한다. 실시간 처리가 비교적 가능하다고 판단되는 방법들을 선정하여 일반적인 도로 주행영상에 적용하여 영상을 개선한 결과를 (그림 1)에서 보여준다. (그림 1-(a)) 입력으로 사용한 도로 주행영상이며, (그림 1-(b))는 MSRCR 방법을 적용한 결과로서 영상이 전체적으로 색상대비가 강조되어 가시성이 좋아졌지만, 결과 영상에 노이즈가 심하게 발생하거나 인위적이고 부자연스러운 결과가 나타나기도 한다. (그림 1-(c))는 Gradient Domain HDR Compression 방법을 적용한 결과로서 다양한 영상에 대해서 전반적으로 좋은 결과를 보여주며 자연스러운 결과를 보여준다. 그러나 영상의 크기에 따라 연산량이 크게 늘어나는 단점이 있다. (그림 1-(d))는 ACE 방법을 적용한 결과로서 다양한 환경에서 전반적으로 좋은 결과를 보여주고 있으며, 실시간으로 처리가 가능한 속도를 보여준다. 그러나 특정한 조명 환경에서는 오히려 원본영상보다 질이 떨어지는 결과를 보여 주는 단점이 있다.

영상개선 알고리즘

다양한 방법들을 비교 분석한 결과 Gatta가 제안한 ACE의 방법이[10] 비교적 우수하여 본 논문에서는 이를 바탕으로 다양한 조명환경에서도 안정적인 영상개선 결과를 만들 수 있는 방법을 제안한다.

제안 방법

기존의 ACE와 같은 색상대비 개선 방법은 특정한 상황에서는 오히려 영상의 질이 떨어지는 경우가 발생하기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위해서 색상대비 개선 방법이 적용되기 전의 영상과 혼합하여 잃어버린 부분에 대한 보완을 시도한다. 영상을 적절하게 혼합하기 위하여 각 영상에서 과대 및 과소평가된 정도를 측정하여 상대적으로 선명하게 나온 영상에서 값을 더 많이 취해지도록 하였다. 제안하는 방법의 전체적인 흐름은 (그림 2)와 같이 요약된다.

우선 입력영상을 감마조정으로 전처리하는데 이는 감마조정을 통해서 역광과 같은 환경에서의 영상을 전반적으로 개선할 수 있기 때문이다. 다음으로 ACE (Automatic Color Enhancement)를 수행하여 색상의 대비를 개선하는데 이는 감마조정에서 발행할 수 있는 영상의 대비가 낮아지는 현상을 보완할 수 있기 때문이다. 다음 단계로서 감마조정의 전처리된 영상과 전처리 후 ACE를 적용한 영상에 대해서 각각 과대평가와 과소평가 정도를 측정한다. 과대평가와 과소평가된 정도를 종합하여 α 값을 계산하며 마지막 단계로서 전처리한 영상과 전처리 후 색상 대비를 개선한 두 영상을 α 값에 따라 혼합하여 최종적으로 개선된 영상을 만든다.

전처리

(그림 3)과 같이 도로주행에서 발생하는 역광은 가장 처리하기 어려운 조명환경으로 분류된다. (그림 3)과 같은 상황에서는 원본영상과 ACE를 적용하여 개선한 영상을 혼합하는 방법만으로는 처리에 적절한 영상을 얻지 못하는데, 이는 ACE를 이용한 색상대비 개선 방법이 역광이 포함된 영상에서는 바람직한 결과를 만들기 어렵기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 전처리 단계로서 감마조정을 수행한다. 감마조정을 통해서 대비 정도를 조절할 수 있는데, 높은 감마에서는($\alpha < 1$) 대비가 커지고 표현하는 단계가 적어진다. 반면 낮은 감마에서는($\alpha > 1$) 대비가 작아지며 희미하고 색상을 잃는 특징이 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 전처리 방법은 식 (1)을 사용하여 감마조정을 수행한다.

