
가변 시상수를 이용한 자동 노출제어 시스템

김현식* · 이성목* · 장원우* · 하주영** · 김주현** · 강봉순*** · 이기동****

Auto Exposure Control System using Variable Time Constants

Hyun-sik Kim* · Sung-mok Lee* · Won-woo Jang* · Joo-Young Ha** ·
Joo-Hyun Kim** · Bong-soon Kang*** · Gi-dong Lee****

이 논문은 2006학년도 동아대학교 학술연구비(공모과제)에 의하여 연구되었음

요 약

사진을 찍을 때 카메라는 보기 좋은 사진을 얻을 수 있도록 많은 기능을 제공하고 있다. 대표적인 기능으로 자동 초점거리 조정(Auto Focus), 자동 색온도 보정(Auto White Balance), 자동 노출 조정(Auto Exposure)이 있다. 본 논문에서는 편리한 기능들 중 하나로서 새로운 자동 노출제어 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 자동 노출제어 시스템은 가변 시상수(Variable Time Constant)를 가지는 IIR Filter를 이용한다. 먼저 노출제어의 기준을 정하기 위해서 사진에서 밝기변화와 Zone System에서 보여주는 사물의 휘도정보를 비교하여 이상적인 휘도변화 특성 그래프를 얻는다. 얻어진 이상적인 휘도 변화그래프와 현재의 노출설정을 비교하여 적정 노출의 설정을 찾는다. 제안하는 자동 노출제어 시스템은 적정 노출을 얻을 수 있는 설정으로 조정하기 위해 기존의 마이크로 컨트롤러 등을 이용하여 구현하는 방법과 달리 IIR Filter를 사용하므로 간단한 구성을 가지며 콤팩트 이미지 센서모듈(ISM)을 구성하기 위하여 사용 할 수 있다.

ABSTRACT

In order to obtain a fine picture, a camera has many convenient functions. Its representative functions are Auto Focus(AF), Auto White Balance(AWB) and Auto Exposure(AE). In this paper, we present the new algorithm of Auto Exposure control system, one of its useful functions. The proposed algorithm of Auto Exposure control system is based on IIR Filter with Variable Time Constant. First, in order to establish the standards of exposure control, we compare change of the picture luminance with luminance of an object in the Zone system. Second, we make an ideal characteristic graph of luminance by using the results. Finally, we can find the value of the right exposure by comparing an ideal characteristic graph of the luminance with the value of the current expose of a scene. We can find an appropriate exposure as comparing the ideal characteristic graph of the luminance with current exposure of a scene. In order to find a suitable exposure state, we make use of IIR Filter instead of a conventional method using micro-controller. In this paper, the proposed system has therefore simple structure, we use it for compact image sensor module used in the handheld device.

키워드

Auto Exposure, Zone system, Image Sensor Module, IIR Filter

* 동아대학교 전자공학과 석사과정
** 동아대학교 전자공학과 박사과정
*** 동아대학교 전자공학과 부교수
**** 동아대학교 전자공학과 조교수

I. 서론

자동 노출제어(Auto Exposure Control)는 피사체의 밝기를 카메라가 판단하여 자동으로 노출을 조정하는 카메라의 중요한 기능중 하나이다. 자동노출을 수행하기 위하여 현재 피사체의 밝기를 측정하는 방법은 두 가지 방법이 있다.

첫 번째는 주로 필름을 사용하는 자동 카메라에서 사용하던 방법으로 카메라에 입사하는 빛을 카메라 본체의 포토센서를 통하여 측정하거나 별도의 조도계를 이용하는 입사광 측정방식이다. 카메라 본체의 포토센서에서 측정되는 광량은 피사체의 광량이기 보다는 주변의 밝기에 대한 측정량이 되어서 피사체의 광량을 정확히 측정하기 어렵다. 조도계를 이용하는 방법은 피사체의 입사광을 정확히 측정할 수 있지만 피사체가 카메라와 멀리 떨어져 있을 경우 피사체의 밝기를 측정하기 힘들다.

