

모바일 카메라를 위한 자동노출 알고리즘의 하드웨어 구현

모성욱*, 박현상**

*마루LSI(주)

**공주대학교 전기전자제어공학부

vandamm@kongju.ac.kr

Hardware Implementation of Automatic Exposure Algorithm for Mobile Camera

Sung Wook Mo*, Hyun Sang Park**

*MARU LSI

**Division of EECE, Kongju National University

요 약

자동노출(auto exposure)은 피사체나 광원의 밝기에 변화에 대응하여 카메라로부터 취득된 영상의 노출치를 일정하게 유지시켜주는 기능을 나타내며, 모바일 카메라의 핵심 구성 요소 중의 하나이다. 일반적으로 자동노출 알고리즘은 소프트웨어로 구현되기 때문에, 모바일 카메라 시스템에는 CPU와 소프트웨어를 저장하기 위한 ROM을 내장하는 형태를 가지는데, 이는 유연성을 확보하는 대신 CPU와 메모리라는 비용증가로 이어지게 된다. 본 논문에서는 모바일 카메라를 위하여 임의의 프레임 레이트 가변기능과 아날로그 게인 조정이 가능한 자동 노출 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 하드웨어 구조를 제안한다.

1. 서론

카메라 영상 처리 기술 중에서 화소 단위가 아닌 프레임 단위로 처리하는 기술에는 AWB (Auto White Balance), AE (Auto Exposure), AF (Auto Focus)[1]등이 있으며, AF는 고가의 초점 제어 장치를 필요로 하기 때문에 저가의 모바일 카메라에서는 구현되지 않으나, AWB와 AE는 모든 카메라에 기본적으로 탑재되는 핵심 기능이라고 할 수 있다.

AE는 촬상되는 피사체와 배경의 노출치를 일정하게 유지시켜주는 기술이다. 이를 위해서 현재 프레임에서 노출치를 계산하고, 이를 목표 노출치와 비교하여 다음 프레임에 적용될 노출 시간을 보정한다. 즉, 목표 노출치보다 낮을 경우에는 노출시간을 증가시키고, 목표 노출치보다 높을 경우에는 노출시간을 감소시킴으로써 노출치를 일정하게 유지한다.

AE는 이미지 센서나 응용 제품의 성격에 따라서 형태가 크게 달라진다. CCD (Charge Coupled Device)[2]는 캠코더, CCTV, DSC (Digital Still Camera) 등에서 주로 사용되고 왔고, 이런 제품들에서는 이미지 센서로부터 촬상된 영상을 TV로 직접 도시하는 기능을 기본적으로 탑재

해왔다. 이는 CCD 기반의 카메라에서는 TV에서 도시가 가능하도록 프레임율이 30 fps나 25 fps로 제한되었다는 것을 의미한다.

고가의 카메라 제품에 주로 채택되었던 CCD와 달리 CIS (CMOS Image Sensor)[2]는 핸드셋에 주로 채택되어 왔다. 이는 다른 응용 제품들보다 전력 문제가 훨씬 민감했기 때문이기도 하지만, 화질에 대한 사용자의 요구도 상대적으로 관대했기 때문이다. 또한 핸드셋에서는 촬상된 영상을 TV로 도시하는 것을 상정하지 않았기 때문에, 핸드셋에 내장된 CIS 카메라는 30 Hz나 25 Hz와 같이 상대적으로 높은 프레임율을 사용하지 않고, 이보다 훨씬 낮은 프레임율을 적용하는 것이 일반적인 관행이다. 실제로 대부분의 카메라폰에서의 프레임율은 정상조도 하에서는 15 fps이하이며 저조도 환경에서는 7.5 fps나 6 fps까지도 내려가는 식으로 가변 프레임율로 동작한다. 저조도에서 프레임율을 낮추는 이유는 노출시간을 증가시키기 위함인데, 이는 CIS가 CCD보다 SNR이 상대적으로 낮다는 특성을 보완하기 위한 합리적인 절충안이기도 하다.

따라서 CCD 기반으로 개발된 AE 알고리즘들[3][4]은 프레임율이 고정된 상태에서 노출 정도를 조정하기 위한

다양한 수단을 사용해왔다. 이러한 수단에는 한 프레임 주기 내에서의 노출 시간 조정 (혹은 전자셔터 조정), 조리개 조정으로 인한 광량 조절, ADC (Analog Digital Conversion) gain 조정 등이 포함되며, 이 중에서는 조리개 조정이 가장 민감하게 노출 정도를 조절하는 장치이지만 조리개라는 기계적 기구물을 수반하기 때문에 소형화와 비용에 민감한 카메라 폰에서는 구현하기 곤란한 기술이다.

