

헤드램프의 시계성 평가를 위한 야간 도로 영상 재현 알고리즘

이 철 희, *하 영 호

경운대학교 컴퓨터공학과, *경북대학교 전자·전기공학부
전화:054-479-1226 휴대전화:019-530-6284

An reproduction algorithm of nighttime road-image for visibility evaluation of headlamps

Cheol-Hee Lee and *Yeong-Ho Ha

Department of Computer Engineering, Kyungwoon University

*School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

E-mail : lch@kyungwoon.ac.kr, *yha@ee.knu.ac.kr

Abstract

This study proposes a new calculation method for generating real nighttime lamp-lit images. In order to improve the color appearance in the prediction of a nighttime lamp-lighted scene, the lamp-lit image is synthesized based on spectral distribution using the estimated local spectral distribution of the headlamps and the surface reflectance of every object. The principal component analysis method is introduced to estimate the surface color of an object, and the local spectral distribution of the headlamps is calculated based on the illuminance data and spectral distribution of the illuminating headlamps. HID and halogen lamps are utilized to create beam patterns and captured road scenes are used as background images to simulate actual headlamp-lit images on a monitor. As a result, the reproduced images presented a color appearance that was very close to a real nighttime road image illuminated by single and multiple headlamps.

I. 서론

헤드램프의 배광 해석을 통한 시계성 평가는 헤드램프 개발 과정에 필요한 시간과 비용을 줄이기

위해 매우 중요하다. 따라서 그래픽 및 실사 영상을 이용하여 헤드램프의 빔 패턴을 평가하기 위한 다양한 시뮬레이션 방법들이 연구되어 왔다.^{1,2)} 그러나 그래픽 영상의 경우 실제 헤드램프가 조명된 도로의 느낌을 잘 전달하지 못하며 기존의 RGB기반의 실사 영상 실험은 조명된 도로 영상의 색을 정확하게 표현하지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 헤드램프가 조명된 야간 도로 영상에 대한 정확한 예측을 위해 광원 및 물체색의 분광분포에 기반한 야간 도로 영상 재현 알고리즘을 개발하였다.

개발된 방법에서는 배경 영상으로 사용할 야간의 도로 영상을 만들기 위해 낮 영상을 이용하였다. 즉 야간 영상을 디지털 카메라로 촬영할 경우 주변의 광량이 CCD의 정상 입력 허용 범위보다 낮으므로 획득된 영상에 노이즈가 많다. 그러므로 이러한 영상을 이용하여 헤드램프 광원을 합성할 경우 영상에 포함된 노이즈가 더욱 증폭되어 영상의 왜곡이 심하다. 따라서 본 연구에서는 낮 영상을 카메라로 촬영한 후 광원의 세기를 줄인 후 이를 헤드램프의 빔 패턴을 평가하기 위한 배경 영상으로 이용하였다.

배경 영상으로부터 주성분 분석 방법을 이용하여 영상의 물체색의 분광분포를 추정하고 또한 각 화소의 조도 필터의 값과 각 헤드램프의 분광 분포를 이용하여 화소 단위로 광원의 분광분포를 추정한 뒤 이를 이용하여 복수 개의 헤드램프가 조명된 도로에 대한 예측 영상을 만들었다. 개발된 알고리즘의 유용성을 평가하기 위하여 추정된 광원의 분광 분포와 실제 측정된 분광분포를 비교하였고, 예측 영상과 실영상에 대

한 주관적인 실험을 통하여 결과를 평가하였다. 실험 결과 예측 영상이 실제 환경에서 헤드램프에 조명된 도로와 시각적으로 매우 근접함을 확인하였다.

