

논문 2010-47SP-4-8

입·출력 특성곡선에 기초한 Look-Up Table 방식의 자동노출제어

(Auto-Exposure Control using Loop-Up Table Based on
Scene-Luminance Curve in Mobile Phone Camera)

이 태 형*, 경 왕 준*, 이 철 희**, 하 영 호***

(Tae-Hyoung Lee, Wang-Jun Kyung, Cheol Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

자동노출제어는 카메라에서 연속적으로 입력되는 영상의 밝기를 유지하기 위하여 적절한 센서이득 혹은 노출 결정하는 것을 이야기 한다. 최근 노출제어는 영상의 정보 보다는 하드웨어적 장치를 적용하나, 모바일 폰 카메라에서 영상의 평균 밝기와 센서이득 혹은 노출 만을 이용한다. 또한 모바일 장치의 하드웨어적 성능고려하여야 하며, 부적절한 제어로 발생하는 flicker 현상을 제거하여야 한다. 따라서 제안된 자동노출제어는 flicker 현상의 제거 및 실시간 수행을 위하여 입·출력 특성곡선에 기초한 Look Up Table(LUT)을 사용한다. 제안된 방법에서는 선행 작업으로 카메라의 센서이득에 따른 입력과 출력 특성을 LUT로 만들어 저장한다. 노출제어에 있어서 먼저 저장된 LUT의 정보와 현재의 센서이득을 통하여 현재 입력 영상에 상응하는 패치를 추정한다. 그리고 추정된 패치와 LUT의 정보를 또다시 이용하여 추정된 패치가 목표 밝기를 가질 수 있도록 하는 최종적인 센서이득을 추정할 수 있게 된다. 제안된 방법은 LUT를 사용함으로써 다음 프레임의 센서이득을 실시간으로 추정 할 수 있고, 또한 반복적 수행 없이 정확한 센서이득을 추정함으로써 flicker를 제거 할 수 있다. 실험 결과영상에서 제안된 방법이 실시간으로 자동노출제어를 할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

Auto-exposure control automatically calculates and adjusts the exposure for consecutive input image. Recently, this is usually controlled by the sensor gain, however, unsuitable control causes oscillation of luminance for consecutive input images, called as flickering. Also, in mobile phone cameras, only simple information, such as the average luminance value, can be utilized due to coarse performance. Therefore, this paper presents a new real-time AE control method using a Look Up Table(LUT) based on Scene-Luminance curves to avoid the generation of flickering. Prior to the AE control, a LUT is constructed, which illustrates the characteristic of outputs for input patches corresponding to sensor gains. The AE control is first performed by estimating a current scene as a patch using the proposed LUT. A new sensor gain is then estimated using also LUT with previously estimated patch. The entire estimation process is performed using linear interpolation to achieve real-time execution. Based on experimental results, the proposed AE control is demonstrated with real-time, flicker-free.

Keywords : 자동노출제어, Look Up Table, Flicker, 입출력 특성곡선, 모바일 카메라, ISP

* 학생회원, *** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

** 정회원, 안동대학교 컴퓨터공학전공
(Computer Engineering, Andong National University)

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2010-0000401)임.

접수일자: 2010년1월12일, 수정완료일: 2010년6월21일

I. 서 론

영상 획득 장치에서 ISP(image signal processor)는 자동노출제어, 자동초점제어, color interpolation, 잡음제거, 자동 화이트 밸런스 등의 과정을 포함한다^[1~3]. 이들 과정에서 자동노출제어는 지속적인 입력 영상에 대하여 목표되는 밝기를 유지하도록 설계 되며, 부적절한 노출제어로 인해 발생하는 플리커(flicker)를 발생 시키지 않아야 한다.

카메라의 경우 이러한 노출제어는 센서이득의 제어를 통해 수행된다. 즉, 어두운 영상의 경우 높은 센서이득이 적용되고, 밝은 영상의 경우 낮은 센서이득이 적용되어 다음 입력 영상이 목표휘도를 갖도록 동작한다.