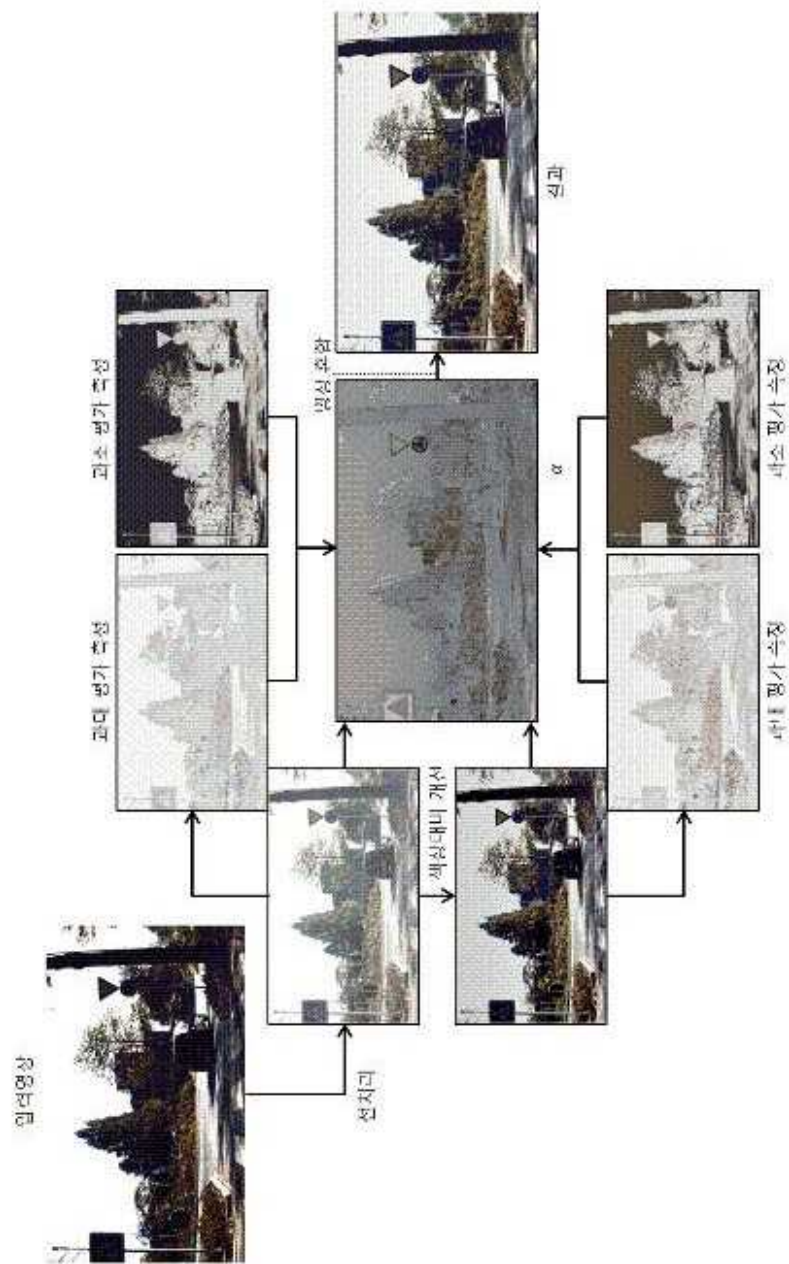


그림 2. 제안하는 방법의 개요

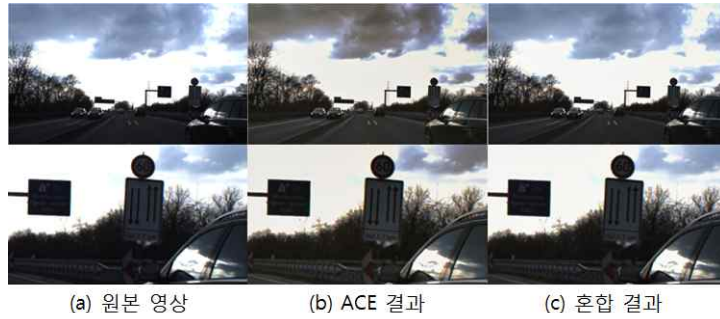


그림 3. 역광에 대한 ACE 및 혼합 결과 예

$$O(x,y) = 255 \left(\frac{I(x,y)}{255} \right)^\alpha \quad (1)$$

여기서 α 는 1보다 작은 값이며 본 논문의 실험에서는 0.5로 설정하였다. $I(x,y)$ 는 화소의 명도이며, $O(x,y)$ 는 그에 따른 출력 명도이다. (그림 4)는 α 를 0.5로 설정한 전처리 결과를 보여준다. 감마를 줄여주면 대비가 낮아지고 희미해지는 현상이 발생하기도 하지만, 나중에 ACE를 적용하여 색상대비가 강조된 영상과 혼합하기 때문에 이러한 문제점을 보완할 수 있다.