II. 조명된 헤드램프의 분광분포 추정

운전자가 실제 노면에서 운전을 하는 경우 램프의 빛은 노면과 주변 구조물에 조명된다. 이때 노면에 조사된 헤드램프의 분광분포를 추정하기 위해서는 점등된 헤드램프 자체의 분광분포와 배경 노면 영상의 위치에 대한 조도데이터가 필요하다. 헤드램프 자체의 분광분포는 분광 광도계를 이용하여 측정하여 구할 수 있으나 조도 계산을 위해서는 램프의 배광을 테스트한 광도값과 배경 영상의 각 지점과 헤드램프사이의 거리 정보가 필요하다. 2차원 사진영상으로 부터 3차원 거리정보를 얻기 위해 1점 소실원근투사법을 이용하였다. 즉 소실점을 기준으로 두 영역으로 나누어 소실점 아래쪽은 램프의 빛이 지면에 도달하게 되고 소실점 위쪽에서는 일정한 소실거리에 램프의 빛이 도달한다고 고려하였다. 조도 계산 후 화소 단위로 헤드램프의 분광분포를 결정한다. 제안된 연구에서는 HID(low beam), H1(high beam), H3(fog beam)이 헤드램프 조명으로 사용되었다. 복수 개의 헤드램프가 조명되었을 때 각 영역에서 분광분포의 합은 아래 식과 같이 표현된다.

$$E_{lamps}(\lambda) = \sum_{i=1}^m I_i E_i(\lambda) \quad (1)$$

위 식에서 m 은 조명된 램프의 수이며, $E_i(\lambda)$ 는 그림 1과 같이 규격화된 헤드램프의 분광분포이다. $I_i(\lambda)$ 는 노면 영상의 각 위치에서 계산된 조도를 나타낸다. 그림 1에서 보는 바와 같이 각 헤드램프의 분광분포는 400nm부터 700nm까지 10nm간격으로 표시되며 분광분포사이의 크기를 규격화하기 위해 식(2)와 같이 비시감도의 최대값의 파장에서 D65광원의 해당하는 분광분포 값을 갖도록 조절하여 사용하였다. 즉 식(1)에서 $E_i(\lambda)$ 는 램프의 색을 결정하며 $I_i(\lambda)$ 는 램프의 밝기를 고려하여 조명된 복수 개의 램프 광원에 대한 총합적인 분광분포를 추정하였다.

제안된 복수 광원의 분광분포 추정방법의 정확성을 시험하기 위하여 계산된 분광분포와 실제 측정된 분광분포를 비교하였다. 실측한 복수광원의 분광분포를 얻기 위해 HID, H1, H3 램프를 이용하여 보름달에서의 조도 환경인 0.1[lux]의 암실에서 세 개의 램프를 점등한 후 보정용 표준 백색면에 조사하고 Minolta CS-1000 분광광도계를 이용하여 반사광을 측정하였다.

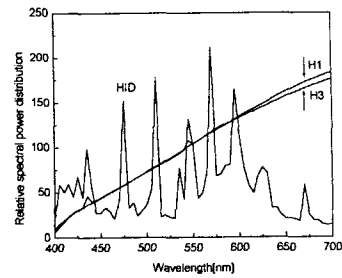


그림 1. 헤드램프의 분광전력분포

$$E_{lamps}(\lambda) = \frac{E_{lamps}(\lambda)}{E_{lamps}(555)} \times E_{D65}(555) \quad (2)$$

그림 2는 실측한 반사광의 분광분포와 계산된 분광분포를 보여준다.

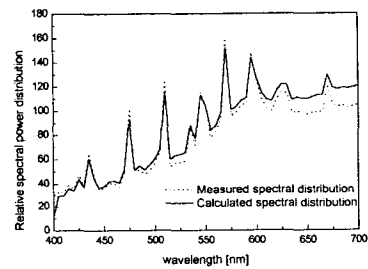


그림 2. HID, H1, H3 램프 동시 점등시, 백색면의 반사광에 대한 실측한 분광분포와 계산된 분광분포

그림 2에서 보는 바와 같이 계산된 복수램프 광원의 분광분포는 실측한 분광분포에 거의 근접하며, 정량적인 평가 결과 색차(ΔE_{ab}) 및 평균자승오차는 각각 2.1474 및 2.3408을 나타냈다. 즉 색차가 3보다 적을 경우 두 광원의 색차를 거의 구분할 수 없으므로 제안된 램프광원의 분광분포 합성 방법이 유용함을 확인할 수 있다.

