

저가형 모바일 카메라를 위한 AWB/AE 광학특성 검출 모듈의 최적화

박현상

전기전자제어공학부

공주대학교

vandamm@kongju.ac.kr

Hardware Optimization of AWB/AE Optical Detection Module for Low-cost Mobile Camera

Hyun Sang Park

Division of Electrical, Electronics, and Control Engineering
Kongju National University

요 약

프레임 단위로 처리하는 카메라 영상 처리 기술에는 AWB, AE, AF 등이 있으며, AF는 고가의 초점 제어 장치를 필요로 하기 때문에, AWB와 AE만이 모든 카메라에 기본적으로 탑재되는 핵심기능이다. ODM은 AWB나 AE 동작을 위해서 필요한 파라미터를 프레임 단위로 계산하는 하드웨어 모듈을 지칭한다. 본 논문에서는 R, G, B 평균값으로부터 밝기값을 연산하는 수식을 단순화하고, AE ODM과 AWB ODM을 통합하여, AE와 AWB에서 필요로 하는 모든 가산/제산 연산을 단 한 개의 가산기와 제산기를 이용하여 구현되는 ODM 구조를 제안한다. 제안한 ODM 구조 최소한의 연산자만을 사용하도록 구현되기 때문에, ISP를 내장하는 저가형 이미지 센서에 적합한 특성을 가진다.

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.

AWB는 광원의 색온도에 의존하지 않도록 색분포를 일정하게 하는 기술이고, GWA (Gray World Algorithm)이 보편적인 기본 원리로 활용되고 있다[2]. GWA는 다양한 색상을 가지고 있는 일반적인 영상에서 R, G, B 성분들의 평균값은 영상의 평균 밝기값과 일치한다는 가정에 근거를 둔다. 따라서 GWA를 구현하려면 현재 프레임에서의 R, G, B 성분의 평균값과 영상의 평균 밝기값을 계산하고, 이들로부터 다음 프레임에 적용할 R, G, B 성분에 대한 gain을 결정하여 적용해야 한다.

AE[4][5][6]는 촬영되는 피사체와 배경의 평균 밝기값을 일정하게 유지시켜주는 기술이다. 이를 위해서 현재 프레임에서 평균 밝기값을 계산하고, 이를 목표 밝기값과 비교하여 다음 프레임에 적용될 노출 시간을 보정한다. 즉, 목표 밝기값보다 어두울 경우에는 노출시간을 증가시키고, 목표 밝기값보다 밝을 경우에는 노출시간을 감소시킴으로써 밝기값을 일정하게 유지한다.

ODM (Optical Detection Module: 광학특성 검출장치)은 AWB나 AE 동작을 위해서 필요한 파라미터를 계산하는 하드웨어 모듈을 지칭한다. ODM은 AWB를 위하여 현재 프레임에서의 평균 R, G, B와 평균 밝기값 Y_0 를 계산하고, 이로부터 Y_0/R , Y_0/G , Y_0/B 를 계산한다. AWB 제어 장치에서는 이들을 다음 프레임에서 R 성분, G 성분, B 성분에 대한 gain으로 사용함으로써, 영상 내의 R, G, B 분포를 균등하게 유지하게 된다.

현재 프레임에 대한 노출시간이 T_0 라고 하고, 목표 밝기값이 Y_1 이라고 할 때, 다음 프레임에 대한 노출시간 T_1 은 $T_0 * Y_1 / Y_0$ 와 같이 계산할 수 있다. AE 제어장치에서

는 T1을 기반으로 하여, 노출시간을 조정할 수 있는 다양한 수단을 활용한다.

R, G, B로부터 밝기값을 계산하려면 ITU-R.601 규격[3]에서 규정된 색변환 공식에 기반을 둔 가중합 연산이 필요하다. 정수 연산으로 구성된 이 공식을 구현하기 위해서는 3개의 상수 승산기나 11개의 가산기가 필요하다. 또한 AWB/AE를 위한 파라미터를 계산하려면 모두 4회의 제산(division)이 필요한데, 하나의 제산기를 효과적으로 재 활용하는 것이 바람직하지만, 편의성 때문에 LUT(Look-up Table) 기반의 제산기를 다수 사용하여 구현하는 경우도 있다.