실용적이면서도 단순한 자동노출제어 기술은 비례제어를 적용하는 것이다. 이는 입력영상의 평균 밝기와 출력영상의 평균밝기의 비례와 센서이득 간의 곱을 이용하는 방법으로 대표적인 기술은 삼성과 코아로직 등 많은 곳에서 사용한다^[4~5]. 그러나 이 방법들은 반복적인 수행이 필요하고, 플리커를 발생 시킬 수 있는 단점이 있다. 이러한 현상을 피하기 위해 최근에는 자동초점 값, 양자화 에러 등을 적용하여 노출과 연관 시켜 자동노출제어를 수행하는 방법들이 연구되었다. 또한 LUT를 사용함으로써 수행 속도를 줄이는 방법들이 제시되나, 이러한 방법들은 장비에 의존적인 값을 가짐에 따라 새로운 장비에 대해서 필요로 하는 값들을 새롭게 획득하고, 또한 다른 장비에서도 쉽게 적용 될 수 있는지에 대한 신뢰성 여부가 떨어진다. LUT를 사용하는 경우 또한, 새로운 장비에 대하여 정보를 생성하는데 긴 시간을 필요로 한다.

따라서 본 논문에서는 실시간 적용이 가능하며, 한번의 수행을 통해 자동노출제어를 행함으로써 플리커를 제거할 수 있는 방법을 제안한다. 입·출력 특성곡선에 기초한 LUT를 사용하며, 수행에 앞서 평균밝기가 같은 영상과 회색 계조 패치는 동일하다는 가정을 한다. 이는 모바일 폰 카메라에서는 영상의 평균 값만을 사용하여 노출제어를 하기 때문이다. 따라서 LUT는 센서 이득에 대하여 입력 패치와 그에 상응하는 출력 평균 밝기의 관계를 가진다. 자동노출제어를 위해서, 먼저 현재 입력 영상에 대하여 평균밝기와 센서이득을 통해 현재 영상에 상응하는 패치를 LUT로부터 추정한다. 다음으로 현재 추정된 패치가 목표밝기를 갖게 하기 위한 센서이득의 추정한다. 이 또한 LUT 정보를

이용하면 추정된 패치가 목표밝기를 갖게 할 수 있는 최종적인 센서이득의 추정 가능하다. 제안된 방법은 한번의 수행으로 새로운 센서이득을 획득함으로써 플리커 현상을 없앨 수 있고, 또한 실시간 수행이 가능하다. 그리고 수정 없이 사용자의 목표밝기를 바꿀 수 있는 특징이 있다.

II. 제안된 자동노출제어

1. 제안된 LUT의 생성

제안된 자동노출제어에서 입·출력 특성곡선에 기반한 LUT는 카메라의 센서이득에 대하여 회색 계조 패치들에 대한 출력 평균밝기와의 관계를 저장한 것이다. 이를 위해서 본 논문은 먼저 동일한 평균 밝기를 가지는 영상과 패치는 같다는 가정을 한다. 이러한 가정은 현재 모바일 폰 카메라의 성능 및 비용에 대한 하드웨어의 성능을 고려하였을 때, 영상의 전체 정보를 저장하지 못하고, 평균 밝기, 센서 이득의 값으로만 노출제어를 수행하여야 함으로 카메라에서는 영상을 이차원의 공간적 정보가 아닌 하나의 상수 값인 평균 밝기 값으로 인지를 하게 되기 때문이다. 다음으로 회색 계조 패치들 또한 각각을 하나의 값으로 나타낼 수 있다. 즉, 회색 계조 패치를 상수의 값으로 표현함으로써 영상의 평균에 대응하는 값으로 정의 하고, 검정 색에서 흰색 까지 패치는 카메라의 모든 입력 영상을 대신 할 수 있다.