CIS 에서는 노출 정도를 조정하기 위한 수단으로 프레임율 조정, 전자셔터 조정, ADC gain 조정 등의 수단을 사용한다. 좀 더 구체적으로는 전자셔터를 통해서 노출 시간을 조정함에 있어서 프레임율에 제한을 받지 않는다는 것이다. 따라서 CIS에서는 프레임율 가변화를 전제로 한 전자셔터 조정과 ADC gain 조정을 통해서 노출 정도를 제어하게 된다.

본 본문에서는 CIS를 위하여 소수의 파라미터에 근거하여 가변 프레임율과 ADC gain 조정 등이 자유롭고, 고속의 응답을 지향하는 AE 알고리즘과 이에 대한 FSM (Finite State Machine) 기반의 하드웨어 구조를 제안한다.

2. S/W 기반 AE 제어 시스템

2.1. 측광방식

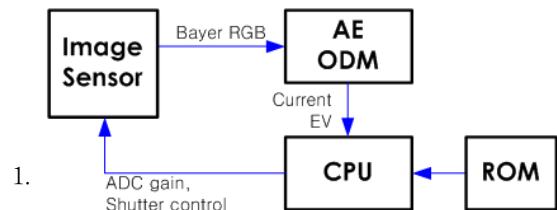
AE 알고리즘에서 현재 프레임의 노출치(EV: Exposure Value)와 목표 노출치를 비교하여 다음 프레임에서의 노출 정도를 결정한다. 측광방식은 다분할측광, 중앙중점측광, 부분측광 등이 보편적으로 사용되며, 사용자가 임의의 측광방식을 선택할 수 있도록 되어있다. 최근에는 얼굴인식 기능이 탑재된 DSC 등이 보급되고 있으나, 얼굴 영역을 중심으로 측광하는 것은 피사체에 따른 편차 때문에 바람직한 접근방식이 아니기 때문에 전통적인 측광방식이 여전히 사용되고 있다. 이 외에도 현재 프레임을 겹치지 않는 다수의 영역으로 분할한 후에, 이들의 노출치에 대한 가중합에 의해서 측광하는 방식들도 제안되고 있다.

J.S.Lee등[3]은 전체 프레임을 수직방향으로 3 등분하고, 중심부 영역을 다시 3 등분함으로써 전체 프레임을 5개의 영역으로 구분했다. 이후 정중앙과 하단부 영역은 피사체 영역, 나머지 영역은 배경 영역으로 가정하여 이들 간의 밝기값 차이를 토대로 정상, 역광, 과도역광 등으로 구분하여 노출 정도를 조정하는 알고리즘을 제안했다. 이는 역광노출에 대한 강인성을 높이기 위한 접근방식이라고 할 수 있으나, 역광노출 문제에 대한 근본적인 해결방식이 아니며 역광이 없는 일반 영상에 대해서는 계산량만 증가시키는 결과를 야기한다. 이와 유사한 접근방식으로 W.C.Kao[4]등은 전체 프레임을 겹치지 않는 5x5 블록으로 분할하고, 중심 블록과 하단블록에 높은 가중치를 주는 방식으로 25개 블록의 노출치에 대한 가중합을 구하여 노출 정도를 조정하는 방식을 택했다.

결국 측광방식에 따라서 화질 차이는 분명히 발생하겠지만, 이는 각 사용자의 주관적 기준에 의해서 평가가 달라지기 때문에 AE 알고리즘은 특정 측광방식에 의존하지 않고, 임의의 노출치로부터 목표 노출치를 단시간 내에 flickering 없이 만족시키는 것을 주된 목표로 삼는다. 따라서 본 논문에서의 측광방식은 현재 프레임 전체에서의 평균밝기값을 취득하는 가장 단순한 방법을 취한다.