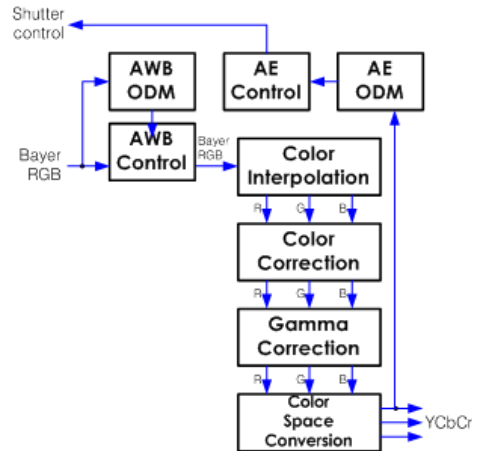
본 논문에서는 승산기를 가산기로 대체하고, 하나의 제산기 기반으로 모든 제산을 수행하는 ODM 구조를 제안한다. 하드웨어 비용을 많이 차지하는 승산기를 대체하기 위하여 ITU-R.601에서 제안된 색변환 공식을 간략화하여 4개의 가산 연산으로 대체하고, 제산기를 활용하기 위한 연산 순서를 정렬함으로써 저가형 이미지 센서에 내장될 수 있는 효율적인 하드웨어를 구현한다.

2. AWB/AE을 위한 ISP 구조

2.1. ISP의 일반적인 구조

CCD (Charge Coupled Device)나 CIS (CMOS Image Sensor)와 같은 이미지 센서[7]는 한 화소에 대해서 R, G, B 성분을 모두 획득하지 못하고, R, G, B 성분 중에서 하나만을 취득하는 구조를 가지고 있다. 이미지 센서 평면상에서의 R, G, B 표본화 패턴을 Bayer 패턴이라고 지칭하며, G 성분은 가장 넓은 주파수 대역을 가지고 사람의 시각에 가장 민감하게 때문에 R, B 성분에 비해서 2배의 비율로 표본화한다.

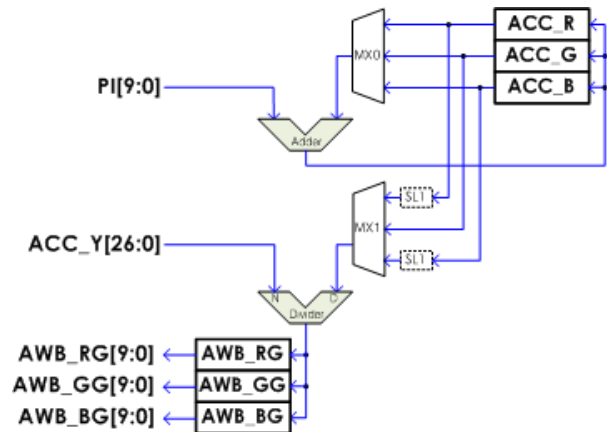
ISP (Image Signal Processor)는 Bayer 패턴의 영상 데이터로부터 JPEG/MPEG 등에서 필요로 하는 Y-Cb-Cr 데이터로 변환하여 출력하는 기능을 수행하는 하드웨어를 통상적으로 일컫는 용어이다. 따라서 ISP는 불완전한 색 성분으로부터 부족한 다른 색성분을 복원하는 단계(color interpolation)와 이를 Y-Cb-Cr 색체계로 변환하는 과정을 기본적으로 포함해야 한다. 또한 이미지 센서의 색분포를 인간이 인지하는 색분포로 변환해주는 색보정 (color correction), 이미지 센서나 디스플레이 장치의 비선형성을 보상해주는 감마 보정 (gamma correction)이 포함된다. 그림 1은 AE/AWB 기능을 포함하는 ISP의 간략화된 블록도를 나타낸다.



[그림 1] ISP의 일반적인 구조.

2.2. AWB ODM 구조

AWB ODM은 R, G, B 색성분의 평균값을 계산하는 기능을 기본적으로 수행해야 한다. 색복원을 수행하면 데이터량은 3배로 늘어나지만 영상의 고유한 색분포는 변하지 않는다. 따라서 AWB ODM은 색복원 이후에 위치시키지 않고 색분포 이전에 위치시키는 것이 하드웨어 관점에서 효율적이다.