앞서의 가정은 센서를 통해 획득되는 Bayer 영상의 값과 평균 휘도의 관계에서 증명 된다.

$$B(x, y) = SG \times q \left(\sum_{\lambda} R(\lambda) \times I(\lambda) \times F_i(\lambda) \right) \quad (1)$$

여기서 R 은 반사율, I 는 광원, F 는 센서의 감도, λ 는 파장을 나타내고, i 는 각 R, G, B 채널을 나타낸다. 또한 x 와 y 는 영상이 가지는 각 픽셀을 나타내고, q 는 카메라에서 Bayer 패턴을 가지는 영상에서 디지털 값을 획득하기 위한 함수를 나타내며, SG 는 센서이득을 나타낸다. 이 값을 기반으로 영상의 평균 밝기는 다음의 수식으로 계산된다.

$$Y_{ave} = \frac{1}{N \times M} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M B(x, y) \quad (2)$$

여기서 Y_{ave} 는 평균휘도를 나타내고, M 과 N 는 영상

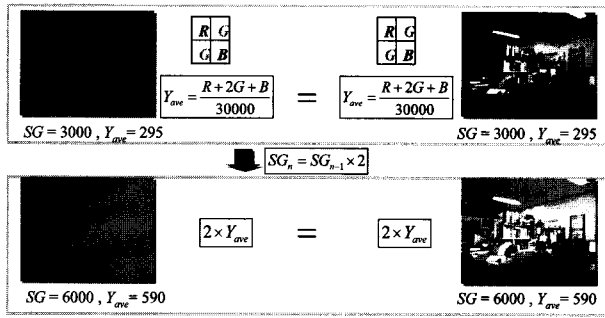


그림 1. 센서이득에 따른 영상과 패치의 평균밝기
Fig. 1. Average luminance for image and patch according to sensor gain.

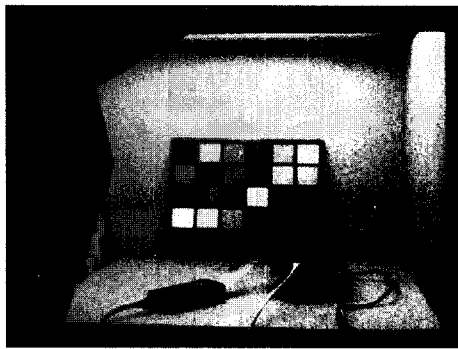


그림 2. LUT 생성을 위한 실험 환경
Fig. 2. Circumstance of measurement for LUT.

의 크기를 나타낸다. 이 수식을 그림 1의 경우에 적용하여 하나의 패치와 하나의 영상에 대한 관계를 살펴보면, 먼저 위의 그림에서 두 영상의 모양은 다르더라도 동일한 센서 이득에 대하여 동일한 휘 도가 나온다고 가정할 수 있다. 이 때, 센서이득이 바뀔 경우 모든 픽셀에 대하여 같은 값이 적용됨으로 패치에 대한 밝기의 증가량과 영상에 대한 밝기의 증가량이 식 (1)과 (2)에 의해 동일한 비율로 증가함을 확인할 수 있다.

위의 가정을 바탕으로 제안된 LUT는 센서 이득에 대한 입력 영상의 출력 평균 휘도를 정보로써 가지며, 이는 그림 2와 같이 센서의 측정을 통해 획득될 수 있다. 먼저 Macbeth chart를 이용하여 입력 영상에 상응하는 회색 계조 패치를 준비하고, 광원부스에 D65 광원을 사용하여 설치하고 측정한다. 노출제어에서 사용되는 정보는 영상의 평균 밝기임으로 어떠한 광원을 쓰더라도 상관이 없다. 사용되는 회색 계조 패치는 6단계로 되어 있으며 본 논문에서는 그 값을 0~255까지로 51의 간격으로 두어 편의성을 확보하였다. 또한 흰색 패치보다 밝은 물체인 광원에 대한 값을 306으로 가정하였다. 이는 응용에 따라 그 범위와 값을 다르게 할 수 있다. 다음으로 측정에 사용되는 센서이득은 11단계로 나