III. 야간 노면 영상의 분광반사율 추정

3.1 야간노면 영상으로 사용할 배경 영상의 획득

가로등이 없는 야간의 경우 전형적인 조도의 범위는 0.1[lux]미만이다. 0.1[lux]의 조도는 디지털카메라가 허용하는 최소 조도보다 낮으므로 실제의 야간 노면 영상을 디지털카메라로 촬영할 경우 영상에 노이즈가 많

이 포함된다. 특히 본 연구와 같이 야간 영상을 배경으로 하여 헤드램프가 조명된 도로를 재현할 경우 노이즈는 더욱 증폭된다. 따라서 본 연구에서는 헤드램프의 시계성 평가를 위한 배경 영상으로 낮영상을 사용하였다. 즉 낮에 노면 영상을 촬영하고 일광의 분광분포를 측정함 다음, 식(3)을 이용하여 일광을 세기를 줄여줌으로써 배경 영상으로 사용할 야간 노면영상을 얻었다.

$$\begin{aligned} X &= K_{daylight} \alpha \sum_{\lambda=400}^{700} E_{daylight}(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) \\ Y &= K_{daylight} \alpha \sum_{\lambda=400}^{700} E_{daylight}(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) \\ Z &= K_{daylight} \alpha \sum_{\lambda=400}^{700} E_{daylight}(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) \\ K_{daylight} &= 100 / \sum_{\lambda=400}^{700} E_{daylight}(\lambda) \bar{y}(\lambda). \end{aligned} \quad (3)$$

위 식에서 $R(\lambda)$ 는 노면 영상의 분광반사율을 나타내며, $E_{daylight}(\lambda)$ 는 노면 영상 촬영시, Minolta CS-1000 분광 광도계로 측정된 일광의 분광분포이다. 이때 야간 노면영상의 밝기를 결정하기 위한 일광의 감쇄상수 α 는 실험적으로 결정되었다.

3.2 주성분 분석을 이용한 분광반사율의 계산

RGB로 표현되는 야간 노면 영상의 분광반사율을 추정하기 위해서 주성분 분석을 이용하였다. 물체의 분광 반사율은 먼셀북과 같은 현색 공간의 색표본에 대한 주성분을 계산한 다음, 몇 개의 주성분의 선형조합으로 근사화 할 수 있다는 것이 많은 연구에서 보고되고 있다.^[3]

$$\begin{aligned} R(\lambda) &\cong \bar{R}(\lambda) + c_1 u_1(\lambda) + c_2 u_2(\lambda) + c_3 u_3(\lambda) \\ \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 \end{pmatrix}^{-1} \left[\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{pmatrix} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

위 식에서 $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 는 실험에 사용한 1269개 먼셀 색표본의 평균 분광 반사율의 삼자극치이며, X_i, Y_i, Z_i ($i=1, 2, 3$)은 3개의 주성분의 삼자극치이다. 그림 3은 1269의 먼셀 색표본에 대한 3개의 주성분 벡터를 나타낸다.

IV. 추정된 램프광원의 분광분포와 야간 노면영상의 분광반사율을 이용한 램프 점등하의 야간노면 영상재현

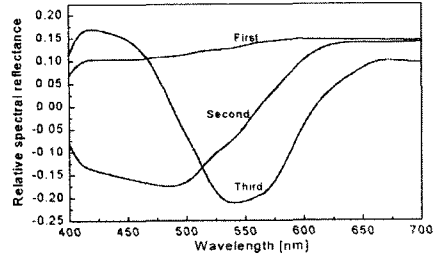


그림 3. 1269 먼셀색표본의 분광반사율을 이용한 3개의 주성분 벡터

헤드 램프 조명하의 야간노면 영상은 II절에서 계산되어진 복수 개의 헤드램프 분광분포 및 조도데이터와 III절에서 얻은 추정된 야간 노면의 분광반사율을 이용하여 아래 식과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} X &= \sum_{\lambda=400}^{700} (K_{night} E_{night}(\lambda) + K_{lamps} L^*_{lamps} E_{lamps}(\lambda)) \bar{x}(\lambda) R_{night}(\lambda) \\ Y &= \sum_{\lambda=400}^{700} (K_{night} E_{night}(\lambda) + K_{lamps} L^*_{lamps} E_{lamps}(\lambda)) \bar{y}(\lambda) R_{night}(\lambda) \\ Z &= \sum_{\lambda=400}^{700} (K_{night} E_{night}(\lambda) + K_{lamps} L^*_{lamps} E_{lamps}(\lambda)) \bar{z}(\lambda) R_{night}(\lambda) \\ K_{night} &= 100 / \sum_{\lambda=400}^{700} E_{night}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \\ K_{lamps} &= 100 / \sum_{\lambda=400}^{700} E_{lamps}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \end{aligned} \quad (5)$$