두 번째는 렌즈를 통하여 들어오는 피사체의 반사광을 측정하는 방법이다. 포토센서를 이용하는 방법보다 피사체의 밝기를 정밀하게 측정할 수 있지만 짙은 색의 피사체들이 대상이 되는 경우에는 의도하지 않은 결과를 얻게 된다. 현재의 디지털 카메라에서는 수많은 경우에 대하여 적합한 노출을 얻을 수 있도록 프로그램된 자동 노출제어방법을 이용하고 있다. 진자의 경우에는 현재 쓰이지 않고 있으며, 후자의 방법은 현재 널리 쓰이는 방법이다. 후자의 방법을 TTL(Through The Lens)측광이라고 한다.

위의 방법을 통하여 카메라가 밝기를 측정한 다음 조리개와 셔터속도를 적절히 맞추어줌으로서 노출을 조정한다.

현재 디지털 카메라에서 영상을 기록하기 위한 수단으로써 필름을 대신하여 Charge Coupled Dvice (CCD) 이미지 센서를 사용하거나 Complementary Metal-oxide Semiconductor (CMOS) 와 같은 반도체 이미지 센서를 이용하고 있으며 렌즈를 통하여 입사된 피사체를 확인하기 위하여 뷰파인더 외 소형 LCD를 사용하고 있다.

디지털 카메라를 이용하여 찍으려 하는 피사체에 렌즈를 고정하면 어둡거나 밝았던 화면에서 노출이 조정되어 적절한 밝기로 바뀌는 것을 LCD를 통하여 확인할 수 있다. 이때 적정 노출을 찾는 시간이 느리다면 피사체의 밝기가 급격히 변할 때 원하는 장면을 찍을 수 없다.

렌즈를 통하여 이미지 센서에 입력된 영상은 전기 신호로 변환이 되고 이 신호들은 Image Sensor Processor(ISP)를 통하여 디지털 이미지로 복원된다. 자동 노출제어기능은 ISP에 포함되는데 기존의 ISP에서는 자동 노출제어를 수행하기 위하여 마이크로 컨트롤러를 이용하고 있다[1]-[7]. 본 연구에서는 마이크로 컨트롤러를 사용하지 않고 IIR Filter를 이용하는 자동 노출제어방법을 제안하며, 제안하는 방법을 이용하여 이미지 센서를 포함하는 ISM(Image Sensor Module)을 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)으로 제작하고자 할 때 하드웨어 집적도를 높일 수 있을 뿐만 아니라 IIR Filter의 계수(coeffcient)만 변경해줌으로서 적정 노출에 이르는 시간까지 조절 가능하다.

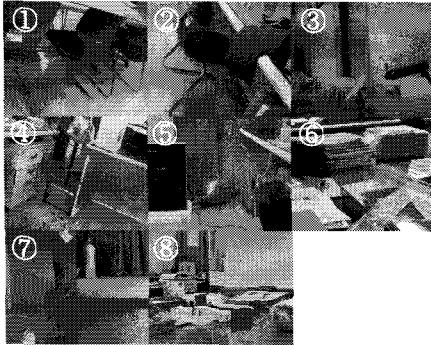
본 논문의 II장에서는 실제 사진에서 셔터속도에 대한 밝기, 곧 휘도 변화를 살펴보고, 노출제어의 이해를 돕기 위하여 제안하는 자동 노출제어 시스템이 측광의 기준으로 사용하는 zone system을 설명한다. III장에서는 II장에서 살펴본 특성을 바탕으로 본 연구에서 제안하는 variable time constant를 가지는 IIR Filter가 적용된 자동 노출제어 시스템을 설명하고 실험결과를 보인다. 끝으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 노출제어의 기본원리

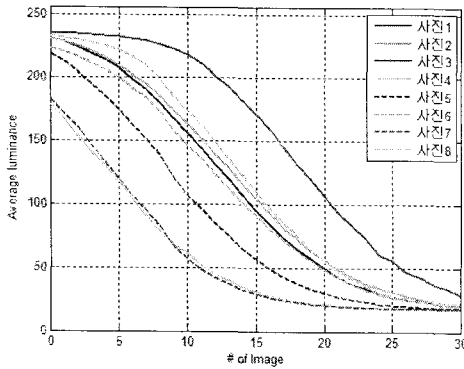
2.1 사진에서 셔터속도에 따른 휘도변화

그림 1(a)는 휘도변화를 살펴보기 위해서 찍은 풍경들이며 그림 1(b)는 각 풍경에 대해서 셔터 속도를 달리 하여 사진을 찍었을 때 휘도변화를 보여준다. 표 1은 그림 1(b)의 x축의 인덱스에 해당하는 셔터속도를 보여준다.