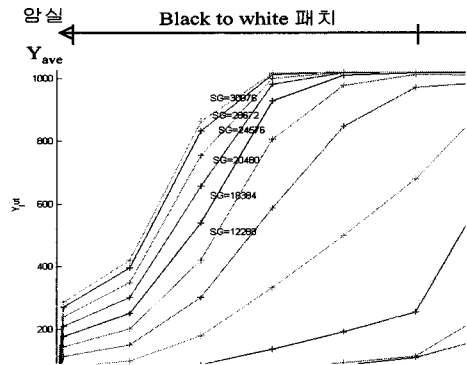


그림 3. LUT의 정보를 나타내는 S·L 특성곡선
Fig. 3. S·L curve from LUT information.

누어 선형적인 LUT의 형태를 획득할 수 있도록 하였다. 단계는 사용자에게 의해 임의로 나뉘 질 수 있으며, 짧은 간격을 사용 할수록 정확성에서 이점을 확보 할 수 있다. 측정의 결과는 그림 3에서와 같이 입·출력 특성 곡선을 가지는 형태로 나타난다. 그림에서 가로 축은 패치를 나타내고 세로 축은 측정 결과를 나타낸다. 이 특성 곡선은 모든 계조 패치의 단계 즉, 모든 입력력에 대하여 센서이득에 대한 출력 평균밝기의 정보를 담고 있는 것을 확인할 수 있으며, 다음의 2차원 함수로 표기 될 수 있다.

$$LUT_P = \begin{bmatrix} Y_{ave-00} \cdots Y_{ave-0b} \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ Y_{ave-a0} \cdots Y_{ave-ab} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 a는 센서이득의 단계를 나타내고, b는 회색 계조 패치의 단계를 나타낸다. 따라서 2D LUT의 크기는 a×b 의 크기로 나타난다.

2. LUT를 사용한 자동노출제어

LUT를 사용하여 수행되는 제안된 자동노출제어의 흐름도는 그림 4와 같다. 먼저 현재의 평균밝기가 목표

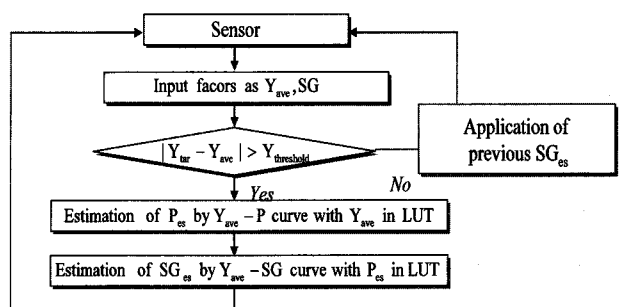


그림 4. 제안한 알고리즘의 흐름도
Fig. 4. Diagram for proposed method.

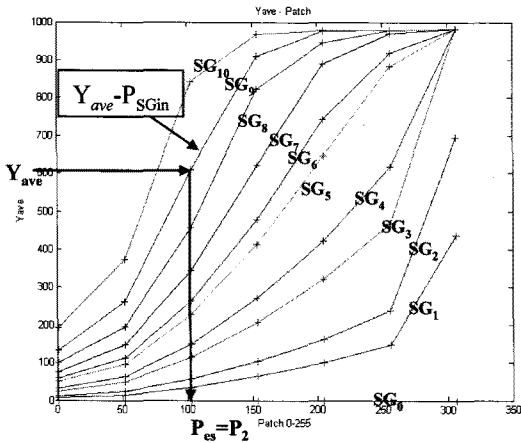


그림 5. 현재 영상에 대한 패치의 추정
Fig. 5. Estimation of patch for input scene.

밝기와 동일한 값을 가지고 있는지를 확인하고, 목표밝기와 차이가 문턱 값 이상일 경우 노출제어를 수행한다. 다음으로 현재 센서이득과 입력 영상의 평균밝기, LUT 정보를 통하여 현재 영상에 상응하는 회색 계조 패치를 추정한다. 그리고 추정된 패치와 LUT를 사용하여 현재 영상 이 목표밝기를 가질 수 있도록 하는 센서이득을 추정하는 것이다.