(a) 입력영상 (b) 전처리 결과

그림 4. 전처리 결과

색상대비 개선

Gatta는 효율적인 영상개선을 위하여 ACE(Automatic Color Enhancement) 방법을 제안하였다[10]. 영상의 지역대비를 개선하기 위하여 인간의 시각 체계의 외측억제

(Lateral Inhibition) 속성을 모방한 연산을 수행한다. 외측억제란 인간의 시각체계에 서 인접한 신경구조끼리 서로를 억제하는 경향으로서 특정한 층에 있는 한 단위가 활성화되면 동일한 층에 있는 다른 단위들이 억제되는 것을 말한다[12]. 입력영상을 I 라고 할 때 다음과 같은 연산을 수행하며, 영상 값은 0에서 1사이로 변환하여 적용한다.

$$R(x) = \sum_{y \in T^2} \omega(x, y) s_{\alpha}(I(x) - I(y)) \quad (2)$$

여기서 ω 는 두 픽셀 x 와 y 의 거리에 따른 가중치를 의미하며, 논문에서는 다음과 같이 정의하였다.

$$\omega(x, y) = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (3)$$

식 (2)에서 s_{α} 는 Slope Function이며 다음과 같이 정의한다.

$$s_{\alpha}(t) = \text{Min}(\text{Max}(\beta t, -1), 1) \quad (4)$$

s_{α} 는 두 픽셀의 차이 $I(x) - I(y)$ 가 어느 정도의 영향을 주는지를 결정한다. 두 픽셀 값의 차이가 큰 경우, 즉 $I(x) - I(y) > 1/\alpha$ 인 경우 Slope Function $s_{\alpha}(I(x) - I(y))$ 은 1 또는 -1 이 된다. 두 픽셀 값의 차이가 작은 경우, 즉 $I(x) - I(y) < 1/\alpha$ 인 경우 상대적으로 두 픽셀 값의 차이보다 $s_{\alpha}(I(x) - I(y))$ 값은 상대적으로 높게 적용된다. 따라서 α 값에 따라서 영상의 명암대비가 다르게 나타나며, (그림 5)는 α 값에 따른 이미지 변화를 보여준다.

α 가 커짐에 따라 색상대비는 더욱 커진다. 본 논문에서는 α 를 5로 설정하였다. 위와 같은 연산들을 N 개의 픽셀을 가진 연산에서 수행하면 $O(N^2)$ 의 시간 복잡도를 보인다. 하지만 Bertalmio는 FFT를 사용하여 함수 합성시간을 줄일 수 있는 식으로 유도하여 시간복잡도를 $O(N \log N)$ 으로 감소시켰다[11].

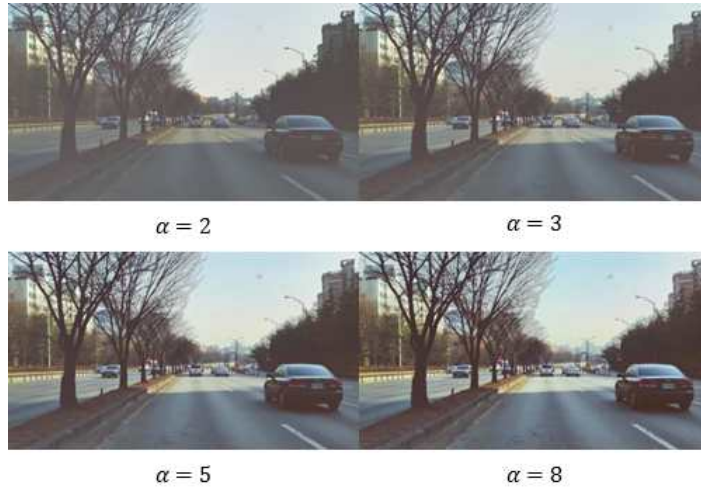


그림 5. α 값에 따른 이미지 변화

다음은 전역적으로 영상의 균형을 맞추기 위해서 아래 식 5의 연산을 수행한다.

$$L(x) = \frac{1}{2} + \frac{R(x)}{2M} \quad (5)$$

여기서 M 은 전체 영상에서 $R(x)$ 의 최대값을 의미한다. 식 (5)에서 $R(x)$ 가 최대값인 경우 $L(x)$ 는 1이 된다는 것을 확인할 수 있다. $L(x)$ 가 0보다 작은 경우 $L(x)$ 는 0으로 올려준다. 즉, $L(x)$ 는 $R(x)$ 를 0과 1사이의 값으로 변환해준다.