셔터속도가 느릴수록 카메라가 빛을 받아들이는 시간은 길어진다. 그림 1(b)의 그래프에서 인덱스값이 작을 때 휘도 값이 큰 걸 알 수 있다. 반대로 인덱스값이 클 때는 셔터 속도가 빠른 경우이며 빛이 받아들이는 양은 적다.



(a) 실험에 사용된 풍경의 사진
(a) Photographs of experimental sceneries



(b) 각 사진의 휘도곡선
(b) Luminance curves of each photograph

그림 1. 실험의 풍경과 결과[8]
Fig.1 Experimental sceneries and results[8]

그림 1(a)은 조리개값은 F3.5로 고정하고 자동노출설정으로 디지털 카메라를 이용하여 촬영한 사진들이다. 그림 1(b)에서 확인 할 수 있듯이 수많은 촬영대상에서 동일한 휘도기준을 찾기는 힘들다. 하지만 위 실험을 통해서 휘도변화 곡선 유사한 경향을 보임을 알 수 있다[8].

표 1. 셔터인덱스의 셔터속도

Table. 1 the shutter speed per shutter index

# of image	셔터 속도(S)	# of image	셔터 속도(S)	# of image	셔터 속도(S)
0	1	10	1/10	20	1/100
1	1/1.3	11	1/13	21	1/125
2	1/1.6	12	1/15	22	1/160
3	1/2	13	1/20	23	1/200
4	1/2.5	14	1/25	24	1/250
5	1/3	15	1/30	25	1/320
6	1/4	16	1/40	26	1/400
7	1/5	17	1/50	27	1/500
8	1/6	18	1/60	28	1/640
9	1/8	19	1/80	29	1/800
-	-	-	-	30	1/1000

2.2 Zone System

카메라가 발명된 이후 사진가들은 좋은 사진을 얻기 위하여 다양한 방법들을 연구하고 시도해왔다. 1930년대 후반에 와서 미국의 사진가 Ansel Adams는 Zone system이라는 이론을 발표하였다. Zone system은 흑백영상을 바탕으로 발표된 이론이지만 현재에 이르러 컬러사진뿐만 아니라 영화를 비롯한 영상분야에 널리 쓰이고 있다.

Zone system은 자연계의 모든 색의 휘도를 zone 0에서 zone X까지의 11단계로 압축시키고 있으며 각 zone의 차이는 카메라의 조리개 또는 셔터속도의 1단차를 의미한다[9]. 조리개와 셔터 속도의 기능은 기본적으로 카메라에 입사하는 광량을 조정하는 것이다. 조리개의 경우는 사람의 눈에서 동공과 같은 역할을 하며 렌즈와 필름 사이에서 열리고 닫히는 정도를 이용하여 입사광을 조절한다. 셔터는 필름에 빛이 입사되는 시간을 조절하여 광량을 조절한다. 셔터속도가 느리면 오랫동안 빛에 노출되어 밝아지며, 빠르면 빛에 노출되는 시간이 줄어들게 되어 어두워진다.

그림 2는 Zone system에서 11단계의 Zone scale을 보여준다[9][10]. 여기서 zone V는 18%의 반사율을 가지는

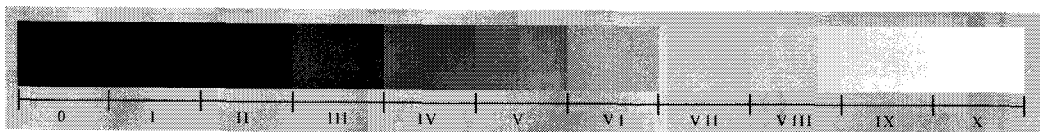


그림 2. Zone system의 11단계 Zone Scale[9][10]
Fig. 2 Eleven Steps of Zone Scale in the Zone system[9][10]

사물의 반사광을 측광했을 때 색조인데, 중간 톤의 회색이며 카메라의 자동노출 기능에서 측광영역의 평균 휘도와 비교하는 기준이다. zone 0, I는 인화시 영상의 질감을 표현하지 못하고 완전히 검은색으로 표현되고 zone IX, X역시 질감은 표현하지 못하고 흰색만으로 표현된다. Zone III-VII은 영상의 세부 질감을 풍부하게 표현하는 영역으로 명암 및 콘트라스트가 잘 표현된 좋은 영상이 해당된다. 따라서 좋은 영상을 획득하기 위해서는 피사체가 zone III-VII에 속하도록 카메라의 노출을 조정해야 한다.