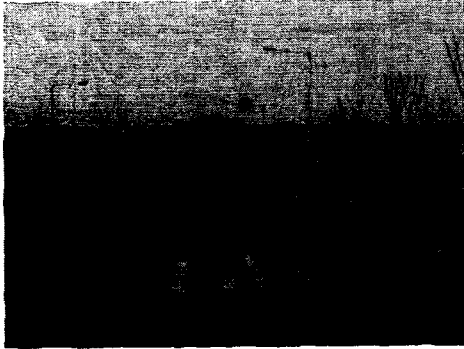
위 식에서 L^*_{lamps} 은 계산된 조도값과 모니터에 재현된 영상의 인지되는 밝기를 연관시키기 위해 적용되었다. 즉 헤드램프로부터의 거리정보에 의해 계산된 조도값은 아래식과 같이 CIELAB모델을 이용하여 명도값으로 변환된다.^[4]

$$\begin{aligned} L^*_{lamps} &= 116 \cdot f\left(\frac{l}{l_{std}}\right) - 16 \\ f(a) &= \begin{cases} \sqrt[3]{a} & \text{if } a \geq 0.008856 \\ 7.787a + 16/116 & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

V. 실험 결과

그림 5는 디지털 카메라로 일광하에서 얻은 노면영상과 주어진 노면 영상에 HID, H1 헤드램프가 조명된 야간 노면 영상을 추정한 결과이다. 그림(a)는 일광하에서 찍은 노면 영상이며 (b)는 HID빔을 점등하였을 때의 노면을 예측한 영상이며 (c)는 H1빔을 점등하였을 때의 예측 영상이며 (d)는 두 개의 헤드램프를 동시에 점등하였을 때의 예측 영상이다. 제안된 영상을 보정된 모니터에 재현한 후 헤드램프 개발 전문가들에 대한 주관적인 평가를 하였으며, 결과 재현된 예측 영상

이 헤드램프가 조명된 실제의 야간 노면 환경을 잘 예측하였음을 확인하였다.



(a)



(b)



(c)

그림5. 배경노면영상과 야간에 헤드램프를 노면에 조명했을 때의 추정된 영상 (a) 배경노면영상 (b) HID 램프 점등시 예측 영상 (c) H1 램프 점등시 예측 영상 (d) HID와 H1 램프를 동시 점등한 예측 영상



(d)

VI. 결론

본 논문은 헤드램프의 분광분포 및 거리에 따른 조도를 이용하여 촬영한 배경 노면영상으로부터 헤드램프가 점등된 야간 노면영상을 추정하는 배경 해석을 위한 실사영상 시뮬레이션 알고리즘을 개발하였다. 야간 노면 영상의 분광반사율을 추정하기 위해 주성분 분석 방법을 이용하였으며 위치에 따른 복수개의 헤드 램프의 분광분포를 추정하기 위하여 조도의 크기에 따른 분광분포의 파형의 변화는 선형적이라는 가정하에서 선형모델에 의한 방법으로 복수개의 헤드램프에 대한 분광분포를 계산하였다. 제안된 실사영상 재현 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 헤드램프의 추정된 분광분포와 실측된 분광분포를 비교하였으며 실영상과 모니터에 재현된 예측 영상에 대해 헤드램프 개발자들에 의한 주관적인 재현성 평가 실험을 하였으며 결과 제안된 방법이 실제 도로 환경에서의 빔패턴 및 빔의 색과 매우 근접함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] M. Kitagawa and T. Abe, "Color appearance of a scene under automotive headlamp light," *SAE Technical Paper Series* 1999-01-0707, pp. 83-89, 1999.
- [2] J. Damasky, "A new software tool for performance simulation of headlamp pattern," *SAE Technical Paper Series* 1999-01-1215, pp. 141-144, 1999.
- [3] Y. Miyake and Y. Yokoyama, "Obtaining and reproduction of accurate color images based on human perception," *Proc., SPIE* vol. 3300, pp. 190-197, 1998.
- [4] M. D. Fairchild, *Color appearance model*, Addison Wesley Longman, Inc., Massachusetts, 1997.