가. 현재 영상에 상응하는 회색 계조 패치의 추정

입력 영상에 상응하는 회색 계조를 추정은 그림 5에 나타난다. 먼저 입력 영상의 평균밝기(Y_{ave})와 센서이득(SG_9)이 주어진다. 이러한 경우 LUT_P 에서 추정이 가능한 정보는 $Y_{ave} - P_{SGin}$ 의 함수로써 SG_9 의 센서이득이 주어졌을 때 Y_{ave} 를 나타낼 수 있는 유일한 특성곡선으로 다음의 수식에 나타난다.

$$Y_{ave} \sim P_{SGin} = \frac{SG_{in} - SG_i}{SG_{i+1} - SG_i} \times (LUT_{(i+1,j)} - LUT_{(i,j)}) + LUT_{(i,j)} \quad (3)$$

이 수식은 계산의 복잡성을 줄이기 위하여 부분적인 선형 보간법을 사용한 특성 곡선의 추정을 설명한다. 추정된 함수를 통하여 현재 센서이득과 평균 밝기 값을 적용하여 역으로 패치를 추정을 하게 되면 현재 영상과 동일한 평균 밝기를 가지는 패치($P_{es} = P_2$)를 다음의 수식으로 추정할 수 있다.

$$P_{es} = \frac{Y_{ave} - (Y_{in} \sim P_{SGin(j)})}{(Y_{in} \sim P_{SGin(j+1)}) - (Y_{in} \sim P_{SGin(j)})} \times (P_{(j+1)} - P_{(j)}) + P_{(j)} \quad (4)$$

나. 목표밝기를 갖기 위한 최종 센서이득

최종 센서이득을 추정하기 위하여 필요한 요소는 추정된 패치 값(P_2)와 목표밝기(Y_{tar})와 LUT 의 정보이다. 이때 LUT_P 를 transpose 하여 나타내면 그림 6과 같으며 transpose된 LUT_P 는 LUT_P^T 로 표기한다. 여기서 LUT_P^T 는 회색 계조 패치에 대한 모든 센서이득의 평균밝기의 정보를 가지고 있음을 확인 할 수 있고, 패치와 목표밝기에 대한 정보를 알 수 있다면 패치가 목표 밝기를 갖게 하기위한 센서이득을 계산할 수 있음을 알 수 있다. 앞의 예제와 연결하면 추정된 패치(P_2)에 대하여 주어진 LUT_P^T 에서 $Y_{ave} - SG_{Pes}$ 의 함수를 추정할 수 있고, 이는 다음의 수식 표현 한다.

$$Y_{ave} \sim SG_{Pes} = \frac{P_{es} - P_i}{P_{i+1} - P_i} \times (LUT_{P(j,i+1)}^T - LUT_{P(j,i)}^T) + LUT_{P(j,i)}^T \quad (5)$$

마지막으로 현재 패치가 가지는 평균밝기가 목표휘

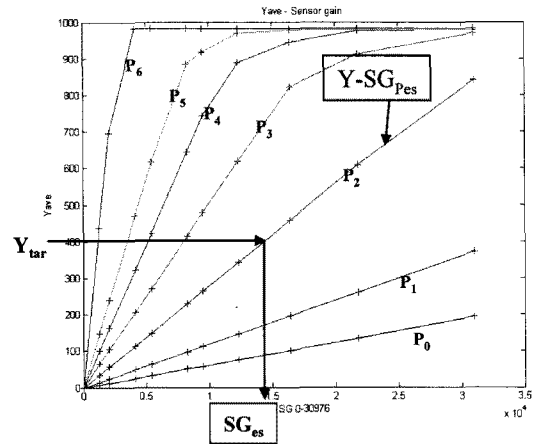


그림 6. 새로운 센서이득의 추정
Fig. 6. Estimation of sensor gain.