[그림 2] AWB ODM의 구조.

그림 2는 GWA기반 AWB ODM의 구조를 나타낸다. PI[9:0]는 이미지 센서로부터 입력되는 Bayer 패턴의 영상 데이터이고, ACC_Y[26:0]는 현재 영상에서의 모든 밝기 값에 대한 누적치를 나타내는 신호로서 AE ODM에서 계산된다. SL1은 'Shift Left by One' 연산을 의미한다. 그림에서 굵은 테두리를 가지는 사각형은 레지스터를 나타낸다.

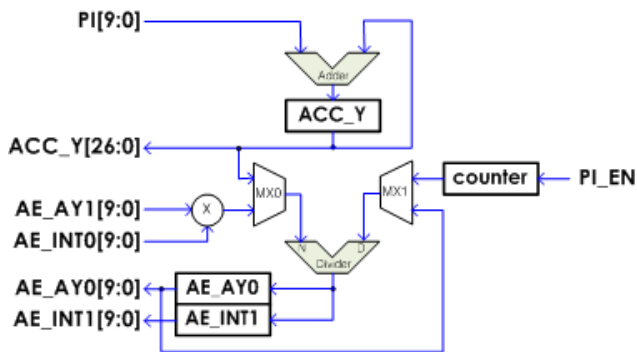
전체 구조는 3개의 누산기와 단일 제산기로 구성되어 있다. ACC_R, ACC_B, ACC_G는 R, G, B 각 성분에 대한 누산기이다. 제산기는 LUT을 이용하여 설계할 수도 있으나, ODM에서의 나눗셈은 단일 사이클에 수행할 필요가 없기 때문에 감산기와 쉬프트 레지스터를 이용하여 구현된 멀티 사이클 제산기를 사용한다.

G 성분에 대한 gain값을 나타내는 AWB_GG는 전체

밝기값의 누적치인 **ACC_Y**을 전체 G 성분의 합인 **ACC_G**로 나누어서 구한다. 마찬가지로 R 성분과 B 성분에 대한 gain값인 **AWB_RG**와 **AWB_BG**를 계산한다.

2.3. AE ODM 구조

AE ODM은 밝기값의 평균을 계산해야 하기 때문에 색변환을 수행한 이후에 위치시키는 것이 바람직하다. 그림 3은 AE ODM 블록의 구조를 나타낸다. **PI_EN**은 유효한 데이터가 입력되는 구간을 나타내는 신호이다. **PI_EN**이 인가되는 동안 계수기 **counter**가 증가하므로, 궁극적으로는 현재 프레임의 화소 수를 저장하게 된다.



[그림 3] AE ODM 구조.

연산 순서는 다음과 같다. 먼저 밝기값에 대한 누적치 **ACC_Y** 계산이 완료되면, 이를 **counter**로 나누어 현재 프레임의 평균 밝기값 **AE_AY0**을 계산하여 저장한다. 최종적으로 다음 프레임에 적용할 노출시간 **AE_INT1**을 다음과 같이 계산하여 저장한다.

$$AE_INT1 = \frac{AE_AY1 \cdot AE_INT0}{AE_AY0} \quad (1)$$

이와 같이 **AWB_RG**, **AWB_GG**, **AWB_BG**, **AE_INT1**에 대한 계산이 완료된 시점이 현재 프레임에 대한 AWB/AE ODM의 모든 기능이 완료된 시점이 된다.

3. AWB/AE ODM의 최적화

3.1. Y 데이터 취득의 단순화

R, G, B 데이터로부터 밝기값 Y를 구하는 공식은 ITU-T BT.601[3]에 기술되어 있으며 다음과 같다.

$$Y = \frac{77}{256}R + \frac{150}{256}G + \frac{29}{256}B \quad (2)$$

이 식은 순수한 정수연산으로 구성되어있기 때문에 구현방식에 상관없이 동일한 정밀도를 제공한다. 상수값은 다수의 가산기로 대체되므로, 77은 $(1001101)_2$ 가 되어 3개의 가산기, 150은 $(10010110)_2$ 가 되어 3개의 가산기, 29는 $(11101)_2$ 가 되어 3개의 가산기로 대체된다. 따라서 식(1)을

구현하기 위해서는 모두 11개의 가산기가 필요하게 된다.