표 2. Zone의 표현[9]
Table. 2 Description of Zone[9]

Zone	표현하는 자연물
0, I	질감은 표현되지 못하고 현상 및 출력시 검은색으로 출력
II	약간의 질감이 존재하는 부분으로 탁한 유채색의 그림자
III	적당한 질감과 세부묘사가 가능한 부분으로 일반적인 그림자 부분
IV	푸른 숲, 검은 바위, 밝은 피부색
V	회색 바위나 어두운 피부색
VI	설경을 찍을 때 눈의 그림자에 해당하는 부분, 자연광에서 피부색과 시멘트 벽
VII	아주 밝은 피부색과 맑은 하늘
VIII	약간의 질감이 존재하는 부분으로 흰 구름
IX, X	질감은 표현되지 못하는 부분으로 반사율이 큰 금속 및 조명

표 2는 적정 노출영역인 zone III-VII에서 표현하는 자연물의 예를 보여준다. 그림 3은 Zone system이 사진에 적용되는 예를 보여준다. 그림 3(a)는 원래의 컬러 사진이며 그림 3(b)는 그림 3(a)의 흑백 영상이다. 그림 3(b)의 ①과 ②는 zone IV에 해당하고 물결 및 나무의 디테일을 확인할 수 있으며 ③은 zone VII에 해당하고 맑은 하늘을 표현한다. ④는 zone II에 해당하고 그늘진 숲을 표현하는데 디테일의 표현은 잘 보이지 않음을 확인할 수 있다. 전체적인 명암정보가 Zone system의 한쪽에 편중하지 않고 zone V를 기준으로 고루 분포하여 명암 및 대비가 잘 이루어진 사진으로 볼 수 있다.

측광된 영상의 평균 휘도는 그림 2의 Zone scale과 비교하여 현재의 위치를 판단하고 영상의 휘도가 zone V와 가깝게 조리개 또는 셔터속도를 조정하여 영상이 표



(a) 원래의 컬러 사진
(a) Original color photograph



(b) 변환된 흑백 사진
(b) Transformed black-and-white photograph

그림 3. 사진에서 Zone Scale의 표현
Fig. 3 Expressed Zone Scale in the photograph

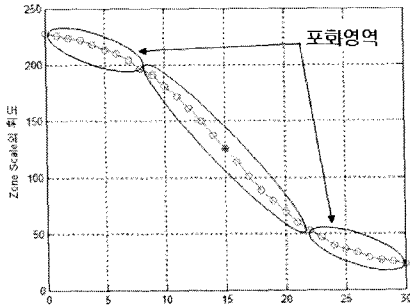
현할 수 있는 적정 노출을 맞추게 된다.

그림 4(a)는 11단계의 Zone system을 31단계로 수정한 그래프이다. 그림 4(a)에서 일정 휘도값 이상 및 이하는 어둡거나 밝게 포화되는 영역으로 항상 조정되어야 하는 범위이다. 따라서 선형특성을 보이는 중심의 주변과 포화영역을 그림 4(b)와 같이 수정하여 시스템의 구현을 용이하게 한다.

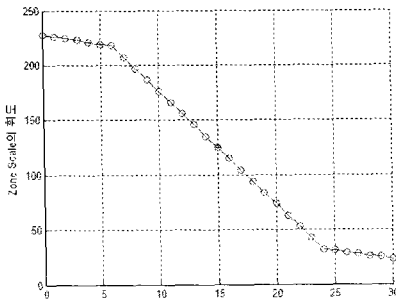
III. 제안하는 자동노출 제어

콤팩트 이미지 센서 모듈은 기계식 조리개와 셔터는 포함하지 않고 전자식 셔터기능을 포함한다. 실제 이미지 센서에서 광량의 조절은 빛이 이미지 센서에 입사되는 시간을 이용한다. 이미지 센서가 빛에 노출되기 시작

하면 전하를 충전하게 되고 곧 충전된 전하량은 현재 영상의 광량이 된다. 이미지 센서의 전하 충전시간을 조정하는 방법이 전자식 셔터이다. 본 논문이 제안하는 자동 노출기능은 콤팩트 이미지 센서에 적용하기 위한 것으로 입사광의 제어는 전자식 셔터를 통하여 수행된다.