과대 및 과소평가 측정

ACE는 외측억제라는 특성을 이용하여 효과적으로 영상을 개선하지만 야간에 터널을 지나는 주행환경과 같은 (그림 6) 경우에는 외부 조명에 의해서 오히려 원래의 영상이 갖고 있는 색을 잃는 경우가 발생한다. (그림 6)에서 영상이 전체적으로 터널 안에서는 어둡지만 터널 밖에 있는 표지판은 선명하게 나타났다. 이런 경우 표지판 주변이 표지판에 비해 상대적으로 어둡기 때문에 표지판은 매우 밝은 값으

로 평가되어 오히려 선명했던 표지판이 영상처리 결과 색을 잃는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 3차원의 공간 정보와 광원 정보 등이 필요하지만 단일 영상에서 이런 정보를 얻는 것은 거의 불가능하다.



(a) 입력 영상 (b) 영상 개선 결과

그림 6. 영상 개선 후 과대평가되어 색을 잃는 경우

이러한 문제점을 해결하기 위해서 영상에서 각 픽셀 값이 과대평가되거나 과소평가된 정도를 측정하여 원래 영상과 혼합하는 방법으로 문제점을 해결하고자 하였다. 본 절에서는 과대평가된 정도와 과소평가된 정도를 실시간으로 처리하기 위해서 픽셀단위로 평가하였다. 본 논문에서는 과다노출 보정을 위해서 D. Guo가 제안한 방법을[13] 수정하여 과대평가된 정도와 과소평가된 정도를 측정하는 방법을 제안한다. 우선 측정을 위하여 영상을 CIELAB 색 공간으로 변환한다. CIELAB 색 공간은 밝기를 나타내는 L 과 색상 정보를 나타내는 a 와 b 로 나눌 수 있다. 채도를 $C = \sqrt{a^2 + b^2}$ 라고 하면 과대평가된 픽셀에서는 L 값은 커지고, C 는 작아지는 특징이 있다. 이를 이용하여 다음과 같이 과대평가된 정도 O 를 측정한다.

$$O_x = \frac{1}{2} (\tan(\alpha(L_x - L_{t_1}) + \beta(C_t - C_x)) + 1) \quad (6)$$

여기서 L_{t_1} 은 L 에 대한 임계값을 C_t 는 C 에 대한 임계값을 나타낸다. \tanh 는

-1과 1사이의 값을 갖기 때문에 0과 1사이의 값으로 변환하였다. 마찬가지로 과소 평가된 픽셀에서는 L 과 C 는 모두 작아지는 특징이 있다. 다음과 같이 과소평가된 정도 U 를 측정한다.

$$U_x = \frac{1}{2}(\tan(\alpha(L_{t_2} - L_x) + \beta(C_t - C_x)) + 1) \quad (7)$$

여기서 L_{t_2} 은 L 에 대한 임계값을 나타낸다. 본 논문의 실험에서는 $L_{t_1} = 80$, $L_{t_2} = 30$ 을 적용하였으며, (그림 6)은 과대평가된 정도 O 와 과소평가된 정도 U 를 영상으로 보여준다. (그림 7-(a))는 입력 영상이며 (그림 7-(b))는 ACE를 이용하여 색상대비를 개선한 영상이다. (그림 7-(c))와 (그림 7-(e))는 각각 (그림 7-(a))에 대한 과대평가된 정도와 과소평가된 정도를 보이며, (그림 7-(d))와 (그림 7-(f))는 각각 (그림 7-(b))에 대한 과대평가된 정도와 과소평가된 정도를 나타낸다.