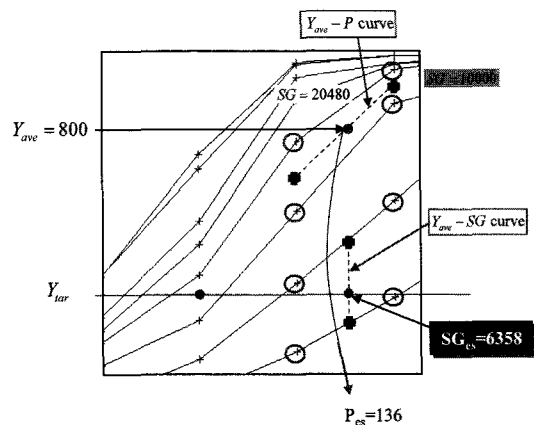


그림 7. 실시간 수행을 위한 적용.
Fig. 7. Execution for real time.

도를 가질 수 있도록 하는 최종 센서이득(SG_{es})는 그림 6에서 화살표로 표시 되며 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$SG_{es} = \frac{Y_{tar} - (Y_{ave} \sim SG_{Pes(i)})}{(Y_{ave} \sim SG_{Pes(i+1)}) - (Y_{ave} \sim SG_{Pes(i)})} \times (SG_{(j+1)} - SG_{(j)}) + SG_{(j)} \quad (6)$$

제안된 센서이득의 추정과정은 LUT를 사용하여 한번의 수행으로 이루어짐에 따라 flicker 현상을 제거할 수 있고, LUT의 형성 또한 간단하다. 또한 선형보간법을 사용하여 자동노출제어를 한 결과 큰 오차 없이 실시간 수행이 가능하다.

3. 실시간 제어를 위한 LUT의 사용

제안된 과정을 수행하는데 있어 모바일 폰 카메라의 경우 그 성능의 한계가 있으므로 실시간으로 수행할 수 있는 방법을 그림 7을 통해 설명한다. 그림에서 첫 번째의 패치를 추정함에 있어 수행되는 것은 LUT_P 에서 $Y_{ave} \sim P_{SGin}$ 특성곡선을 추정하는 과정이다. 이때 LUT_P 에서 현재 센서이득과 영상의 평균밝기 값에 해당하는 가장 가까운 4개의 점을 찾고, 선형보간 방법을 사용하여 $Y_{ave} \sim P_{SGin}$ 특성곡선 추정하고, 추정된 특성곡선에서 회색 계조 패치를 결정한다. 이는 그림 7의 위쪽 부분에서 특성곡선 및 패치를 추정하는 과정이 나타나 있다. 이와 마찬가지로 최종 센서이득을 추정할 때도 추정된 패치와 목표밝기에 해당하는 가장 가까운 4개의 점을 사용하여 $Y_{ave} \sim SG_{Pes}$ 의 특성곡선을 추정하고, 이 곡선으로부터 현재 패치가 목표 휘도를 가질 수 있는 센서이득을 계산한다.

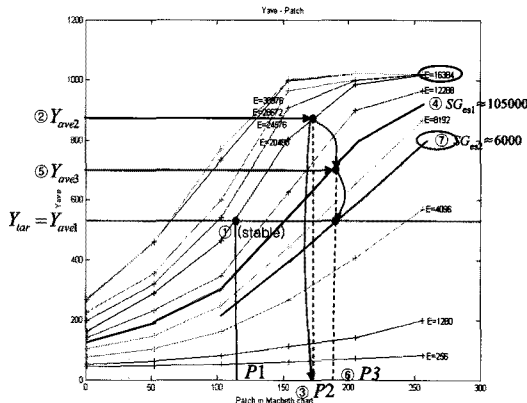


그림 8. 포화영역에서의 자동노출제어
Fig. 8. Gain control for saturated area.