(a) 31단계의 Zone system
(a) The Zone system of 31 steps



(b) 직선의 구성으로 이루어진 Zone system
(b) Zone system consisting of beelines

그림 4. 수정된 Zone system
Fig. 4 Modified Zone system

그림 5는 본 논문이 제안하는 자동 노출기능이 적용된 이미지 센서 모듈의 다이어그램이다. 그림 3의 DCP (Digital Camera Processor)블록은 이미지 센서로부터 전기적 신호를 기본적인 색의 구성요소인 RGB의 영상신호로 바꾸어 준다. 하지만 RGB의 정보만을 이용하여서 영상의 명암정보를 얻기는 힘들다. 그림 5의 DCP에서는 RGB신호를 TV를 비롯한 표준 출력장치에 출력할 수 있도록 YCbCr 신호로 변환하게 되는데, 여기서 영상의 명암정보만을 가지고 있는 휘도 신호 Y를 이용하여 영상의 평균 휘도를 계산한다.

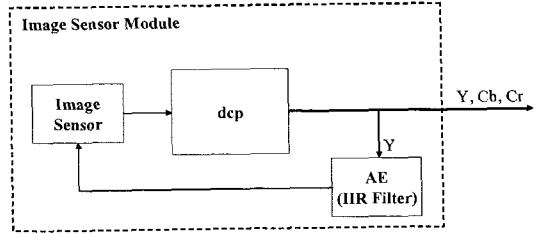


그림 5. 제안하는 자동 노출제어시스템의 구성도
Fig. 5 Block Diagram of the proposed AE system

그림 5의 AE블록에서는 계산된 평균 휘도를 이용하여 현재 입력되는 영상이 적정 노출인지 판단하게 된다. 현재의 평균 휘도가 앞서 본 그림 4의 수정된 Zone scale에서 어디에 위치하는지 판단하고 측광영역이 Zone scale의 중심에 이르기 위해 변경되는 셔터속도를 결정한다. 적정 노출에 이르기 위한 셔터속도는 결정 후 즉시 셔터속도가 바뀌지 않고 AE블록의 IIR Filter의 time constant에 따라 서서히 바뀌게 되어 자연스럽게 변화한다. 이전의 셔터속도와 새로 설정된 셔터속도의 차이가 크게 되면 짧은 time constant를 가지는 Filter가 되도록 필터의 계수를 설정하면 급격한 노출의 변화에도 신속한 응답이 가능하다.

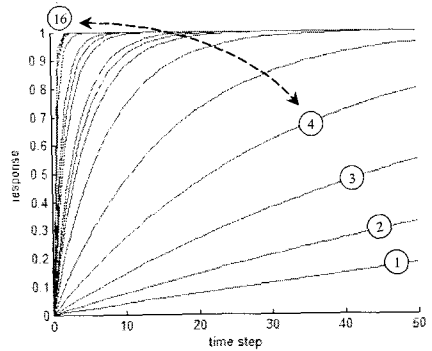


그림 6. 각 계수의 응답
Fig. 6 Responses in the each coefficient

$$H(z) = \frac{a}{1 - (1 - a)z^{-1}} \quad (1)$$

그림 6은 자동 노출기능에 포함된 IIR Filter의 응답을 보여주며 식 (1)은 IIR Filter의 식이다[11]. 각각의 그래프는 식 (1)에서 서로 다른 필터 계수(0<a<1)일 때 응답

을 보여준다. 그림 6의 기울기가 제일 낮은 곡선의 경우는 time constant가 제일 클 때이며 오랜 시간동안 변화하게 된다. 기울기 큰 응답곡선의 계수를 선택하면 노출변화는 빨라지지만 화면이 깜빡거리는 flicker현상이 발생한다.