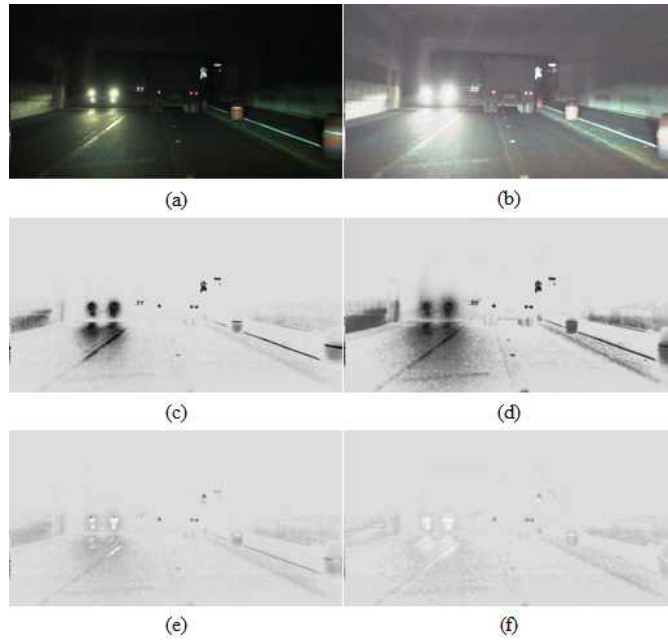


그림 7. 영상의 과대 및 과소평가 측정

영상 혼합

Gatta가 제안한 방법의[10] 문제점은 특정 조명환경에서 영상의 일부가 과대평가되거나 과소평가되어 오히려 영상의 질이 떨어지는 경우가 발생하는 것이다. 따라서 본 논문에서는 손실된 영역을 이전 영상과 혼합을 통해 복원하는 방법을 제안한다. 입력영상을 전처리한 영상 I_p 와 ACE 방법을 통해서 색상대비를 강조한 영상 I_q 를 다음과 같이 알파 혼합을 수행한다.

$$I = \alpha \times I_q + (1 - \alpha) \times I_p \quad (8)$$

여기서 α 는 두 영상의 과소평가정도와 과대평가정도를 이용하여 다음 식 (9)와 같이 계산한다.

$$\alpha = \frac{1}{2} \tanh(\delta(U_p - U_q + O_p - O_q)) + \frac{1}{2} \quad (9)$$

여기서 δ 는 상수이며, 두 영상 I_p 와 I_q 에서 측정된 과대/과소평가된 정도가 α 에 미치는 정도를 조절해준다. 식 (9)을 통해서 α 는 0과 1사이의 값을 갖게 된다.

실 험

실험환경 및 데이터

본 논문에서 제안하는 방법은 표 1의 환경에서 구현하여 실험하였다. 실험은 국외 기관에서 공개한 2개의 주행 영상데이터와 국내에서 촬영한 주행 영상데이터를 각각 사용하였다. Stereopolis 데이터베이스는[14] 프랑스 파리에서 자동차 위에 카메라를 부착하여 영상 크기를 1355 x 781로서 5m 간격으로 주행하면서 촬영하였다. 전체 847장의 이미지 중에서 176장의 원형표지판이 나타나며, 주간에 촬영한 데이

표 1. 실험 환경

CPU	Intel(R) Core(TM) i5 @2.67GHz
메모리	8.00 GB
그래픽카드	GeForce GTX 660
운영체제	Windows 7 Enterprise 64bit
실험 도구	Microsoft Visual Studio 2010
라이브러리	OpenCV 2.2

터이지만 다양한 조명환경을 포함하지는 않는다.

GTSDB 데이터베이스는[15] 독일에서 촬영하였으며 600장의 학습데이터와 300장의 테스트데이터로 구성되어 있다. 본 실험에서는 Ground Truth가 제공되는 학습데이터를 사용하였다. 영상의 크기는 1360 x 800이며 표지판 앞에서 촬영한 영상이며, 그 중 566개가 원형표지판이다. 역광이나 측광 등 다양한 조명환경에서 촬영된 이미지를 포함하고 있다.

국내 데이터는 수도권 지역의 자동차 전용도로에서 촬영하였으며, 영상 크기는 1280 x 672 이며 야간 주행영상을 포함한 원형표지판이 나타나는 45장의 이미지를 선별하여 실험에 사용하였다.

영상개선 결과 및 처리시간

자동차의 도로주행에서 발생할 수 있는 다양한 조명환경을 대상으로 MSRCR [8], Gradient Domain HDR Compression[9], ACE[10]와 제안한 방법을 비교 실험하였다. (그림 8)은 GTSDB 데이터의 역광 영상에서의 비교 실험한 결과이다. 그림의 두 번째 행의 이미지들은 첫 번째 행의 이미지들에서 표지판 부분을 확대한 것이며, 마찬가지로 네 번째 행의 이미지들은 세 번째 행의 이미지들에서 표지판 부분을 확대한 이미지이다. 제안하는 방법이 다른 방법들에 비해 우수한 결과를 보여줌을 확인할 수 있으며, 특히 표지판 영역을 확대한 영상들에서 표지판 내부 기호나 테두리의 색 부분에서 확실하게 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