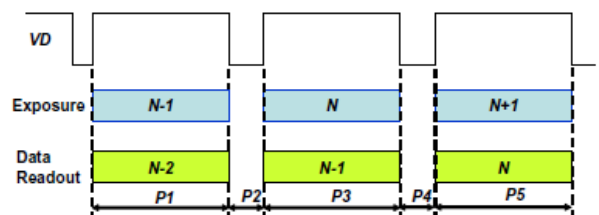
2.2. S/W 기반 AE 제어 시스템 구조

그림 1은 S/W 기반의 카메라 AE 제어 시스템의 블록도를 나타낸다. AE ODM(Optical Detection Module)은 현재 프레임에 대한 노출치를 이미지 센서 데이터로부터 계산하여 CPU로 전달한다. CPU는 이 값을 프로그램에 설정된 목표노출치와 비교하여 이미지 센서에 대한 ADC gain를 증감하거나 전자셔터 적용 시점을 조정하여 노출치를 조정하는 AE 알고리즘을 구동한다. 이 때 CPU는 모든 연산을 수직동기구간 내에서 완료해야하기 때문에 고급 AE 알고리즘을 실행하기에는 무리가 따른다. 또한 CPU는 AE 알고리즘 뿐만 아니라, AWB 알고리즘까지도 수행하기 때문에 AE/AWB 알고리즘의 효율성은 비용과 성능 면에서 매우 중요한 이슈가 되고 있다.



[그림 1] S/W 기반 AE 제어 시스템 블록도.

그림 2는 이미지 센서에서 AE ODM이 동작하는 구간과 AE 알고리즘이 수행되는 구간을 설명한다. VD 신호는 유효한 영상 데이터가 존재하는 구간을 나타내므로, 이 신호가 0인 구간이 AE 알고리즘이 구동되는 구간이다. 그림의 P1구간에서 이미지 센서가 (N-1)번째 프레임에 대한 영상 데이터를 생성하는 동안, 이미지 센서에서 출력되는 데이터는 (N-2)번째 프레임에 대한 것이다. 따라서 (N-1)번째 프레임에 대한 노출치가 계산되는 구간은 P4구간이 되며, 이 노출치에 의해서 조절을 받는 프레임은 N번째 아니라 (N+1)번째가 된다. 이러한 현상은 AE flickering에 대한 잠재적인 원인으로 작용한다.



[그림 2] 노출시점과 데이터 출력 시점에 대한 타이밍도.

2.3. LUT기반 AE 알고리즘[3][4]

AE 알고리즘을 수행하기에 충분한 시간이 주어지지 않기 때문에, 고속동작이 가능하도록 LUT(Look-up Table) 기반으로 AE 알고리즘이 수행된다. 이 방식에서는 조리개 크기(aperture size), 전자셔터에 의한 노출시간, ADC gain 등을 조합하여 노출 정도가 점진적으로 증가하거나 감소하도록 실험적으로 결정된 도표를 구성하는 것으로부터 시작한다. 따라서 현재 영상을 취득하기 위해서 설정된 조리개 크기, 전자셔터 노출시간, ADC gain 등은 이 도표에 대한 주소로 사용된다. 만약 노출치가 목표 노출치에 미달일 경우 주소를 증가시키며, 초과일 경우에는 주소를 감소시키는 방식으로 노출치를 조정한다. 그림 3은 W.C.Kao[4]등이 사용한 LUT의 일부를 나타낸다. 이들은 노출치를 증가시키거나 감소시키기 위해서 서로 다른 2종류를 도표를 사용하는 것을 제안했다.

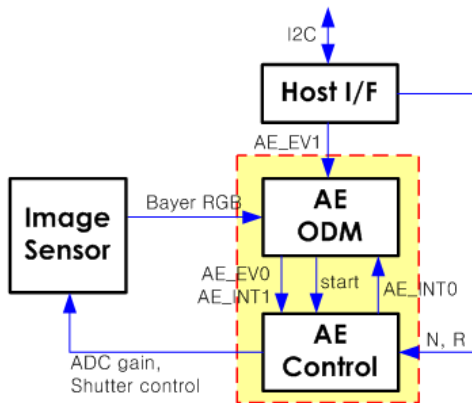
	Aperture Size	Gain Setting	Exposure Time		
B	4X	32 ms	B	4X	32 ms
B	3.67X	32 ms	B	3.67X	32 ms
B	3.37X	32 ms	B	3.37X	32 ms
B	.	32 ms	B	.	32 ms
B	.	32 ms	B	.	32 ms
B	1.09X	32 ms	B	1.09X	32 ms
B	1X	32 ms	B	1X	32 ms
B	1X	.	S	3.67X	32 ms
B	1X	.	S	1X	32 ms
B	1X	.	S	1X	32 ms
B	1X	1.09 ms	S	1X	4 ms
S	1X	4 ms	S	1X	.
S	1X	.	S	1X	.
S	1X	1.19 ms	S	1X	1.19 ms
S	1X	1.09 ms	S	1X	1.09 ms
S	1X	1ms	S	1X	1ms

[그림 3] 노출치 조정을 위한 LUT의 일례.