표 3. AE완료까지의 프레임 수
Table. 3 The number of Frames at the end of the AE

응답곡선 번호	평균 휘도가 가장 밝을 때	평균 휘도가 가장 어두울 때
1	870	852
2	434	425
3	216	212
4	108	105
5	53	52
6	26	25
7	17	17
8	14	14
9	12	12
10	8	12
11	6	6
12	5	5
13	3	4
14	2	2
15	2	2
16	2	2

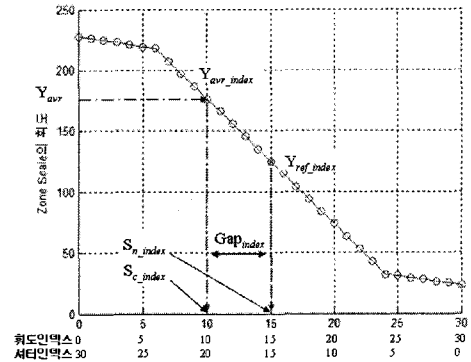


그림 8. 휘도 변화곡선과 각 인덱스의 관계
Fig. 8 Relation of each index to a luminance curve

표 3은 그림 6의 번호에 해당하는 응답곡선의 계수를 이용할 때 안정상태에 이르는, 즉 적정 노출에 도달하는 프레임수를 보여준다. 평균 휘도가 가장 밝을 때는 그림 4에서 가장 왼쪽에 해당하며, 가장 어두울 때는 가장 오른쪽에 해당한다.

그림 7은 본 논문에서 제안하는 자동 노출제어 시스템의 순서도이며, 그림 8은 휘도변화 특성 그래프와 휘도인덱스와 서터인덱스의 관계를 보여준다.

카메라는 현재의 휘도(Y_{avr})를 판단하고 현재 휘도인덱스(Y_{avr_index})와 기준(Y_{ref_index})을 비교하여 차(Gap_{index})를 구한다.

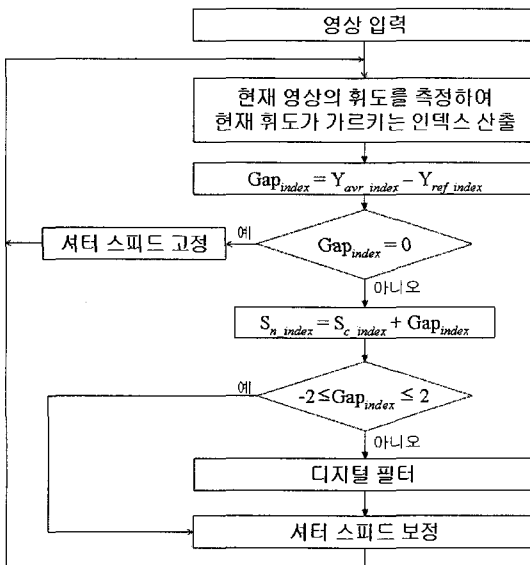
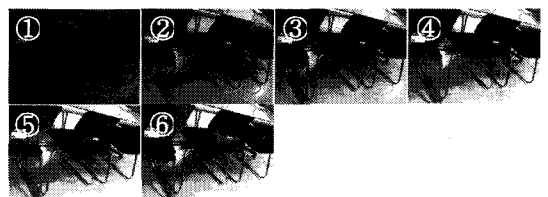


그림 7. 제안하는 자동 노출제어 시스템의 순서도
Fig. 7 Flow chart of the Proposed AE system



(a) 긴 time constant의 노출
(a) Exposure of Long time constant



(b) 짧은 time constant의 노출
(b) Exposure of short time constant

그림 9. AE의 실험결과
Fig. 9 Results of the proposed AE

계산된 차는 현재 셔터인덱스(S_{c_index})에 더해주어 새로운 셔터인덱스(S_{n_index})를 구한다. 마지막으로 새로 설정된 셔터인덱스를 IIR Filter에 입력하면 Filter의 응답특성에 따라 셔터인덱스의 값이 갱신되며 카메라는 셔터인덱스에 해당하는 셔터속도로 설정하게 된다.

그림 9는 제안하는 자동 노출기능을 실험한 결과로서 서로 다른 time constant일 때 휘도의 변화를 보여준다. 그림 9(a)는 그림 6에서 11번째 응답곡선을 보여주는 계수를 이용했을 때 실험결과이며 그림 9(b)는 그림 6의 13번째의 응답곡선을 보여주는 계수를 이용했을 때 실험결과이다.