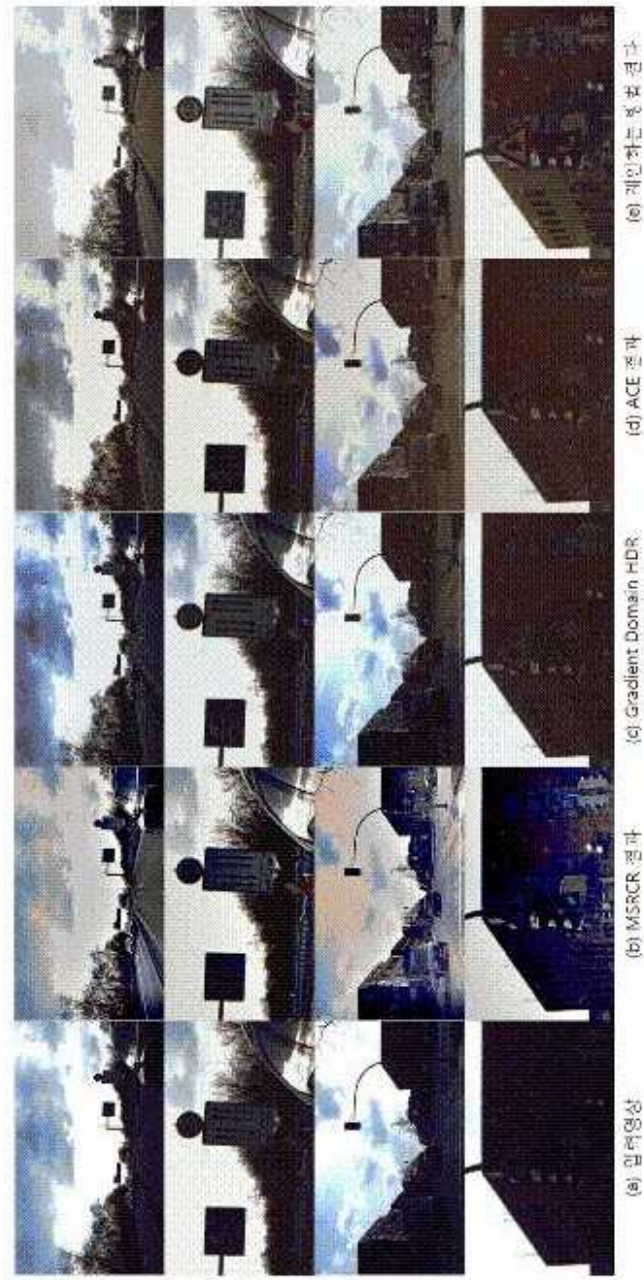


그림 8. 도로 주행 영상개선 결과

제안하는 방법을 비전 기반의 지능형 자동차 기술에 적용하기 위해서는 처리 속도에 대한 고려가 중요하다. 제안하는 방법의 처리 속도를 측정하기 위하여 다양한 크기의 영상에서 속도를 측정하였다. 입력 영상을 처리하는데 걸리는 시간을 표 3에 나타냈으며, 교통 표지판 인식에 사용하기 위해서는 400ms 이하의 처리 속도가 필요하며[17], 제안하는 방법은 640x336 이하의 해상도에서 200ms 이하의 속도를 보여주고 있다. 제안하는 방법이 ACE 방법과 함께 다른 방법들보다 비교적 빠른 속도임을 확인할 수 있다.

교통표지판 검출에 적용한 결과

본 논문에서 제안하는 영상개선은 교통표지판 인식을 대상으로 실험하였다. 이는 일반적으로 영상의 개선 정도는 원본영상에 조명변화 또는 노이즈 등을 첨가한 영상을 원본과 같이 복원하는 것이 아니기 때문에 영상개선 결과를 정량적인 성능 향상 수치로 나타내기 어렵기 때문이다. 따라서 성능 측정을 위해서 본 논문에서 제안한 영상개선 방법을 교통표지판 검출의 전처리 단계로 적용한 경우 검출률이 향상되는 성능을 평가하고자 하였다. 교통표지판 인식은 일반적으로 영상에서 교통표지판 후보 영역을 검출하고 검출한 영역들을 분류한 후 인식한다. 실험에 사용한 표지판은 속도표지판을 포함한 원형표지판을 대상으로 하였다.