3. 제안한 AE 제어 시스템

3.1. H/W 기반 AE 제어 시스템 구조

그림 4는 본 논문에서 제안하는 H/W 기반 AE 제어 시스템의 구조를 도시한다.



[그림 4] H/W 기반 AE 제어 시스템 블록도.

외부 호스트 인터페이스로 I2C를 사용하여, 목표노출치

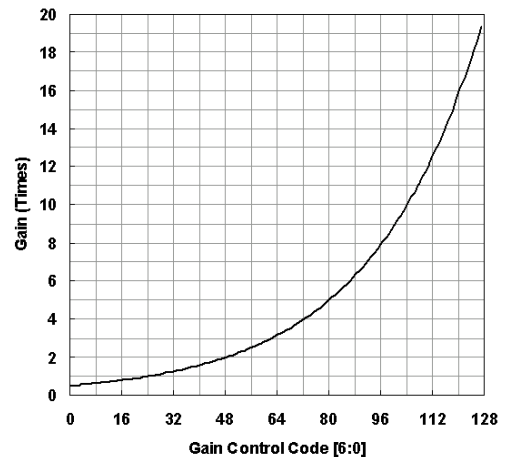
AE_EV1, 수직동기구간을 포함한 영상을 구성하는 전체 라인수 N, 노출시간을 증가시키기 위해서 프레임의 경계를 초월할 수 있는 한계를 나타내는 R, ADC gain의 조절 범위 [AGC_min, AGC_max] 등을 파라미터화했기 때문에 사용자가 상황에 맞도록 재설정하는 것이 가능하다. 변수 R이 3일 경우에는, 프레임의 경계를 3번 넘어서 노출시간을 조정한다는 의미이므로, 프레임율은 1/4로 줄어들게 된다. 즉 정상적인 프레임율이 30Hz인 CIS라면 프레임율은 7.5Hz까지 줄어들게 된다. 7.5Hz의 프레임율은 통상적으로 받아들여지는 최저 프레임율에 해당한다.

AE ODM은 현재 프레임에서의 노출치가 AE_EV0, 노출시간이 AE_INT0, 목표노출치가 AE_EV1이라고 할 때, 다음 프레임에 대한 노출시간 AE_INT1을 식 (1)과 같이 계산하여 AE 제어기에 전달한다. 이는 이미지 센서에 입사되는 광량은 노출시간에 비례한다는 가정을 전제로 한다.

$$AE_INT1 = \frac{AE_EV1 \cdot AE_INT0}{AE_EV0} \quad (1)$$

AE 제어기는 AE ODM에서 입력된 AE_INT1을 토대로 이미지 센서에 적용할 ADC gain를 증감시키고, 전자셔터를 제어하여 노출시간을 증감시킨다. AE 제어기는 이미지 센서에 실제로 적용한 노출시간 AE_INT0을 AE ODM으로 보내준다. 대부분의 경우 AE 제어기는 AE ODM에서 요구한 노출시간을 만족시키지만, 저조도환경에서 요구한 노출시간에 미달하는 경우가 발생하게 된다.

AE 제어기는 노출시간의 조정만으로 목표 노출치를 만족시키지 못할 경우에는 ADC gain을 증가시킨다. ADC gain을 통해서 노출치를 조정할 경우, 노출 시간은 허용 가능한 최대시간으로 고정되어야 한다. 이 상태에서는 오로지 ADC gain을 증가시키거나 감소시킴으로써 노출치를 변동시킬 수 있다. 노출시간만을 조정하는 상태로 돌아가려면 현재 ADC gain이 사용자가 지정한 AGC_min과 같은 경우에만 가능하다. ADC gain에 따른 응답은 그림 5와 같은 로그스케일로 비례하는 특성을 가진다.



[그림 5] ADC gain 응답 특성.

따라서 ADC gain의 증가폭은 현재 ADC gain값에 의해서 가변적으로 결정된다. 즉 96이상에서는 2씩, 64이상 95미만에서는 4씩, 32이상 94미만에서는 8씩, 31 미만에서는 15씩 증가한다. ADC gain이 감소할 경우에는 증가폭 결정과 같은 구간을 가지지만, 변동폭은 2배로 한다.