4. 포화영역에서의 자동노출제어

제안된 자동노출제어의 경우 한 번의 수행으로 적절한 센서이득을 추정하게 된다. 그러나 포화 영역의 경우 우수특성곡선을 따르지 않아 한번의 수행으로 목표휘도를 찾기는 어렵다. 이러한 경우는 제안된 방법을 한 번 더 수행함으로써 해결이 가능하다. 이는 그림 8에 그 과정이 나타나며, 제안된 방법의 수행 결과 대부분의 경우 2번의 반복수행으로 목표밝기를 찾을 수 있다.

III. 실험 및 결과

실험은 동일한 모듈을 사용하여 기존의 두 가지 방법에 대하여 수행 속도와 정확성을 비교를 하였다. 비교를 위한 방법은 비례 제어 방법을 사용하여 필요한 반복적인 횟수를 비교하고, 센서이득이 적용된 후 획득되는 영상의 평균 밝기와 목표 밝기와의 차이를 사용한다.

그림 9(a)는 입력 영상이 목표 밝기를 찾는데 수행되는 반복 횟수에 대한 결과로써 2가지 비례제어 방법을 고려하였으며 그에 대한 방법은 아래의 수식으로 나타난다^[4~5].

$$SG_{es} = \frac{(SG_m - SG_i)(Y_{ave} - Y_{tar})}{Y_{ave}} + S_c \quad (7)$$

$$SG_{es} = SG_m + Y_{tar} \times \frac{SG_m - S_c}{Y_{ave}} \quad (8)$$

여기서 SG_{es} 는 최종적으로 추정된 이득을 나타내고, SG_i 는 센서 입력을, S_c 는 현재 이득 값을 나타낸다. 제안된 방법은 1회 혹은 포화된 영역에서만 2회의 반복 횟수를 필요로 함으로 기존의 3회 이상 적용이 필요한 비례제어 방법에 비해 우수함을 알 수 있다.

그림 9(b)는 센서이득이 적용된 입력영상의 평균 밝

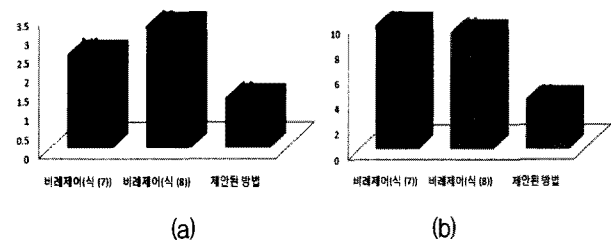


그림 9. 기존의 방법들과의 비교.
(a) 반복횟수 및 (b) 정확성 비교
Fig. 9. Comparison of (a) iteration and (b) accuracy.

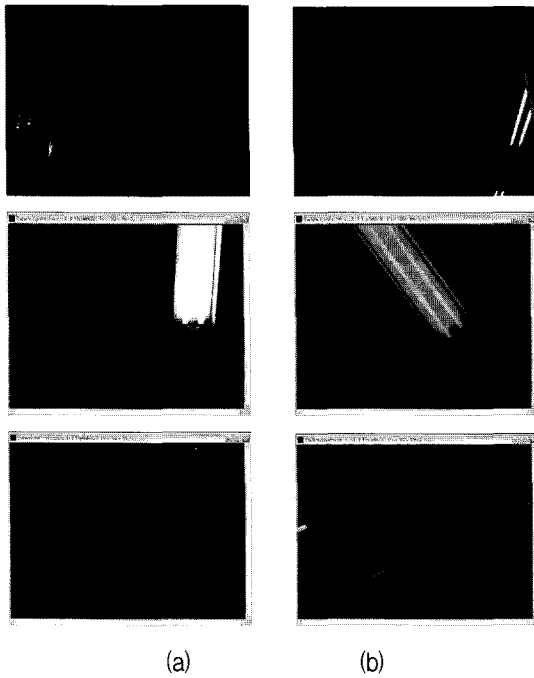


그림 10. 결과 영상. (a) 자동노출제어가 동작하기 전의 영상, (b) 자동 노출제어 후의 결과 영상
 Fig. 10. Resulting image. (a) without auto exposure control and (b) with proposed method.