본 논문에서는 가산기의 수를 감축하기 위하여 식(2)를 식(3)과 같이 단순화하여 표현한다. 이 경우 가산기의 수는 4로 줄어든다.

$$Y = \frac{5}{16}R + \frac{9}{16}G + \frac{2}{16}B \quad (3)$$

$$= (4R + 9G + 2B) \gg 4$$

10-비트 데이터에 대해서 식(2)와 식(3)의 정밀도를 비교할 때, 식(3)을 적용할 경우 평균 7.000092%의 오차가 발생하며, 8-비트 데이터에 적용할 경우에는 평균 1.750023%의 오차가 발생한다. 이 오차와 동적영역의 비율은 0.68%로써 자동노출 알고리즘에서 적용하기에는 문제를 야기하지 않는 수준이다. 실제로 자동노출 알고리즘에서 목표 밝기값에 100% 일치하지 않고 1~3% 정도의 오차 범위 내에 수렴할 경우 노출조정이 완료되었다고 판정하므로 0.68%의 오차는 정상적인 자동노출 조정 알고리즘의 동작에 영향을 주지 않는다.

3.2. AWB/AE ODM 통합

AE ODM은 영상의 평균 밝기값을 구하기 때문에, 이론상으로는 색변환 이후에 위치한다. 그러나 매 화소단위로 밝기값을 구해서 이에 대한 평균값을 구하는 것과, 영상 전체의 R, G, B 평균값을 구한 후에 이로부터 밝기값을 구한 결과는 식(4)와 같이 수치적으로 동일하기 때문에 AE ODM을 색복원 이전에 위치시키는 것이 가능하다. 식에서 N은 영상의 화소수를 나타낸다.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i (0.3125R_i + 0.5625G_i + 0.125B_i)}{N} \quad (4)$$

$$= \frac{0.3125 \sum_i R_i + 0.5625 \sum_i G_i + 0.125 \sum_i B_i}{N}$$

$$= 0.3125 \bar{R} + 0.5625 \bar{G} + 0.125 \bar{B}$$

3.3. AWB/AE ODM 구조

제안한 AWB/AE ODM의 구조는 그림 4와 같다. 그림에서 SR1은 "Shift Right by One"의 동작을 나타낸다. 전체적으로 가산기, 승산기, 제산기가 각각 1개씩 구성되어 있다. 가산기는 유효한 영상 데이터가 입력되는 구간에서는 **ACC_R**, **ACC_G**, **ACC_B**에 각 색성분 데이터를 누적시키기 위해서 사용된다. 유효한 영상 데이터의 입력이 완료되면, AWB/AE를 위한 파라미터 연산을 개시하게 한다. 다양한 연산을 효율적으로 제어하기 위하여 11개의 상태를 가지는 FSM (Finite State Machine)이 정의되었으며, 각 상태에서의 기능은 다음과 같으며, 4개의 멀티플렉서와 10개의 레지스터에 대한 제어신호를 유효적절하게 생성한다.