3.2. AE 제어기의 FSM

AE 제어기의 FSM은 3개의 신호에 의해서 동작한다. R은 사용자가 입력한 프레임용 파라미터이고, start 신호는 AE_ODM의 동작이 완료되는 시점에서 발생하는 구동신호이고, agc_on은 ADC gain을 제어하는 상태가 되었음을 나타내는 내부 레지스터 신호이다.

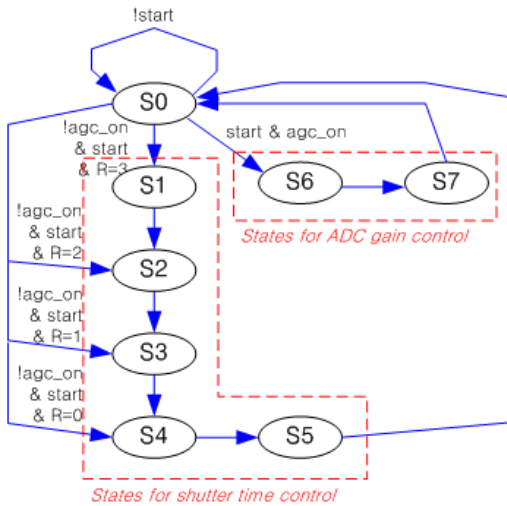
AE 제어기에서는 4개의 신호가 출력된다. **AE_AG[6:0]**는 ADC gain을, **AE_ERS[9:0]**는 전자셔터가 발생해야하는 라인 인덱스를, **AE_FRS[1:0]**는 건너 뛰어야하는 프레임 수를, **AE_INT0[11:0]**은 다음 프레임에 실질적으로 적용된 노출시간을 나타낸다. 이 중에서 **AE_INT0[11:0]**은 식(1)을 계산하는 AE_ODM 모듈로 입력되고, 나머지 신호 3개는 CIS에 직접 연결된다. 이 신호들은 AE_ODM으로부터 입력되는 AE_INT1과 사용자가 설정한 파라미터 N, R로부터 식(2)와 같이 결정된다.

$$AE_FRS = \left\lfloor \frac{AE_INT1}{N} \right\rfloor \quad (2)$$

$$AE_ERS = \min(N, AE_INT1 - AE_FRS \cdot N)$$

$$AE_INT0 = AE_FRS \cdot N + AE_ERS$$

그림 3은 식(2)에 의한 연산을 수행하는 AE 제어기의 FSM(Finite State Machine)의 상태도를 나타낸다.



[그림 6] 제한한 AE 제어기의 FSM.

state s1부터 state s5까지는 다음 프레임에 대한 노출시간(즉, 전자셔터 제어)을 결정하는 상태들로써, 목표노출치에 도달하지 못할 경우에는 state s5에서 agc_on 레지스터가 1이 된다. agc_on 레지스터가 1이 되면 FSM은 start 신호에 의해서 state s6과 state s7에서 동작한다. state s6에서는 목표노출치와의 비교에 의해서 ADC gain

을 증가하거나 감소시킨다. state s7에서 감소한 ADC gain이 ADC_min과 같으면 agc_on 레지스터를 0으로 하여, 다시 노출시간 조정만을 수행하도록 한다.

4. 결론

AE에 의한 효과는 저조도 영상에 부가되는데, 그림 7은 상단부터 하단까지의 조도는 5 lux, 27 lux, 560 lux에 각각 해당하며, 좌측은 AE를 적용한 영상을 나타내고, 우측은 적용하지 않은 영상이다. 제안한 AE 제어기는 H/W로 구현되었기 때문에 CPU보다 비용 효율적이며, 중요한 파라미터를 외부에서 재설정하도록 설계되었기 때문에 다양한 이미지 센서에 범용으로 적용하는 것이 가능하다.



[그림 7] AE 적용 결과.

참고문헌

- [1] J. Nakamura, *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*, CRC Press, 2006.
- [2] 박상식, *CCD/CMOS 이미지 센서*, (주)전자신문인터넷, 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 Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 47, No. 3, Aug. 2001.
- [4] W. C. Kao, S. H. Chen, T. H. Sun, T. Y. Chiang, and S. Y. Lin, "An Integrated Software Architecture for Real-Time Video and Audio Recording Systems," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 51, No. 3, Aug. 2005.