교통표지판 검출을 위해 다양한 방법들이 연구되었으며 학습을 기반으로 하는 방법과 표지판의 색상과 모양을 특징으로 사용하는 방법으로 나눌 수 있다. 학습을 사용하는 방법은 학습 데이터의 크기, 종류, 학습 방법 등에 따라 성능이 크게 좌우되기 때문에 본 실험에 사용하지 않았다. 본 실험에서는 Barnes가 제안한 RSD (Radial Symmetry Detector)를 사용하여 성능을 평가하였다[16]. RSD는 Houben의 실험 결과에서도[17] 보였듯이 우수하면 안정적인 결과를 나타냈다. 본 실험에서는 Houben의 실험에서[17] 가장 우수한 성능을 나타냈던 Color Gradient 방식에서 색에 대한 가중치를 부여하여 실험하였다.

검출 여부는 Belaroussi가 교통 표지판 검출을 위해 적용했던 두 가지 기준을 적용하였다[14]. 첫 번째 기준은 검출한 표지판의 중심점이 실제 표지판의 중심점으로부터의 거리가 실제 표지판 크기의 20%보다 작아야 하는 것이며, 두 번째 기준

표 2. 교통표지판 검출 결과

	Barnes	ACE 영상개선 + Barnes	제안한 영상 개선 포함
국외 1 (Stereopolis)	90.91%	91.48%	91.48%
국외 2 (GTSDB)	85.69%	89.73%	92.05%
국내	77.78%	82.22%	86.67%

은 검출한 표지판의 높이와 폭이 실제 표지판과의 오차가 실제 표지판 크기의 45% 이내여야 한다. 이를 적용한 교통표지판 검출 결과를 표 2에서 볼 수 있다. 제안한 영상개선 방법을 전처리 과정으로 사용한 실험에서 표지판 검출률이 높아진 것을 확인할 수 있다.

실험 결과에서 볼 수 있듯이 야간 영상을 포함한 국내데이터에서 가장 큰 성능 향상을 보였으며, 다양한 역광을 포함하고 있는 GTSDB에서도 성능이 크게 향상된 것을 확인할 수 있다. Stereopolis 데이터에서는 성능 개선이 거의 없는데 이는 대부분의 영상이 좋은 조명환경에서 취득하여 영상개선이 미치는 정도가 미비한 것으로 파악되기 때문이다. 검출에 실패한 경우도 표지판이 비스듬히 기울어진 경우로서 RSD 검출기가 원형 검출에 실패한 경우가 대부분이었다. 표 3은 비교 대상 영상 개선방법과 제안하는 방법의 처리 시간을 나타낸다. 표 3의 처리속도의 단위는 fps(frame per second)로 1초 동안 처리 가능한 이미지의 수량을 의미한다. 제안하는

표 3. 처리 속도 (단위: fps)

	이미지 해상도		
	320x168	640x336	1280x672
MSRCR [8]	9.09	2.38	0.58
HDR Compression [9]	0.75	0.43	0.11
ACE [10]	47.61	10.86	2.48
제안 방법	34.48	8.0	2.05

방법은 ACE[10]의 방법에 추가적인 개선사항을 더하여 ACE보다 약 17% 추가 연산 시간이 소요된다. 그러나 MSRCR[8]이나 HDR[9]와 비교할 때 빠른 처리가 가능함을 보인다.

결론 및 향후 연구

본 논문에서는 교통표지판 인식을 위한 도로 주행 영상개선 방법을 제안하였다. 교통표지판 인식과 같은 비전 기반 지능형 자동차 기술에 적용할 수 있는 영상개선 기술은 빠른 처리 속도가 요구되며 도로 환경의 다양한 조명환경에 안정적인 결과를 보여주어야 한다. 본 논문에서는 기존의 영상개선 방법을 개선하여 도로 주행영상에 적합한 방법을 제안하였다. 우선 영상의 감마조정을 통해 어두운 조명 부분의 가시성을 높여주고 영상의 과대 및 과소평가된 정도를 픽셀 단위로 측정하고 영상혼합을 통하여 간단하고 효과적으로 영상을 개선할 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 방법은 가시적으로 개선된 성능을 보여줄 뿐만 아니라 교통표지판 검출의 전처리 과정으로 사용되어 검출률이 향상됨을 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 도로 주행에서 안개나 비와 같은 상황에서도 효과적으로 영상을 개선하는 방법을 제안하고자 한다.