IV. 결론

그림 1(b)에서 보인바와 같이 실제 사진에서 평균 휘도는 셔터 속도에 대하여 일정하지 않으나 휘도변화 곡선은 비슷한 형태를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 실험결과인 휘도변화 곡선들은 Zone system의 휘도변화 곡선과 유사함을 알 수 있었다. 위 실험들의 결과를 바탕으로 노출설정을 위한 기준으로 Zone system의 휘도변화 곡선을 이용하고, 적정노출로 설정하기위해 가변 시상수(variable time constant)를 가지는 IIR Filter를 이용하여 셔터속도를 변화시킴으로써 노출을 제어하는 방법을 소개하였다.

IIR Filter를 이용하는 자동 노출제어 방법은 마이크로 콘트롤러를 사용하는 방법에 비해서 간단한 구성을 가지므로 전력소비를 줄일 수 있으므로 점차 소형화되고 있는 디지털 장치에 적합한 소형 이미지 센서모듈을 구성할 수 있다. 또한 단순히 필터의 계수만을 바꾸어 시상수를 변화시킴으로써 급격한 휘도변화에 빠르고 능동적인 자동 노출제어 시스템을 구성할 수 있다.

참고문헌

- [1] J. Lee et al., "An advanced video camera system with robust AF, AE and AWB control," IEEE Tran. on Consumer Electronics, Vol. 47, pp. 694-699, Aug. 2001.
- [2] S. Shimizu et al., "A new algorithm for exposure control based on fuzzy logic for video cameras," IEEE Tran. on Consumer Electronics, Vol. 38, No. 3, pp. 617-623, Aug. 1992.
- [3] T. Kuno et al., "A new automatic exposure system for digital still cameras," IEEE Tran. on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 1, pp. 192-199, Feb. 1998.
- [4] M. Murakami and N. Honda, "An exposure control system of video cameras based on fuzzy logic using color information," IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 3, pp. 2181-2187, Sept. 1996.
- [5] W. Chan et al., "Video CCD based portable digital still camera," IEEE Tran. on Consumer Electronics, Vol. 41, pp. 455-459, Aug. 1995.
- [6] S. Wang et al., "Implementing a digital signal processor for an electronic still camera using multiple-FPGAS," IEEE International ASIC Conference and Exhibit, pp. 258-260, Sep. 1994.
- [7] T. Haruki et al., "Video camera system using fuzzy logic," IEEE Tran. on Consumer Electronics Vol. 38, pp. 624-634, Aug. 1992.
- [8] 김현식, 장원우, 송진근, 김강주, 강봉순 "콤팩트 이미지 센서모듈을 위한 자동 노출제어 시스템," 한국 신호처리 시스템 학회 하계 학술대회 논문집, pp. 13-16, 2006.6.
- [9] 정인숙, 존 시스템, 눈빛, 2002.
- [10] The Digi_Zone System, www.riecks.com.
- [11] Alan V. Oppenheim et al., DISCRETE-TIME SIGNAL PROCESSING, Prentice Hall.

저자소개



김 현 식(Hyun-Sik Kim)

2005년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2005년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 석사과정

※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image/video processing, and wireless communication.



김 주 현(Joo-Hyun Kim)

2002년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2004년 2월 동아대학교 전자공학과(공학석사)

2004년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image/video processing, and wireless communication.



이 성 목(Sung-mok Lee)

2005년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2005년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 석사과정

※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image/video processing, and wireless communication.



강 봉 순(Bong-Soon Kang)

1985년 연세대학교 전자공학과(공학사)
1987년 미국 University of Pennsylvania 전기공학과(공학석사)

1990년 미국 Drexel University 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)
1989년~1999년 삼성전자 반도체 수석연구원
1999년~현재 동아대학교 전자공학과 부교수
2006년~현재 2단계 BK21 사업팀장
※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image/video processing, and wireless communication.



장 원 우(Won-Woo Jang)

2005년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2005년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 석사과정

※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image/video processing, and wireless communication.



이 기 동(Gi-Dong Lee)

1989년 부산대학교 전자공학과(공학사)
1991년 부산대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1991년~1997년 삼성SDI LCD 사업부 개발부
2000년 부산대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
2001년~2003년 미국 Kent Univ. Liquid Crystal Institute (Research Fellow)
2004년~현재 동아대학교 전자공학과 조교수
※ 관심분야: Display Devices



하 주 영(Joo-Young Ha)

2003년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2005년 2월 동아대학교 전자공학과(공학석사)

2005년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image/video processing, and wireless communication.