$$\text{state0: } ACC_R = ACC_R + PI;$$

$$ACC_G = ACC_G + PI;$$

$$ACC_B = ACC_B + PI;$$

$$\text{state1: } ACC_Y = ACC_Y + (ACC_R \ll 3) \gg 4;$$

$$\text{state2: } ACC_Y = ACC_Y + (ACC_R \ll 1) \gg 4;$$

$$\text{state3: } ACC_Y = ACC_Y + (ACC_G \ll 3) \gg 4;$$

$$\text{state4: } ACC_Y = ACC_Y + (ACC_G) \gg 4;$$

$$\text{state5: } ACC_Y = ACC_Y + (ACC_B \ll 2) \gg 4;$$

$$\text{state6: } AWB_RG = ACC_Y / (ACC_R \ll 1);$$

$$\text{state7: } AWB_GG = ACC_Y / ACC_G;$$

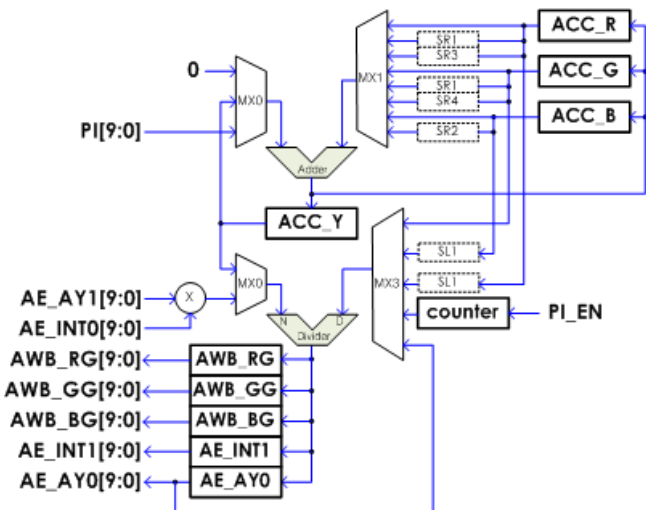
$$\text{state8: } AWB_BG = ACC_Y / (ACC_B \ll 1);$$

$$\text{state9: } AE_AY0 = ACC_Y / (\text{count} \ll 8);$$

$$\text{state10: } AE_INT1 =$$

$$AE_AY1 * AE_INT0 / (AE_AY0 \ll 10);$$

AWB/AE ODM에서 사용되는 승산기는 유효한 영상 데이터가 입력되지 않을 때만 동작한다. 유효한 영상 데이터가 입력되는 구간에서는 Bayer 패턴을 가지는 입력 데이터와 AWB_RG, AWB_GG, AWB_BG를 적응적으로 곱함으로써 AWB 기능을 수행하는 것이 가능하다.



[그림 4] 제안한 AWB/AE ODM 구조

결과적으로 제안한 AWB/AE ODM은 AWB/AE를 위한 파라미터를 추출할 뿐만 아니라, GWA에 기반을 둔 AWB 제어까지도 수행한다.

4. 결론

본 논문에서 제안한 AWB/AE ODM을 TSMC 0.18um 공정 셀 라이브러리를 사용해서 VGA 해상도의 경우에 대해서 합성한 결과를 표1에 정리했다.

[표 1] 제안한 구조의 하드웨어 규모 비교.

| Area | AE_ODM | AWB_ODM | Proposed |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Adder | 2561.33 | 1500.21 | 2983.78 |
| Multiplier | 10015.79 | 9839.49 | 11376.29 |
| Divider | 11326.39 | 11273.17 | 11752.17 |
| DFF | 6313.51 | 11885.23 | 17852.79 |
| Misc | 4580.45 | 9949.26 | 18444.89 |
| Total | 34797.47 | 44447.36 | 62409.92 |

제안한 구조에 의한 면적은 62409.92um²이고, 기존 방식에 의한 면적은 79244.83um²이므로, 칩면적은 21.24% 감소된다. 레지스터의 규모는 그대로이나, 가산기/곱셈기/제산기 등은 재활용으로 인하여 규모가 크게 감소한다.

제안한 AWB/AE ODM은 AWB제어 기능을 내장하고 있기 때문에, AE 제어 알고리즘을 추가로 구현하면 저가형 모바일 카메라에서 가장 많은 비용을 차지하는 기능인 AWB/AE를 효율적으로 구현하는 것이 가능하다.

참고문헌

- [1] J. Nakamura, *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*, CRC Press, 2006.
- [2] Bing Li, De Xu, M.H. Lee, "A Multi-Scale Adaptive Grey Worlds Algorithm", *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol. 90, No. 7, July 2007.
- [3] *Rec. ITU-R BT.601-T*, Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-Screen 16:9 Aspect Ratios, 1995.
- [4] T. Kuno and H. Sugiura, "A New Automatic Exposure System for Digital Still Cameras," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 44, No. 1, Feb. 1998.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 박상식, *CCD/CMOS 이미지 센서*, (주)전자신문인터넷, 2007