참고문헌

- [1] 김승규, 임광용, 최영우, 변혜란, “색상과 모양 특징을 이용한 실시간 교통 표지판 검출”, 한국정보과학회 2012 가을 학술발표논문집, 39(2)(B), pp.198-200, 2012.
- [2] A. Broggi, P. Cerri, P. Medici, P. P. Porta, and G. Ghisio, “Real Time Road Signs Recognition”, in Proceedings of the IEEE Symposium on Intelligent Vehicles, 2007, pp. 981-986.
- [3] C. keller, C. Sprunk, C. Bahlmann, J. Giebel, and G. baratoff, “Real-time recognition

- of u.s. speed sign”, in Proceedings of the IEEE Symposium on Intelligent Vehicles, 2008, pp.518-523.
- [4] E. Land and McCann, J, “Lightness and Retinex theory”, Journal of the Optical Society of America, vol.61, no.1, pp.1-11, 1971.
- [5] E. Land, “An alternative technique for the computation of the designator in the Retinex theory of color vision”, Proceedings of the National Academy Science of the United State of America, sci. 83, pp.3078-3080, 1986.
- [6] R. Ramamoorthi and P. Hanrahan, “A signal-processing framework for inverse rendering”, ACM SIGGRAPH 2001, pp.117-128.
- [7] D. Jobson, Z. Rahman, and G. Woodell, “Properties and performance of a center/surround Retinex”, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6, no. 3, pp. 451-462, 1997.
- [8] D. Jobson, Z. Rahman, and G. Woodell, “A multiscale Retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes. IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6, no. 7, pp.965-976, 1997.
- [9] D. Fattal, Lischinski, and M. Werman, “Gradient Domain High Dynamic Range Compression”, ACM Transactions on Graphics, vol. 21 no. 3, pp.249-256, 2002.
- [10] C. Gatta, A. Rizzi, D. Marini, “ACE: An automatic color equalization algorithm”, Proceedings of the First European Conference on Color in Graphics Image and Vision, 2002.
- [11] M. Bertalmío, V. Caselles, E. Provenzi and A. Rizzi, “Perceptual Color Correction Through Variational Techniques,” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 16, no. 4, pp.1058-1072, 2007.
- [12] H. K. Hartline, H. G. Wagner, F. Ratcliff, “Inhibition in the eye of limulus”, Journal of General Physiology, vol. 39, no. 5, pp.651-673, 1956.
- [13] D. Guo, Y. Cheng, S. Zhuo, and T. Sim, “Correcting Over-Exposure in Photographs”, IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 515-521, 2010.
- [14] R. Belaroussi, P. Foucher, J. -P. Tarel, “Road Sign Detection in Images: A Case

- Study”, International Conference on Pattern Recognition, pp.484-488, 2010.
- [15] S. Houben, J. Stalkamp, J. Salmen, M. Schlipsing, and C. Igel, “Detection of Traffic Signs in Real-World Images: The German Traffic Sign Detection Benchmark”, IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 2013
- [16] N. Barnes, A. Zelinsky, and L. Fletcher, “Real-time speed sign detection using the radial symmetry detector”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 9, no. 2, pp.322-332, 2008.
- [17] S. Houben, “A single target voting scheme for traffic sign detection”, IEEE Symposium on Intelligent Vehicles, 2011, pp.124-129.

1 차원고접수 : 2013. 10. 15
2 차원고접수 : 2014. 03. 21
최종게재승인 : 2014. 03. 26

(*Abstract*)

Road Image Enhancement Method for Vision-based Intelligent Vehicle

Seunggyu Kim

Daeyong Park

Yeongwoo Choi[†]

Computer Science Dept.

Computer Science Dept.

Yonsei University

Sookmyung Women's University

This paper presents an image enhancement method in real road traffic scenes. The images captured by the camera on the car cannot keep the color constancy as illumination or weather changes. In the real environment, these problems are more worse at back light conditions and at night that make more difficult to the applications of the vision-based intelligent vehicles. Using the existing image enhancement methods without considering the position and intensity of the light source and their geometric relations the image quality can even be deteriorated. Thus, this paper presents a fast and effective method for image enhancement resembling human cognitive system which consists of 1) image preprocessing, 2) color-contrast evaluation, 3) alpha blending of over/under estimated image and preprocessed image. An input image is first preprocessed by gamma correction, and then enhanced by an Automatic Color Enhancement(ACE) method. Finally, the preprocessed image and the ACE image are blended to improve image visibility. The proposed method shows drastically enhanced results visually, and improves the performance in traffic sign detection of the vision based intelligent vehicle applications.

Key words : Intelligent Vehicle, Image Enhancement, Gamma Correction, Color Contrast Enhancement