기와 목표 영상의 밝기를 비교하여 그 정확성을 비교하였다. 다른 방법들에 비하여 목표 밝기에 가깝게 다가감을 알 수 있다.

그림 10은 제안된 방법을 수행한 결과영상을 나타내며 왼쪽 영상, 11(a)는 노출제어 전 고정된 센서이득으로 획득된 영상을 나타내고, 11(b)는 제안된 노출제어방법이 적용된 후의 영상을 나타낸다. 결과 영상에서 입력 영상의 평균밝기를 항상 목표휘도로 조절하여 영상이 잘 보임을 확인 할 수 있다.

IV. 결 론

제안된 입·출력 특성곡선에 기초한 LUT를 사용한 자동노출제어는 카메라에서 입출력 특성과 센서이득의 관계를 측정을 통하여 저장하고 이를 응용하여 지속적으로 입력되는 영상이 항상 목표밝기를 가질 수 있도록 하는 알고리즘이다. 이러한 방법은 LUT를 기반으로 함으로써 반복적 수행을 제거하여 flicker 현상이 나타나지 않도록 하였으며, 실시간 수행을 위한 방법을 고려하였다. 또한 LUT의 형성이 쉽고, 다른 장치에서도 쉽게 적용이 가능하며, 목표밝기의 설정에 있어서 사용자에게 맞게 쉽게 조절할 수 있다. 결과영상에서 최종적으

로 결정된 센서이득은 현재 영상이 목표밝기에 거의 근접할 수 있도록 적용됨을 확인 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Arch C. Luther, "Video Camera Technology," Artech House, Boston · London, 1998.
- [2] G. C. Holst, "CMOS/CCD SENSORS AND CAMER ASYSTEMS," JCD Publishing and SPIEPRESS, 2007.
- [3] J. S. Lee, Y. Y. Jung, B. S. Kim, and S. J. Ko, "An advanced video camera system with robust AF, AE and AWB control," *IEEE Transactionson on Consumer electronics*, vol. 47, no, pp. 694-699, 2001.
- [4] 전성천, "이미지 센서의 노출 조절 장치 및 그의 조절 방법," 특10-0639111, 한국, 2006.
- [5] 박준영, "자동 노출 제어 장치 및 방법" 특 10-2006-0087661, 한국, 2005.
- [6] MarkGamadia, "Low Light Auto Focus Enhancement for Digital and Cell Phone Camera Image Pipelines," *IEEE Transactionson on Consumer electronics*, vol. 53, no, pp. 249-257, 2007.

저 자 소 개



이 태 형(학생회원)
 2005년 경북대학교 전자전기
 컴퓨터학부(공학사).
 2007년 경북대학교 전자전기
 컴퓨터학부(공학석사)
 2007년~현재 경북대학교
 전자전기컴퓨터학부
 박사 재학중

<주관심분야 : 칼라영상처리, 칼라어피어런스,
 자동노출제어, HDR, 영상화질>



이 철 희(정회원)
 1995년 경북대학교 전자공학과
 졸업(공학사).
 1997년 경북대학교 대학원
 전자공학과 졸업
 (공학석사).
 2000년 경운대학교 컴퓨터공학부
 전임강사

2003년~현재 안동대학교 컴퓨터공학전공 부교수
 <주관심분야 : 칼라영상처리, 프린팅, 디스플레이
 색재현>



경 왕 준(학생회원)
 2007년 안동대학교 컴퓨터공학과
 (공학사)
 2010년 경북대학교 전자전기
 컴퓨터학부(공학석사)
 2010년~현재 경북대학교
 전자전기컴퓨터학부
 박사 재학중

<주관심분야 : 컬러영상처리, 영상 화질 평가>

하 영 호(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 38권 SP편 제 3호 참조